

# **Optimierung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses im Winter durch den Einsatz moderner Kommunikationstechnologie im Strassenbetrieb**

**Optimiser la sécurité et le trafic routiers en hivers par l'utilisation de moyens de communication modernes dans la gestion routière**

**To optimize traffic safety and traffic flow in the winter by using modern communication technology in highway operation**

**RUS AG, Baden  
Dr. Beatrice Ruess**

**Durth Roos Consulting GmbH, Karlsruhe  
Dr.-Ing. Christian Holldorb**

**Forschungsauftrag VSS 2003/601 auf Antrag des  
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**August 2007**

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

**Optimierung der Verkehrssicherheit und des  
Verkehrsflusses im Winter durch den Einsatz  
moderner Kommunikationstechnologie im  
Strassenbetrieb**

**RUS AG, Baden**

Haselstraße 1, 5401 Baden/Schweiz, Tel. +41 56 221 25 24,

**Durth Roos Consulting GmbH, Karlsruhe**

Gartenstraße 26, 76133 Karlsruhe/Deutschland, Tel. +49 721 38473-0

**Dr. Phil. II Beatrice Ruess**

ruess@rus-ag.ch

**Dr.-Ing. Christian Holldorb**

christian.holldorb@holldorb-consult.de

**Forschungsauftrag VSS 2003/601 auf Antrag des  
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**August 2007**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1-1</b>
<b>2. Allgemeines Vorgehen und Abgrenzung</b>	<b>2-1</b>
<b>3. Stand der Technik</b>	<b>3-1</b>
3.1 Informations- und Kommunikationstechnologien für das Winterdienstmanagement	3-1
3.2 Systeme in der Schweiz	3-2
3.2.1 Straßenwetterinformationssysteme	3-3
3.2.2 Einsatzauslösung und -leitung	3-11
3.2.3 Einsatzdokumentation	3-13
3.3 Internationale Entwicklungen	3-16
3.3.1 Übersicht	3-16
3.3.2 Nutzen der eingesetzten Systeme	3-23
3.3.3 Straßenwetterprognosen	3-25
3.3.4 Stationäre und mobile Erfassung des Straßenzustands	3-28
3.3.5 Abschnittsbezogene Prognosen und Automatisierung der Einsatzentscheidung	3-30
3.3.6 Automatisierung des Winterdiensteinsatzes	3-33
3.4 Zusammenfassende Bewertung	3-35
<b>4. Durchgeführte Untersuchungen in drei Werkhöfen</b>	<b>4-1</b>
4.1 Einsatzbedingungen in den drei Werkhöfen	4-1
4.1.1 Werkhof Sprengi (Kanton Luzern)	4-1
4.1.2 Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)	4-3
4.1.3 Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)	4-5
4.2 Analyse des Einsatzentscheids	4-6
4.2.1 Methodik	4-6

4.2.2	Ergebnisse Werkhof Sprengi (Kanton Luzern)	4-9
4.2.3	Ergebnisse Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)	4-16
4.2.4	Ergebnisse Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)	4-19
4.2.5	Gesamtbewertung	4-25
4.3	Analyse der Verwendung aufgezeichneter Einsatzdaten	4-29
<b>5.</b>	<b>Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur</b>	<b>5-1</b>
5.1	Methodik	5-1
5.2	Korrelation der gemessenen Wertepaare	5-3
5.3	Schlussfolgerungen	5-9
<b>6.</b>	<b>Vergleich der Prognosegüte von Straßenoberflächenprognosen für den Kanton Zug und den Kanton Luzern</b>	<b>6-1</b>
6.1	Einleitung	6-1
6.2	Ziel der Untersuchung	6-1
6.3	Vorgehen und Beschreibung des Gebiets	6-2
6.4	Ergebnisse	6-3
6.5	Schlussfolgerungen	6-4
6.6	Empfehlungen	6-5
<b>7.</b>	<b>Kosten der Systeme</b>	<b>7-1</b>
7.1	Methodik der Kostenermittlung	7-1
7.2	Kosten der einzelnen Komponenten	7-2
7.3	Gesamtkosten	7-6
<b>8.</b>	<b>Nutzen der Systeme</b>	<b>8-9</b>
8.1	Verkehrssicherheit	8-9
8.1.1	Allgemeines	8-9
8.1.2	Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews	8-9
8.1.3	Analyse der Unfallzahlen	8-27
8.2	Verkehrsfluss	8-31

8.3	Umwelt	8-32
8.3.1	Allgemeines	8-32
8.3.2	Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews	8-33
8.4	Wirtschaftlichkeit des Winterdienstes und volkswirtschaftlicher Nutzen	8-36
8.4.1	Allgemeines	8-36
8.4.2	Investitions- und Betriebskosten eines WMS	8-37
8.4.3	Wirtschaftliche Optimierungen dank eines WMS	8-37
8.4.4	Einsparungen und Kosten: Vergleich vor/nach Einführung WMS	8-40
8.4.5	Volkswirtschaftlicher Nutzen des Winterdienstes mit Einsatz von modernen Kommunikationsmitteln	8-41
8.4.6	Bewertung	8-42
8.5	Soziale Aspekte	8-43
8.5.1	Allgemeines	8-43
8.5.2	Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews	8-43
8.5.3	Bewertung der sozialen Aspekte	8-46
<b>9.</b>	<b>Zusammenfassung und Gesamtbewertung der vorhandenen Systeme</b>	<b>9-1</b>
9.1	Analysen des Einsatzentscheids	9-1
9.2	Analyse der Verwendung aufgezeichneter Einsatzdaten	9-2
9.3	Vergleich der Prognosegüte von Strassenoberflächenprognosen für den Kanton Zug und den Kanton Luzern	9-2
9.4	Kosten der Systeme	9-3
9.5	Nutzen der Systeme	9-4
9.5.1	Verkehrssicherheit	9-4
9.5.2	Verkehrsfluss	9-6
9.5.3	Umwelt	9-6
9.5.4	Wirtschaftlichkeit und volkswirtschaftlicher Nutzen	9-6
9.5.5	Soziale Aspekte	9-7

9.5.6	Gesamtbewertung des Nutzens der Systeme	9-8
<b>10.</b>	<b>Empfehlungen</b>	<b>10-1</b>
10.1	Einsatz der Systeme	10-1
10.2	Entwicklungs- und Untersuchungsbedarf	10-4
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>1</b>
	<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>9</b>
	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>14</b>
	<b>Verzeichnis des Anhangs</b>	<b>16</b>
	<b>Anhang</b>	

## Zusammenfassung

Der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im Winterdienst ist in der Schweiz und international aufgrund des technologischen Fortschritts einer rasanten Entwicklung unterzogen. In der Schweiz liegt derzeit der Schwerpunkt noch auf den Straßenwetterinformationssystemen. Im Kanton Luzern wurde darüber hinaus ein Winterdienstmanagementsystem (WMS) implementiert, das umfassend die Einsatzentscheidung, -durchführung und -dokumentation unterstützt. Ausführliche Analysen haben gezeigt, dass hiermit vorausschauende und differenzierte Einsatzentscheidungen möglich sind.

Vergleichende Erhebungen in mehreren Kantonen lassen den Schluss zu, dass zwar die Mess- und Prognosedaten von Glättemeldeanlagen wesentliche Entscheidungsgrundlage für den Einsatzleiter sind, dass aber für eine präzise und sichere Einsatzentscheidung die Meteodaten und -prognosen unverzichtbar sind. Weiterhin wurde im Rahmen der Untersuchung deutlich, dass erfasste Daten der Winterdiensteinsätze nicht nur für den Einsatznachweis, sondern in vielfältiger Form für Kosten- und Qualitätsauswertungen nutzbar sind.

In einer weiteren Detailanalyse konnte der Nachweis erbracht werden, dass eine ausreichend hohe Korrelation zwischen der stationär an einer Messstation gemessener Fahrbahnoberflächentemperatur und der Fahrbahntemperatur besteht, die mobil mit Hilfe eines Infrarotthermometers im Einsatzfahrzeug fortlaufend gemessen wird. Somit können diese fortlaufend unter realen Einsatzbedingungen ermittelten Messwerte für die Winterdienststeuerung genutzt werden.

Im Rahmen dieser Studie konnte anhand von sieben definierten Sicherheitskriterien aufgezeigt werden, dass ein professionelles WMS zu einer deutlichen Erhöhung der Verkehrssicherheit führt. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Schnelligkeit des Winterdienstes, die vorausschauende Strategie, die Verhinderung von lokaler und zeitlich beschränkter Glätte, die Beherrschung aller Wettersituationen und das beträchtliche Know-how des Einsatzleiters dank laufender Qualitätskontrolle der Einsätze aufgrund der gesammelten Einsatzdaten. Eine durchgeführte grobe Unfallanalyse auf der Basis der Daten der letzten Jahre zeigt, dass durch den Einsatz eines WMS eine sehr geringe statistische Unfallrate erreicht werden kann.

Je schneller und effizienter ein Winterdienst durchgeführt wird, umso höher ist auch der Verkehrsfluss auf dem betreuten Netz. Durch den Einsatz eines WMS sind bei der Verkehrssicherheit wie auch beim Verkehrsfluss positive Entwicklungen zu erwarten.

Das systematisch umgesetzte WMS führt ganz allgemein zu einer hohen Effizienz in der Glätteverhinderung verbunden mit einem sparsamen Umgang mit Salz dank witterungsabhängiger differenzierter Vorgaben der Streumenge. Mit einem effizienten WMS lassen sich zudem unnötige Einsätze minimieren. Insgesamt erlaubt der Einsatz eines WMS eine umweltorientierte Optimierung des Winterdienstes unter gleichzeitiger Einhaltung eines hohen Sicherheitsstandards.

Die Analyse verschiedener, wirtschaftlich relevanter Kriterien lässt den Schluss zu, dass ein professionell umgesetztes WMS eine wirtschaftliche Optimierung des Winterdienstes erlaubt. Zu diesen Kriterien zählen die Reduktion der Personalkosten (Alarmierung und Kontrollfahrten), die Optimierung des Umfangs und der Dauer der Einsätze, die Reduktion der unnötigen Einsätze und die Reduktion der gestreuten Salzmenge dank differenzierten Vorgehens. Zudem werden auch organisatorische Massnahmen zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit unter Beachtung eines hohen Sicherheitsstandards möglich.

Die Einführung eines WMS wirkt sich auch positiv auf den volkswirtschaftlichen Nutzen des Winterdienstes aus, wobei die verhinderten Unfälle und die Zeitgewinne für die Verkehrsteilnehmer entscheidend sind. Durch die Einführung eines WMS wird die Lebensqualität der Einsatzleiter wesentlich verbessert. Stresssituationen können wirksam abgebaut werden.

Insgesamt stellt ein Winterdienstmanagementsystem ein wirkungsvolles Instrument dar, um den Winterdienst aus der Sicht Verkehrsfluss, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt zu optimieren. Als Managementinstrument muss es aber dauernd einer Qualitätskontrolle unterworfen werden, um wirksam zu bleiben.

## **Résumé**

La mise en œuvre de technologies d'information et de communication dans le cadre du service hivernal est soumise à un changement rapide dû au progrès technologique aussi bien en Suisse qu'à l'étranger. Pour le moment, ce sont encore les systèmes de détection de verglas qui occupent en Suisse la place primordiale. Dans le canton de Lucerne un système de gestion de la viabilité hivernale (Winter Maintenance Management System - WMMS) complet a été mis en place qui soutient le processus de la prise de décision, de l'exécution et de la documentation d'interventions dans le cadre de la viabilité hivernale. Des analyses détaillées ont montré que des décisions d'anticipation et des interventions différenciées deviennent possibles grâce à ce système.

Les études comparatives dans plusieurs cantons permettent de conclure que les systèmes de détection du verglas livrent des informations essentielles pour le processus de la prise de déci-

sion du chef d'intervention. Cependant pour une décision précise et sûre les données et prévisions météorologiques sont également indispensables. Un autre résultat des études est que les données concernant les interventions du service hivernale sont non seulement utiles pour la vérification de ces interventions, mais également de façon multiple pour des évaluations d'ordre financière et de qualité.

Dans une autre analyse détaillée une bonne corrélation a pu être établie entre la température de la chaussée mesurée par une station fixe et la température de la chaussée mesurée de façon continue avec un thermomètre infrarouge installé sur un véhicule du service hivernal. Ainsi les données rassemblées de façon continue sous des conditions d'interventions réelles peuvent être utilisées pour la gestion du service hivernal.

L'étude montre en outre à l'aide de sept critères que la sécurité routière peut être considérablement améliorée avec l'aide d'un WMMS professionnel. Crucial est la promptitude de décisions et d'interventions du service hivernale, la stratégie d'anticipation, la prévention de la glissance locale et temporellement limitée (verglas) sur la route et la maîtrise de toutes les conditions météorologiques grâce au know-how du chef d'intervention basé sur les contrôles de qualité des interventions avec l'aide des données récoltées. Une étude sommaire des accidents durant les dernières années révèle que le taux statistique d'accidents sous conditions hivernales baisse considérablement si un WMMS est mis en place.

Le flux de trafic augmente en fonction de la rapidité et de l'efficacité des interventions du service hivernale. L'usage d'un WMMS se traduit par un développement positif au niveau de la sécurité routière et du flux de trafic.

Un WMMS appliqué de façon systématique conduit de façon générale à une grande efficacité dans la lutte contre le verglas combiné à un épandage économe de sel grâce à des quantités adaptées aux conditions météorologiques. De plus, les interventions inutiles peuvent être minimisées par l'usage d'un WMMS. En fin de compte un WMMS autorise une optimisation écologique du service hivernal tout en maintenant un niveau élevé de la sécurité routière.

L'analyse de plusieurs critères économiques permet de conclure qu'un WMMS géré de façon professionnelle conduit à une optimisation des coûts du service hivernal. Ceci résulte entre autres de la réduction du coût du personnel (Prise de décision, contrôle de la chaussée), la réduction de l'ampleur et de la durée des interventions, la réduction des interventions inutiles et la réduction du sel épandu grâce à une procédure différenciée. En outre, des mesures concernant l'organisation en vue d'optimiser la viabilité hivernale peuvent être mises en place tout en maintenant un niveau de sécurité routière élevé.

La mise en place d'un WMMS a des répercussions positives également sur l'utilité économique du service hivernal grâce aux accidents évités et au gain de temps pour tous les usagers de la route. Par un WMMS la qualité de vie du chef d'intervention s'améliore considérablement étant donné que les situations de stress peuvent être réduites efficacement.

Dans son ensemble un WMMS est un instrument efficace pour optimiser la viabilité hivernal du point de vue de la circulation, de l'efficacité du coût, de la sécurité routière et de l'environnement. En tant qu'outil de gestion, il doit cependant être soumis sans relâche à des contrôles de qualité pour rester effectif.

## Summary

The implementation of information and communication technologies for winter maintenance undergoes a rapid change in Switzerland as well as internationally due to technological progress. In Switzerland right now the main focus still is on the road weather information system. In addition to this a complete Winter Maintenance Management System (WMMS) has been implemented in the canton of Lucerne, which supports comprehensively the decision-making process, the execution and the documentation of winter maintenance actions. Detailed analyses have shown that anticipatory and sophisticated decisions are enabled by this system.

Comprehensive surveys in several cantons permit the conclusion that - though the measurement and prognosis data of road weather measuring stations certainly form the essential basis for the decision-making process of the manager on duty - the meteorological data and forecasts are indispensable for precise and reliable call-out decisions. Another result of the surveys is that the collected data of winter maintenance actions are not only used as a proof/verification of winter maintenance actions, but they are also very useful for cost-controlling and quality evaluations.

In an even more detailed analysis it was possible to show that a high correlation between the surface temperature which is measured in a permanent measuring station and the surface temperature which is measured continuously with an infrared thermometer in the winter maintenance truck exists. Thus the measurement data which are continuously collected under real conditions can be used for the management of winter maintenance.

The research study has shown with the help of seven defined safety criteria that road safety improves significantly with the help of a professional WMMS. Crucial are the promptness of winter maintenance decisions and actions, the anticipatory strategy, the prevention of local and temporally limited slippery (icy) conditions on the road and the control of all weather conditions on the road with the large knowledge of the manager on duty based on persistent quality con-

trols with the help of the collected data of winter maintenance actions. A rough survey of accident data of recent years shows that the statistical accident rate under wintry conditions decreases significantly if a WMMS is in use.

The faster and more efficient winter maintenance actions will be executed, the higher the traffic flow is on the supervised road network. By the use of a WMMS a positive development of traffic safety as well as of traffic flow is to be expected.

A systematically implemented WMMS very efficiently prevents slipperiness while economically spreading the salt due to weather-related precise instructions. In addition, unnecessary winter maintenance actions can be minimized by the use of an efficient WMMS. All in all a WMMS allows an environment-friendly, ecological optimization of winter maintenance in combination with high road safety standards.

Analysing various economical criteria leads to the conclusion that a professionally implemented WMMS results in an economical optimization of winter maintenance. Among others this is due to the reduction of personnel costs (call-outs and control tours), the downsizing of scale/complexity and duration of winter maintenance actions, the reduction of unnecessary actions and the reduction of the spreading rate by precise procedures. So WMMS improves the cost-controlling tools while keeping up high road safety standards.

With the time-saving decrease of accidents for all road users, the implementation of a WMMS is economically beneficial for winter maintenance. By a WMMS the quality of life for the manager on duty will improve significantly, because stress situations can be reduced effectively.

As a whole a WMMS is an efficient instrument in order to optimize winter maintenance with regard to traffic flow, cost effectiveness, road safety and environment. As a management tool, however, it must repeatedly be submitted to quality controls, in order to remain efficient.

## 1. Einleitung

In der Schweiz und auch weltweit werden seit Jahren beträchtliche Anstrengungen unternommen, um die Verkehrssicherheit auf den Strassen und insbesondere auf den Autobahnen im Winter zu gewährleisten und die Kapazität des Strassennetzes aufrechtzuerhalten. Im Vordergrund steht dabei das Prinzip der dauerhaften Verbesserung bezüglich Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz.

In einer ersten Optimierungsphase wurden neue technologische Entwicklungen im Winterdienst eingesetzt wie beispielsweise Feuchtsalztechnologie, Verbesserung der Dosiergenauigkeit und Ausbringtechnik, Verstärkung der mechanischen Räumung, bessere Erfassung und Vermittlung der meteorologischen Verhältnisse vor Ort. Gleichzeitig wurden auch Verbesserungen durch organisatorisch-administrative Massnahmen, wie Vereinheitlichung der Einsatzverfahren und Differenzierung des Winterdienstes in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen erreicht.

Trotz diesen Anstrengungen kommt es immer wieder zu strassenzustandsbedingten Unfällen und zu Verkehrsopfern, insbesondere auf den Autobahnen. Der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes durch Vermeidung solcher Ereignisse mit Stau- und Unfallkosten wurde bereits mehrmals nachgewiesen [HANDBALI 1994, DURTH et. al. 1996, ABAY 2005].

In der aktuellen zweiten Optimierungsphase gilt es, die Möglichkeiten der verstärkten Anwendung der modernen Kommunikationstechnologien zu prüfen. Im Vordergrund stehen Strassenwetterinformationssysteme und Wintermanagementsysteme (WMS) mit verschiedenen Komponenten, wie genaue Strassenwetterprognosen, Einsatzplanungssysteme, Dokumentation des Einsatzes, Einsatznachverfolgung. Zudem stehen neue Möglichkeiten, wie Online-Verbindung zwischen Einsatzleiter und Fahrzeug, Austausch von Wetterdaten vor Ort und aus der Zentrale, Einsatz von mobilen Einheiten zur Erfassung der Fahrbahntemperatur, zur Verfügung.

Diese Technologien wurden bereits in verschiedenen Ländern Europas und in einzelnen Kantonen der Schweiz in unterschiedlicher Ausführung eingesetzt. Es gilt nun, die verschiedenen Kommunikationssysteme und Erfahrungen zu prüfen, um das Verbesserungspotential zu eruieren und anhand von Kosten/Nutzen-Betrachtungen die Systeme zu bewerten.

## **Forschungsziele**

Mit der geplanten Forschungsarbeit soll der Einsatz verschiedener Kommunikationssysteme analysiert und geprüft werden. Im Vordergrund stehen folgende Untersuchungen:

- Analyse des Einsatzentscheidungs in drei Werkhöfen in der Schweiz, die mit Strassenwetterinformationssystemen und Winterdienstmanagementsystemen mit unterschiedlicher Ausrüstung und verschiedenen Komponenten ausgestattet sind
- Analyse der Verwendung der aufgezeichneten Einsatzdaten in den drei ausgewählten Werkhöfen, wobei diese Daten teilweise manuell und teilweise automatisch registriert werden
- Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur, um abzuschätzen, ob sich die mobil gewonnenen Messdaten für eine Übertragung der lokal gemessenen Daten auf angrenzende Streckenabschnitte eignen
- Vergleich der Prognosegüte von Strassenoberflächenprognose mit oder ohne Einbezug der Daten der Strassenwetterstationen im Hinblick auf eine verbesserte Wetterinformation
- Ermittlung der Kosten der eingesetzten Systeme
- Bewertung des Nutzens der System unter Berücksichtigung von Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Umwelt, Wirtschaftlichkeit und sozialen Aspekten

Aus den Untersuchungen und Bewertungen sollen Folgerungen für eine zukünftige Winterdienststrategie (Organisation, Einsatzplanung, Hilfsmittel) abgeleitet werden. Auf diesen Grundlagen sind auch Empfehlungen an die Betriebs- und die Wetterdienste zu formulieren.

Das an der Ausarbeitung des vorliegenden Forschungsberichtes beteiligte Team ist in der Tabelle 1-1 aufgeführt.

<b>Projektleitung</b>	<b>Dr. Beatrice Ruess, ARGE RUS - DRC</b>
<b>Stv. Projektleitung</b>	<b>Dr. Christian Holldorb, ARGE RUS - DRC</b>
Untersuchungen in drei Werkhöfen: Analyse Einsatzentscheid und Verwendung der aufgezeichneten Daten	Dr. Ch. Holldorb, DRC
Analyse von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur	Dr. Ch. Holldorb, DRC
Strassenwetterinformationssysteme	Dr. B. Ruess, RUS AG
Vergleich der Prognosegüte von Strassenoberflächenprognose	Urs. Keller, MeteoSchweiz
Kosten der Systeme	Dr. Ch. Holldorb, DRC
Nutzen der Systeme für Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Umwelt, Wirtschaftlichkeit, soziale Aspekte	Dr. B. Ruess, RUS AG

**Tabelle 1-1: Die Untersuchungen und das Bearbeitungsteam**

## Dank

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit und/oder verschiedene spezielle Fragen wurden mit den Vertretern der beteiligten Werkhöfe und Kantone sowie mit den Herren U. Keller, MeteoSchweiz, A. Mathis, AnyData AG und W. Schmid, MeteoRadar, diskutiert. Die Untersuchung "Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur" wurde mit Herrn P.-A. Brodard, Boschung Mecatronic AG, besprochen. Verschiedene Anregungen kamen auch aus dem Kreis der Begleitkommission "Winterdienst Geräte". Für alle wertvollen Hinweise und Ergänzungsvorschläge sowie den Mitarbeitern der beteiligten Werkhöfe und Kantone sei hier gedankt.

## 2. Allgemeines Vorgehen und Abgrenzung

Die Durchführung der Forschungsarbeit wurde in vier Phasen gegliedert. Um eine zielgerichtete Bearbeitung zu gewährleisten, stützt sich das Arbeitsprogramm auf unterschiedliche Methoden:

### Phase 1: Grundlagenbeschaffung, Analyse bestehender Systeme

Die neuesten nationalen und internationalen Literatur und Erfahrungsberichte wurden gesichtet und ausgewertet.

Expertengespräche zu den bestehenden Systemen in der Schweiz und im Ausland wurden durchgeführt. Stattgefunden haben verschiedene Gespräche u.a. mit Vertretern:

- des Werkhofs Sprengi (Kanton Luzern)
- des Werkhofs Bursins (Kanton Waadt)
- des Werkhofs Winterthur (Kanton Zürich)
- des Werkhofs Fribourg Nord (Kanton Fribourg)
- der MeteoSchweiz
- dem Bundesamt für Strassen
- des Road Directorate Dänemark
- der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung in Deutschland
- der Boschung Mecatronic AG

Schwerpunkt der Interviews waren die Dokumentation der vorhandenen Systeme (Aufbau, Funktionsweise, technische Komponenten etc.), die Erfahrungen mit ihrem Einsatz, vorgesehene künftige Entwicklungen sowie mögliche Schwachstellen und daraus abgeleitete Verbesserungspotentiale

### Phase 2: Aufstellen eines Untersuchungsprogramms, Durchführen und Auswertung der Untersuchungen

In der Phase 2 wurden auf der Grundlage der durchgeführten Interviews und der in der Schweiz implementierten Systeme die folgenden Untersuchungsschwerpunkte ausgewählt:

- Analyse des Einsatzentscheids in den drei Werkhöfen Sprengi, Winterthur und Fribourg Nord

- Analyse der Verwendung der aufgezeichneten Einsatzdaten in den drei Werkhöfen
- Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur im Werkhof Fribourg

Das detaillierte Arbeitsprogramm und das Vorgehen sind in den jeweiligen Kapiteln erläutert.

### **Phase 3: Begleitende Erhebungen und Untersuchungen**

Folgende begleitende Erhebungen wurden durchgeführt:

- . Vergleich der Prognosegüte von Strassenoberflächenprognose mit oder ohne Einbezug der Daten der Strassenwetterstationen im Hinblick auf eine verbesserte Strassenwetterinformation. Dabei werden die Strassenoberflächenprognosen im Bereich einzelner Stationen im Kanton Luzern mit denen im benachbarten Kanton Zug verglichen.
- Ermittlung der Kosten der eingesetzten Systeme: Die Investitions- und Betriebskosten der eingesetzten Mess- und Kommunikationssysteme wurden abgeschätzt: Basierend auf einer vernünftigen Beschaffungstranche wurden die Kosten für die Beschaffung und den Unterhalt der eingesetzten Systeme im Werkhof Winterthur und Sprengi ermittelt..
- Bewertung des Nutzens der Systeme unter Berücksichtigung von Verkehrssicherheit, Verkehrsfluss, Umwelt, Wirtschaftlichkeit und sozialen Aspekten: Beim Aspekt Verkehrssicherheit wurden vorhandene Daten zur Unfallstatistik auf dem Gebiet der betroffenen Werkhöfe gesammelt und ausgewertet. Bei unvollständigen Informationen, wurden Literaturangaben beigezogen und die Aussagekraft der Resultate erläutert. Die Bewertung basiert auf Kriterien und Indikatoren, die im Laufe der intensiven Interviews mit den Werkhofvertretern, ausgearbeitet wurden.

### **Phase 4: Analyse, Empfehlungen und Bericht**

In der Phase 4 wurden alle Auswertungsergebnisse und Erkenntnisse interpretiert. Die Kommunikationssysteme wurden unter Berücksichtigung der Randbedingungen und Voraussetzungen bewertet. Das Verbesserungspotential wird dargelegt.

Die Wirtschaftlichkeit der Kommunikationssysteme und der Kosten-Nutzen-Vergleich mit und ohne Kommunikationssysteme wurde im Sinne einer Entscheidungsgrundlage für den Einsatz der Systeme beschrieben und bewertet (Kapitel 7, 8 und 9).

Schlussendlich wurden Empfehlungen an die Verantwortlichen des Strassenwinter- und des Wetterdienstes abgegeben (Kapitel 10.1). Die zukünftige Entwicklung der Kommunikationssysteme wurde im Kapitel Entwicklungs- und Untersuchungsbedarf zusammengefasst (Kapitel 10.2).

### **3. Stand der Technik**

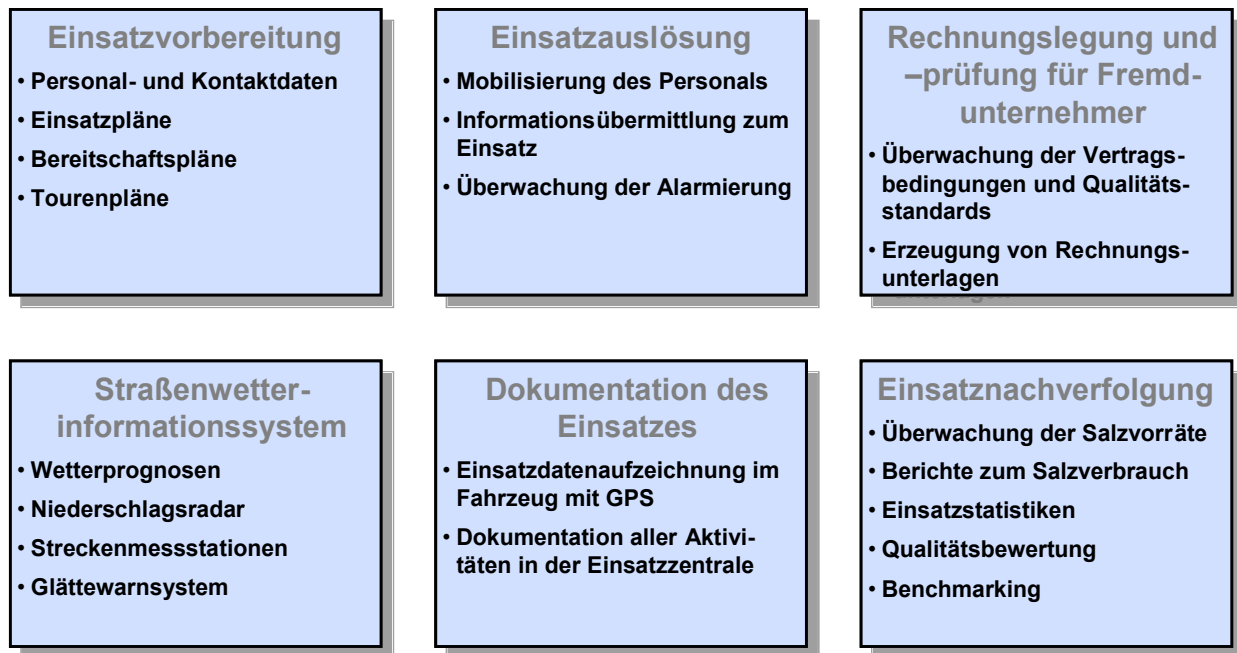
#### **3.1 Informations- und Kommunikationstechnologien für das Winterdienstmanagement**

Die Leitung und Organisation des Winterdienstes ist eine umfangreiche und komplexe Managementaufgabe, für die Informations- und Kommunikationswerkzeuge in vielfältiger Weise zum Einsatz kommen können. Eine eindeutige Unterteilung der eingesetzten Komponenten und Systeme ist nicht möglich, da die mit ihnen zu bewältigenden Aufgaben nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können. Generell lassen sich die Systeme nach folgenden Komponenten klassifizieren:

1. Komponenten, die die Optimierung der Einsatzentscheidung zum Ziel haben
2. Komponenten, die die Einsatzdurchführung und –dokumentation unterstützen
3. Komponenten, die zur Einsatzvorbereitung bzw. –nachverfolgung dienen

Zu ersten Gruppe zählen insbesondere alle Systeme, die Mess- und Prognosedaten zu Witterung und Straßenzustand zur Verfügung stellen, d.h. Wetterprognosen und Streckenmessstationen. Diese Komponenten dienen im wesentlichen der Information und Alarmierung der Einsatzleitung. In der zweiten Gruppe lassen sich alle Komponenten zusammenfassen, die durch die Einsatzleitung für die Steuerung des konkreten Einsatzes genutzt werden oder die die Dokumentation des Einsatzes bzw. die Nutzung der dokumentierten Einsatzdaten beinhalten. Ergänzt werden diese beiden Gruppen durch Komponenten, die ihren Schwerpunkt nicht auf dem konkreten Winterdiensteinsatz, sondern im Vorfeld oder der Nachbetrachtung haben.

Eine differenziertere Aufgliederung enthält Abbildung 3-1. Sie ist so strukturiert, dass links die Komponenten stehen, die die Informationsgrundlagen für den Einsatz liefern. Die Komponenten in der Mitte sind unmittelbar während des Einsatzes relevant, die Komponenten rechts nutzen die während des Einsatzes erfassten Daten. Ergänzend zu den dargestellten Komponenten sind Systeme zu berücksichtigen, die den Winterdiensteinsatz im Fahrzeug unmittelbar beeinflussen, indem sie Daten für die Gerätesteuerung bereitstellen, z.B. die temperaturabhängige Streudichteeinstellung.



**Abbildung 3-1: Komponenten eines Winterdienstmanagementsystems, nach HOLLDOB [2006]**

Im nachfolgenden Kapitel werden die in der Schweiz eingesetzten Systeme beschrieben, wobei nach drei Bereichen differenziert wird:

1. Straßenwetterinformationssystemen
2. Einsatzleitung, d.h. Einsatzvorbereitung und Einsatzauslösung
3. Einsatzdokumentation, einschließlich Nutzung der dokumentierten Einsatzdaten

Wesentliche Bereiche der Datenkommunikation sind vor allem die Übertragung von Daten und Informationen zwischen Meisterei und Einsatzfahrzeug (Alarmierung und Einsatzdaten), zwischen meteorologischen Diensten bzw. Winterdienstzentralen und den Meistereien (Witterungs- und Straßenzustandsdaten) sowie zwischen den Streckenmessstationen und den Winterdienstzentralen (Messdaten zum Straßenzustand). Im einzelnen sind diese Kommunikationsschnittstellen stark systemabhängig und auch durch die Organisationsstruktur geprägt.

### 3.2 Systeme in der Schweiz

In der Schweiz sind auf dem Autobahnnetz nach Auskunft von MeteoSchweiz folgende Wetter- und Straßenzustandsinformationssysteme implementiert:

- System Micks: Zürich, Glarus (St. Gallen und Schwyz teilweise dabei)

- System Vaisala: Luzern, Obwalden, Berner Oberland (Interlaken-Brünig), Berner Jura (Chavannes)
- System Boschung: alle anderen Kantone (z.B. Fribourg, Bern, Tessin, Nidwalden)
- Keine Straßenzustandsinformationssysteme: Baselstadt, Jura, Graubünden

Einige Kantone haben auf ihrem Gebiet keine Autobahnen.

### **3.2.1 Straßenwetterinformationssysteme**

#### **Straßenwetterprognosen**

Das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) bietet verschiedene Wetter- und Straßenzustandsprognosen an und gibt bei kritischem Wetter Alarmwarnungen heraus. Zur Zeit betreibt MeteoSchweiz mehrere Bodenmessnetze: das ANETZ (automatisches Messnetz von 72 Stationen mit hoher Verfügbarkeit für den Grundbedarf), das ENET (Ergänzungsmessnetz von 44 Stationen vor allem für die Wind- und Lawinenwarnung), das Klima konv. (konventionelles Klimanetz von 25 Stationen) und das AERO Netz (spezielle Augenbeobachtungen).

Die allgemeinen Straßenwetterprognosen künden Schneefälle und Glatteis für zwölf Klimaregionen in der Schweiz ein bis zwei Tage im Voraus an. Die Aktualisierung erfolgt zwischen 1. November und 30. April täglich um 14.00 Uhr. Darüber hinaus sind verschiedene Verfeinerungen der Prognosen oder des Rhythmus der Prognosen möglich:

- Straßenwetterprognosen pro Klimaregion 2x am Tag (Beispiel Kanton Zürich)
- Straßenwetterprognosen öfters wiederholt, sobald die Temperaturabweichung grösser als 1.5°C ist (Kanton Luzern)
- Verfeinerung der Klimaregionen im Hinblick auf eine genauere Prognose (Beispiel Kanton Luzern mit 9 Klimaregionen und Kanton Zürich mit 5 Klimaregionen)
- Verfeinerung der Klimaregionen im Hinblick auf eine genauere Prognose und als Anpassung an die Unterhaltsregionen (Beispiel SWIS-Prognosen in vielen Kantonen der Schweiz)

Die Wetterprognose muss man weiterhin nach Klimaregionen aufteilen, wobei die Klimaregion nicht immer bei der Kantongrenze aufhört. Im Hinblick auf eine bessere Prognose müssen die aktuellen Klimaregionen noch verfeinert werden. Für den Kanton Zürich wurde eine solche Verfeinerung bereits durchgeführt.

Im Kanton Luzern fließen ausgewählte Messdaten der Straßenwetterstationen in die Straßenzustandsprognose von MeteoSchweiz ein. MeteoSchweiz bekommt die Werte der als Wetterstation ausgerüsteten GMA und macht eine 24 Std-Prognose aufgrund der Messdaten der Stationen und des Wettermodells. Die 24 Std-Prognose gibt Auskunft über Niederschlag, Wind, Bedeckung, Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Fahrbahnoberflächentemperatur und Straßenzustand. Der Einbezug der lokalen Wetterdaten der Straßenwetterstationen führt zu einer deutlichen Verbesserung der Prognose. Um diese Verbesserung zu dokumentieren, wird im Rahmen dieses Forschungsauftrags ein Vergleich zwischen der Prognosegenauigkeit mit und ohne Einbezug der Straßenwetterdaten gemacht (siehe Kapitel 6).

Im Kanton Zürich wird bisher (Winter 2005/2006) durch das System Micks eine Straßenzustandsprognose durch Extrapolation der Kurve der Fahrbahntemperatur (1.5h-Prognose) generiert.

Im Kanton Fribourg kommt das System SWIS (Boschung) zum tragen. Die Daten der GMA werden der MeteoSchweiz über das Boschung System übermittelt und die Prognose von MeteoSchweiz wird wiederum den Werkhöfen via Boschung System zur Verfügung gestellt (Straßenzustands- und Wetter-Informationen-System, SWIS). Aufgrund des Ist-Werts der GMA und der Wetterprognose von MeteoSchweiz generiert das System eine Fahrbahntemperatur-Prognose durch Extrapolation der Kurve (2h-Prognose) oder durch ein Energiebilanzmodell (6h-Prognose; Alternative gegen Aufpreis).

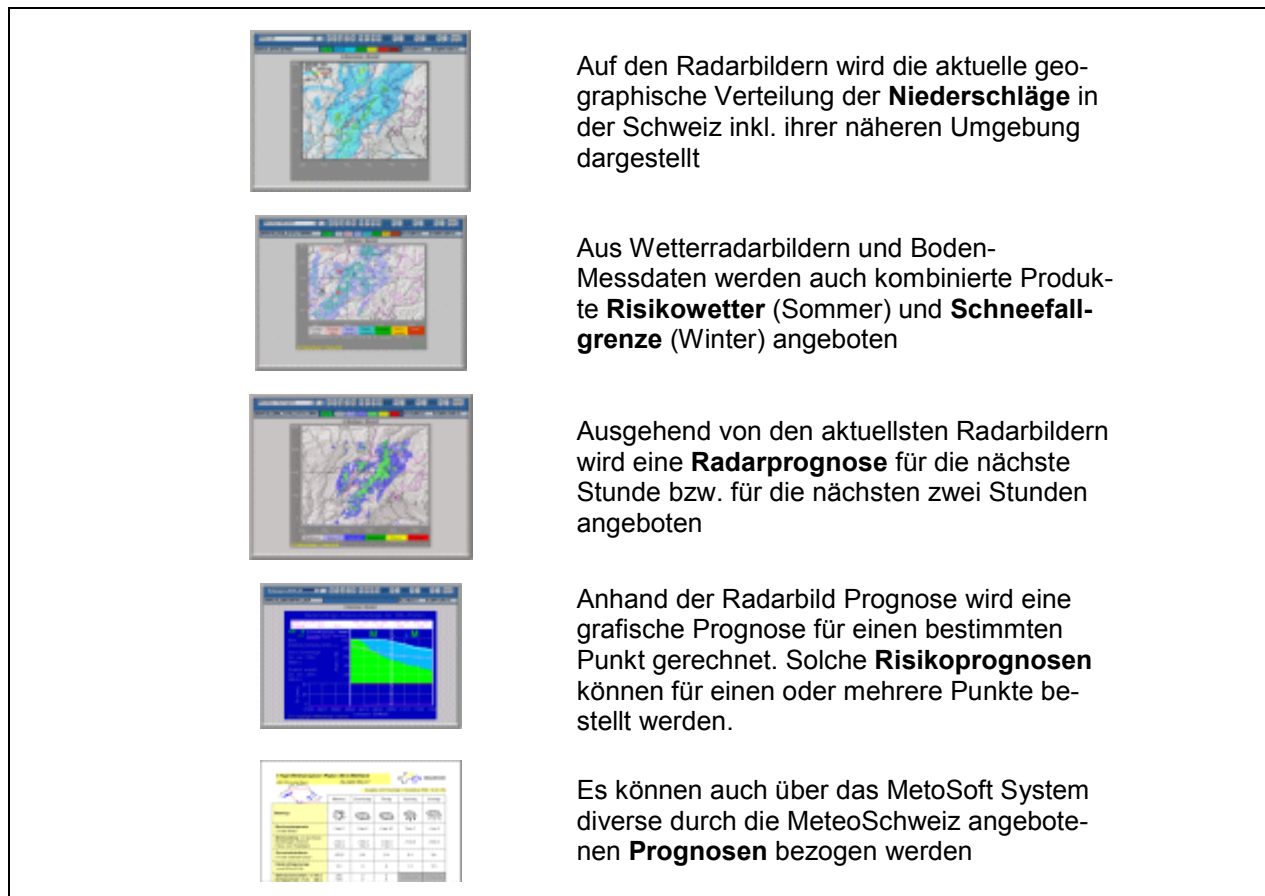
Bisher haben Schnittstellenprobleme die Vereinheitlichung der Straßenwetterprognosen in der Schweiz erschwert. Das System vom Kanton Luzern war bisher bei MeteoSchweiz auf separatem PC installiert. Es war nicht kompatibel mit den anderen Systemen bei MeteoSchweiz (Boschung). Für den Winter 2007/2008 entwickelt MeteoSchweiz ein neues Energiebilanzmodell, welches momentan in der Testphase ist. Das Ziel besteht darin, allen Kantonen, die mit GMA ausgerüstet sind, die gleiche Qualität von Prognosen liefern zu können. Referenz dafür ist das bewährte Prognosemodell, welches im Kanton Luzern implementiert ist.

## **Radarprognosen**

Im Werkhof Sprengi (Kanton Luzern) werden als weiteres Instrument für die Wetterbeurteilung das MeteoSoft-System mit Wetter- und Niederschlagsradar (2h Prognose des Niederschlags) und verschiedenen spezifischen Produkten intensiv genutzt. Auch im Kanton Zürich wird dieses Überwachungsinstrument eingesetzt.

Das heutige MeteoSoft ist ein System zur aktuellen Wetterüberwachung, welches in einem speziellen Betrachterfenster verschiedene Daten-Typen (Satellitenbilder, Wetterradarbilder,

ANETZ Boden-Messdaten etc.) zur Überprüfung anbietet. Das MeteoSoft System ist ein Produkt der Zusammenarbeit zwischen den Firmen MeteoSchweiz, MeteoRadar und MeteoSoft. Die Software erlaubt es den Werkhöfen, im eigenen EDV-Netz (Intranet) oder vom eigenen PC oder Laptop Wetterdaten zu bekommen, wie Radar, Satellitenbilder, Anetzdaten, oder auch z.B. im Kanton Zürich die Wetterprognose, die MeteoSchweiz sendet. (Abbildung 3-2).



**Abbildung 3-2: Die Produkte und Prognosen vom System MeteoSoft (Quelle Website [www.MeteoSoft.ch](http://www.MeteoSoft.ch))**

MeteoSoft bietet ein modernes, umfassendes Überwachungs- und Meldesystem. Es zeigt die aktuelle Wetterentwicklung und kommende Unwetter. Es liefert laufend aktualisiert verschiedene Prognosen und Produkte an. Anhand der Radarbild-Prognose werden alle fünf Minuten standortabhängige Risikofaktoren für die folgenden 1 bis 2 Stunden neu berechnet, die auf Wunsch auf ein Mobiltelefon übermittelt werden können [SCHMID ET AL, 2002].

In Fribourg werden die Wetter- und die Niederschlagsradarprognose über das System Commet bezogen. Dieses System bietet vor allem eine grossräumige Übersicht.

## **Bewölkungsprognose**

Im Kanton Luzern wird zudem als wichtiges Element einer Straßenprognose auch eine Bewölkungsprognose in das System integriert. Diese Prognose ist beispielsweise wichtig, wenn in der Nacht die Bewölkung aufreißt und dadurch ein Temperatursprung auf der Fahrbahn entsteht. Diese Prognose wird von MeteoRadar erstellt und basiert auf der nächtlichen Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur auf 2 m Höhe und der Messung auf 5 cm über Boden oder der Strassenoberfläche.

## **Verbessertes Straßenprognosemodell**

Ziel der Entwicklungsarbeiten bei MeteoSchweiz ist es, ein verbessertes Straßenzustandsmodell für die ganze Schweiz zu entwickeln unter Einbezug der vorhandenen GMA.

Im Modell müssen die Temperatureigenschaften des Untergrunds ebenfalls erfasst werden. Dabei ist die Lage der Sonden in der Fahrbahn entscheidend. Die Boschung-Sonden haben andere Eigenschaften als die Vaisala-Sonden. Insbesondere haben die Boschung-Bodensonden nur optional eine Temperaturmessung im Belagsinnern integriert.

Der Kanton Luzern braucht ein zuverlässiges Prognosemodell. Ihr Winterdienstmanagementsystem ist davon abhängig. Dabei ist die Oberflächentemperatur-Prognose in der Nacht von zentraler Bedeutung. Im Kanton Zürich ist das System momentan auf den Ist-Wert der GMA ausgerichtet. Aufgrund des Ist-Werts der Fahrbahntemperatur wird die Alarmierung ausgelöst. Das sind zwei unterschiedliche Ansätze. MeteoSchweiz arbeitet daran eine Prognose für beide Ansätze zu erstellen.

Aus der Sicht von MeteoSchweiz wäre eine Erfolgskontrolle der beiden Philosophien gefragt: "Wenn man ein Instrument hat, um z.B. 5 Stunden im voraus die genaue Straßentemperatur vorauszusagen, dann hat man einen Vorsprung. Dadurch bekommt man die Verkehrssicherheit sicherlich besser in Griff" (mündl. Aussage U.Keller, MeteoSchweiz). In der vorliegenden Studie wird diese Frage speziell behandelt.

## **Stationäre Erfassung des Straßenzustands**

Das Straßenwetterinformationssystem im Kanton Luzern besteht aus verschiedenen Komponenten. Die wichtigsten sind nachfolgend aufgelistet (Tabelle 3-1):

<b>Straßenwetter- informations- system Kanton Luzern</b>	Prognose 24 Stunden für den Kanton Luzern (MeteoSchweiz) Prognose 24 Stunden auf die 9 Klimaregionen (MeteoSchweiz) Thermal Mapping: Ist-Wert und Prognose (24 Std) Kurzfristige Prognose 3 Stunden: Vaisalamodell Raincast (MeteoSoft): Niederschlagsanimation und Risikoanalysen auf 2 Stunden Anetzdaten über die Schweiz Klimagebiet mit 9 Klimazonen 52 Wetterstationen liefern alle 15 Minuten Wetterdaten und Straßenzustandsdaten (9 Stationen auf dem Autobahnnetz) IceCastViewer: Übersichtliche Darstellung aller Wetterdaten und Prognosen auf der gleichen Bedieneroberfläche
--	--

**Tabelle 3-1:        Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Luzern**

Nebst der 24h-Prognose von MeteoSchweiz liefern auch die Wetterstationen laufend die 3-Stunden-Prognose, welche die Entscheidung sicherer macht.

Im Kanton Zürich (Werkhof Winterthur) enthält das Straßenwetterinformationssystem folgende Komponenten (Tabelle 3-2):

<b>Straßenwetter- informations- system Kanton Zürich</b>	Prognose 24 Stunden für den Kanton Zürich (MeteoSchweiz) Prognose 24 Stunden auf die 5 Klimaregionen (MeteoSchweiz) Kurzfristige Prognose 1.5 Stunden: Micksmodell (nur Extrapolation) Raincast (MeteoSoft): Niederschlagsanimation und Risikoanalysen auf 2 Stunden Anetzdaten über die Schweiz Klimagebiet mit 5 Klimazonen 58 Messstationen davon 11 für den Werkhof Winterthur Darstellung aller Wetterdaten und Prognosen auf der gleichen Bedieneroberfläche
--	---

**Tabelle 3-2:        Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Zürich**

Die Einsatzentscheidung erfolgt aufgrund der Wetterprognose von MeteoSchweiz und den Ist-Werten der Glättemeldeanlagen.

Im Kanton Fribourg (Werkhof Fribourg Nord) kommen folgende Komponenten eines Straßenwetterinformationssystems zum Einsatz (Tabelle 3-3):

<b>Straßenwetter- informations- system Kanton Fribourg</b>	Prognose 24 Stunden für West-Schweiz (MeteoSchweiz) 24-Stunden Prognose (Boschung) Kurzfristige Prognose 2 Stunden: Boschungmodell Extrapolation Wetterradar (Commet): Temperatur, Wind, Niederschlagsanimation auf 2 Stunden, Bewölkungsanimation (geringe Auflösung) 24-Std-Meteogramm Fribourg-Nord (Commet) Anetzdaten über die Schweiz 30 Messstationen davon 10 für den Werkhof Fribourg Nord zzgl. 3 zur Überwachung der Taumittelsprühanlage Darstellung aller Wetterdaten und Prognosen auf verschiedenen Bedieneroberflächen
--	---

**Tabelle 3-3: Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Fribourg**

In Fribourg stützt sich der Einsatzentscheid zum grossen Teil auf die Alarme der Glättemeldeanlagen. Gleichzeitig werden aber auch die Radarbilder, die Satellitenbilder und die Wetterprognosen (vor allem Commet) angeschaut.

Eine typische Situation, bei welcher ausgerufen wird, ist eine Alarmstufe 2 vom System (bei sinkender Temperatur Glatteis-, Reif-, Frost- oder Schneeglätte-Gefahr). Der Verlauf der GMA- und Lufttemperaturen wird kontrolliert.

Der Entscheid ist hingegen schwierig, wenn z. B. ein Alarm der Stufe 2 eintrifft, aber die Temperatur gleich bleibend ist oder wenn es in Fribourg schneit, aber im Straßennetz kein Alarm kommt (Verkehrsdichte, genug Salz auf der Fahrbahn). Nach Auskunft eines Werkhof-Vertreters wird in 80 % der Fälle aber ausgerufen, wenn eine Alarmierung stattfindet.

### **Meteokriterien für den Einsatz**

In Winterthur und in Fribourg Nord gibt es keinen Standard, der die Meteokriterien definiert, bei welchen die Intervention stattfinden soll.

Im Werkhof Sprengi sind die Meteokriterien oder Einsatzkriterien genau definiert. Dabei werden die zu beachtenden Daten (Vorhersagegrafik, Raincast, Thermal Mapping, Wetterstationen, Restsalzmenge) mit Angabe von Kenngrößen, die in jedem Fall genau festgehalten werden, definiert (s. Tabelle 3-4, Beispiel in Abbildung 3-3, s. Abbildung 3-4).

<b>Einsatzkriterien (Meteokriterien) Werkhof Sprengi</b>	EK 1: Aufhellung = Eisglätte EK 2: Frost = Reifglätte EK 3: Raureif = Glatteis EK 4: Tauwasser = Eisglätte EK 5: Tauwasser = Glatteis EK 6: Herabfallen von Reif = Glatteis EK 7: Strahlungsnebel = Glatteis EK 8: Nieselregen aus Nebel = Glatteis EK 9: Kaltfront aus West/Nordwest mit Niederschlag = Schneeglätte EK 10: Kaltfront aus Nord/Nordosten mit Niederschlag = Schneeglätte EK 11: Warmfront West/Südwest/Nordwest mit Niederschlag = Glatteis EK 12: Industrieschnee = Schneeglätte EK 13: Schneeverwehrung = Schneeglätte
--	---

**Tabelle 3-4: Entscheidungskriterien (Meteokriterien) für den Einsatz im Werkhof Sprengi**

### **Abschnittsbezogene Prognosen (Thermal Mapping)**

Mit dem Thermal Mapping (Temperaturprofil der Fahrbahn) wurden im Kanton Luzern die Standorte der Klimawetterstationen, die repräsentativ für eine Klimaregion sind, bestimmt. Das Thermal Mapping wird im Kanton Luzern alle 10 (1993 und 2003) Jahre wiederholt. Der bekannte Lothar-Sturm hat es beispielsweise verändert.

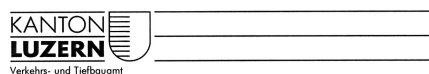
Dank der verfeinerten Klimaregionen, der Referenz-Station pro Klimaregion und dem Thermal Mapping kann im Winter die Fahrbahntemperatur auf die ganze Klimaregion extrapoliert und angezeigt werden. Somit ist die Oberflächentemperatur in der ganzen Region bekannt. Dasselbe wird auch durch Verknüpfung der Prognose mit dem Thermal Mapping gemacht. Die Fahrbahntemperaturprognose auf dem ganzen Straßennetz ist damit sichtbar. Dafür muss aber die Referenz-Klimawetterstation mittels Thermal Mapping an einem repräsentativen Standort platziert sein.

Im Werkhof Sprengi wird der Entscheid aufgrund der Wetterprognose, aber auch aufgrund der aktuellen Werte der Messstationen und des Thermal Mappings (Ist- und Prognosewerte) gefällt.

### **Weitergabe von Warnungen an benachbarte Zentralen**

Die MeteoSchweiz gibt von ihren Regionalzentralen Zürich, Genf und Locarno Warnmeldungen aus, wenn markante oder überraschende Schneefall- und Vereisungssituationen eintreten. Diese Warnungen werden bei Bedarf zu jeder Tages- und Nachtzeit mittel Fax an die Polizei-

Einsatzzentralen der Kantone und von da an die Unterhaltsdienste oder via SMS direkt aufs Mobiltelefon des Einsatzleiters vermittelt.



**Winterdienst:  
Entscheidungskriterien WDL**

3.

## Rauhreif = Glatteis

**Prognose** : Allgemeine Lage: Schönwetter mit Hochdruck  
(Zwischenhoch)  
Flache Druckverteilung  
Wind: schwach bis mässig  
Nebel oder Nebelrandgebiet

**Nebel oder Nebelrandgebiet:**  
Wind: < 5 Km  
Lufttemperaturen allgemein < -2C  
Hohe Luftfeuchtigkeit > 90%  
Nebelfrost  
Nebelrandgebiet

**Vorhersagengraphik:** Frost

**TermalMapping:** < -4°C  
Strahlungsverhältnisse: mittel, bedeckt (Nebel)

**Wetterstationen:** Ausscheiden von Feuchtigkeit (Niederschlag leicht)  
Fahrbahnoberflächentemperatur < 0°C

**Glatteis**

**Einsatz nötig**

**Meistens weitere Einsätze nötig.**

**Rauhreif:**  
Form von Nebelfrostablagerung, entstehend aus unterkühlten Nebeltröpfchen, meist dünne, an Gegenständen nur locker haftende und zerbrechliche Eisnadeln oder Eisschuppen.  
Sublimation → Direkte Uebergang vom gasförmigen in den festen Zustand. Dampfphase in die Eisphase.

**Abbildung 3-3: Beispiel Entscheidungskriterium 3. Rauhreif = Glatteis, Kanton Luzern (Auszug aus Winterdienst, Entscheidungsgrundlagen für den Winterdienstleiter, Kanton Luzern, 20.08.2003)**

Im Kanton Luzern werden eigene Warmmeldungen vom zentralen Werkhof für das Autobahn- und das Kantonsstraßennetz herausgegeben. Die Daten werden auch den Gemeinden zu Verfügung gestellt. Der Kanton Zürich möchte in Zukunft auch eine eigene zentrale Wetterwarnstelle für Autobahnen und Kantonsstraßen einrichten.

MeteoSchweiz erstellt die Warnungen gesamtschweizerisch für 17 Regionen. Jeder Kanton wird separat avisiert. Aus der Sicht von MeteoSchweiz ist die Weitergabe von Warnungen an

benachbarte Zentralen nicht notwendig, da diese Zentralen auch von MeteoSchweiz bedient werden.



**Abbildung 3-4: Kantonsstrasse bei Litzhut, Rauhreifsituation (Kanton Luzern, Foto H.-R. Stadelmann, 11.06.2006)**

Wenn ein Kanton aber reichlich mit GMA ausgestattet ist und ein Nachbarkanton nur wenige hat, dann kann es Situationen geben, bei welchen eine solche Weitergabe von Warnungen sinnvoll ist. MeteoSchweiz kann beispielsweise Eisregen vorhersagen, die GMA ermitteln aber dessen Dauer und Intensität. In einem solchen Fall ist die Weitergabe der Alarme sicherlich zu empfehlen.

### **3.2.2 Einsatzauslösung und -leitung**

#### **Einsatzauslösung**

Da der Winterdienst in der Schweiz in der Regel dezentral durch die Werkhöfe organisiert wird, ist der Einsatzleiter nur für eine überschaubare Anzahl von Winterdienstfahrzeugen verantwortlich. Die Einsatzauslösung erfolgt in der Regel über Telefon, Mobiltelefon oder vereinzelt über Pager-Systeme, z.B. im Kanton Fribourg. Aufgrund der begrenzten Anzahl der Winterdienstfahrer, die durch einen Einsatzleiter gerufen werden müssen, sind die Fahrer in der Regel innerhalb weniger Minuten über einen Einsatz informiert. Die notwendigen Informationen über die in Bereitschaft befindlichen Fahrer und ihre Erreichbarkeit stehen dem Einsatzleiter in Einsatz- und Bereitschaftsplänen sowie Adresslisten zur Verfügung. Die Einsatzauslösung wird in der Regel nicht automatisch, sondern – wenn überhaupt – manuell in Listen protokolliert.

Bei Information über Telefon oder Mobiltelefon ist eine explizite Rückmeldung über den Empfang der Einsatzmeldung nicht notwendig. Bei Pagersystemen wie im Kanton Fribourg kann der Empfang der Nachricht bestätigt werden, so dass der Einsatzleiter sicher sein kann, dass die Winterdienstfahrer mobilisiert sind.

Im Kanton Luzern erfolgt die Einsatzauslösung über ein WAP-fähiges Natel; hierbei werden auch auf Grundlage definierter Entscheidungskriterien Informationen zur Einsatzart und zur empfohlenen Streudichte übertragen. Einsatzauslösung und –quittierung sind Komponenten eines umfassenden Managementsystems, mit dem im Kanton Luzern der Winterdienst zentral gesteuert wird. Hierin werden auch alle wesentlichen Kontaktdaten der Winterdienstfahrer verwaltet, die Alarmierung erfolgt durch Auswahl der entsprechenden Routen. Die weitere Alarmierung wird dann automatisch durch das System durchgeführt. Der Fahrer muss den Empfang der Nachricht quittieren. Einsatzauslösung und Empfangsbestätigungen werden in einem elektronischen Logbuch dokumentiert. Somit wird der Einsatzleiter, der für ein größeres Einsatzgebiet verantwortlich ist, von Routinetätigkeiten entlastet. Gleichzeitig hat er jedoch die Verantwortung für die Einsatzauslösung inne.

Im Kanton Luzern wird in einem weiterführenden Projekt derzeit untersucht, inwieweit auch die Einsatzentscheidung und –auslösung automatisiert werden kann. Grundlage hierfür sind die umfangreichen Informationen zu Witterung und Straßenzustand, aus denen die Einsatzkriterien automatisch abgeleitet werden sollen.

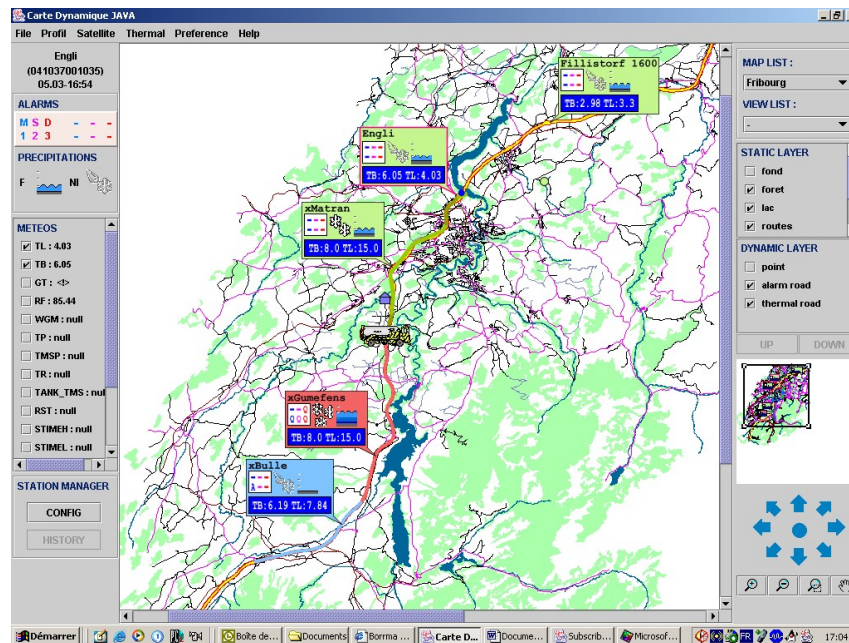
### **Einsatzleitung**

Während des Winterdiensteinsatzes erhält der Einsatzleiter die notwendigen Informationen zum Einsatz in der Regel über Betriebsfunk oder Mobiltelefone. Systeme zur fortlaufenden, automatischen Einsatzdatenübermittlung während des Einsatzes sind in der Schweiz bisher nicht im regulären Einsatz.

Im Kanton Luzern werden die wesentlichen Informationen zum Einsatz (Zeitpunkt Beginn und Ende, Streumenge, gestreute Fläche, Fahr-km, Streu-km, Räum-km) unmittelbar nach Einsatzende als SMS an die Einsatzleitung übertragen und im Winterdienstmanagementsystem automatisch protokolliert. Daten zu den Einsätzen selbst werden nur zweimal monatlich an die Einsatzzentrale übermittelt.

Im Winter 2005/2006 wurde im Werkhof Fribourg das System BORRMA-web von Boschung installiert, mit dem die Einsatzdaten auch während des Einsatzes fortlaufend in einer Übersichtskarte angezeigt werden können (s. Abbildung 3-5). Es werden zwar alle Einsatzdaten im Winterdienstfahrzeug detailliert aufgezeichnet, allerdings werden online nur die wesentlichen

Einsatzdaten (Position, Geräteinsatz) in ausgewählten Intervallen, z.B. alle zehn Minuten, oder auf Anforderung über das Mobilfunknetz übertragen. Die detaillierten Einsatzdaten werden erst nach Einsatzenende aus der Speicherkarte ausgelesen, um so die Kommunikationskosten zu reduzieren.



**Abbildung 3-5:** Darstellung der aktuellen Position des Einsatzfahrzeugs gemeinsam mit den Daten der Glättemeldeanlagen in einer Übersichtskarte mit dem System BORRMA-web [BRODARD 2004]

### 3.2.3 Einsatzdokumentation

Häufig werden die durchgeführten Einsätze in Einsatzprotokollen handschriftlich durch das Einsatzpersonal dokumentiert. Hierbei werden mehr oder minder detailliert Zeitraum, gefahrene Strecke und Einsatzparameter aufgelistet. Für einen präzisen Einsatznachweis, z.B. bei Unfällen, sind diese Daten in der Regel zu ungenau bzw. unsicher, auch wenn ergänzende Daten, wie Tachographenscheiben oder die Protokollierung des Einsatzleiters herangezogen werden. Präzise Daten zu den durchgeführten Winterdiensteinsätzen für innerbetriebliche Auswertungen, Statistiken und Wirtschaftlichkeitsvergleiche können hiermit nicht ermittelt werden, so dass pauschale Annahmen zugrunde gelegt werden müssen. Auch für die leistungsorientierte Abrechnung von Nachunternehmern können diese Daten nicht herangezogen werden, so dass die Abrechnung auf Basis der protokollierten Einsatzzeiten erfolgen muss.

In einzelnen Kantonen, z.B. Luzern oder Fribourg, werden die Einsatzdaten automatisch aufgezeichnet. Hierbei werden während des Einsatzes alle wesentlichen Einsatzdaten detailliert und automatisch erfasst. Die Positionsbestimmung erfolgt entweder durch die manuelle Bestä-

tigung von Referenzpunkten, z.B. in der Vergangenheit im Kanton Luzern, oder mit Hilfe des Satellitennavigationssystems GPS, was bei neueren Systemen Stand der Technik ist. Während des Einsatzes werden im wesentlichen Daten zum Pflugeinsatz, zur Pflugstellung zum Streugeräteinsatz, zur Streubreite sowie zur ausgebrachten Streustoff- und Solemenge erfasst. Aufgezeichnet werden alle Änderungen der Einsatzdaten zusammen mit Zeitpunkt und Position des Fahrzeugs, wenn diese mit GPS erfasst werden. Die Einsatzdaten werden im Einsatzfahrzeug auf einer Speicherkarte festgehalten, die nach Einsatzende im Werkhof ausgelesen werden kann. Mit Hilfe der archivierten Einsatzdaten lassen sich detaillierte Einsatzprotokolle (s. Abbildung 3-6) ausdrucken. Bei entsprechender Softwareunterstützung, wie sie z.B. im Kanton Fribourg installiert ist, können die aufgezeichneten Daten auch grafisch in einer Karte angezeigt werden.

Die detaillierten Einsatzdaten werden in erster Linie zum objektiven Einsatznachweis bei Unfällen oder anderen winterlichen Ereignissen benötigt. Zum anderen können sie für die Qualitätskontrolle des durchgeführten Einsatzes – sowohl bei eigenem Personal als auch bei den Fahrern von Fremdunternehmern – genutzt werden, wie es im Kanton Luzern erfolgt.

## Ereignisliste

<b>Einsatzstart</b>	19.12.2005 21:42:40	<b>Fahrer</b>	██████████	<b>Fahrzeug</b>	Mercedes 0400	<b>S-Produkt1</b>	Salz
<b>Einsatzende</b>	19.12.2005 23:16:34			<b>Fahrzeugnr.</b>	FR 151017	<b>flüssiges S-</b>	Sole
<b>Dauer</b>	1:33:54			<b>Zentrum</b>	CE Fribourg-Nord		
<b>TOR</b>	Schmidt DST 0400.1						

Ereignis	Status	Zeitpunkt	Dist. [m]	Breite[deg-dec]	Länge[deg-dec]	Geschwindigkeit [km/h]	Verteilung							
							Breite [m]	Dichte S-Produkt1 [g/m <sup>3</sup> ]	Dichte flüssiges S-Produkt [g/m <sup>3</sup> ]	Dist. S-Produkt1 [m]	Dist. flüssiges S-Produkt [m]	Menge S-Produkt1 [kg]	Menge flüssiges S-Produkt	
██████████	+	21:42:40	0.0	46.82725	7.14919	7								
Streu/Pflugfahrt	+	21:42:40	0.0	46.82725	7.14919	7								
Schmidt DST 0400.1	+	22:05:47	36.0	46.82714	7.14894	0	5.0	48.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		22:05:49	36.0	46.82714	7.14894	0	4.0	32.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		22:05:51	36.0	46.82714	7.14894	0	5.0	32.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schmidt DST 0400.1	-	22:05:57	36.0	46.82714	7.14894	0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Schmidt DST 0400.1	+	22:06:01	36.0	46.82714	7.14894	0	5.0	32.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		22:07:08	53.0	46.82666	7.14821	3	5.0	48.0	12.0	18.0	18.0	2.88	0.72	
		22:07:16	60.0	46.82650	7.14833	1	5.0	32.0	8.0	30.0	30.0	5.76	1.44	
Schmidt DST 0400.1	-	22:08:05	206.0	46.82714	7.14857	2	5.0	0.0	0.0	178.0	178.0	29.44	7.36	
Schmidt DST 0400.1	+	22:08:07	214.0	46.82714	7.14857	0	5.0	32.0	8.0	178.0	183.0	29.44	7.36	
Schmidt DST 0400.1	-	22:08:15	214.0	46.82723	7.14834	0	5.0	0.0	0.0	196.0	201.0	32.32	8.08	
Schmidt DST 0400.1	+	22:08:17	214.0	46.82723	7.14830	0	5.0	32.0	8.0	196.0	229.0	32.32	8.08	
Schmidt DST 0400.1	-	22:09:22	392.0	46.82607	7.14665	6	5.0	0.0	0.0	356.0	389.0	57.92	14.48	
Schmidt DST 0400.1	+	22:09:29	406.0	46.82558	7.14630	12	5.0	32.0	8.0	356.0	451.0	57.92	14.48	
Schmidt DST 0400.1	-	22:09:31	461.0	46.82540	7.14632	11	5.0	0.0	0.0	385.0	480.0	62.56	15.64	
Schmidt DST 0400.1	+	22:09:33	467.0	46.82519	7.14633	8	5.0	32.0	8.0	385.0	542.0	62.56	15.64	
Schmidt DST 0400.1	-	22:10:01	840.0	46.82321	7.14291	56	5.0	0.0	0.0	742.0	899.0	119.68	29.92	
Schmidt DST 0400.1	+	22:10:05	890.0	46.82299	7.14232	22	5.0	32.0	8.0	742.0	1138.0	119.68	29.92	
Schmidt DST 0400.1	-	22:11:23	2139.9	46.81327	7.13837	57	6.0	0.0	0.0	1932.0	2328.0	310.08	77.52	

**Abbildung 3-6: Detaillierte Einsatzdokumentation mit Hilfe automatisch erfasster Einsatzdaten, Beispiel Werkhof Fribourg-Nord**

Neben der Analyse des einzelnen Einsatzes ermöglicht die automatische Einsatzdatenaufzeichnung auch die Zusammenstellung von Übersichtslisten über alle Einsätze eines Zeitraums. Diese können sowohl für Auswertungen über den Umfang der durchgeführten Winterdiensteneinsätze als auch zur Abrechnung der Fremunternehmer (s. Abbildung 3-7) genutzt werden.

Report Unternehmenssumme  
November 04  
Firmenname

geplanter	Streustr.	Datum	Tag	Auftragsb	Beginn	Beendet	Einsatz Art	Einsatz Std.	Zuschläge				LSVA Km	
									Nacht/SA min	Sonntag min	Weg Anzahl	Pflug Anzahl		
	440	07.11.04	So	23:55	0:19	2:01		3.00	102			1		42
	440	08.11.04	We	6:34	6:53	8:29		3.00	7			1		43
	440	09.11.04	We	18:30	17:43	19:35		3.00	95					43
	440	10.11.04	We	21:48	22:18	0:18		3.00	120			1		43
	440	11.11.04	We	5:06	5:39	7:12		3.00	81			1		43
	440	11.11.04	We	18:03	18:29	20:26		3.00	117			1		43
	440	12.11.04	We	19:53	20:16	22:00		3.00	104			1		43
	440	13.11.04	Sa	9:17	9:39	11:25		3.00	106			1		43
	440	13.11.04	Sa	16:30	17:02	18:57		3.00	58	57		1		43
	440	14.11.04	So	0:39	1:09	2:59		3.00		110		1	1	43
	440	14.11.04	So	5:21	5:46	7:57		3.00		131		1	1	43
	440	14.11.04	So	8:58	9:20	11:36		3.00		136				44
	440	14.11.04	So	17:07	17:14	18:55		3.00		101		1		43
	440	15.11.04	We	16:05	16:09	17:29		3.00						34
	440	16.11.04	We	16:16	16:31	18:23		3.00	23					43
	440	17.11.04	We	16:30	16:46	18:33		3.00	33					43
	440	18.11.04	We	19:18	19:36	21:17	örtlich	2.00	101			1		44
	440	19.11.04	We	10:40	10:56	12:44		3.00					1	43
	440	19.11.04	We	13:09	13:21	14:46		1.00					1	33
	440	19.11.04	We	17:15	17:21	19:18		3.00	78				1	43
	440	20.11.04	Sa	0:02	0:10	2:21		3.00	131			1	1	43
	440	20.11.04	Sa	14:56	15:08	17:09		3.00	121			1	1	43
	440	20.11.04	Sa	17:10	17:20	19:13		1.25	40	73			1	43
	440	20.11.04	Sa	21:48	22:09	0:06		3.00	117			1	1	43
	440	21.11.04	So	5:18	5:41	8:01		3.00	140			1	1	46
	440	21.11.04	So	15:09	15:37	17:44		3.00	127			1		43
	440	23.11.04	We	2:32	2:86	4:18	örtlich	2.00	82			1		34
	440	23.11.04	We	19:33	20:01	21:58		3.00	117			1		43
	440	24.11.04	We	18:20	18:47	20:59		3.00	132			1		43
	440	25.11.04	We	16:27	17:09	19:12	örtlich	2.00	72					43
	440	26.11.04	We	17:12	17:27	19:38		3.00	98					43
	440	27.11.04	Sa	17:01	17:23	19:28		3.00	37	88		1		44
	440	28.11.04	So	18:15	18:34	20:21		3.00		107		1		42
<b>T o t a l :</b>								92.25	1855	1187	22	9	1395	

Einsatz	92.25	92.25 Std.
Nachtzuschlag	30.92	31.00 Std.
Sonntagszuschlag	19.78	19.75 Std.
Hin- u. Rückfahrt	22	22 Anzahl
Pflug Zuschlag	9	9 Anzahl
Allrad gemäss SDM	61.98	62.00 Std.
LSVA	1395	1395 Km
Bereitstellung		1 Anzahl
Pikett		1 Anzahl
Einstellen Streuer		1 Anzahl
Einstellen Pflug		1 Anzahl

Emmenbrücke, 10.12.04  
Strasseninspektorat des Kantons Luzern  
Sachbearbeiter: AS, AZ, eu  
Meister Produkt Winterdienst

**Unterschrift**

Abbildung 3-7: Zusammenstellung der Winterdiensteneinsätze für die Abrechnung eines Nachunternehmers auf Grundlage automatisch erfasster Einsatzdaten im Kanton Luzern

Neben der Dokumentation der Einsätze der Winterdienstfahrzeuge gehört zur Einsatzdokumentation auch die Aufzeichnung der Aktionen und Meldungen in der Einsatzzentrale. Werden durch Glättemeldeanlagen oder Wetterprognosen automatisch Alarmer gemeldet, so werden diese in der Regel protokolliert und auch die Quittierung der Alarmmeldungen durch den Einsatzleiter wird aufgezeichnet, z.B. im Kanton Zürich. Die Alarmierung der Einsatzkräfte kann nur dann automatisch dokumentiert werden, wenn sie mit Hilfe eines Kommunikationssystems erfolgt. Bei direkter Alarmierung über Telefon oder Mobiltelefon werden die Alarmierungen in der Regel manuell in einen Einsatzbericht eingetragen.

### 3.3 Internationale Entwicklungen

#### 3.3.1 Übersicht

Informations- und Kommunikationstechnologien werden im Winterdienst in zahlreichen Staaten eingesetzt. Informationen hierüber wurden unter anderem im Rahmen der europäischen COST Aktion 344 „Improvements to Snow and Ice Control on European Roads and Bridges“ 2002 zusammengetragen [HOLLDORB et al 2002]. Auf Grundlage dieser Daten gibt Tabelle 3-5 eine Übersicht über den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im Rahmen von Winterdienstmanagementsystemen (WMS) in 17 europäischen Staaten. Die Tabelle basiert auf Angaben der Mitglieder von COST 344, so dass sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt und so dass ggf. unterschiedliche Bewertungshintergründe zu berücksichtigen sind. Es wird nach unterschiedlichen Einsatzbereichen sowie Verbreitung unterschieden.

Komponente	A	B	CH	CZ	D	DK	E	FIN	F	H	IS	IRL	N	NL	RO	SE	SL
Verwaltung administrativer Daten	2	0	2/1	2	2	3	3	2	3	3	2	1	1	0	1	2	3
Messtationen im Straßennetz	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	1
Wetterprognosen	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Routenplanung	2	2/1	2/1	2	2	3	2	2	1	/	2	1	1	3	/	3	3
Einsatzdokumentation	2	2	1	2	2/1	3	1	2	1	3 <sup>1)</sup>	1	1	2	2	/	2	3 <sup>1)</sup>
Einsatzauslösung und -leitung	3	0	2	0	0	3	0	2	0	2 <sup>2)</sup>	0	0	2	3	/	2	3
quantitative und qualitative Berichte und Auswertungen	3	1	2/1	2	0	2	0	1	1	3	1	1	3	2	/	2/1	2
Rechnungsprüfung für Fremdunternehmer	2	0	1	0	1	3	0	0	0	3	0	0	1	1	/	2/1	2

3 = vielfach im Einsatz  
 2 = vereinzelt im Einsatz  
 1 = in Entwicklung  
 0 = nicht im Einsatz  
 / = keine Information

1) = nur in den Meistereien  
 2) = nur auf Autobahnen

**Tabelle 3-5: Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im Winterdienst auf den Außerortsstraßen in Europa, nach [HOLLDORB et al 2002]**

Es wird deutlich, dass die Nutzung von Wetterprognosen sowie der Einsatz von Messstationen zur Erfassung des Straßenzustandes und weiterer atmosphärischer Parameter in Europa weit verbreitet ist. Die EDV-gestützte Einsatzdokumentation war 2002 hingegen nur in wenigen Ländern flächendeckend im Einsatz, befand sich jedoch in vielen Staaten in der Entwicklung. Analog hierzu wurden auf den Einsatzdaten basierende Berichte und Auswertungen sowie die Rechnungsprüfung von Fremdunternehmen nur in wenigen Staaten flächendeckend EDV-gestützt durchgeführt. Die Alarmierung der Einsatzkräfte und die fortlaufende Unterstützung der Einsatzleiter erfolgt ebenfalls nur in wenigen Staaten mit EDV-Unterstützung. Interessanterweise wurde diese vielfach auch nicht als Entwicklungsschwerpunkt genannt. Die Nutzung der Informationstechnologie für die Verwaltung administrativer Daten, wie Einsatzpläne, Adressen, Telefonnummern, Standorte etc., sowie für die Routenplanung erfolgt in unterschiedlicher Intensität.

Neben der Zusammenstellung im Rahmen von COST 344 gibt das Snow & Ice Databook, das vom Technical Committee 3.4 Winter Maintenance der PIARC anlässlich des Winterdienstkongresses der PIARC 2006 in Turin herausgegeben wurde, einen aktuellen Überblick über den Einsatz weltweit [PIARC 2006]. Ergänzende Informationen finden sich in weiteren Veröffentlichungen, insbesondere der PIARC und der SIRWEC.

Hiernach liegt in **Deutschland** der Schwerpunkt auf der Bereitstellung von spezifischen Straßenwettervorhersagen sowie der Erfassung des Straßenzustands mit Hilfe von zahlreichen Messstationen (Glättemeldeanlagen), die in erster Linie entlang der Autobahnen installiert sind [HANKE 2006]. Das Messstellennetz umfasst ca. 800 Stationen [PIARC 2006]. Die Straßenwettervorhersagen werden im wesentlichen durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) erstellt und berücksichtigen unterschiedliche Klimagebiete und Höhenlagen. Grundlage sind neben den meteorologischen Daten auch Informationen der Glättemeldeanlagen. Durch den DWD wurde mit JavaMAP 3 ein internetbasiertes Visualisierungstool entwickelt, mit dem sowohl meteorologische Daten als auch die Daten der GMA angezeigt werden können [ENDRULAT 2006] (s. Kapitel 3.3.3).

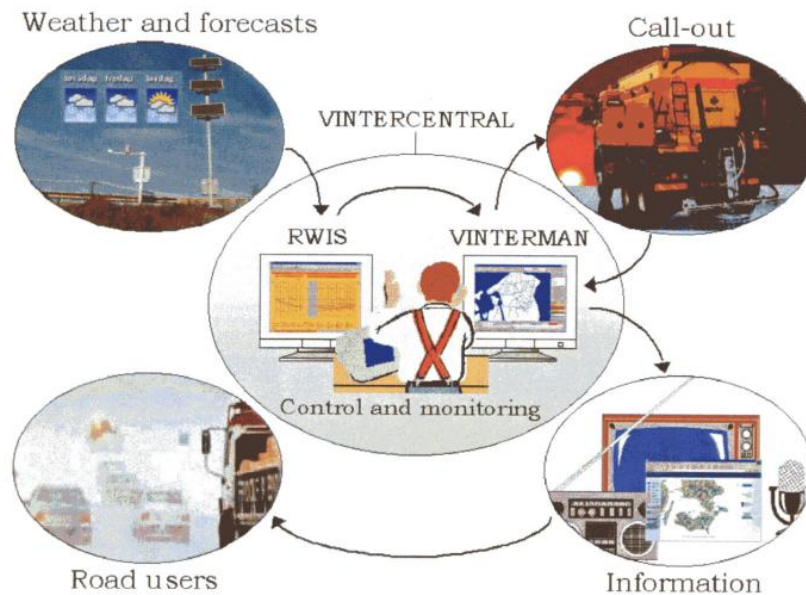
Da in Deutschland die Durchführung des Winterdienstes in der Organisationshoheit der Länder liegt, gibt es im Bereich der Einsatzleitung, -durchführung und -dokumentation keine einheitliche Entwicklung. In der Regel wird der Winterdienst durch die Meistereien vor Ort geleitet. Meistereübergreifende Einsatzzentralen gibt es nur vereinzelt, z.B. in Nordrhein-Westfalen. Ihre Aufgabenschwerpunkte sind in erster Linie die Überwachung von Wettergeschehen und Straßenzustand sowie bei Bedarf die meistereübergreifende Koordination [NIEBRÜGGE 1999].

Bisher sind nur wenige Winterdienstfahrzeuge für die automatische Erfassung von Einsatzdaten mit GPS ausgerüstet, diese wird jedoch derzeit und in den nächsten Jahren in mehreren Bundesländern eingeführt. Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt ist die Installation von GMA im nachgeordneten Straßennetz. Beides wurde u.a. in einem Pilotprojekt in Hessen im Bereich des Straßenbauamtes Bad Arolsen getestet, wobei auch die Nutzung von virtuellen Messstationen sowie die temperaturabhängige Steuerung der Streudichte mit Hilfe der fortlaufenden Messung der Fahrbahntemperatur im Einsatzfahrzeug implementiert wurden [HANKE 2006] (s. Kapitel 3.3.4 und 3.3.6).

In **Österreich** sind derzeit ca. 370 Messstationen im Straßennetz installiert. Auch hier ist der Schwerpunkt das Autobahnnetz. Durch die Straßenbauverwaltungen der neun Bundesländer, die das nachrangige Landesstraßennetz betreuen, sowie die vier Servicegesellschaften der ASFiNAG, die für das hochrangige Autobahn- und Schnellstraßennetz verantwortlich sind, werden Wetterprognosen unterschiedlicher Anbieter genutzt [PIARC 2006]. Die automatisierte Erfassung der Einsatzdaten erfolgt derzeit nur vereinzelt. Die ASFiNAG ist dabei, für ihren Zuständigkeitsbereich ein umfassendes Managementsystem zur Unterstützung der Einsatzleitung zu implementieren.

Durch die **Dänische** Straßenbauverwaltung wurde bereits in den neunziger Jahren ein umfassendes Winterdienstmanagementsystem installiert, das neben der Erfassung und Prognose von Witterung und Straßenzustand in gleicher Weise auch die Einsatzleitung und -dokumentation zum Schwerpunkt hat. Zentrale Instrumente sind das Straßenwetterinformationssystem RWIS sowie das Managementsystem VINTERMAN (s. Abbildung 3-8). Mit diesem System wird der Winterdienst durch 14 Einsatzzentralen gesteuert und überwacht. Derzeit sind ca. 300 Messstationen, im wesentlichen an den Autobahnen und Schnellstraßen, installiert. Die meisten Einsatzfahrzeuge sind mit GPS ausgerüstet und ihre Einsatzdaten werden automatisch in die Einsatzzentralen übertragen und aufgezeichnet. Diese Daten werden vielfach, u.a. für die Abrechnung der Fremdunternehmer und die Qualitätssicherung, genutzt. Große Bedeutung hat in Dänemark auch die aktuelle Information der Verkehrsteilnehmer über den Straßenzustand. Hierfür werden die aktuellen Daten über Radio, Telex, Telefon sowie das Internet ([www.vintertrafik.dk](http://www.vintertrafik.dk)) zur Verfügung gestellt. Im Internet sind neben aktuellen Messdaten auch Daten zum letzten Winterdiensteinsatz sowie aktuelle Bilder der Videokameras verfügbar [PIARC 2006].

Entwicklungsschwerpunkte sind in Dänemark vor allem die abschnittsbezogene Prognose des Straßenzustands, die Automatisierung des Einsatzentscheids sowie die Automatisierung der Winterdiensteinsätze (GPS kontrolliertes Streuen, s. Kapitel 3.3.6) [PIARC 2006].



**Abbildung 3-8: Das Dänische Winterdienstmanagementsystem mit den unabhängigen Modulen RWIS und VINTERMAN [PIARC 2006]**

Ähnlich wie in Dänemark erfolgt auch in **Finnland** der Winterdienst durch private Unternehmen. Informationen zu Witterung und Straßenzustand werden jedoch durch die Straßenbauverwaltung zur Verfügung gestellt, die hierfür über 300 Messstationen und ca. 260 Wetterkameras entlang des finnischen Straßennetzes installiert hat. Es wird auf umfangreiche Wetterdaten und -prognosen unterschiedlicher Zulieferer zurückgegriffen [PIARC 2006]. Durch die privaten Winterdienstbetreiber werden Systeme zur automatischen Einsatzdatenerfassung eingesetzt, beispielsweise bereits seit 1998 das Keiju-System, mit dem Position, Einsatzparameter, Geschwindigkeit etc. aufgezeichnet werden. Daneben werden Einsatzbeginn und -ende über Mobiltelefon an die Einsatzzentrale gemeldet. Auch für die Einsatzauslösung wird häufig ein EDV-gestütztes System eingesetzt [HIETANEN 2006]. In der Erprobung befinden sich derzeit neue Sensoren, mit denen berührungslos die Glätte der Fahrbahn ermittelt werden kann (s. Kap. 3.3.4) [PILLI-SIHVOLA et al. 2006].

Auch in **Schweden** ist der Einsatz von Messstationen und spezifischen meteorologischen Daten für den Winterdienst Stand der Technik. Der Winterdienst wird hier ebenfalls von privaten Unternehmen durchgeführt. In Schweden sind ca. 700 Messstationen im Straßennetz installiert. Informationen zum aktuellen Straßenzustand können durch die Verkehrsteilnehmer auch im Internet abgerufen werden ([www.vv.se](http://www.vv.se)) [PIARC 2006]. Einsatzdaten des Winterdienstes werden schon seit vielen Jahren mit Hilfe von GPS erfasst und können sowohl tabellarisch als auch grafisch in einer Straßenkarte angezeigt werden [LANG 2000]. Neben der Nutzung als

Abrechnungsgrundlage und zur Qualitätssicherung werden Einsatzdaten und Daten der Messstationen auch für strategische Analysen genutzt [ERIKSSON 2006].

In **Norwegen** wurde der Winterdienst ebenfalls privatisiert, so dass hier auf Seiten der Straßenbauverwaltung wie in Schweden und Finnland die Erfassung und Prognose von Witterung und Straßenzustand im Vordergrund stehen. Hierfür werden durch das Meteorologische Institut Norwegens Wetterdaten und –prognosen erstellt und die Daten von ca. 230 Messstationen genutzt. Für ca. 10 % der Messstationen werden spezifische Straßenwetterprognosen auf Grundlage der aktuellen Messwerte in Verbindung mit den Wetterprognosen erstellt. Auf alle Informationen haben die Winterdienstbetreiber über das Intranet der Straßenbauverwaltung Zugriff [PIARC 2006].

**Island** verfügt ähnlich wie Dänemark über ein umfassendes Winterdienstmanagementsystem und hat einzelne Komponenten des dänischen Systems übernommen. Besonderer Schwerpunkt wird hier auf die Information der Verkehrsteilnehmer und Einwohner über Straßenzustand und durchgeführte Winterdienstesätze gelegt, da in den dünn besiedelten Gebieten Winterdienstesätze nur selten erfolgen. Für die Einsatzentscheidung stehen die Daten von ca. 60 Messstationen, Bilder der Videokameras an kritischen Streckenabschnitten und die Wetterprognosen des isländischen und des dänischen Wetterdienstes zur Verfügung. Die Einsatzdaten der Winterdienstfahrzeuge werden automatisch erfasst und über das Mobilfunknetz online an einen zentralen Datenserver übertragen. Hier stehen die Daten für verschiedene interne und externe Anwendungen zur Verfügung [PIARC 2006].

Auch **Belgien**, die **Niederlande** und **Frankreich** haben zahlreiche Messstationen in ihrem Straßennetz installiert und nutzen die Informationen der meteorologischen Dienste. Belgien verfügt über ca. 100, die Niederlande über ca. 300 und Frankreich über ca. 500 Messstationen [PIARC 2006].

In **Belgien** sind auch abschnittsbezogene Prognosen vorgesehen, wofür Temperaturprofile des gesamten Streckennetzes aufgenommen wurden [PIARC 2006]. In Wallonien stehen die Daten der Messstationen schon jetzt auf einem zentralen Server zur Verfügung. Zukünftig sollen sie über das Internet abgerufen werden können, wobei die grafische und übersichtliche Visualisierung große Bedeutung hat [VIGREUX/POURTOIS 2006]. Vorgesehen ist die Ausrüstung aller Einsatzfahrzeuge mit GPS, um Position und Einsatzdaten automatisch erfassen zu können; in Flandern wird auch das automatisierte Streuen künftig größere Bedeutung haben (s. Kap.3.3.6) [PIARC 2006].

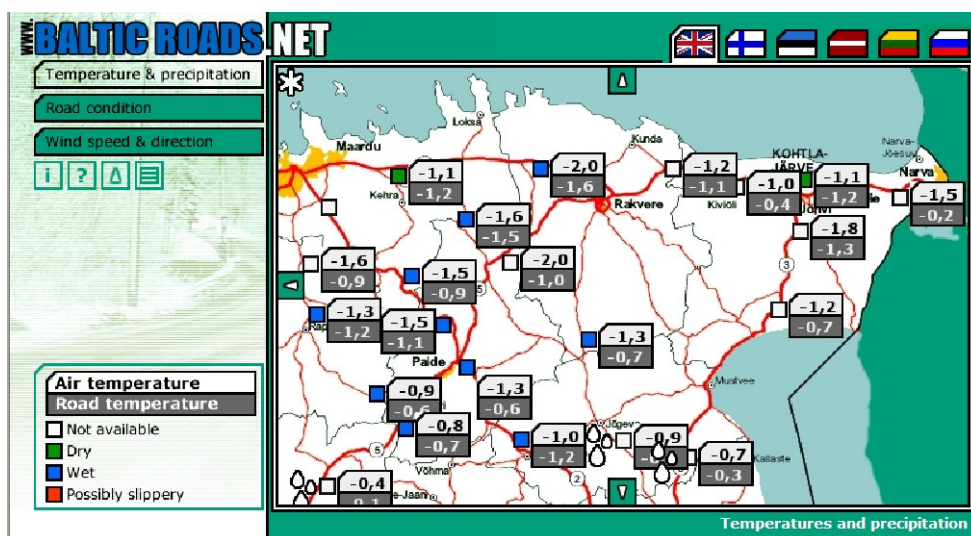
In den **Niederlanden** wird besonderer Wert auf detaillierte Wetter- und Zustandsprognosen gelegt. Daher werden die Daten aller Messstationen zentral verwaltet und automatisch mit den

aktuellen Wetterprognosen verknüpft, so dass kurz- (4 Stunden) und langfristige (20 Stunden) Straßenzustandsprognosen erstellt werden können. Dieses Konzept, das ca. 15 Jahre alt ist, wird derzeit modernisiert, wobei zusätzlich an ausgewählten Stationen Videokameras integriert werden. Weiterhin ist vorgesehen, Winterdienstseinsätze GPS-gestützt zu überwachen [PIARC 2006].

Die Messstationen in **Frankreich** sind ebenfalls im wesentlichen an den Autobahnen und Nationalstraßen installiert. Sie sind derzeit nicht miteinander verknüpft, so dass kein zentraler Zugriff auf ihre Informationen möglich ist. Zukünftig sollen Winterdienstfahrzeuge verstärkt mit Systemen zur Einsatzdatenaufzeichnung und -übertragung ausgerüstet werden [PIARC 2006].

In **Großbritannien** nutzen alle Straßenbauverwaltungen Straßenwetterinformationssysteme; im Bereich der Highways Agency sind ca. 200 Stationen installiert. Mit Hilfe dieser Daten werden durch die meteorologischen Dienste spezifische Prognosen für die Standorte der Messstationen erstellt. Darüber hinaus werden mit Hilfe der erfassten Temperaturprofile abschnittsbezogene Vorhersagen errechnet [PIARC 2006]. Diese Prognosen sollen zukünftig Grundlage für eine dynamische Routenbildung der Einsatzfahrzeuge sein (s. Kap. 3.3.5) [CHAPMAN et al. 2006]. Aufgrund von zahlreichen Pilotprojekten zur automatisierten Einsatzdatenerfassung mit Hilfe von GPS ist ein Entwicklungsschwerpunkt die Automatisierung des Streuvorgangs (s. Kap.3.3.6) [PIARC 2006].

Schwerpunkt in den **Baltischen Staaten** ist die Ausrüstung der Straßennetze mit Messstationen sowie die Verknüpfung mit den Wettervorhersagen. Für die Standortfindung werden Temperaturprofile des Streckennetzes erfasst, aus denen kritische Streckenabschnitte erkennbar sind. Estland verfügt über 50, Lettland über 30 und Litauen über 38 Messstationen. Die Daten dieser und weiterer Stationen in Finnland und der Region St. Petersburg (Russland) werden auf einer gemeinsamen Internetplattform ([www.balticroads.net](http://www.balticroads.net)) veröffentlicht (s. Abbildung 3-9) [PIARC 2006].



**Abbildung 3-9: Informationen zum Straßenzustand für die Verkehrsteilnehmer im Baltikum,**  
 Quelle: [www.balticroads.net](http://www.balticroads.net)

Auch in den **USA** sind Wetterprognosen und aktuelle Daten des Straßenzustands wesentliche Grundlagen der Einsatzentscheidung im Winterdienst. Durch den Nationalen Wetterdienst werden in der Regel allgemeine Wetterprognosen und Unwetterwarnungen erstellt, spezifische Straßenwettervorhersagen werden von privaten Wetterdiensten bezogen. Derzeit sind über 2'100 Messstationen in den USA installiert. Zukünftig sollen alle Daten auf einheitlicher Systemgrundlage verfügbar sein; im Programm Clarus soll hierfür eine einheitliche Systemumgebung entwickelt werden (s. Kap.3.3.3). Um mit Hilfe der punktuellen Messdaten streckenbezogene Prognosen generieren zu können, wurden in mehreren Staaten Temperaturprofile der Streckennetze gemessen. Diese Informationen sind Grundlage eines umfassenden EDV-gestützten Entscheidungssystems (MDSS), das für den Einsatzleiter alle relevanten Informationen und eine Empfehlung zum Winterdiensteinsatz aufbereitet (s. Kap.3.3.5). In zahlreichen Staaten sind die Winterdienst-Lkw mit Systemen zur automatischen Standortbestimmung und Einsatzdatenaufzeichnung ausgerüstet. Zum Teil werden hierbei mobil auch Witterungs- und Straßenzustandsdaten erfasst. Wesentliche Witterungs- und Straßeninformationen können durch die Verkehrsteilnehmer über eine landesweit einheitliche Telefonnummer (511) abgerufen werden [PIARC 2006].

In **Kanada** sind derzeit ca. 250 Messstationen installiert. Dieses Messstellennetz soll in den nächsten Jahren erheblich erweitert werden. Systeme zur automatischen Positionsbestimmung der Einsatzfahrzeuge und zur Einsatzdatenaufzeichnung werden in zahlreichen Departments eingesetzt und verbreiten sich immer mehr. Auch der Einsatz von Patrouillenfahrzeugen mit Messgeräten zur Ermittlung von Fahrbahntemperatur und -zustand wird in Zukunft üblich sein [PIARC 2006].

Auch in **Japan** werden Wetterprognosen und Daten der Messstationen entlang des Straßennetzes für die Einsatzentscheidung genutzt. Aufgrund der starken Schneefälle und der gebirgigen Topographie Japans kommen der Verkehrssteuerung über variable Verkehrszeichen und der Information der Verkehrsteilnehmer und Bevölkerung durch das Internet große Bedeutung zu [PIARC 2006]. Zum problemlosen Datenaustausch wurde auf Basis der XML Technologie eine einheitliche Sprache für Straßeninformationen – RWML (Road Web Markup Language) – entwickelt [KAJIYA et al. 2006].

### **3.3.2 Nutzen der eingesetzten Systeme**

Da sich zum einen Winterdienstesätze aufgrund der unvorhersehbaren Witterung von Jahr zu Jahr sehr stark voneinander unterscheiden und zum anderen Informations- und Kommunikationssysteme die Organisation und Durchführung des Winterdienstes in vielfältiger Weise beeinflussen, gibt es nur wenige Aussagen und Untersuchungen zu den Vorteilen des Einsatzes von EDV-gestützten Managementsystemen bzw. einzelnen Komponenten.

BADEL/MORITZ [2004] weisen auf die große Bedeutung präziser Vorhersagen und Prognosen hin. Nur durch sie können Winterdienstesätze präventiv erfolgen, so dass es erst gar nicht zu einer gefährlichen Verminderung der Griffigkeit kommt. Dies wirkt sich positiv auf die Verkehrssicherheit aus und auch der Verkehrsfluss, insbesondere auf hoch belasteten Strecken, wird nicht eingeschränkt. Neben diesen positiven Auswirkungen für die Verkehrsteilnehmer kann durch präzise Vorhersagen und Prognosen auch die Einsatzplanung verbessert werden, so dass die Mitarbeiter im Winterdienst zielgerichteter zum Einsatz kommen. Hierdurch lassen sich die Einsatzkosten des Winterdienstes senken.

HIETANEN [2006] berichtet über die positiven Erfahrungen mit verschiedenen Informations- und Kommunikationssystemen, die der größte private Winterdienstunternehmer in Finnland gewonnen hat, durch den knapp 2'000 Fahrzeuge im Winterdienst eingesetzt werden. Aufgrund der präzisen Vorhersagen können Winterdienstesätze häufig bereits vor den verkehrstarken Zeiten abgeschlossen werden, wodurch die Unfälle reduziert werden. Bei nicht rechtzeitigen Streueinsätzen - dies sind in der Regel Streueinsätze, die erst nach Auftreten der Straßenglätte beginnen - liegt der Salzverbrauch zwei- bis dreimal so hoch wie bei rechtzeitiger, d.h. vorbeugender Streuung. Die Quote verspäteter Einsätze mit erhöhtem Streustoffverbrauch beträgt infolge der eingesetzten Systeme 7 bis 10 %. Der Anteil der Fehlalarme, dies sind Einsätze bei denen die Temperaturen über dem Gefrierpunkt bleiben, konnte durch die guten Kenntnisse über das aktuelle Wettergeschehen auf 1 bis 1,5 % reduziert werden.

Mit Hilfe des Managementsystems können durch einen Operator bis zu 750 Fahrzeuge überwacht werden, dies führte zu einer massiven Reduktion der erforderlichen Mitarbeiter in der Verwaltung und Einsatzleitung um 300 Personen. 90 weitere Mitarbeiter konnten durch die Zentralisierung der Überwachung und Beobachtung von Witterung und Straßenzustand eingespart werden. 50 Mitarbeiter weniger werden für Einsätze in der Nacht benötigt. Die Personalkosten konnten somit insgesamt um ca. 23 Mio EUR pro Jahr gesenkt werden. Weiterer Vorteil für das Personal ist, das sie in der Regel in Rufbereitschaft zu Hause bleiben können, bis ein Einsatz beginnt [HIETANEN 2006].

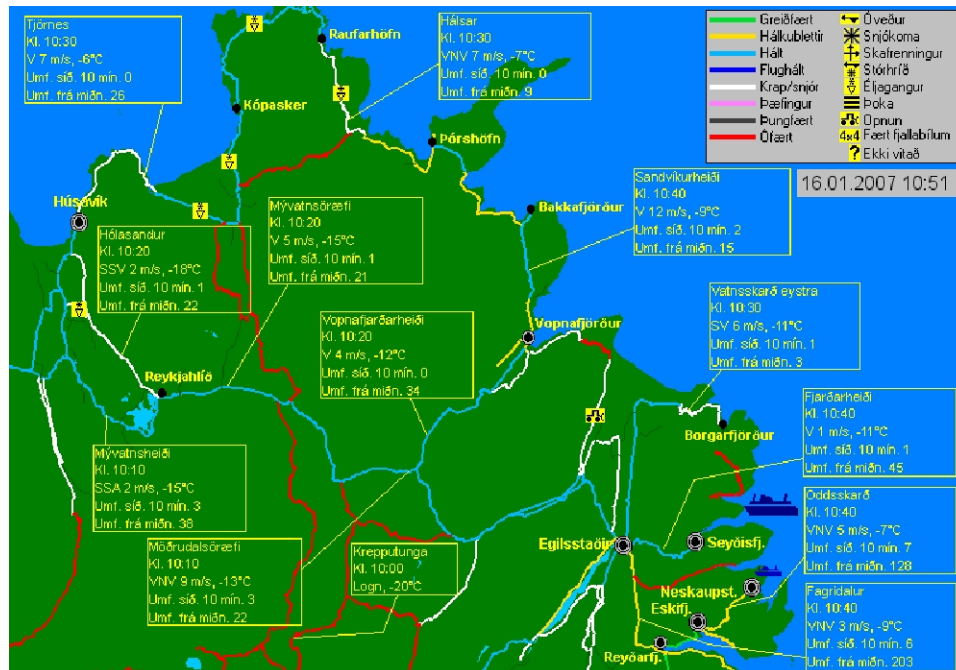
Auch in den USA wird der wesentliche Nutzen des umfassenden Maintenance Decision Support Systems (MDSS) in der Reduktion der Winterdienstkosten gesehen. Für den Staat Iowa, in dem Pilotprojekte durchgeführt wurden, werden Kostensenkungen von 10 bis 15 % erwartet, wenn das MDSS flächendeckend in der Praxis zum Einsatz kommt [MAHONEY et al. 2006].

ERIKSSON [2006] präsentiert Erfahrungen aus Schweden, nach denen erst durch die detaillierte Analyse von Einsatzdaten, Salzverbrauch sowie Witterungs- und Straßenzustandsdaten erhebliche regionale Abweichungen im Salzverbrauch festgestellt werden konnten. Diese Abweichungen lassen sich durch ein neues Vergütungssystem der privaten Unternehmer für den Streustoffeinsatz weitgehend eliminieren. Hierfür sind einerseits Daten zu Witterung und Straßenzustand notwendig, mit denen ein Winterindex ermittelt wird, zum anderen werden Daten zum Streustoffverbrauch benötigt, die durch die automatisierte Einsatzdatenerfassung verfügbar sind. Die Eliminierung der großen Unterschiede im Streustoffverbrauch führt insgesamt zu einer Reduktion des Streustoffverbrauchs, wodurch neben den Winterdienstkosten auch mögliche negative Auswirkungen des Streusalzeinsatzes auf die Umwelt reduziert werden können.

Als wichtiger Nutzen wird in vielen Staaten die aktuelle Information der Verkehrsteilnehmer über Witterung und Straßenzustand angesehen. Zum Teil werden darüber hinaus in manchen Staaten, insbesondere in Skandinavien, auch aktuelle Informationen über die Winterdienstaktivitäten publiziert (s. Abbildung 3-10). Neben dem Internet sind für die Informationsübermittlung Radio, Fernsehen und Teletext sowie das Telefon wichtigste Kommunikationsmittel zwischen Straßenbauverwaltung und Verkehrsteilnehmer. Vielfach wird über winterliche Beeinträchtigungen im Kontext mit anderen Verkehrsdaten informiert, so dass die Einsatzzentralen ihre Daten in einem ersten Schritt an die Verkehrszentralen weiterleiten. Über die reine Information hinaus werden für die Verkehrsteilnehmer auch verbindliche regulierende Maßnahmen getroffen, die durch variable Verkehrszeichen angezeigt werden [PIARC 2006, PISANO et al. 2006].

In Finnland werden spezifische Informationen, z.B. lokale Wetterprognosen oder routenspezifische Warnungen, auch über SMS an die Verkehrsteilnehmer weitergegeben. Weiterhin werden

in Finnland auch Informationen der Verkehrsteilnehmer über den Straßenzustand systematisch genutzt. Hierzu wurde das System „street channel“ implementiert, bei dem die Verkehrsteilnehmer Informationen über SMS an eine Einsatzzentrale übermitteln, die dann im Internet bzw. an betroffene Nutzergruppen über SMS publiziert werden [HIETANEN 2006].



**Abbildung 3-10: Automatische Informationsanzeige über Straßenzustand und Winterdienstesatz im Internet in Island, Quelle: [www.vegagerdin.is](http://www.vegagerdin.is)**

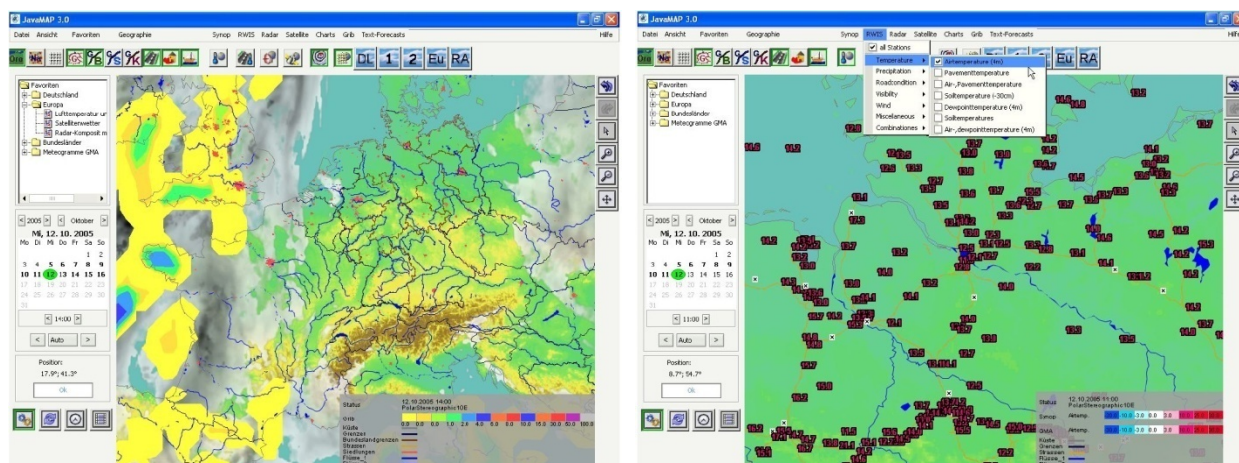
In Japan wurde der Nutzen von Informationen über Witterung und Straßenzustand für die Verkehrsteilnehmer und die Bevölkerung mit Hilfe von Befragungen untersucht. Über 90 % der Befragten gaben an, dass sie durch frühzeitige Informationen über winterliche Straßenzustände beruhigt werden. Bei Warnungen vor Schneestürmen haben 60 % der Verkehrsteilnehmer ihr Fahrverhalten geändert [MATSUZAWA et al. 2006]. In der Region Sapporo wurden pro Tag durchschnittlich 950 Zugriffe auf die Internetseite registriert, auf der über winterliche Straßenzustände informiert wird. Knapp die Hälfte der Zugriffe erfolgt über das Mobiltelefon. Besonders hohe Zugriffszahlen wurden bei heftigen Schneefällen registriert [KAGAYA et al. 2004].

### 3.3.3 Straßenwetterprognosen

In vielen Staaten ist die Nutzung von differenzierten Wetterprognosen, Satellitenbildern, Niederschlagsradar und -prognosen, Wetterwarnungen etc. für den Winterdienst Stand der Technik (s. u.a. PIARC [2006]). Schwerpunkte der Entwicklung sind die übersichtliche Aufbereitung

und Darstellung der zahlreichen Informationen und Daten, die Verbesserung und Automatisierung der Prognosen und die Qualitätssicherung bei der Prognose.

Durch den Deutschen Wetterdienst wurde mit JAVA Map3 eine leistungsfähige internetbasierte Anwendung entwickelt, bei der alle aktuellen und historischen Daten zu Witterung und Straßenzustand in einer einheitlichen Benutzeroberfläche visualisiert werden können. Die Daten werden in verschiedenen thematischen Ebenen präsentiert, die durch den Anwender weitgehend frei konfiguriert und verknüpft werden können. Grundlage der Anzeige sind vektorbasierte Karten, in denen auch das Straßennetz angezeigt werden kann. Der Umfang der angezeigten Ebenen kann maßstabsabhängig in vordefinierten Konfigurationen zusammengestellt werden (s. Abbildung 3-11). Neben der grafischen Visualisierung können die spezifischen Straßenwettervorhersagen und Wetterwarnungen auch textlich dargestellt werden. Die zeitliche Entwicklung der Daten der Messstationen lässt sich in Meteogrammen ablesen. Alle Konfigurationen werden in XML-Dateien gespeichert [ENDRULAT 2004].



Darstellung von Niederschlags- und Bewölkungsprognose

Messwerte der Lufttemperatur

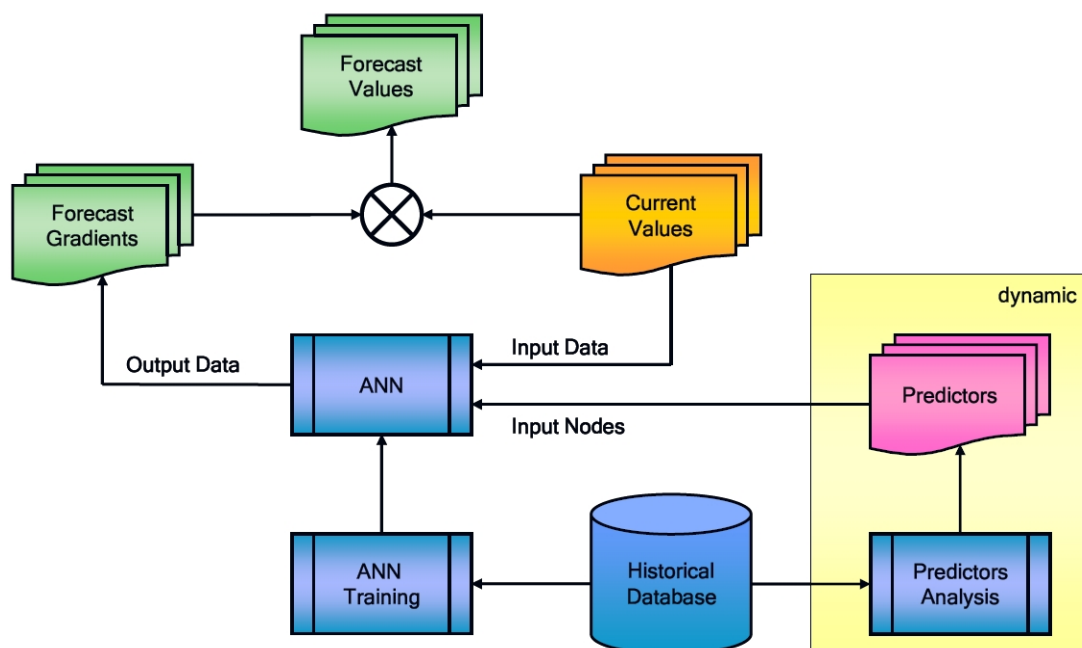
**Abbildung 3-11: Visualisierung von Wetterprognose und Messdaten mit JAVA Map 3, entnommen ENDRULAT [2006]**

Für die automatische Erstellung von kurzfristigen Straßenwetterprognosen (Nowcasting) werden numerische Wettervorhersagemodelle und Straßenwettermodelle miteinander verknüpft. Hierdurch wird es möglich, Luft- und Fahrbahntemperatur, Taupunkt, Bewölkung und Niederschlagsentwicklung in die Prognose von Eis und Glätte auf der Straße einzubeziehen. Diese Witterungsparameter sind entscheidend für Energiebilanz und Feuchtigkeitsentwicklung auf der Fahrbahn. Durch die Verknüpfung großräumiger Vorhersagen mit den Messdaten der Messstationen entlang der Strecke wird es möglich, den Straßenzustand nicht nur als Trendprognose, sondern unter Berücksichtigung des Witterungsverlaufs vorherzusagen. Aufgrund der Vielzahl

der Messstationen sind hierfür automatisierte Vorhersagen notwendig [SASS/PETERSEN 2004].

Wesentliche Fehlerquellen bei der Vorhersage von Straßenglätte sind nach HOPWOOD [2004] zum einen Mängel bei der großräumigen Wetterprognose und zum anderen bei der lokalen Prognose von Straßenglätte (Glätteprognosemodell). Da die lokalen Glättemodelle nicht mehr mit vertretbarem Kostenaufwand weiter verbessert werden können, ist es die wesentliche Aufgabe der Meteorologen, Fehlereinflüsse der großräumigen Prognose zu reduzieren. Schwerpunkt der Entwicklung in den nächsten Jahren ist daher die Verbesserung der großräumigen Prognosemodelle. Die Übertragung auf lokale Glätteprognosen kann zunehmend automatisiert werden.

In Italien wurde für die kurzfristige Straßenzustandsprognose eine EDV-Lösung auf Basis eines neuronalen Netzwerks entwickelt, mit der bis zu drei Stunden im voraus die Fahrbahntemperatur prognostiziert werden kann [PASERO et al. 2004]. Hierfür werden keine Daten der Messstationen an der Fahrbahn benötigt, sondern ausschließlich von vorhandenen meteorologischen Stationen im Umfeld der Straßen (s. Abbildung 3-12). Auch in Quebec gibt es Bestrebungen, neuronale Netzwerke für die Prognose des Straßenzustands zu nutzen [PIARC 2006].



**Abbildung 3-12: Systemübersicht NEMEFO , entnommen MEINDL et al. [2006]**

In den USA wird mit der Initiative Clarus das Ziel verfolgt, ein einheitliches Management System für die Erfassung und Vorhersage von Straßenwetterdaten zu entwickeln [FHA 2004].

Hiermit sollen Daten der Winterdienstbetreiber und der Wetterdienste verknüpft werden. Ziele sind

- der stabile und zuverlässige Zugang zu Straßenwetterdaten,
- die permanente Qualitätskontrolle der Messdaten,
- die Standardisierung von Datenformaten, Kommunikationswerkzeugen und Netzwerken,
- aktuelle Daten für Wetter- und Verkehrsprognosemodelle sowie Managementsysteme zur Einsatzentscheidung sowie
- die Entwicklung neuer Technologien, wie mobile Messstationen, Videokameras oder neue Sensoren.

### **3.3.4 Stationäre und mobile Erfassung des Straßenzustands**

Die stationäre Erfassung des Straßenzustands ist in vielen Staaten die wichtigste Grundlage für die Einsatzentscheidung (s. Kap. 3.3.1). Die Ausstattung der Messstationen variiert im einzelnen, in der Regel werden jedoch sowohl atmosphärische Parameter (Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Niederschlagsart und -intensität, als auch Daten zur Fahrbahn (Oberflächentemperatur, Straßenzustand, Wasserfilmdicke, Gefrierpunkt, Restsalzgehalt) erfasst.

Häufig sind die Messsysteme unterschiedlicher Hersteller nicht miteinander kompatibel, so dass die Daten von Messstationen unterschiedlicher Lieferanten nicht ohne weiteres in einer EDV-Anwendung weiter verarbeitet und gespeichert werden können. Für die Standardisierung der erfassten Messdaten, ihrer Genauigkeit und der Übertragungsprotokolle gibt es zwar nationale Standards, z.B. in Deutschland [BAST 2002] oder Österreich [ASFINAG 2005], trotzdem ist jedoch häufig die spezifische Transformation der Daten zwischen verschiedenen Herstellern notwendig. Auf europäischer Ebene ist daher eine Standardisierung im Rahmen der CEN-Normung vorgesehen [THOMAS 2005]. Auch in den USA ist geplant, Standards für Messstationen zu definieren, in denen u.a. Vorgaben zum Aufstellort, zu den Sensoren und zur Dokumentation gemacht werden [PISANO et al. 2006].

In der Vergangenheit wurden überwiegend die Autobahnen und übergeordneten Straßennetze mit Messstationen ausgerüstet. In der Regel sind die Messstationen an den Abschnitten positioniert, die im Winter besonders kritisch sind. Für die Standortfindung wird entweder auf die Erfahrung des lokalen Personals zurückgegriffen oder es werden Temperaturprofile des Streckennetzes mit mobilen Messfahrzeugen aufgezeichnet, um die kältesten Abschnitte im Stra-

ßennetz identifizieren zu können, z.B. in Frankreich, Finnland oder Großbritannien [PIARC 2006].

In Deutschland wurde im Jahre 2002 in der nordhessischen Region Bad Arolsen ein Modellprojekt gestartet, bei dem auch im nachgeordneten Straßennetz Messstellen installiert wurden. Hierbei wurden neben fest installierten Stationen auch so genannte virtuelle Messstationen eingerichtet, für die die Daten nicht vor Ort gemessen, sondern auf Grundlage der Messdaten benachbarter Stationen und umfangreicher Basisdaten zur Lage der virtuellen Messstelle, z.B. Höhenlage, Beschattung, Belagsparameter, errechnet werden. Dieser Versuch, mit Hilfe von festen Messstationen Informationen zum Straßenzustand auf weitere Abschnitte zu übertragen, um nicht nur punktuelle Informationen zu erhalten, zeigt sich in der Praxis jedoch problematisch. Zum einen ist der Aufwand für die Kalibrierung der virtuellen Stationen sehr hoch, zum anderen sind die Zustands- und Prognosewerte, die für die virtuellen Stationen ermittelt wurden, häufig ungenau, so dass die Einsatzleiter diese Daten für die Planung nicht weiter verwenden [HANKE 2006].

In Bad Arolsen wurde aber auch ein anderer Weg getestet, wie Zustandsdaten für das gesamte Streckennetz und nicht nur für einzelne, besonders kritische Stationen gesammelt werden können. Hierfür wird in den Einsatzfahrzeugen mit Hilfe von Infrarotthermometern permanent die Fahrbahnoberflächentemperatur gemessen und an die Einsatzzentrale übermittelt. Somit werden durch die Einsatzfahrzeuge fortlaufend Temperaturprofile des befahrenen Streckennetzes aufgezeichnet. Diese Daten eröffnen die Möglichkeit, während des Einsatzes aktuelle Daten über die Fahrbahntemperaturen im gesamten Streckennetz zu erhalten oder durch statistische Auswertungen relative Temperaturdifferenzen im Streckennetz, z.B. in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen, zu definieren [HANKE 2006]. In ähnlicher Weise wurde auch in Italien in einem Pilotprojekt ein Winterdienstfahrzeug mit einem Infrarotthermometer sowie ergänzend mit Sensoren zur Erfassung der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit ausgerüstet. Hierbei hat sich gezeigt, dass die Fahrbahntemperatur bei entsprechender Filterung des Messsignals mit hoher Genauigkeit ermittelt werden kann [PASERO et al. 2006]. Diese mobil erfassten Zustandsdaten können damit eine Alternative zu den bei definierten Messfahrten ermittelten Temperaturprofilen sein.

Der mobilen Messung von Straßenzustands- und Witterungsdaten wird auch in der Provinz Quebec große Bedeutung zugemessen. Dort sollen jedoch in erster Linie Patrouillenfahrzeuge mit Messgeräten ausgerüstet werden, Ziel ist die Ermittlung von Fahrbahn- und Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Taupunkttemperatur [PIARC 2006]. Über die Entwicklung eines ähnlichen Patrouillenfahrzeuges berichten KOMURO et al. [2006] aus Japan. Hierbei soll aber zusätzlich auch der Restsalzgehalt gemessen werden. Weiterer Parameter, der mobil gemessen werden

soll, ist die Griffigkeit. Während es in Finnland in der Vergangenheit hierzu eher negative Ergebnisse, insbesondere bei schneebedeckter Fahrbahn, gab [MYLLYLÄ/PILLI-SIHVOLA 2002], gibt es in Norwegen positive Erfahrungen. In Norwegen sollen die Griffigkeitsmessungen weiter entwickelt werden, so dass sie als Qualitätsindikator für die Aufgabenerfüllung der Fremdunternehmer im Winterdienst herangezogen werden können [LELAND/BERG 2006].

Ein neues Messverfahren zur stationären Ermittlung der Straßenglätte wurde in Finnland entwickelt und erfolgreich getestet. Hierbei wird die Reflexion eines Infrarotstrahls erfasst und ausgewertet. Die Reflexion variiert in Abhängigkeit der reflektierenden Oberfläche und kann so ein Maß für den Straßenzustand sein. Somit ist es möglich, auch die Art der Straßenglätte und die daraus resultierende Reduktion der Griffigkeit zu erfassen und zu prognostizieren. Ebenfalls mit Hilfe von Infrarotstrahlung kann die Fahrbahntemperatur berührungslos gemessen werden. Diese Sensoren haben somit den Vorteil, dass sie leicht ab- und an anderer Stelle wieder aufgebaut werden können und dass sie bei einer Erneuerung des Fahrbahnbelags weiter genutzt werden können [PILLI-SIHVOLA et al. 2006],

Neben den stationär oder mobil erfassten Messdaten sind auch die aktuellen Videobilder des Straßenzustands in vielen Ländern wichtiger Bestandteil des Straßenwetterinformationssystems. Umfangreiche Erfahrungen mit der Aufnahme, Übertragung und Nutzung von Videobildern wurden in Finnland gesammelt. Durch die Infrarottechnik ist es möglich, auch bei Dunkelheit Bilder hoher Qualität aufzunehmen. Aufgrund der hohen Datenmengen werden Bilder nur in bestimmten Zeitintervallen, z.B. alle 15 min, übertragen. Für Standorte, die nicht an ein Telefonkabel angeschlossen sind, ist eine Übertragung der Daten mit Mobilfunk möglich. Die Videobilder werden zum einen für die Überwachung des Straßenzustands durch die Einsatzleiter genutzt, zum anderen aber auch direkt der Öffentlichkeit im Internet zur Verfügung gestellt [LAHTINEN/KANTONEN 2004].

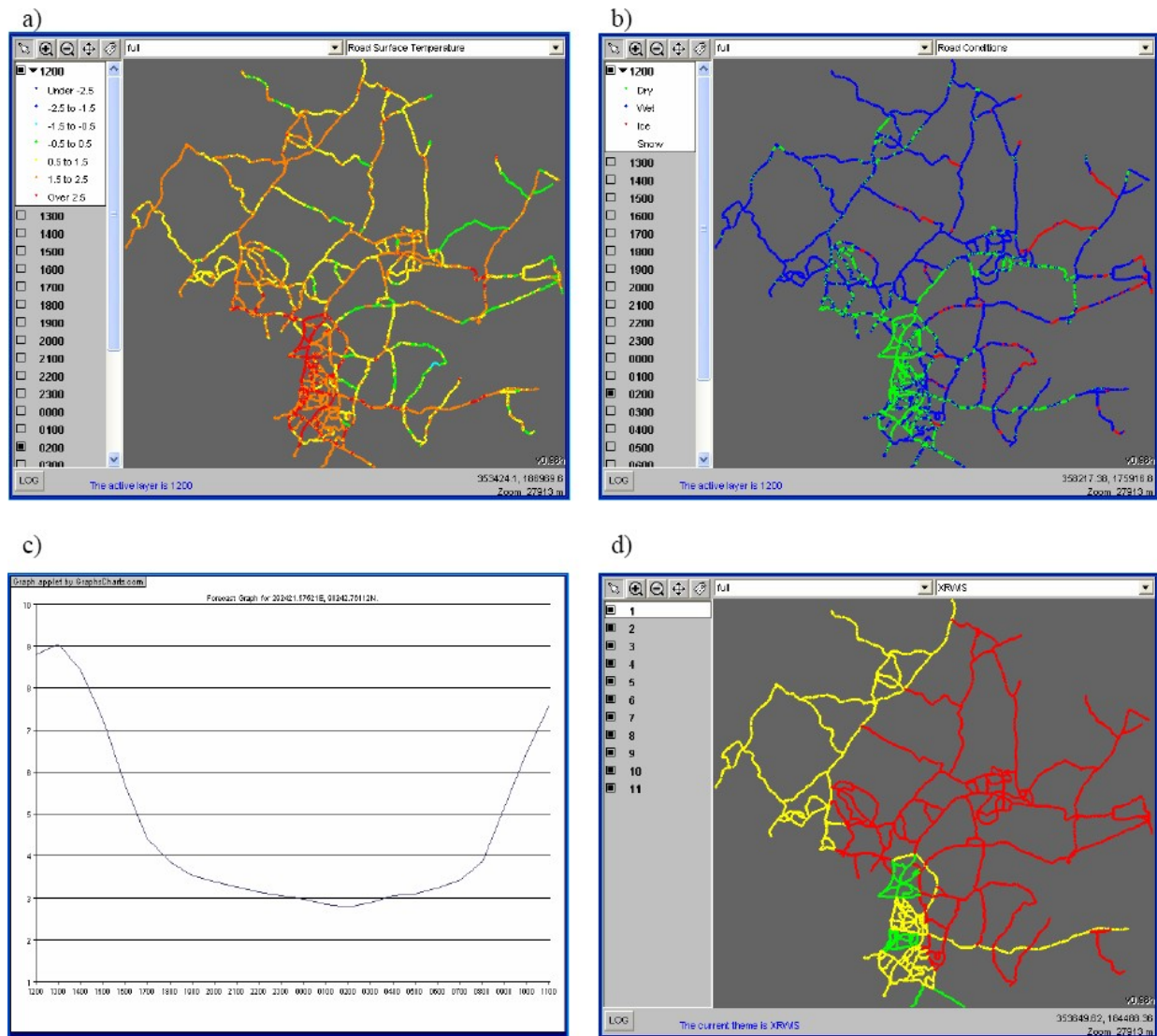
### **3.3.5 Abschnittsbezogene Prognosen und Automatisierung der Einsatzentscheidung**

Ziel zahlreicher Entwicklungen ist es, die für kleinräumige Gebiete geltenden Straßenwettervorhersagen und die für die Standorte der Messstationen geltenden Prognosen des Straßenzustands zusammenzuführen und direkt auf das betreute Straßennetz zu beziehen. Hierfür ist es notwendig, Informationen zu den Abweichungen der Parameter im Straßennetz einzubeziehen.

Für den wichtigsten Parameter, die Fahrbahntemperatur, können die Temperaturprofile, die bei Messfahrten aufgezeichnet werden, genutzt werden. Somit dienen die Temperaturprofile nicht

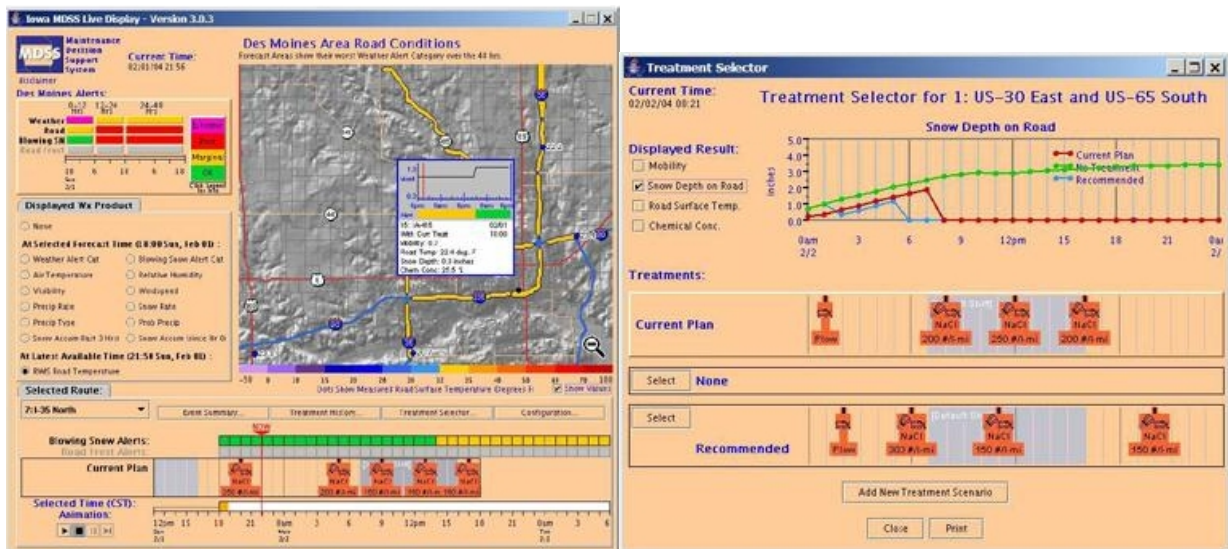
nur der optimalen Positionierung der Messstationen, sondern auch der Übertragung der stationär gewonnenen Messdaten auf das Streckennetz. Abschnittsbezogene Straßenzustandsprognosen werden beispielsweise in Belgien auf diese Weise erstellt [PIARC 2006, VIGREUX/POURTOIS 2006]. Alternativ oder ergänzend können die durch Einsatz- oder Patrouillenfahrzeuge mobil erfassten Messdaten ebenfalls für die abschnittsbezogene Prognose genutzt werden.

THORNES et al [2006] weisen auf die große Bedeutung der Parameter, die die Sonneneinstrahlung und die Abstrahlung in der Nacht beeinflussen, für die Strahlungsbilanz hin und haben daher in einem Testgebiet für 20 m-Abschnitte des Streckennetzes diese Faktoren erfasst und neben dem Temperaturprofil der Fahrbahnoberfläche in einer geographischen Datenbank abgelegt. Ergänzend zur abschnittsbezogenen Prognose der Fahrbahntemperatur ist so auch die differenzierte Vorhersage des Straßenzustands möglich. Im Rahmen des Systems XRWIS wird somit auch eine konkrete abschnittsbezogene Empfehlung zum Winterdiensteinsatz gegeben (s. Abbildung 3-13). In einem weiteren Schritt können diese abschnittsbezogenen Einsatzempfehlungen im Rahmen einer dynamischen Routenbildung zur Optimierung der Einsatzrouten herangezogen werden. Auch wenn es systemtechnisch möglich ist, bei jedem Einsatz somit nur die Streckenabschnitte zu betreuen, für die eine Einsatzempfehlung gegeben wurde, empfiehlt es sich aus betrieblich-organisatorischen Gründen, die Routen oder zumindest Teilrouten immer zusammenhängend zu betreuen [CHAPMAN et al. 2006].



**Abbildung 3-13: Visualisierung des Systems XRWIS mit a) Darstellung der Fahrbahntemperatur, b) Darstellung des Straßenzustands, c) zeitliche Entwicklung der Fahrbahntemperatur und d) Empfehlung zum Winterdienstesinsatz, entnommen THORNES et al [2006]**

Ähnlich wie in Großbritannien wird auch in den USA ein umfassendes Tool entwickelt, mit dem abschnittsbezogene Einsatzempfehlungen auf Grundlage aller verfügbaren Daten erstellt werden. Neben Witterungs- und Zustandsdaten werden hierbei auch Informationen über die zurückliegenden Einsätze berücksichtigt. Die Einsatzempfehlungen berücksichtigen nicht nur den Ersteinsatz, sondern auch Wiederholungseinsätze bis zum Ende des Winterereignisses (s. Abbildung 3-14). Weiterhin lässt sich der Einfluss der Einsatzempfehlung oder abweichender Einsatzentscheidungen auf den Straßenzustand simulieren, um die Auswirkungen der Einsatzentscheidung besser abschätzen zu können [MAHONEY et al. 2006].



**Abbildung 3-14:** Das in den USA entwickelte System zur Unterstützung der Einsatzentscheidung (MDSS), links: Gesamtdarstellung mit abschnittsbezogener Prognose sowie Einsatzempfehlungen und rechts: Simulation des Fahrbahnzustands bei unterschiedlichen Einsatzstrategien, entnommen: MAHONEY et al [2006]

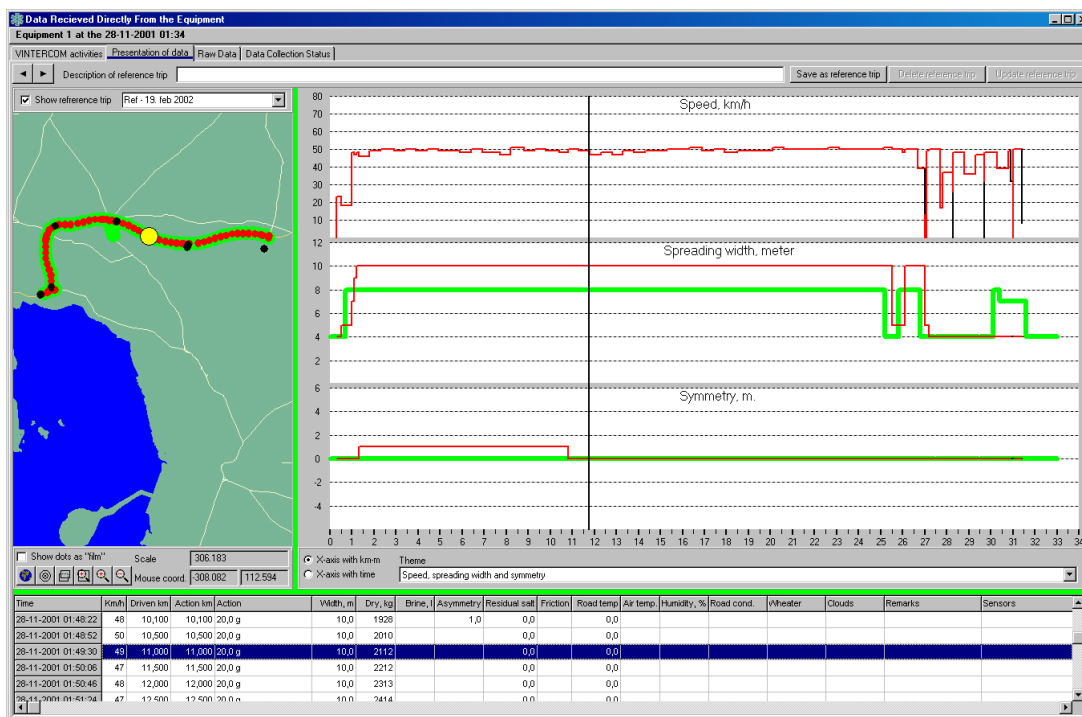
### 3.3.6 Automatisierung des Winterdienstesinsatzes

Wesentliches Einsatzgebiet der Informations- und Kommunikationstechnologie während des Winterdienstesinsatzes ist die fortlaufende Aufzeichnung der Einsatzdaten sowie die Übertragung der Daten in die Einsatzzentrale, entweder online während des Einsatzes oder nach dem Einsatz. Während viele Straßenbauverwaltungen bereits entsprechende Systeme eingeführt haben, ist die hierfür notwendige Ausrüstung aller Fahrzeuge in anderen Staaten hingegen ein Schwerpunkt der Entwicklung in den nächsten Jahren, z.B. in Belgien, Island, oder Quebec [PIARC 2006]. Auch viele Straßenbauverwaltungen in Deutschland sind dabei, Systeme zur automatisierten Einsatzdatenaufzeichnung einzuführen.

Wenn Einsatzdaten im Fahrzeug erfasst werden, können sie auch für die unmittelbare Steuerung der Winterdienstgeräte genutzt werden. Ein Beispiel hierfür ist das temperaturabhängige Streuen, bei dem die Streudichte in Abhängigkeit der gemessenen Fahrbahntemperatur angepasst wird. Veröffentlichte Untersuchungen über den Einsatz in der Praxis oder den hiermit erzielten Nutzen liegen nicht vor. Allerdings hat sich bei verwaltungsinternen Piloteinsätzen gezeigt, dass mit dem temperaturabhängigen Streuen auch Nachteile verbunden sind. Durch Anwender und Fachleute werden vor allem folgende Argumente genannt:

- Bei Präventiveinsätzen ist das temperaturabhängige Streuen nicht sinnvoll, da die Streudichte der prognostizierten und nicht der aktuellen Fahrbahntemperatur entsprechen soll.
- Auf Veränderungen der Belagstemperatur, z.B. bei Brücken reagiert das System zu spät, da die Streudichte nicht schon im Vorfeld, sondern erst auf der Brücke, nach Messung des Temperaturwechsels angepasst wird.
- Die Erfahrungswerte des Personals entsprechen nicht immer den Systemeinstellungen, so dass die Akzeptanz zum Teil nur gering ist und das System nicht in vollem Umfang genutzt wird.
- Zum Teil werden erhebliche Einsparungen des Streustoffverbrauchs durch Reduktion der Streudichte genannt. Diese sind jedoch in erster Linie nicht auf die automatisierte Anpassung der Streudichte, sondern vielmehr zu großen Teilen auf die mit der Systemeinführung verbundene Schulung des Personals über das temperaturabhängige Streuen zurückzuführen. Dieses Know How kann in gleicher Weise genutzt werden, wenn dem Fahrer fortlaufend die aktuelle Fahrbahntemperatur angezeigt wird.

Eine andere Form der Automatisierung des Winterdiensteinsatzes wird z.B. in Dänemark eingesetzt. Hier stehen mit Hilfe des Systems VINTERMAN detaillierte Daten zur Einstellung von Streudichte, -breite und -bild zur Verfügung (s. Abbildung 3-15). In einer Lernfahrt werden alle Streuereinstellungen in Abhängigkeit der Position, die mit GPS ermittelt wird, aufgezeichnet. Die Daten können genutzt werden, das Streugerät bei späteren Einsätzen automatisch zu steuern. Hierdurch wird der Fahrer von der Steuerung des Streugerätes entlastet. Interviews haben gezeigt, dass die Fahrer mit dem System sehr zufrieden sind. Nennenswerte Einsparungen des Salzverbrauchs konnten hingegen nicht erzielt werden, wesentlicher Vorteil ist vielmehr eine Steigerung der Verkehrssicherheit, da sich der Fahrer stärker auf den Verkehr konzentrieren kann. Zukünftiges Einsatzgebiet wird auch bei der Nutzung abschnittsbezogener Zustandsprognosen gesehen, da dann die notwendige Streudichte während eines Einsatzes stärker variiert [KNUDSEN 2006].



**Abbildung 3-15: Visualisierung der Einsatzdaten eines Winterdiensteseinsatzes im System Vinterman, entnommen SOMMER [2002]**

Auch in Großbritannien, wo die abschnittsbezogene Zustandsprognose wichtiger Entwicklungsschwerpunkt ist (s. Kap. 3.3.5), hat die Automatisierung des Streueinsatzes ähnlich wie in Dänemark große Bedeutung. Hier ist vorgesehen, für sehr kurze Streckenabschnitte (200 m) differenzierte Einsatzempfehlungen zu erstellen, die nur durch eine automatisierte Streugerätsteuerung umgesetzt werden können [PIARC 2006].

### 3.4 Zusammenfassende Bewertung

Der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IK-Technologien) für das Winterdienstmanagement in der Schweiz ist differenziert zu bewerten. Dies ist zum einen auf große Unterschiede in den einzelnen Kantonen zurückzuführen, zum anderen sind die verschiedenen Komponenten eines Winterdienstmanagementsystems in der Schweiz wie auch im Ausland unterschiedlich weit implementiert. Eine exponierte Position nimmt in der Schweiz der Kanton Luzern ein, wo ein sehr weit reichendes und umfassendes Winterdienstmanagementsystem implementiert wurde, das auch international zu den Vorreitern gezählt werden kann.

Schwerpunkt der Implementierung in der Schweiz sind Straßenwetterinformationssysteme, die bis auf einzelne Kantone landesweit im Einsatz sind. Hierzu zählen zum einen die Straßenwetterprognosen der MeteoSchweiz und zum anderen Glättemessstationen im Straßennetz von unterschiedlichen Herstellern. Im Kanton Luzern werden zusätzlich Radar- und Bewölkungs-

prognose für eine differenziertere Bewertung herangezogen. Es zeigt sich, dass somit in der Schweiz wie auch in vielen anderen Staaten der Schwerpunkt bisher auf der Installation von Messstationen lag und nun verbesserte Wetterprognosen zum Einsatz kommen. Die Daten der Glättemeldeanlagen werden im Kanton Luzern und im Kanton Fribourg auch für die Wetterprognose genutzt, dies entspricht zum Teil dem deutschen Straßenwetterinformationssystem (SWIS) und kann zu einer deutlichen Verbesserung der Prognose führen.

Aufgrund der Vielfalt der Systeme und der unterschiedlichen Informationsquellen wird in der Schweiz wie auch im Ausland der Informationsaufbereitung und übersichtlichen Visualisierung stärkere Bedeutung zugemessen. Dies kann für die richtige Nutzung der Informationen ebenso große Bedeutung haben wie die weitere Verfeinerung der Prognosen. Im Kanton Luzern könnte man wie z.B. in den USA mit einem vorgesehenen Interventionsmanagement Winterdienst, bei dem automatisiert Einsatzentscheidungen generiert werden, sogar einen Schritt weiter gehen. Allerdings zeigt sich, dass Einsatzentscheidungen nicht nur auf Straßenzustand und –prognose basieren, sondern dass daneben eine Vielzahl betrieblich-organisatorischer und verkehrlicher Kriterien eine Rolle spielen, so dass diese Einsatzentscheidungen in erster Linie als Empfehlung zur Unterstützung des Einsatzleiters einzusetzen sind.

Daneben ermöglicht das System im Kanton Luzern eine abschnittsbezogene Prognose. Auch dies ist ein internationaler Trend, um differenzierte Einsatzentscheidungen zu ermöglichen. Grundlage hierfür sind die Kenntnisse über Temperaturunterschiede im betreuten Straßennetz, die mit Hilfe des Thermal Mapping gewonnen werden können. Durch die Verwendung dieser Daten ist es möglich, gebietsbezogene Wetterprognosen und stationsbezogene aktuelle Messwerte auf das gesamte Betreuungsnetz zu übertragen. Neben dem Thermal Mapping werden im Ausland verstärkt auch Patrouillen - oder Einsatzfahrzeuge für die mobile Erfassung von Straßenzustand und Witterung eingesetzt. Hierbei werden in erster Linie Fahrbahn- und Lufttemperatur gemessen, aber auch Luftfeuchtigkeit, Restsalzgehalt und Griffigkeit sollen erfasst werden.

Aufgrund der dezentralen Organisation des Winterdienstes durch die einzelnen Werkhöfe hat die Nutzung der IuK-Technologien für die Einsatzauslösung und –leitung in der Schweiz bisher nur sekundäre Bedeutung. Nur im Kanton Luzern, in dem der Winterdienst zentral gesteuert wird, werden auch hierbei IuK-Komponenten eingesetzt, die den Einsatzleiter unterstützen und die getroffenen Entscheidungen protokollieren. Im Ausland zeigt sich der gleiche Trend: Dort, wo der Winterdienst zentral gesteuert wird, werden auch entsprechende Komponenten eingesetzt. Eine Online-Übertragung der Einsatzdaten zur fortwährenden Darstellung von Einsatzort und -status erfolgt auch im Kanton Luzern nicht, diese ist als Prototyp im Werkhof Fribourg installiert. Notwendig ist diese Online-Übertragung in erster Linie dann, wenn Einsätze nicht

mehr routenbezogen, sondern variabel erfolgen sollen. Dies stellt jedoch erhebliche Anforderungen an die Organisation. Im Ausland wird die Online-Übertragung von Einsatzdaten zum Teil eingesetzt; inwieweit diese jedoch für die Einsatzsteuerung tatsächlich benötigt wird, ist offen.

Eine detaillierte Einsatzdokumentation mit Hilfe von GPS erfolgt in der Schweiz bisher nur vereinzelt. Diese ist jedoch nicht nur für den Einsatznachweis, sondern auch für die Abrechnung von Fremdunternehmern, die Erstellung von Einsatzstatistiken sowie die Qualitätsüberwachung von großer Bedeutung. Im Ausland hat sie sich daher vielfach – insbesondere bei privaten Winterdienstbetreibern - durchgesetzt, sofern nicht personalrechtliche Bedenken dagegen sprechen. Sie ist auch deshalb von großer Bedeutung, da nur durch die Kenntnis über die durchgeführten Einsätze eine weitere Verbesserung der Winterdienstesätze und Einsatzentscheidungen möglich ist. Für die Einsatzdokumentation stehen zahlreiche ausgereifte Systeme unterschiedlicher Anbieter zur Verfügung.

Die erfassten Einsatzdaten können auch zur unmittelbaren Steuerung der Winterdienstgeräte genutzt werden, z.B. für das temperaturabhängige Streuen. Dieses System ist zwar technisch ausgereift, lässt sich jedoch bei vorbeugenden Streueinsätzen aufgrund einer umfassenden Winterdienststrategie nur bedingt einsetzen. In der Schweiz kommt das temperaturabhängige Streuen nur vereinzelt, z.B. im Werkhof Fribourg, zum Einsatz. Auch international ist das System nicht sehr stark verbreitet.

Daneben werden im Ausland, insbesondere in Dänemark, Systeme zur automatischen Steuerung von Streubreite und –bild eingesetzt. Diese ist insbesondere bei innerstädtischen Einsätzen oder im nachgeordneten Außerortsnetz von Bedeutung; im Autobahnbereich hingegen sind Änderungen des Streubildes nur selten notwendig. Wichtiger Systemvorteil ist die Berücksichtigung aller Änderungen im Straßenquerschnitt, so dass z.B. auch Abbiegestreifen, Pannengebühren etc., vollständig abgestreut werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Streubreite und –bild nicht immer gleich eingestellt, sondern durch zeitlich veränderliche Einflüsse, wie Verkehr, parkende Fahrzeuge, Baustellen etc., beeinflusst werden, so dass der Fahrer die Einstellungen des Streubildes fortlaufend überwachen muss

Insgesamt wird deutlich, dass in der Schweiz IuK-Technologien wie auch im Ausland primär für Erfassung und Prognose von Straßenzustand und Witterung zum Einsatz kommen. Weitergehende Einsatzbereiche, wie die Einsatzauslösung, -leitung und –dokumentation, sind im Ausland stärker verbreitet als in vielen Kantonen der Schweiz. Ausnahme ist der Kanton Luzern mit seinem umfassenden Winterdienstmanagementsystem. Schweizerische und internationale Entwicklungen zeigen deutlich, dass der adäquaten Informationsaufbereitung und

-visualisierung bis hin zur automatischen Generierung von Einsatzstrategien zukünftig eine größere Bedeutung zukommen wird, wobei abschnitts- und netzbezogene Betrachtungen an Bedeutung gewinnen. Die Daten der automatisierten Einsatzdokumentation sind vielfältig im Rahmen einer umfassenden Winterdienststrategie nutzbar, so dass sich die Einsatzdatenerfassung international immer stärker durchsetzt.

## **4. Durchgeführte Untersuchungen in drei Werkhöfen**

### **4.1 Einsatzbedingungen in den drei Werkhöfen**

Wichtiges Ziel des Forschungsauftrages ist die Analyse, welche Bedeutung detaillierte Straßenwetterinformationen sowie Daten stationärer Messstationen für den Winterdienst haben. Daneben ist zu bewerten, inwieweit automatisch erfasste Einsatzdaten des Winterdienstes genutzt werden und welche Vorteile aus ihrer Verfügbarkeit abgeleitet werden können. Zur Untersuchung dieser beiden Fragestellungen wurden die Winterdienstesätze des Winters 2005/06 in ausgewählten Werkhöfen detailliert untersucht.

Bei der Auswahl der Werkhöfe wurde berücksichtigt, dass unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen, um vergleichende Aussagen zu ermöglichen. Da innerhalb der Kantone in der Regel gleichartige Systeme verwendet werden, wurden Werkhöfe aus unterschiedlichen Kantonen in die Untersuchung einbezogen. Hiermit verbunden sind unterschiedliche Organisationsformen des Winterdienstes sowie unterschiedliche Anforderungen an den Winterdienst infolge topographischer, verkehrlicher und klimatischer Einflüsse. Es wurde nur der Winterdienst auf den Nationalstraßen berücksichtigt, da hier in der Regel die Systemausstattung am weitesten fortgeschritten ist und da Organisation und Anforderungen in geringerem Maße differieren als für die Kantonsstraßen.

Folgende Werkhöfe wurden in die Untersuchungen einbezogen:

- Werkhof Sprengi im Kanton Luzern
- Werkhof Winterthur im Kanton Zürich
- Werkhof Fribourg-Nord im Kanton Fribourg

#### **4.1.1 Werkhof Sprengi (Kanton Luzern)**

Durch den Werkhof Sprengi werden alle Nationalstraßen des Kanton Luzern unterhalten. Der Werkhof liegt nördlich der Verzweigung Luzern an der Anschlussstelle Emmenbrücke-Nord der A 2. Die Gesamtlänge der betreuten Autobahnen A 2 und A 14 beträgt 57 km. Die Autobahnen haben sowohl eine wichtige Transitfunktion für den Nord-Süd-Verkehr als auch eine große Bedeutung für den Regionalverkehr im Ballungsraum Luzern. Sie sind zum Teil hoch belastet; die mittlere Verkehrsfrequenz auf der A 2 im südlichen Abschnitt beträgt bis zu 88'000 Kfz/24 Std. (Zählstelle Lochhof). Auf der A 14 wurde eine Verkehrsfrequenz von 61.000 Kfz/24 Std. (Zählstelle Rathausen) und auf der A 2 im nördlichen Abschnitt von 43'000 Kfz/24 Std. (Zählstelle Reiden) gemessen. Die Fahrbahnen verfügen in der Regel über zwei Fahrstreifen und Stand-

streifen, nur in den hoch belasteten Abschnitten sowie im Bereich der Verzweigung Luzern haben sie drei Fahrstreifen je Richtung. Die Strecken verlaufen in einer Höhenlage zwischen 449 und 560 m ü. M. und weisen keine besonderen Längsneigungen auf. Während des Untersuchungszeitraums wurden Teile der A 2, insbesondere nördlich der Verzweigung Luzern, ausgebaut.

Aufgrund der zentralen Lage des Werkhofs können die Autobahnen im Winterdienst durch drei Schleifen (A 2 Nord, A 2 Süd, A 14) betreut werden. In jeder dieser Schleifen sind je ein Fahrzeug für die Streuung der Hauptstrecke und der Anschlussstellen im Einsatz. Bei Schneeglätte kommt in jeder Betreuungsschleife ein drittes Fahrzeug zum Räumen der Überholspur hinzu. Für die Betreuung der Verzweigung wird bei Schneeglätte ein zusätzliches Fahrzeug eingesetzt. Die Einsatzschleife A 2 Nord wird durch Fahrzeuge und Personal des Kantons betreut, während auf den anderen Schleifen Unternehmerfahrzeuge zum Einsatz kommen, die mit kantonseigenen Streu- und Räumgeräten ausgerüstet sind. Alle Fahrzeuge sind in der Regel nur mit einem Fahrer besetzt. Der Winterdienst auf den Nationalstraßen erfolgt ohne Einschränkungen rund um die Uhr.

Der gesamte Winterdienst im Kanton Luzern wird zentral durch zwei Einsatzleiter gesteuert, wobei die Einsatzrouten entsprechend ihrer Höhenlage den Einsatzgebieten „Berg“ und „Tal“ zugeordnet sind. Das Einsatzgebiet „Tal“ umfasst neben allen Nationalstraßen zwölf weitere Routen auf den Kantonstraßen; im Einsatzgebiet „Berg“ liegen 17 Routen auf den Kantonstraßen. Der Winterdienst auf den Kantonstraßen wird ausschließlich von Unternehmern wahrgenommen. Den Einsatzleitern steht ein umfangreiches Managementsystem für den Winterdienst zur Verfügung, auf das sie über das Internet auch von zu Hause aus zugreifen können. In der Regel erfolgt die gesamte Einsatzleitung daher nicht von zentraler Stelle (Werkhof, Einsatzzentrale o.ä.), sondern dezentral am Wohnort des Einsatzleiters. Das Managementsystem umfasst differenzierte Prognosesysteme für Witterung und Straßenzustand, die Alarmierung und Steuerung der Einsätze sowie die Dokumentation und Abrechnung. In Tabelle 4-1 sind die verfügbaren Komponenten zusammengestellt, deren Funktionalität ergänzend in Kapitel 3.2 beschrieben ist.

<b>Straßenwetterinformati- onssystem</b>	s. Tabelle 3-1
<b>Videokamera</b>	18 Videokameras (davon 5 im Bereich der Nationalstraßen)
<b>Iceman (Einsatz- managementsystem)</b>	Einsatzplanung Einsatzauslösung Auftragsbestätigung, Einsatzbeginn und –ende Kontrolle des durchgeführten Einsatzes (Zeit, Strecke, Streustoffverbrauch) Logbuch Aufgebotsorganisation
<b>Streudatenmanager (SDM) im Fahrzeug</b>	Aufzeichnung der Einsatzdaten Quittierung definierter Wendepunkte
<b>ICT</b>	Übermittlung von aggregierten Einsatzdaten per SMS
<b>wapfähiges Natel</b>	Empfang und Quittierung der Einsatzalarmierung

**Tabelle 4-1:       Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Sprengi (Kanton Luzern); Quelle: KANTON LUZERN [2002]**

Organisation und Steuerung des Winterdienstes im Kanton Luzern sind auf das zur Verfügung stehende Managementsystem abgestimmt. Wichtige Grundlagen hierfür sind der Fachordner Winterdienst im Sinne eines QM-Dokuments [KANTON LUZERN 2002] sowie das jährlich fortzuschreibende Handbuch Winterdienst [KANTON LUZERN 2006] als Handlungsanweisung für die Praxis des Winterdienstes. Daneben erfolgen umfangreiche Schulungen des Personals, die neben der Praxis des Winterdienstes auch die eingesetzten Datenverarbeitungs- und Kommunikationssysteme berücksichtigen. Die Geräte für den Winterdienst werden vor der Wintersaison überprüft und kalibriert, das Zusammenspiel aller Komponenten wird in einem Integralen Gesamt Test (IGT) abschließend getestet. Durchgeführte Einsätze werden hinsichtlich ihrer Optimierungspotenziale systematisch analysiert.

#### **4.1.2   Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)**

Die Nationalstraßen im Kanton Zürich mit einer Gesamtlänge von ca. 120 km werden durch die drei Werkhöfe Winterthur, Wallisellen und Neubüel betreut, die zusätzlich ca. 30 km in angrenzenden Kantonen in der Unterhaltspflicht haben. Dem Werkhof Winterthur sind insgesamt 57 km auf der A 1 und der A 4 zugeordnet. Entsprechend der Verkehrsbelastungen sind die Abschnitte unterschiedlich stark ausgebaut: Die A 1 südlich von Winterthur mit einer Verkehrsfrequenz von bis zu 100'000 Kfz/24 Std. hat einen sechsstreifigen Querschnitt. Die A 4 zwischen Winterthur und Schaffhausen ist mit 25'000 Kfz/24 Std. hingegen weitaus geringer belastet und verfügt überwiegend nur über einen Fahrstreifen je Richtung [RODRIGUEZ/DUMONT 2006]. Die mittlere Höhenlänge des Netzes beträgt 480 m ü. M. und weist keine besonderen Steigungsstrecken auf.

Der Werkhof Winterthur liegt zentral an der Anschlussstelle Winterthur-Nord unmittelbar an der Verzweigung Winterthur. Im Winterdienst sind bis zu fünf Routen vorgesehen, die sich zum Teil überlappen bzw. ergänzen: Je eine Route betreut den südlichen Abschnitt der A 1, den östlichen Abschnitt der A 1 sowie die A 4. Eine weitere Route betreut zusätzlich den Abschnitt Oberwinterthur – Wülflingen auf der A 1. In jeder der vier Routen wird ein Kantonsfahrzeug sowie ein Unternehmerfahrzeug eingesetzt. Auf dem südlichen Abschnitt der A 1 kommt ein zweites Unternehmerfahrzeug hinzu, um die dreistreifigen Richtungsfahrbahnen räumen zu können. Zusätzlich sind in einer fünften Route zwei Fahrzeuge des Kantons für die Anschlussstellen auf der A 1 zwischen Winterthur und Zürich vorgesehen. Die Winterdienstfahrzeuge sind generell nur mit einem Fahrer besetzt.

Der Winterdienst im Kanton Zürich wird dezentral durch die Werkhöfe geleitet. Dementsprechend werden auch Witterung und Straßenzustand dezentral in den Werkhöfen überwacht. Hierfür können die Einsatzleiter auf ein Glättefrühwarnsystem zugreifen, das Ende 2003 installiert wurde. Kern dieses Glättefrühwarnsystems sind insgesamt 58 Messstellen, wovon elf Messstellen im Betreuungsbereich des Werkhofs Winterthur installiert sind. Im Winter 2005/06 waren die Werkhöfe noch nicht miteinander vernetzt, so dass keine Daten der Messstellen angrenzender Strecken zur Verfügung standen. Für einzelne Messstellen stehen zusätzlich Videokameras zur Verfügung, die Standbilder des Fahrbahnzustandes übertragen. Neben dem Glättefrühwarnsystem können die Einsatzleiter auf unterschiedliche Wetterinformationen und -prognosen zurückgreifen. Sowohl durch das Glättefrühwarnsystem als auch durch die Wetterprognosesysteme können automatische Alarmierungen der Einsatzleiter erfolgen. In Tabelle 4-2 sind die verfügbaren Komponenten zusammengestellt, deren Funktionalität ergänzend in Kapitel 3.2 beschrieben ist.

<b>Straßenwetterinformationssystem</b>	s. Tabelle 3-2
<b>Videokamera</b>	10 Videokameras (im gesamten Kanton Zürich) zur optischen Überwachung des Fahrbahnzustandes

**Tabelle 4-2: Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)**

Einsatzausrufung und –leitung werden konventionell durchgeführt, d.h. die Kommunikation erfolgt über Betriebsfunk, Mobiltelefon oder Pager. In den Winterdienstfahrzeugen werden keine Einsatzdaten aufgezeichnet. Die notwendige Dokumentation der Einsätze erfolgt in Einsatzprotokollen.

Die Organisation des Winterdienstes im Werkhof Winterthur entspricht weitgehend der dezentralen Organisation, wie sie auch schon in der Vergangenheit ohne besondere Informations- und Kommunikationstechnologien eingeführt war. Für den Winter 2006/07 ist vorgesehen, Witterung und Straßenzustand aller Nationalstraßen im Kanton Zürich zentral zu überwachen, sofern die Werkhöfe bis dahin vernetzt sind. Aufgrund fehlender Daten können keine spezifischen Einsatzanalysen zur Optimierung des Winterdienstes durchgeführt werden.

#### **4.1.3 Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)**

Durch den Kanton Fribourg werden insgesamt 101 km Nationalstraßen betreut, wovon 17 km in angrenzenden Kantonen liegen. Für die Betreuung stehen drei Werkhöfe zur Verfügung: Fribourg-Nord, Dondidier und Vaulruz. Zentrale Aufgaben der Administration und im Werkstättenbereich werden ausschließlich durch den Werkhof in Fribourg-Nord wahrgenommen.

Durch den Werkhof Fribourg-Nord wird ein ca. 32 km langer Abschnitt der A 12 betreut, die mit ca. 26'000 Kfz/24 Std. gering belastet ist. Die Strecke liegt in einer Höhenlage zwischen 400 und 750 m ü. M. und hat längere Steigungsstrecken. Die Fahrbahnen verfügen über zwei Fahrstreifen je Richtung. Im Streckenverlauf liegen mehrere lange Talbrücken. Die Talbrücke bei Flamatt im Norden der Betreuungsstrecke ist mit einer Taumittelsprühanlage ausgerüstet, da sie in einer Kaltluftsenke liegt.

Der Werkhof Fribourg-Nord liegt zentral an der gleichnamigen Anschlussstelle, so dass der gesamte Streckenabschnitt durch zwei Betreuungsschleifen abgedeckt werden kann. Für beide Schleifen stehen bei Schneefall bis zu vier Fahrzeuge zur Verfügung, wovon je drei Fahrzeuge die Hauptfahrbahn und ein Fahrzeug die Rampen der Anschlussstellen räumt. Für Streueinsätze kommen in der Regel insgesamt nur drei Fahrzeuge zum Einsatz. Alle Lkw sind nur mit einem Fahrer besetzt. Der Großteil der Fahrzeuge sind Lkw des Kantons Fribourg, nur bei Räumeeinsätzen fährt in beiden Staffeln je ein Unternehmerfahrzeug mit.

Die Einsatzleitung für den Winterdienst erfolgt in einer ersten Stufe zentral für alle Nationalstraßen des Kantons. Der Einsatzleiter wechselt wöchentlich zwischen den Werkhöfen und kann Witterung und Straßenzustand auch dezentral von zu Hause aus überwachen. Bei Bedarf alarmiert er den zuständigen Einsatzleiter des Werkhofs, der einen Winterdienst-Lkw fährt, und einen weiteren Fahrer des betroffenen Werkhofs. Sobald diese mit dem Winterdiensteinsatz beginnen, wird die Einsatzleitung dezentral durch den Einsatzleiter des jeweiligen Werkhofs wahrgenommen.

Für den Winterdienst stehen verschiedene EDV-Systeme zur Verfügung, die unabhängig voneinander auf verschiedenen Computern installiert sind (s. Tabelle 4-3, ergänzende Beschreibung der Funktionalität einzelner Komponenten s. Kapitel 3.2). Während des Untersuchungszeitraums wurde zusätzlich ein zentrales Winterdienstmanagementsystem installiert, um Witterungs- und Einsatzdaten von vier Fahrzeugen, die überwiegend zum Einsatz kommen, für die Auswertungen im Rahmen des Forschungsvorhabens zur Verfügung stellen zu können. Dieses System stand jedoch der Einsatzleitung im Kanton Fribourg noch nicht zur Verfügung.

<b>Straßenwetterinformationssystem</b>	s. Tabelle 3-3
<b>Videokamera</b>	insgesamt 16 Videokameras der Verkehrspolizei, die eingesehen werden können, zur optischen Überwachung des Fahrbahnzustandes, jedoch keine Infrarotaufnahmen
<b>Pager</b>	Alarmierung des Personals der Werkhöfe über Pager
<b>Einsatzdokumentation</b>	Aufzeichnung der Einsatzdaten im Einsatzfahrzeug auf Speicherkarte Übermittlung der Einsatzdaten nach Einsatzende

**Tabelle 4-3: Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)**

Entsprechend den verfügbaren Systemkomponenten ist der Winterdienst organisiert. Infolge der zentralen Verfügbarkeit der Daten ist es möglich, Witterung und Straßenzustand durch einen Einsatzleiter im gesamten Kanton zu überwachen. Die konkrete Einsatzleitung und -steuerung erfolgt hingegen dezentral in den einzelnen Werkhöfen, wobei - aufgrund der geringeren Anforderungen aus Netzstruktur und Verkehrsbelastung sowie der häufig nur geringen Anzahl eingesetzter Fahrzeuge - diese meist unmittelbar durch einen der Fahrer erfolgen kann. Die aufgezeichneten Einsatzdaten werden vor allem für den Einsatznachweis archiviert, daneben werden sie auch für statistische Auswertungen herangezogen.

## **4.2 Analyse des Einsatzentscheids**

### **4.2.1 Methodik**

Ziel der Analyse ist es zum einen, Aussagen zu treffen, welche Informationsgrundlagen für den Einsatzentscheid tatsächlich relevant waren. Zum anderen soll jedoch auch ausgewertet werden, wie sich die genutzten Informationen auf die Qualität und Intensität des Winterdienstes auswirken. Hierbei standen vor allem folgende Fragen im Vordergrund:

- Haben sich Witterung und Fahrbahnzustand so entwickelt wie vorhergesagt?
- Wurde der Einsatz so ausgeführt, wie geplant?

- Entsprach der durchgeführte Einsatz den tatsächlichen Witterungs- und Fahrbahnverhältnissen während des Einsatzes?

Die Analyse des Einsatzentscheides erfolgte im ersten Schritt für jeden der drei Werkhöfe separat. Durch den anschließenden Vergleich der Ergebnisse für die drei in die Untersuchung einbezogenen Werkhöfe lassen sich Aussagen zum Nutzen der eingesetzten Informations- und Kommunikationssysteme für die Einsatzentscheidung treffen. Die ergänzenden Analysen machen es möglich, auch die Qualität der Einsatzentscheidung zu bewerten. Da in den drei Werkhöfen nicht alle Daten in gleicher Form und Qualität zur Verfügung standen, ließ sich dieser methodische Ansatz nur mit Einschränkungen umsetzen.

### **Protokoll Einsatzentscheid**

Wesentlich für die Erhebung war die Protokollierung des Einsatzentscheids durch den Einsatzleiter unmittelbar während des Einsatzes. Hierfür wurden Erhebungsprotokolle entwickelt, in denen die je Werkhof vorhandenen Systemkomponenten berücksichtigt sind (Beispiel s. Anhang 4.1), und mit dem Personal der drei Werkhöfe abgestimmt. Alle Erhebungsprotokolle gliedern sich in folgende Bereiche: Daten zur eindeutigen Zuordnung des Einsatzes, Beschreibung des Einsatzes, Informationsgrundlagen für die Einsatzentscheidung, aufgebote Fahrzeuge. Für den Werkhof Fribourg-Nord wurde bei der Erhebung die zweistufige Organisation der Einsatzleitung berücksichtigt, indem für die zentrale Einsatzleitung und die Einsatzleitung des Werkhofs unterschiedliche Protokolle (beide in französischer Sprache) erstellt wurden.

Inwieweit die Protokolle tatsächlich unmittelbar während der Einsätze ausgefüllt wurden und somit einer „Momentaufnahme“ während des Einsatzes entsprechen, kann im einzelnen nicht bewertet werden; Plausibilitätsprüfungen ließen jedoch keine systematischen Mängel in der Protokollierung erkennen. Weiterhin wird bei der Auswertung berücksichtigt, dass die Angaben zu den genutzten Informationsgrundlagen einen subjektiven Charakter haben, da zum Teil eine Vielzahl von Informationen für den Einsatzentscheid herangezogen wird und eine eindeutige Priorisierung auch von den individuellen Präferenzen des Personals abhängt. Die Angaben spiegeln somit in gewisser Weise die subjektiven Vorlieben für einzelne Systemkomponenten wider.

Trotz dieser evtl. verfälschenden Einflüsse wurde der Protokollierung des Einsatzentscheids durch die Einsatzleiter der Vorzug gegenüber anderen Verfahren gegeben, bei denen die Nutzung der Systeme automatisch protokolliert wird. Neben dem erheblichen Erhebungs- und Auswerteaufwand sowie Fragen des Datenschutzes stand der automatischen Protokollierung der Systemnutzung auch entgegen, dass damit nur die quantitative Nutzung der Komponenten

erfasst werden könnte, die jedoch nur bedingt Rückschlüsse auf die qualitative Relevanz der Komponenten zuließe.

Die Protokolle des Einsatzentscheids wurden durch die Werkhöfe monatlich zur Verfügung gestellt und alle Angaben fortlaufend tabellarisch erfasst. Nicht plausible oder fehlende Angaben wurden soweit möglich nach Rückfragen ergänzt. Um die Angaben aus dem Kanton Fribourg mit denen der beiden anderen Kantone vergleichen zu können, wurden die für Fribourg zweistufig vorliegenden Einsatzprotokolle zusammengeführt.

### **Einsatzdaten**

Um zu analysieren, ob die Einsätze wie vorgesehen ausgeführt wurden und ob es zwischen den betrachteten Werkhöfen systematische Unterschiede bei den Einsätzen selbst gab, wurden für die Werkhöfe Sprengi und Fribourg-Nord die automatisch erfassten Einsatzdaten der Winterdienstfahrzeuge ausgewertet. Für Sprengi wurden die Einsatzrapporte als Papierausdruck zur Verfügung gestellt, auf denen alle relevanten Angaben zu Alarmierung, Einsatzbeginn und –ende, Streu- und Räumstrecke sowie Streustoffverbrauch vermerkt sind. Für Fribourg-Nord standen diese Einsatzdaten von vier Fahrzeugen unmittelbar über eine Internet-Anwendung in Listenform zur Verfügung (Beispiel s. Anhang 4.2). Für die weiteren Fahrzeuge, die nur vereinzelt zum Einsatz kamen, wurden Einsatzbeginn und –ende dem Protokoll der Einsatzentscheidung entnommen. Daten zu Streu- und Räumstrecke oder Streustoffverbrauch gibt es für diese Fahrzeuge nicht. In Winterthur standen nur die in den Protokollen gemachten Angaben zu Einsatzbeginn und –ende der einzelnen Fahrzeuge zur Verfügung.

### **Daten zu Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes**

Um zu bewerten, wie sich Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes entwickelt haben und somit Aussagen zu treffen, ob die während der Einsatzentscheidung prognostizierte Situation auch tatsächlich eingetroffen ist und ob der durchgeführte Einsatz der tatsächlichen Situation entspricht, wurden in einem weiteren Auswerteschritt die Daten der einzelnen Messstationen jeweils für die tatsächlichen Einsatzzeiten und -routen ausgewertet.

Für den Werkhof Sprengi wurden die Grafiken der Mess- und Prognosedaten als Bildschirmausdrucke für den Einsatzzeitraum archiviert und ausgewertet. Neben den Daten der Messstationen an den Nationalstraßen standen zusätzliche Daten der relevanten Klimastationen und der abschnittsbezogenen Prognose der Fahrbahnoberflächentemperatur zur Verfügung.

Für den Werkhof Winterthur wurden die Daten der Messstationen, die in drei- oder fünfminütigen Intervallen gespeichert worden waren, in tabellarischer Form auf Datenträger zur Verfügung gestellt.

Für Fribourg-Nord konnten die Daten direkt über das Internet aus einer zentralen Datenbank abgefragt und grafisch visualisiert werden. Hier standen die Daten aufgrund von Kommunikationsschwierigkeiten zum Teil nur im Stundenintervall zur Verfügung. Plausibilitätsprüfungen haben jedoch gezeigt, dass sich die relevanten Parameter, insbesondere Temperatur und Feuchtigkeit oder Nässe auf der Fahrbahn, außer bei direkter Sonneneinstrahlung, nur relativ langsam verändern, so dass die eingeschränkte Verfügbarkeit der Messwerte für die generelle Beurteilung des Straßenzustandes während des Einsatzes nicht relevant ist.

Da die Daten in unterschiedlicher Form verfügbar waren und keine einheitlichen und eindeutigen Grenzwerte der verschiedenen Parameter für die Relevanz eines Winterdiensteinsatzes existieren, erfolgt die Beschreibung der Witterungssituation und des Straßenzustandes qualitativ. Hierbei werden die Daten über die gesamte Einsatzzeit sowie über alle Messstationen, die an der Einsatzroute liegen, zusammengefasst. Ein Beispiel enthält Anhang 4.3. Als maßgebende Parameter wurden Oberflächentemperatur, Art und Intensität des Niederschlags sowie der Straßenzustand berücksichtigt.

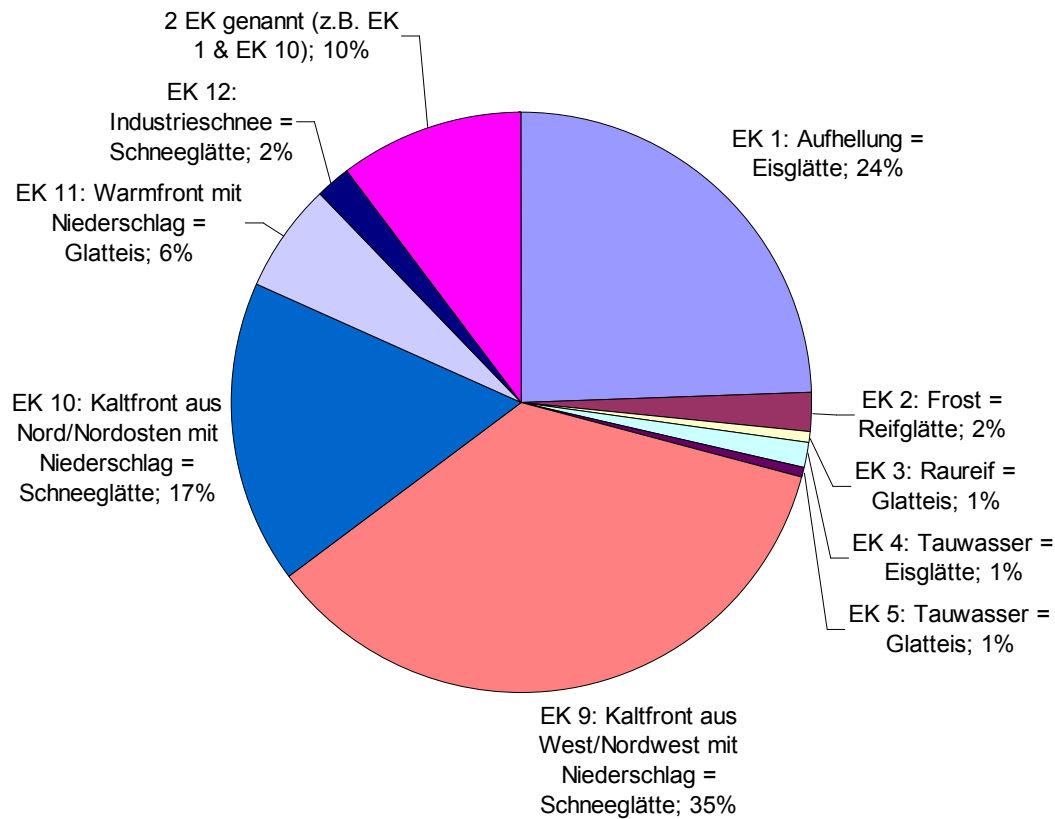
## **4.2.2 Ergebnisse Werkhof Sprengi (Kanton Luzern)**

### **Umfang der Einsatzentscheidungen**

Zwischen 15.11.2005 und 15.03.2006 wurden insgesamt 163 Einsatzentscheidungen getroffen, 68 % davon waren Ersteinsätze, 32 % Wiederholungseinsätze. 43 % aller Einsätze waren Räumeeinsätze. Bei den Ersteinsätzen wurden zu 70 % nur ein oder zwei Lkw eingesetzt, nur bei 5 % der Einsätze kamen fünf oder mehr Lkw zum Einsatz. Dies macht deutlich, dass die Einsatzentscheidungen bei Ersteinsätzen differenziert getroffen werden und dass die Winterdienst-Lkw nur für die unmittelbar glättegefährdeten Routen und nicht für das gesamte Netz aufgeboden werden.

Für den Kanton Luzern sind 13 Einsatzkriterien (EK) in Abhängigkeit von Witterung und Straßenzustand definiert worden, aus denen eindeutige Handlungsempfehlungen für den Winterdienst resultieren (s. Tabelle 3-4). In Abbildung 4-1 sind die Einsatzentscheidungen aller Einsätze nach diesen Einsatzkriterien differenziert dargestellt. Im Vergleich zu anderen Jahren ist der Anteil der Einsatzentscheidungen mit den Kriterien 9 und 10 weitaus höher, während die Kriterien 2

bis 5 nur unterdurchschnittlich vertreten waren. Dies macht deutlich, dass die Witterung des Untersuchungszeitraums extreme Schneefälle mit sich gebracht hatte.

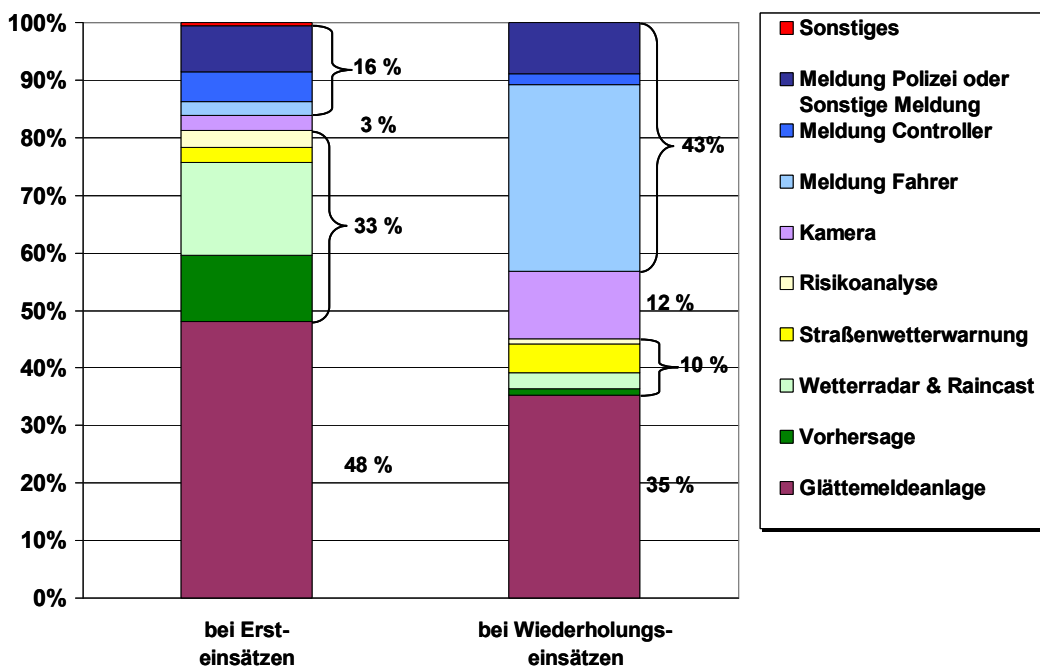


**Abbildung 4-1: Einsatzentscheide zwischen 15.11.2005 und 15.03.2006 im Werkhof Sprengi, differenziert nach Einsatzkriterien**

### Informationsquellen für die Einsatzentscheidung

Dem Einsatzleiter stehen eine Vielzahl von Informationsquellen zur Verfügung. Im Protokoll zur Dokumentation der Einsatzentscheidung wurden zu über 60 % der Einsatzentscheide mehrere wesentliche Informationsquellen genannt. In Abbildung 4-2 sind die Nennungen nach Erst- und Wiederholungseinsätzen differenziert dargestellt. Bei Ersteinsätzen spielen die Daten der Messstationen sowie die verschiedenen Prognoseinstrumentarien der Meteorologen die entscheidende Rolle für die Einsatzentscheidung. Bei Wiederholungseinsätzen hingegen haben auch die Meldungen des Personals, im wesentlichen der Fahrer der Winterdienstfahrzeuge, größere Bedeutung, da diese insbesondere bei Räumeeinsätzen unmittelbar vor Ort erkennen können, ob ein weiterer Einsatz notwendig ist. Weiterhin resultiert dieser hohe Anteil auch aus

der Vorgabe, dass für jeden Wiederholungseinsatz, auch wenn er nur für Teilstrecken notwendig ist, die Einsatzleitung ein separates Aufgebot aussenden muss.

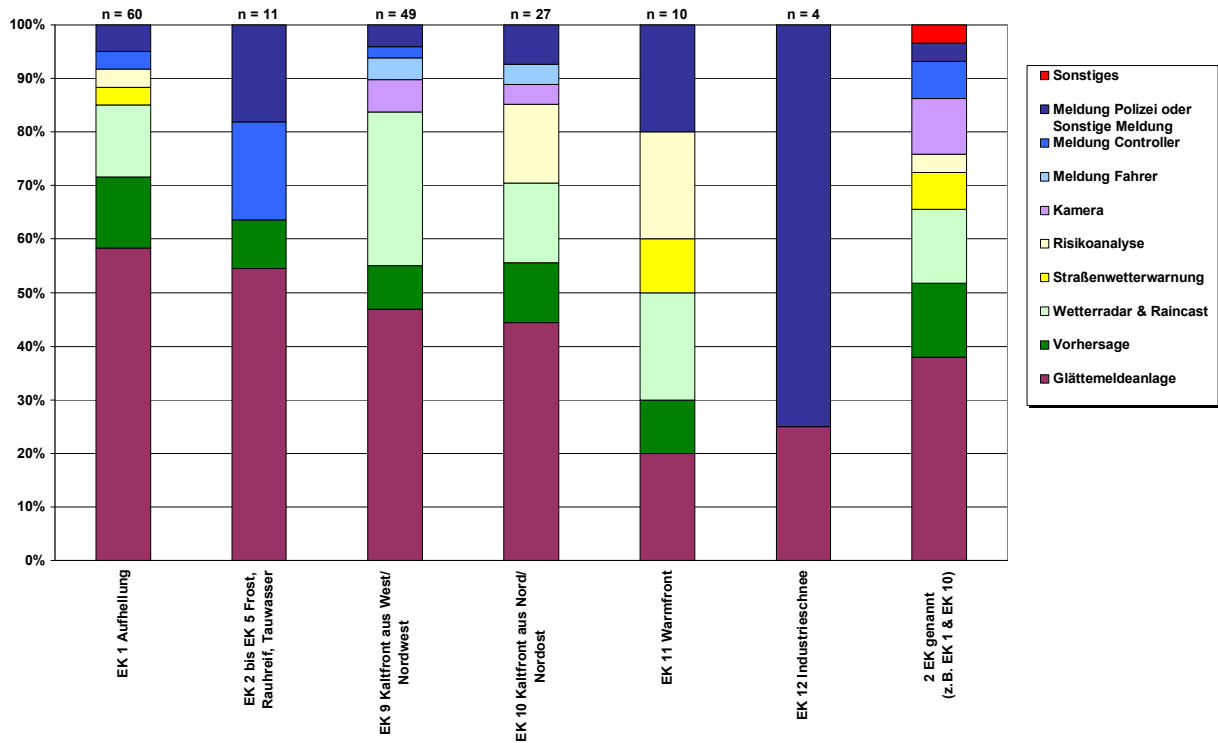


**Abbildung 4-2: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Sprengi**

Die Videokameras sind bei Ersteinsätzen von untergeordneter Bedeutung, da die Einsätze in der Regel vor Auftreten der winterlichen Witterung durchgeführt werden sollen. Die Videobilder dienen bei Bedarf der Verifikation der Messdaten, wobei Schnee deutlich besser zu erkennen ist als Glätte. Die Risikoanalyse hat nur eine untergeordnete Bedeutung für die Einsatzentscheidung auf den Nationalstraßen, sie ist eher für die Kantonsstraßen relevant. Weiterhin ist der Informationsgehalt in der derzeitigen Darstellungsform nur schwer zu erfassen, was verbunden mit der Vielzahl der Risikoanalysen für die Messstellen dazu führt, dass diese Informationen durch den Einsatzleiter nur selten berücksichtigt werden. Weiterhin wird deutlich, dass die ANETZ-Daten für die Einsatzentscheidung keine entscheidende Relevanz besitzen, sondern nur im Einzelfall zur Plausibilisierung der Prognosen herangezogen werden.

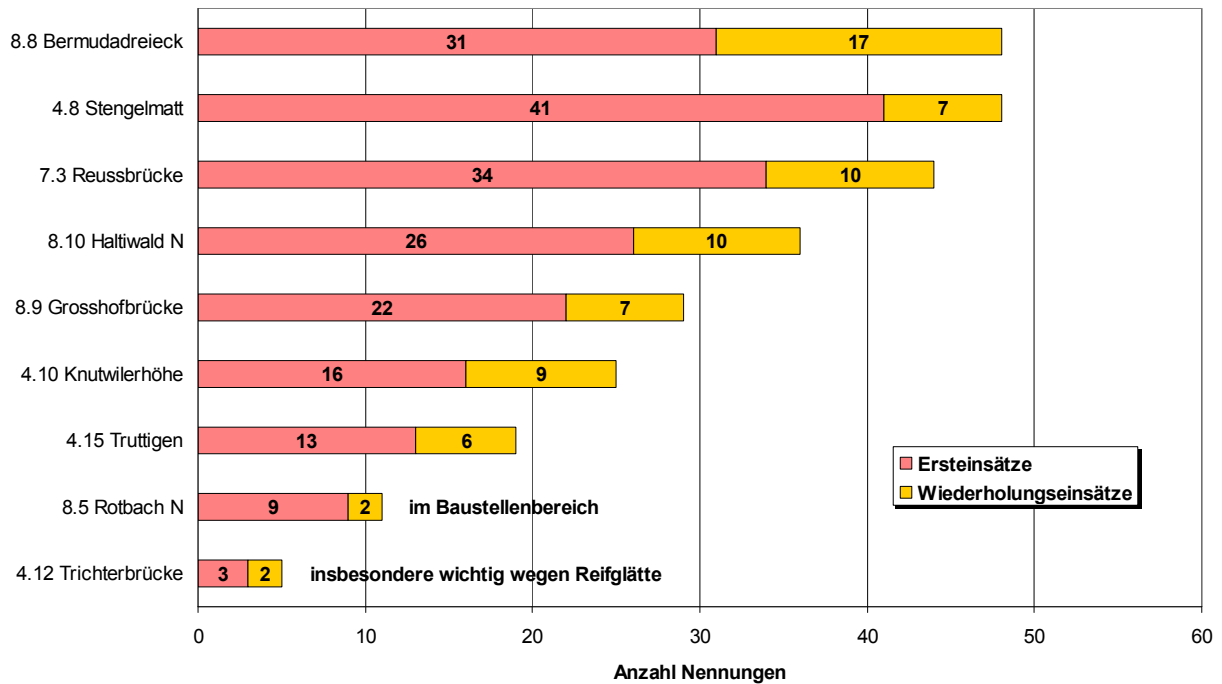
Abbildung 4-3 zeigt die Nutzung der Informationsquellen, differenziert nach Einsatzkriterien. Es wird deutlich, dass für die Einsatzkriterien 1 bis 5, bei denen die Glätte aus der Abkühlung der Fahrbahnoberfläche resultiert, die Daten der Messstationen größere Relevanz haben. Unter Berücksichtigung des unterdurchschnittlich geringen Anteils der Kriterien 1 bis 5 im Winter 2005/06 lässt sich somit für andere Winter eine noch höhere Bedeutung der Messstationen für die Einsatzentscheidung ableiten. Bei den Kriterien 9 bis 11, bei denen Glätte durch Niederschlag hervorgerufen wird, sind hingegen die Vorhersagen entscheidend, da der Durchzug von

Niederschlagsfronten nicht durch die Messstationen prognostiziert werden kann. Es wird deutlich, dass die Einsatzleiter aufgrund ihres großen Know Hows die zur Verfügung stehenden Informationsquellen differenziert nutzen.



**Abbildung 4-3: Wesentliche Informationsquellen für den Einsatzentscheid bei Ersteinsätzen im Werkhof Sprengi, differenziert nach Einsatzkriterien**

Die einzelnen Messstationen wurden in unterschiedlicher Häufigkeit als wesentlich für den Einsatzentscheid genannt (s. Abbildung 4-4). Die Auswertung zeigt, dass die Daten von zwei Messstationen im Winter 2005/06 deutlich seltener genutzt wurden, was jedoch durch baustellenbedingte Einschränkungen und das seltene Auftreten von Reifglätte im Untersuchungszeitraum zu erklären ist. Ansonsten werden die Messstellen, die in einer mittleren Dichte von ca. 6 km je Messstelle an den Nationalstraßen installiert sind, für die differenzierten Einsatzentscheidungen alle benötigt.



**Abbildung 4-4: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Sprengi**

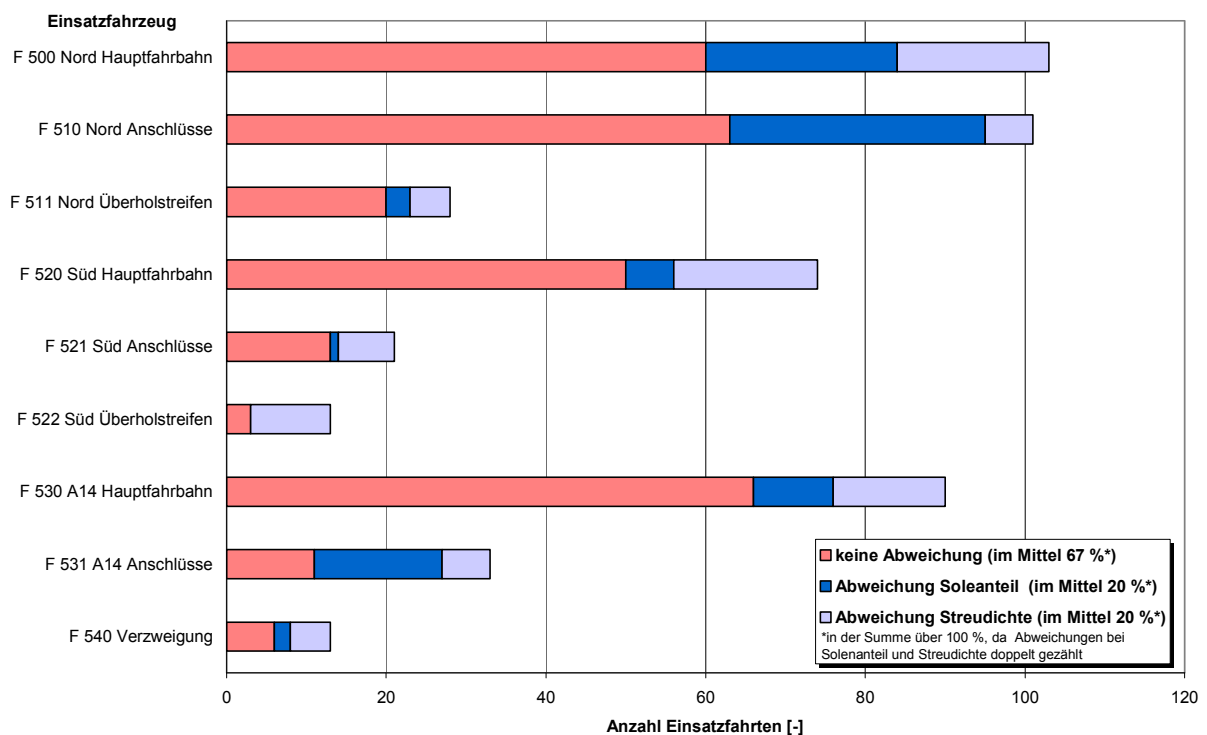
### Durchgeführte Einsätze

Während bei Streueinsätzen in der Regel Feuchtsalz mit einem mittleren Soleanteil von 21 % ausgebracht wurde, wurde bei Räumereinsätzen meist trockenes Salz gestreut. Die mittlere Streudichte betrug im Durchschnitt 10,5 g/m<sup>2</sup>, bei Räumereinsätzen lag sie mit 11,7 g/m<sup>2</sup> etwas höher als bei Streueinsätzen (9,7 g/m<sup>2</sup>). Während des Untersuchungszeitraums wurden 21'545 Streu-km und 7'560 Räum-km erfasst; der Streustoffverbrauch auf den 57 km Nationalstraßen betrug insgesamt ca. 1'660 t Trockenstoff und 292 t Sole, was bei einer 30 prozentigen Salzkonzentration in der Sole einem Salzverbrauch von ca. 1'750 t entspricht. Im Durchschnitt wurden die Richtungsfahrbahnen somit ca. 190 mal für Streu- und ca. 68 mal für Räumereinsätze befahren. Die ausgebrachte Salzmenge lag bei ca. 7.1 t je Fahrstreifenkilometer.

Bei den 111 Ersteinsätzen wurden insgesamt 275 Fahrzeuge aufgeboden, d.h. im Durchschnitt je Ersteinsatz 2.5 Fahrzeuge. Die mittlere Reaktionszeit als Differenz zwischen dem Fahrzeugstart und dem Zeitpunkt der Übermittlung des Reports, die beide automatisch erfasst wurden, betrug im Durchschnitt 27 min. Bei Streueinsätzen war sie mit 25 min etwas kürzer, bei den Räumereinsätzen, die seltener notwendig waren, betrug sie hingegen im Mittel 41 min. Diese längere Reaktionszeit ist insbesondere auf den Anbau des Schneepfluges zurückzuführen, da die Einsatzfahrzeuge in der Regel ohne Pflug in Bereitschaft stehen. Signifikante Unterschiede zwischen den Lkw des Kantons und der Fremdundernehmer gibt es nicht. Dies ist auch darauf

zurückzuführen, dass der Einsatz maximal 35 min nach dem Aufgebot beginnen muss. Eine Überschreitung dieser Frist hat für die Fremdunternehmer eine Konventionalstrafe zur Folge.

Für alle Einsätze wurden ausgebrachte Streudichte und Soleanteil mit den Vorgaben des Aufgebotes verglichen. Als signifikant wurden Abweichungen von über 10 % eingestuft (s. Abbildung 4-5). Bei 2/3 der Einsätze kam es zu keinen signifikanten Abweichungen, d.h. die Vorgabe wurde durch die Fahrer unverändert umgesetzt. Bei jeweils ca. 20 % der Einsätze wurde hingegen die Streudichte oder der Solenanteil deutlich variiert, wobei diese in ungefähr gleichem Umfang erhöht und vermindert wurden. Dies macht deutlich, dass das Personal die Streustoffausbringung den Verhältnissen vor Ort differenziert anpasst, um den Winterdienst in möglichst optimaler Weise durchzuführen. Da die Anpassungen sowohl Erhöhungen als auch Verminderungen der Streudichte beinhalten, wird auch deutlich, dass die Vorgaben der Aufgebote insgesamt in der richtigen Größenordnung liegen und dass die Fahrer so gut geschult sind, dass sie eigenverantwortlich Mehr- und Minderbedarf abschätzen können.

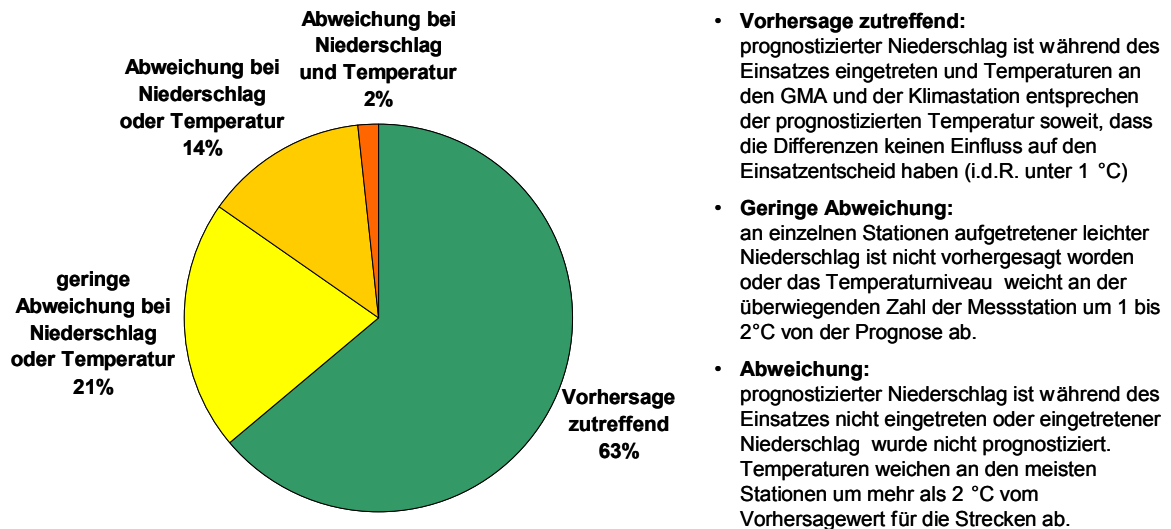


**Abbildung 4-5: Abweichungen der Streuparameter während des Einsatzes von der Vorgabe des Aufgebots für den Werkhof Sprengi**

### Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes

Der Vergleich von prognostiziertem und tatsächlich eingetretenem Witterungsverlauf und Straßenzustand wurde für insgesamt 111 Ersteinsatzentscheidungen durchgeführt. Hierbei wurden

nur die Parameter Niederschlag und Fahrbahntemperatur herangezogen, da der Fahrbahnzustand durch den Winterdiensteinsatz verändert wird und somit natürlich Prognosewert und tatsächlicher Zustand voneinander abweichen. Aufgrund der zeitlichen (über die gesamte Einsatzzeit) und der räumlichen (alle Messstellen entlang der Einsatzroute) Aggregation der Daten lassen sich Prognose und Ist-Werte nur qualitativ miteinander vergleichen.



**Abbildung 4-6: Übereinstimmung der Messdaten der Straßen- und der Klimastationen mit den vorhergesagten Werten während des Winterdiensteinsatzes für den Werkhof Sprengi**

Gemäß Abbildung 4-6 stimmt bei über 60 % der Ersteinsätze die Prognose mit den gemessenen Werten überein. Nur bei zwei Einsätzen kam es zu deutlichen Abweichungen, wobei jedoch beide Einsätze trotz der erheblichen Abweichung aufgrund von Witterung und Straßenzustand während der Einsatzentscheidung gerechtfertigt waren. Abweichungen der Prognose traten insbesondere bei den Einsatzkriterien 1 bis 5 mit lokaler Ausprägung auf, die nicht mit Niederschlag verbunden sind. Hieraus wird deutlich, dass Glätte bei Aufhellungen, Frost, Raureif und Tauwasser nur schwierig exakt zu prognostizieren ist, da diese aus mehreren Einflussgrößen resultiert, die leicht zu Änderungen der Intensität sowie zu räumlichen und zeitlichen Abweichungen führen können. Die Auswirkungen von Niederschlagsfronten auf den Straßenzustand lassen sich hingegen häufig besser prognostizieren, da diese nicht kleinräumig auftreten und ihre Intensität nur selten für die Entscheidung bedeutsam ist, einen Einsatz durchzuführen oder nicht. Abweichungen bei Niederschlagsfronten zwischen Prognose und Ist-Werten resultieren vielmehr in erster Linie aus zeitlichen Verschiebungen.

Während des gesamten Untersuchungszeitraums entsprach nur ein Einsatz nicht dem tatsächlich aufgetretenen Witterungsverlauf und Straßenzustand. Dieser Einsatz resultierte aus schnell fallenden Temperaturen an den Messstationen und der Prognose von starkem Niederschlag im Zuge einer Kaltfront, so dass die Einsatzentscheidung den Prognosen entsprach. Tatsächlich sank die Fahrbahnoberflächentemperatur aber nicht unter den Gefrierpunkt und es kam auch nicht zu Niederschlägen. Eine weitergehende Analyse lässt erkennen, dass es auch zum Zeitpunkt des Einsatzentscheids erkennbar gewesen wäre, dass die Fahrbahntemperatur nicht unter den Gefrierpunkt sinken würde, da die Temperatur im Untergrund deutlich über dem Gefrierpunkt lag. Hierfür wäre es jedoch notwendig, die Werte der Bodensensoren in die meteorologische Prognose des Straßenzustands einzubeziehen.

### **4.2.3 Ergebnisse Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)**

#### **Umfang der Einsatzentscheidungen**

Insgesamt wurden zwischen 15.11.05 und 15.03.06 104 Einsatzentscheide im Werkhof Winterthur protokolliert. Hiervon betrafen 61 % Erst- und 39 % Wiederholungseinsätze. Bei 43 % aller Einsätze kamen Schneepflüge zum Einsatz. Mit 62 % wurde am häufigsten die Einsatzentscheidung für fünf bis sieben Lkw gleichzeitig getroffen, in der Regel wurde hierbei jede Route betreut. 21 % der Einsatzentscheide betrafen nur Teilstrecken, die mit ein bis drei Lkw betreut wurden. Bei 17 % kamen zehn oder elf Lkw zum Einsatz. Somit wurde überwiegend für alle bzw. fast alle Routen eine Einsatzentscheidung getroffen.

#### **Informationsquellen für die Einsatzentscheidung**

Mit 34 % wurden die Messstationen als wichtigste Informationsquelle für die Einsatzentscheidung bei Ersteinsätzen genannt (s. Abbildung 4-7). Hohe Bedeutung haben aber auch die meteorologischen Daten und Prognosen sowie Meldungen und Mitteilungen angrenzender Werkhöfe, der Polizei und des Personals. Relevant sind auch die Videokameras. Bei Wiederholungseinsätzen nimmt die Bedeutung der Meldungen des Personals und der Kameras zu, da zum einen das Personal vor Ort die Notwendigkeit weiterer Einsätze sehr gut einschätzen kann und zum anderen Wiederholungseinsätze besonders bei Schneefällen notwendig werden und Schnee auf den Videobildern gut sichtbar ist. Daher haben die Videokameras auch bei Ersteinsätzen, die Räumeeinsätze sind, gleich große Bedeutung wie die Messstationen. Bei Wiederholungseinsätzen haben Vorhersagen und Messstationen eine geringere Bedeutung für die Einsatzentscheidung. Informationen der ANETZ-Messstationen wurden nie als wichtige Informationsgrundlage herangezogen.

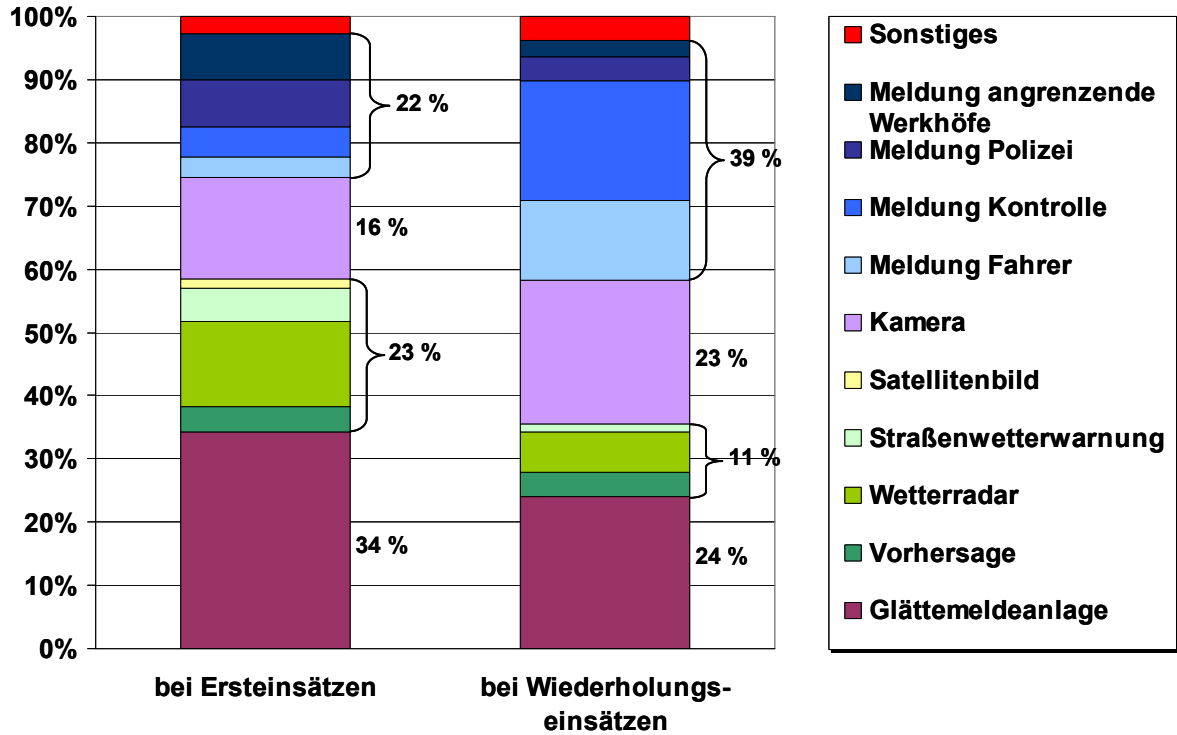


Abbildung 4-7: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Winterthur

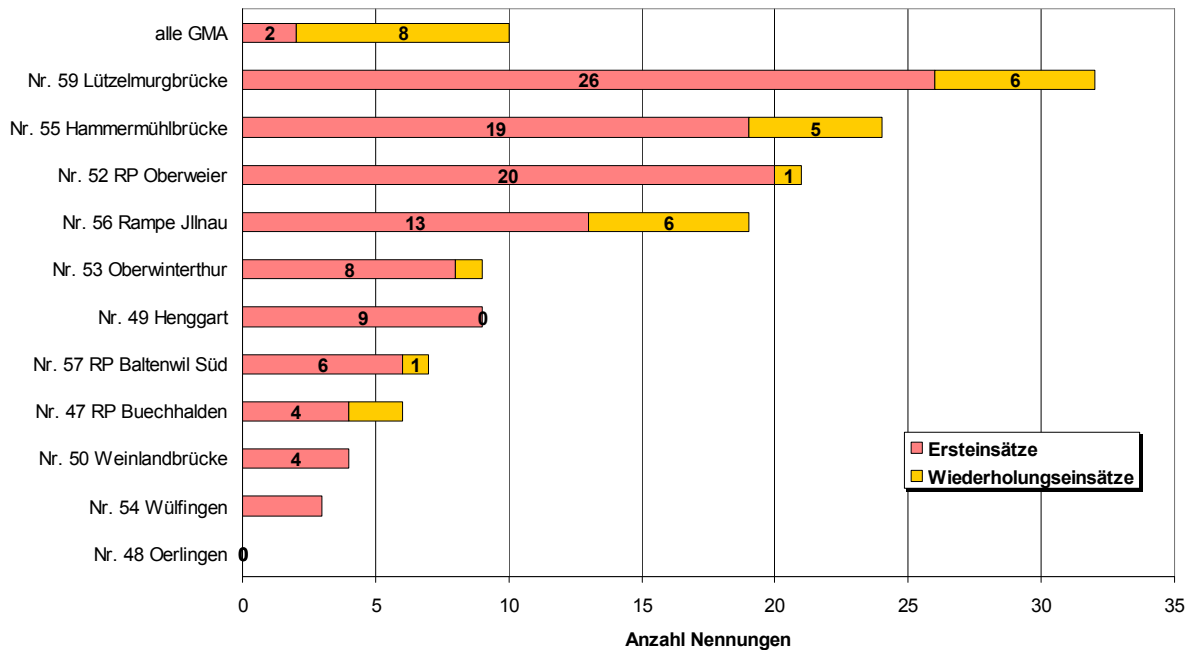


Abbildung 4-8: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Winterthur

Die Bedeutung der einzelnen Messstationen für die Einsatzentscheidung ist sehr unterschiedlich (s. Abbildung 4-8). Eine Station wurde überhaupt nicht genannt; zwei weitere Stationen

wurden nur bei drei bzw. vier Entscheidungen herangezogen. Besonders hohe Bedeutung hingegen haben die Stationen Nr. 52, 55 und 59, die alle an der A 1 östlich von Winterthur liegen, da hier die Strecke etwas höher liegt und keine schützende Bebauung im Umfeld vorhanden ist. Die Messstellendichte ist mit 5 km je Messstelle relativ hoch.

### **Durchgeführte Einsätze**

Da für den Werkhof Winterthur keine Einsatzdatenaufzeichnung vorhanden ist, lassen sich nur eingeschränkte Aussagen zu den durchgeführten Einsätzen auf Grundlage der Eintragungen in den Protokollen zum Einsatzentscheid treffen. Bei allen Einsätzen wird Feuchtsalz eingesetzt. Die Streudichte liegt bei Streueinsätzen in der Regel bei  $10 \text{ g/m}^2$ , vereinzelt kommen auch  $15 \text{ g/m}^2$  zum Einsatz. Bei Räumeeinsätzen werden  $10$  oder  $15 \text{ g/m}^2$  und in Einzelfällen auch  $20 \text{ g/m}^2$  gestreut. Auf Brücken wird je nach Witterung und Straßenzustand die Streudichte manchmal verdoppelt. Insgesamt wurden im Winter 2005/06  $1'604 \text{ t}$  Trockenstoff gestreut. Unter der Annahme eines Soleanteils von  $15 \%$  und einer Salzkonzentration in der Sole von  $21 \%$  wurden ca.  $1'663 \text{ t}$  Salz auf die Fahrbahnen ausgebracht. Die ausgebrachte Salzmenge betrug damit ca.  $8.1 \text{ t}$  je Fahrstreifenkilometer.



**Abbildung 4-9: Schneeräumung auf der Autobahnstrecke des Werkhofs Winterthur (05.03.2006)**

Bei den 63 Ersteinsätzen wurden insgesamt 336 Lkw aufgeboden, d.h. je Einsatz im durchschnitt 5.3 Lkw. Die mittlere Reaktionszeit als Differenz der Ausfahrzeit des Lkw und des Zeitpunkt der Einsatzentscheidung, die beide aus dem Protokoll zum Einsatzentscheid entnommen wurden, lag bei durchschnittlich 50 min. Bei Streueinsätzen war sie jedoch im Mittel mit 37 min deutlich geringer als bei Räumeeinsätzen mit durchschnittlich 69 min. Für den Anbau des Schneepfluges wird somit im Mittel ein halbe Stunde benötigt.

## **Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes**

Für die Ersteinsätze wurden Witterung und Straßenzustand anhand der Parameter Fahrbahnoberflächentemperatur, Niederschlagsart und -intensität, Fahrbahnzustand und Wasserfilmhöhe an den Messstationen ausgewertet, die an der Einsatzroute des Winterdienst-Lkw lagen. Da häufig alle Routen bedient wurden, wurden häufig auch alle Messstationen herangezogen.

Für alle Ersteinsätze ließen die gemessenen Temperaturen unter oder wenig über den Gefrierpunkt verbunden mit einer nicht trockenen Fahrbahn oder beginnenden Niederschlägen die Notwendigkeit eines Winterdiensteinsatzes erkennen. Zum Teil lagen die Messwerte nur an den Messstationen auf Brücken im kritischen Bereich. Inwieweit dann auch nur die Brücken gestreut wurden, lässt sich mangels Einsatzdatenaufzeichnung nicht nachvollziehen.

### **4.2.4 Ergebnisse Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)**

#### **Umfang der Einsatzentscheidungen**

Im Werkhof Fribourg-Nord wurden während des Untersuchungszeitraums von 15.12.2005 bis 15.03.2006 insgesamt 82 Einsatzentscheidungen getroffen; hiervon waren 57 % Erst- und 43 % Wiederholungseinsätze. Bei 24 dieser Einsätze, in der Regel Ersteinsätze, gab es zuvor eine Alarmierung durch die zentrale Einsatzleitung des Kantons Fribourg. 43 % aller Einsatzentscheidungen des Werkhofs betrafen Räumeeinsätze.

Bei den Erst- und den Wiederholungseinsätzen wurden zu über 90 % beide Einsatzschleifen bedient. Häufig (78 %) kamen bei den Ersteinsätzen drei Fahrzeuge zum Einsatz, wobei ein drittes Fahrzeug zum Teil auch untersuchungsbedingt zum Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur (s. Kapitel 5) zum Einsatz kam. Dementsprechend gering (9 %) war der Anteil der Einsätze mit ein oder zwei Lkw sowie mit vier und mehr Fahrzeugen (13 %). Die Einsätze wurden nur selten nach Einsatzschleifen differenziert durchgeführt. Weiterhin lässt der Vergleich von Räumeeinsätzen und Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge erkennen, dass auch bei Räumeeinsätzen nicht immer alle verfügbaren Lkw zum Einsatz kommen, sondern häufig auf die bei Schneefall zusätzlich verfügbaren Lkw des Werkhofs und der Fremdunternehmer verzichtet wird.

#### **Informationsquellen für die Einsatzentscheidung**

Bei der Auswertung der genutzten Informationsquellen wird die zweistufige Einsatzleitung für die Autobahnen im Kanton Fribourg berücksichtigt (s. Kapitel 4.1.3) und daher zwischen der zentralen Einsatzleitung des Kantons und der lokalen Einsatzleitung des Werkhofs differenziert.

Weiterhin wurden die genutzten Informationen durch die Einsatzleiter nach ihrer Bedeutung durch die Angabe von Prioritäten gewichtet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4-10 und Abbildung 4-11 dargestellt.

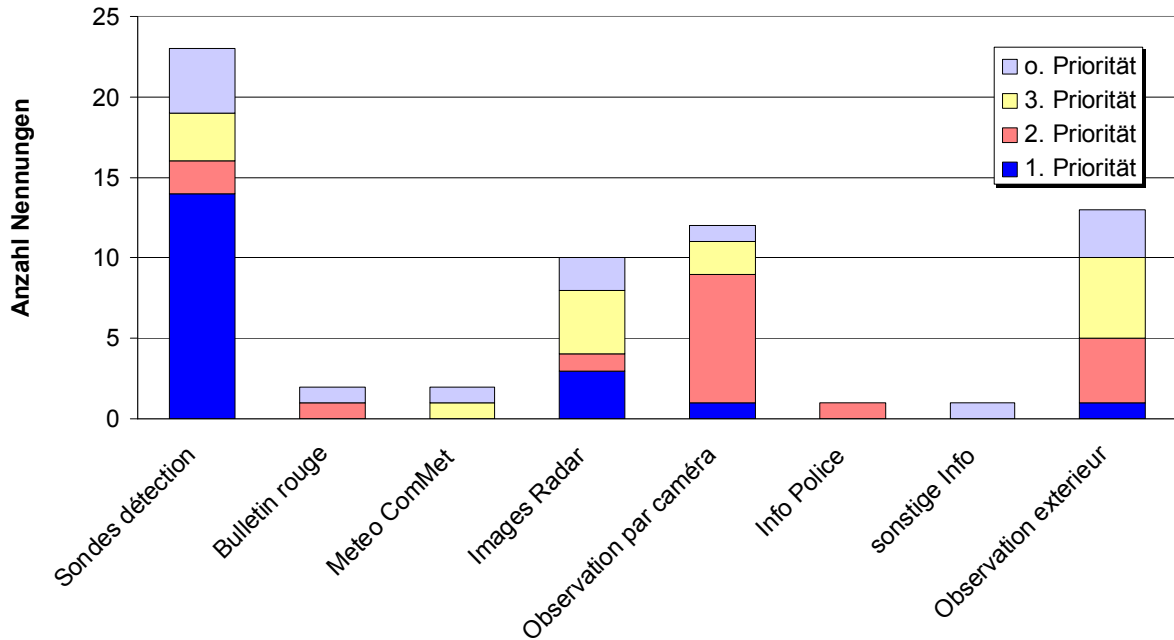


Abbildung 4-10: Informationsquellen für die Einsatzentscheidung der zentralen Einsatzleitung des Kantons Fribourg

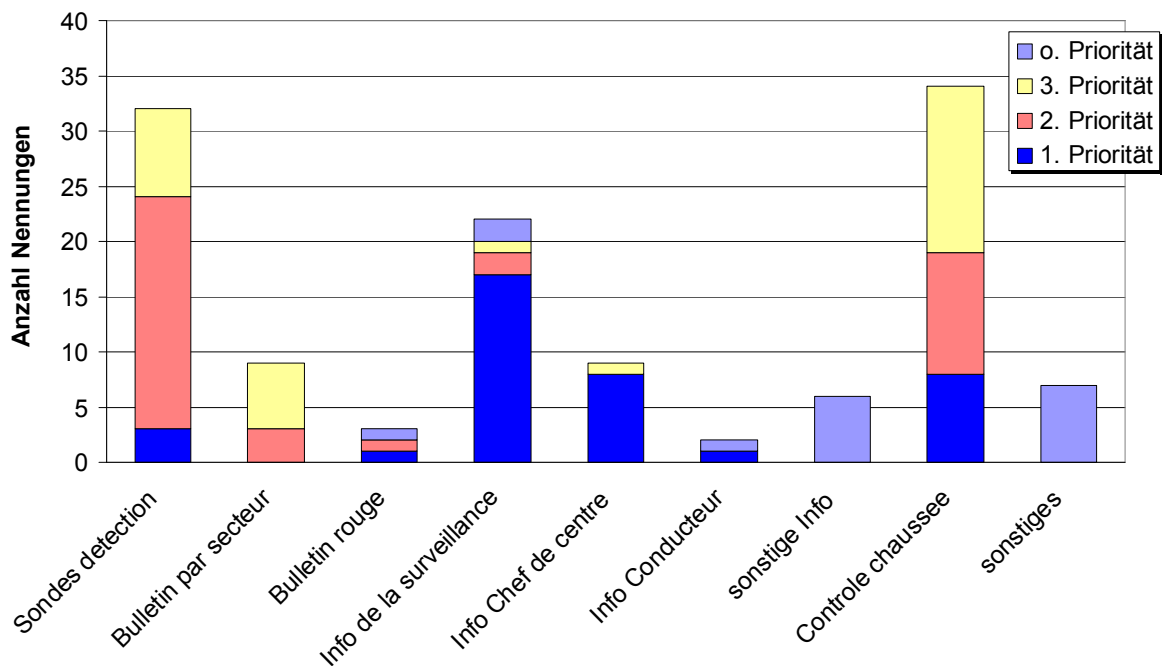
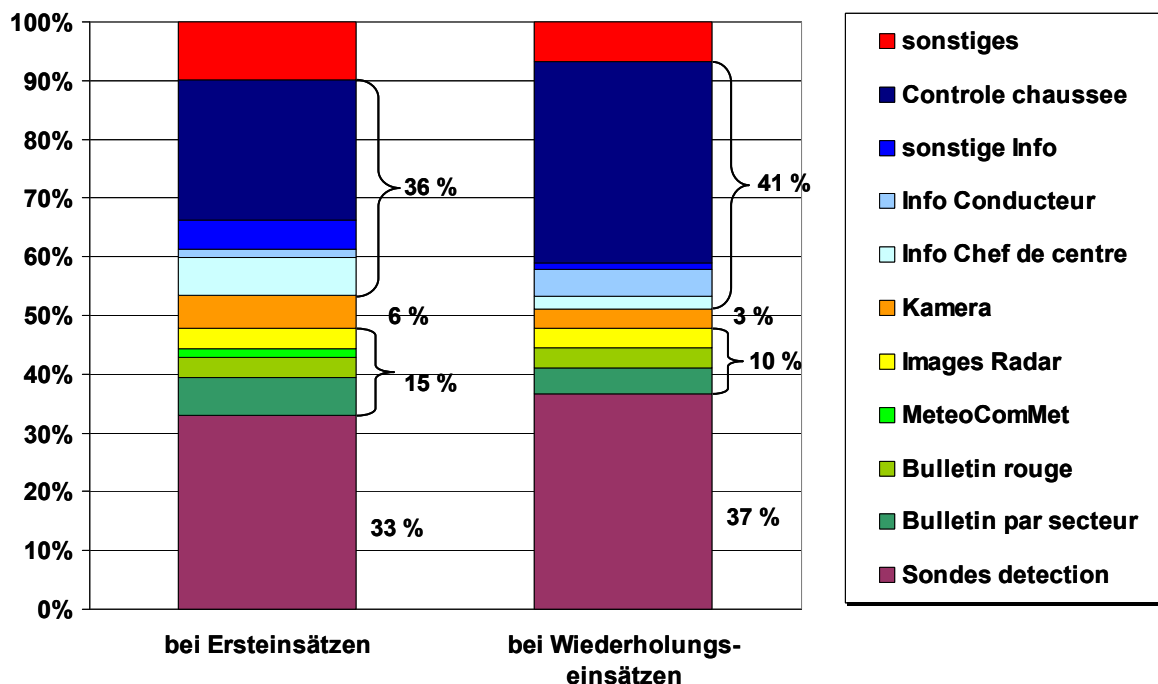


Abbildung 4-11: Informationsquellen für die Einsatzentscheidung der Einsatzleitung des Werkhofs Fribourg-Nord bei Ersteinsätzen

Für die zentrale Einsatzleitung des Kantons sind vor allem die Daten der Messstationen an der Strecke von Bedeutung. Diese werden häufig mit Hilfe der verfügbaren Videobilder verifiziert. Von den Meteodaten wird das Niederschlagsradar am stärksten für die Einsatzentscheidung genutzt. Neben diesen Informationsquellen wird aber auch die direkte Beobachtung des Wetters durch den Einsatzleiter vor Ort in die Einsatzentscheidung einbezogen.

Neben der Alarmierung durch die zentrale Einsatzleitung des Kantons nutzt die Einsatzleitung des Werkhofs die Daten der Messstationen ebenfalls mit höchster Priorität. Große Bedeutung haben aber auch die Meldungen des Personals und die Ergebnisse von Kontrollfahrten. Diese seien nach Angaben der Mitarbeiter des Kantons wichtig, da infolge des inhomogenen Längsprofils der Strecke mit ihren Steigungs- und Gefällestrecken, Höhendifferenzen und Abschnitten mit besonderer Glättegefährdung, winterliche Straßenzustände zum Teil nur auf kurzen Streckenabschnitten auftreten, die durch Messstationen und Videokameras nicht überwacht werden. Meteorologische Vorhersagen haben für die lokale Einsatzleitung hingegen nur eine nachrangige Bedeutung.

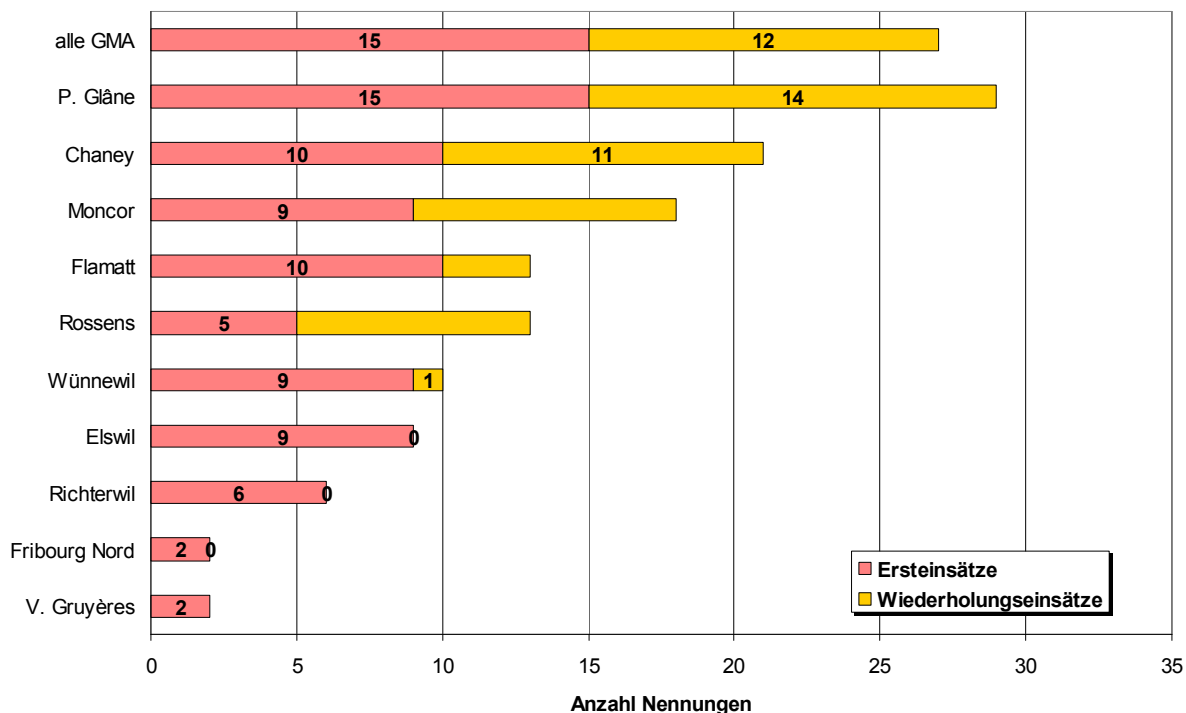


**Abbildung 4-12: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Fribourg-Nord (Zusammenfassung der Angaben von zentraler Einsatzleitung des Kantons und lokaler Einsatzleitung des Werkhofs)**

In Abbildung 4-12 sind die durch zentrale und lokale Einsatzleitung genutzten Informationsquellen zusammengefasst und nach Erst- und Wiederholungseinsätzen differenziert. Es wird deutlich, dass insgesamt vor allem die Daten der Messstationen und die Meldungen und Beobach-

tungen für die Einsatzentscheidung herangezogen werden. Von geringerer Bedeutung sind Meteodaten und Kamerabilder. Die Unterschiede zwischen Erst- und Wiederholungseinsätzen bei den genutzten Informationsquellen sind nur gering.

Die zehn Messstationen entlang der 31.8 km langen Strecke – dies entspricht einer Messstellendichte von 3.2 km je Messstelle – werden in unterschiedlicher Intensität genutzt. Häufig werden auch die Daten aller Messstationen zur Entscheidungsfindung herangezogen. Auffallend ist die geringe Nutzung der Messstation Fribourg-Nord, die unmittelbar am Standort des Werkhofs liegt. Diese Station dient vor allem der Referenzierung der Messdaten der anderen Stationen und weniger dem direkten Einsatzentscheid. Ebenso wird die Station V. Gruyères kaum genutzt, da diese Station nur 2.4 km von der benachbarten Station Rossens entfernt liegt und dieser Streckenabschnitt zusätzlich vom benachbarten Werkhof mit betreut wird.



**Abbildung 4-13: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Fribourg-Nord (Zusammenfassung der Angaben von zentraler Einsatzleitung des Kantons und lokaler Einsatzleitung des Werkhofs)**

Auffallend ist, dass trotz der guten Ausstattung der Strecke mit Messstationen und der intensiven Nutzung ihrer Daten für die Einsatzentscheidung häufig zusätzlich Kontrollfahrten durchgeführt werden. Dies ist weniger auf ein zu geringes Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Messdaten zurückzuführen, da der Straßenzustand zusätzlich durch die Videobilder verifiziert werden kann. Vielmehr spiegeln die häufigen Kontrollfahrten die unzureichende Aussagekraft der punk-

tuell geltenden Messdaten für die gesamte Strecke wider, bei der winterliche Straßenzustände nur lokal in wechselnden Abschnitten auftreten können.

### **Durchgeführte Einsätze**

Für den Werkhof-Fribourg-Nord wurden bei der Analyse der durchgeführten Einsätze nur vier Lkw berücksichtigt, da nur bei diesen die Einsatzdaten automatisch aufgezeichnet wurden und über einen zentralen Datenserver zur Verfügung gestellt wurden. Der Vergleich mit den in den Protokollen zum Einsatzentscheid erfassten Einsatzdaten aller Fahrzeuge zeigt jedoch, dass durch diese vier Fahrzeuge knapp 80 % der Gesamteinsatzdauer erbracht wurden.

Die mittlere Streudichte betrug  $10.2 \text{ g/m}^2$ , wobei der Unterschied zwischen Räum- und Streueinsätzen nur gering ist ( $11.8 \text{ g/m}^2$  bei Räum- und  $9.8 \text{ g/m}^2$  bei Streueinsätzen). In der Regel wurde Feuchtsalz ausgebracht, wobei der Soleanteil im Mittel 15 % betrug. Der für die vier Lkw aufgezeichnete Streustoffverbrauch lag bei 434 t Trockenstoff und 79 t Sole, was bei einer 30-prozentigen Salzkonzentration in der Sole ca. 460 t Salzverbrauch entspricht. Berücksichtigt man, dass die Aufzeichnungen nicht den gesamten Winter 2005/06 umfassen und dass auch noch weitere Lkw im Einsatz sind, so ist der Gesamtsalzverbrauch des Werkhofs Fribourg-Nord erheblich höher. Auf Grundlage der erfassten Liefer- und Lagermengen lag er bei 941 t Trockenstoff und 228 t Sole, was einem Gesamtsalzverbrauch von 988 t entspricht. Somit wurden ca. 7.8 t je Fahrstreifenkilometer ausgebracht.

Für die vier Lkw wurden während des Untersuchungszeitraums insgesamt 11'114 Streu- und 1'955 Räum-km aufgezeichnet. Die dokumentierte Einsatzintensität (Einsatzkilometer je Fahrstreifenkilometer) lag somit bei ca. 86 Befahrungen für Streu- und 15 Befahrungen für Räum-einsätze. Berücksichtigt man den gesamten Winter 2005/06 sowie die weiteren Winterdienst-Lkw so kann von ca. 30 bis 50 % zusätzlichen Einsatzfahrten ausgegangen werden, was einer Größenordnung von 113 bis 131 Befahrungen für Streu- und 20 bis 23 Befahrungen für Räum-einsätze entspricht.

Zwei Lkw sind mit einem Thermomat ausgerüstet, bei dem die Fahrbahnoberflächentemperatur fortlaufend erfasst und die Streudichte automatisch angepasst wird. Die beiden anderen Lkw ohne Thermomat waren nur bei Streueinsätzen im Einsatz, so dass ein Vergleich der Streudichte nur für Streueinsätze möglich ist, für die jedoch die Streudichteanpassung besondere Relevanz hat. Die mittlere Streudichte der Lkw ohne Thermomat betrug  $10.1 \text{ g/m}^2$  und lag für die Lkw mit Thermomat um 6 % geringer bei  $9.5 \text{ g/m}^2$ . Bei Präventiveinsätzen wurden durchschnittlich  $6.9 \text{ g/m}^2$  (ohne Thermomat) und  $4.5 \text{ g/m}^2$  (mit Thermomat) ausgebracht, so dass der Unterschied mit 35 % erheblich höher ist. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass der Gesamtsalzverbrauch der Präventiveinsätze nur bei ca. 6 % aller Streueinsätze liegt. Die ge-

ringen Unterschiede in der Streudichte lassen erkennen, dass auch die Fahrer der Lkw ohne Streudichteanpassung die Streudichte den Straßenverhältnissen differenziert angepasst haben. Möglicherweise waren sie durch die Untersuchungen so weit sensibilisiert, dass sie „so gut wie die Technik“ sein wollten oder die Erkenntnisse zur streckenbezogenen Streudichteanpassung auch manuell umsetzen konnten.

Die Reaktionszeiten, d.h. die Zeitspannen zwischen Einsatzentscheid und Ausfahren des Fahrzeugs, wurden nur für die drei Lkw ausgewertet, die zum Streuen eingesetzt wurden und für die die Einsatzdaten in einer zentralen Datenbank zur Verfügung standen. Zu berücksichtigen ist, dass der Zeitpunkt der Einsatzentscheidung nur manuell protokolliert wurde und – wie Plausibilitätsprüfungen zeigten - zum Teil ungenau angegeben wurde. Erfasst wurden für die 47 Ersteinsätze insgesamt 126 Aufgebote. Bezieht man die Reaktionszeit auf die lokale Einsatzentscheidung im Werkhof Fribourg-Nord, so lag sie bei durchschnittlich 24 min. Bezieht man die zentrale Einsatzleitung für den gesamten Kanton in die Reaktionszeit ein, lag sie im Durchschnitt über alle Einsätze bei ca. 28 min. Berücksichtigt man nur die Einsätze, bei denen auch eine Einsatzentscheidung der zentralen Einsatzleitung erfolgte, so beträgt die mittlere Reaktionszeit ca. 40 min. Somit wird deutlich, dass die Reaktionszeit durch die zweistufige Alarmierung der Einsatzkräfte deutlich erhöht wird.

Da nur drei Räumereinsätze protokolliert wurden, lassen sich keine abgesicherten Aussagen zu den Reaktionszeiten bei Räum- und Streueinsätzen treffen. Es zeigt sich jedoch die Tendenz, dass die Reaktionszeit bei Räumereinsätzen ca. 20 min länger ist als bei Streueinsätzen.

### **Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes**

Daten zu Witterung und Straßenzustand standen auf einem zentralen Server zur Verfügung. Für die Bewertung wurden die Parameter Oberflächentemperatur, Niederschlagsart und -intensität sowie Straßenzustand und Intensität der Fahrbahnnässe berücksichtigt. Die zum Teil nur stündliche Aktualisierung der Messwerte infolge Übertragungsschwierigkeiten hatte in der Regel keine wesentlichen Auswirkungen auf die Aussagequalität, da sich die Parameter meist nur langsam verändert haben.

Witterung und Straßenzustand wurden für die insgesamt 47 Ersteinsätze analysiert. Über 90 % dieser Einsätze entsprachen dem gemessenen winterlichen Witterungs- bzw. Straßenzustand. Zwei Einsätze wurden präventiv durchgeführt, da Schneefall prognostiziert worden war, der jedoch während des Einsatzes noch nicht eingetroffen war. Bei zwei weiteren Einsätzen waren in größeren Streckenbereichen keine kritischen Fahrbahnzustände erkennbar; bei ihnen wurde das gesamte Netz aufgrund von Alarmen an einzelnen Messstationen gestreut. Ggf. wären hier

Teileinsätze ausreichend gewesen, die Einsätze wurden jedoch aufgrund der ungenauen Kenntnisse über den Straßenzustand auf der gesamten Strecke als Volleinsätze durchgeführt.

#### **4.2.5 Gesamtbewertung**

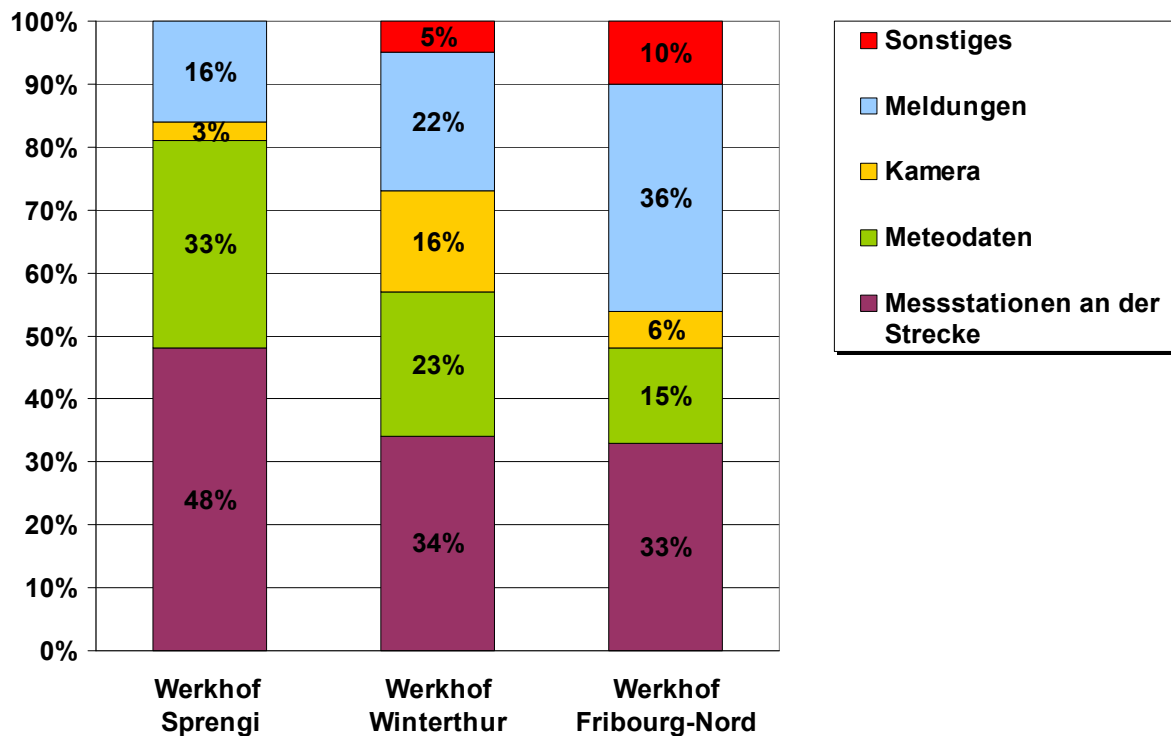
##### **Umfang der Einsatzentscheidungen**

Die Anzahl der Einsatzentscheide ist im Werkhof Sprengi signifikant höher als in den beiden anderen Werkhöfen, wo sie – unter Berücksichtigung des kürzeren Erhebungszeitraums im Werkhof Fribourg-Nord – in gleicher Größenordnung liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch den Werkhof Sprengi die Einsatzentscheidung häufig nur für einzelne Fahrzeuge und Routen getroffen wird, während durch die beiden anderen Werkhöfe in der Regel alle Routen bedient werden. In allen Kantonen ist der Anteil der Ersteinsätze an den Einsatzentscheidungen höher als der der Wiederholungseinsätze. Auffallend ist der besonders hohe Anteil von 68 % im Kanton Luzern, obwohl dort jeder Wiederholungseinsatz explizit durch die Einsatzleitung zu beauftragen ist. Somit kann davon ausgegangen werden, dass auch im Werkhof Sprengi trotz der differenzierten Einsatzentscheidungen und der Vorgabe, alle Einsätze möglichst vor Auftreten der winterlichen Fahrbahnzustände durchzuführen, nicht häufiger ein Wiederholungseinsatz notwendig ist.

Für alle drei untersuchten Werkhöfe lag der Anteil der Räumeeinsätze bei 43 %, was darauf hindeutet, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werkhöfen bezüglich des Auftretens von Schnee in Relation zu anderen Glättezuständen bestanden.

##### **Informationsquellen für die Einsatzentscheidung**

Wichtigste Informationsquelle für die Einsatzentscheidung sind bei Ersteinsätzen in allen Werkhöfen die Messstationen entlang der Strecke (s. Abbildung 4-14). Diese haben eine größere Bedeutung als die verschiedenen Meteodaten, obwohl der Untersuchungszeitraum durch überdurchschnittlich viele Niederschlagsfronten mit Schneefall geprägt war. Im Werkhof Sprengi wird den Meteodaten eine größere Bedeutung als in Winterthur und Fribourg-Nord gegeben. Die Relevanz der Meteodaten ist proportional der Integration der Meteodaten in das Gesamtsystem: Am höchsten ist sie im Werkhof Sprengi, wo alle Meteodaten direkt in das Winterdienstmanagementsystem integriert sind. Geringer ist ihre Bedeutung für den Einsatzentscheid im Werkhof Winterthur, wo sie zwar zum Teil über eine einheitliche Benutzeroberfläche abgerufen werden können, jedoch nicht unmittelbar in das System integriert sind. Die geringste Bedeutung haben sie in Fribourg-Nord, wo die Meteodaten auf einem anderen Computer abgerufen werden als die Daten der Messstationen.



**Abbildung 4-14: Informationsquellen der Einsatzentscheidungen bei Ersteinsätzen in den drei Werkhöfen**

Bei den genutzten Meteodaten hat das Niederschlagsradar die größte Bedeutung für den Einsatzentscheid. Straßenwetterwarnungen wurden zwar seltener genannt, doch ihre Bedeutung liegt in der konkreten Warnung für den Einzelfall. Die ANETZ-Daten haben in der Regel keine Bedeutung für den Einsatzentscheid, da diese Informationen bereits in die anderen Me-teosysteme eingeflossen sind. Die geringe Nutzung der Risikoanalysen im Werkhof Sprengi macht deutlich, dass zu viele Daten bzw. nicht optimal aufbereitete Daten trotz hohem Informationsgehalt dazu führen können, dass die Informationen durch die Einsatzleiter nicht ausreichend beachtet werden.

Die Bilder der Videokameras entlang der Betreuungstrecken werde unterschiedlich intensiv genutzt. Im Werkhof Sprengi sind sie nur von untergeordneter Bedeutung, während sie in Winterthur und Fribourg-Nord häufig als bedeutende Informationsquelle genannt wurden. Die differenziertere Erhebung in Fribourg, bei der die Informationsquellen zusätzlich priorisiert wurden, macht jedoch deutlich, dass die Videobilder vor allem zur Verifikation der Messdaten dienen. Diese Verifikation ist im Werkhof Sprengi nicht notwendig, da alle Messstellen mit zwei Sensoren für die Fahrbahnoberflächentemperatur ausgerüstet sind.

Auffallend ist die hohe Bedeutung der Meldungen für den Einsatzentscheid im Werkhof Fribourg-Nord, die durch die Mitarbeiter des Kantons Fribourg auf den inhomogenen Streckenver-

lauf mit nur sehr begrenzt auftretenden Glättegefährdungen zurückgeführt wird. Im Werkhof Winterthur haben insbesondere die Meldungen angrenzender Werkhöfe Bedeutung für den Einsatzentscheid; dies kann u.a. darauf zurückgeführt werden, dass die Werkhöfe des Kantons Zürich noch nicht miteinander vernetzt waren, so dass die Messdaten aus den angrenzenden Werkhöfen nicht zur Verfügung standen.

Bei Wiederholungseinsätzen nimmt der Anteil der Meldungen und Informationen der Fahrer und anderer in allen Werkhöfen zu. Dementsprechend reduziert sich die Bedeutung der Meteorodaten bei Wiederholungseinsätzen erheblich, da Wiederholungseinsätze häufig zum Nachräumen einzelner Abschnitte oder zum wiederholten Räumen bei anhaltendem Schneefall notwendig sind. Dies ist in der Regel unmittelbar vor Ort durch die Fahrer der Winterdienst-Lkw erkennbar. Die Daten der Messstationen und die Meteorodaten werden dann nur ergänzend benötigt.

In den drei untersuchten Werkhöfen wurden relativ viele Messstationen an den Nationalstraßen angeordnet. In den Werkhöfen Sprengi und Winterthur liegt die Messstellendichte bei 5 bis 6 Netz-km je Messstelle, im Werkhof Fribourg-Nord beträgt sie 3.2 Netz-km je Messstelle. In allen Werkhöfen ist die Bedeutung der einzelnen Messstellen für den Einsatzentscheid unterschiedlich. Während die geringe Relevanz einzelner Stationen in Sprengi und Fribourg-Nord auf besondere klimatische, verkehrliche und organisatorische Einflüsse während des Untersuchungszeitraums zurückzuführen ist, zeigt sich für den Werkhof Winterthur die Tendenz, dass der Einsatzentscheid insbesondere unter Berücksichtigung der am kritischsten im gesamten Betreuungsnetz gelegenen Stationen getroffen wird und andere Stationen nur geringe Relevanz haben.

### **Durchgeführte Einsätze**

In allen drei Werkhöfen wird entsprechend dem Stand der Technik Feuchtsalz ausgebracht. Nur durch den Werkhof Sprengi wird bei Räumeeinsätzen auf das Anfeuchten des Salzes verzichtet. Signifikante Unterschiede bei den ausgebrachten Streudichten und beim Streustoffverbrauch lassen sich nicht feststellen (s. Tabelle 4-4).

Geht man für die Werkhöfe Sprengi und Winterthur von vergleichbaren Anforderungen an den Winterdienst aufgrund ähnlicher Netzlängen, Lage des Werkhofs im Netz, Höhenlage und klimatischer Bedingungen aus, so wird deutlich, dass durch die differenzierte Einsatzplanung, wie sie durch den Werkhof Sprengi erfolgt, Streudichte und Gesamt-Salzverbrauch leicht gesenkt werden. Zwar liegen keine Daten zu den gefahrenen Streu- und Räumkilometern für den Werkhof Winterthur vor, aufgrund der insgesamt aufbotenen Fahrzeuge ist jedoch zu vermuten, dass die Streu- und Räumkilometer des Werkhofs Winterthur etwas höher liegen als im

Werkhof Sprengi. Somit werden durch die differenzierten Einsatzentscheidungen die Einsatzkilometer reduziert, da nur die glättegefährdeten Routen betreut werden.

	<b>Werkhof Sprengi</b>	<b>Werkhof Winterthur</b>	<b>Werkh. Fribourg-N.</b>
<b>Fahrstreifen-km</b>	<b>246</b>	<b>204</b>	<b>127</b>
<b>Streudichte</b> bei Streueinsätzen bei Räumereinsätzen alle Einsätze	9.7 g/m <sup>2</sup> 11.7 g/m <sup>2</sup> 10.5 g/m <sup>2</sup>	meist 10 g/m <sup>2</sup> 10 oder 15 g/m <sup>2</sup>	9.8 g/m <sup>2</sup> 11.8 g/m <sup>2</sup> 10.2 g/m <sup>2</sup>
Salzverbrauch je Fahrstreifenkilometer	7.5 t/km	8.1 t/km	7,8 t/km
<b>Einsatzentscheide</b> für Streueinsätze für Räumereinsätze Gesamt	93 70 163	59 45 104	47 35 82
<b>Einsatzumfang</b> Summe aufgebote Fahrzeuge	464	600	302
Streu-km je Fahrstreifen-km	87	k.A.	113 – 131 <sup>1)</sup>
Räum-km je Fahrstreifen-km	30	k.A.	20 - 23 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Spannweite der Abschätzung, da nicht für alle Fahrzeuge Einsatzdaten aufgezeichnet wurden

**Tabelle 4-4: Kennzahlen der durchgeführten Winterdiensteseinsätze in den drei untersuchten Werkhöfen für den Untersuchungszeitraum 15.11.2005 bis 15.03.2006 (Werkhof Fribourg-Nord 15.12.2005 – 15.03.2006)**

Die automatische Streudichteanpassung aufgrund der fortlaufend gemessenen Fahrbahntemperatur, die in zwei Lkw des Kantons Fribourg-Nord zum Einsatz kam, führte bei Streueinsätzen zu einer durchschnittlichen Reduktion der Streustoffdichte von 6 %.

Die Reaktionszeit, d.h. die Zeit zwischen Einsatzentscheidung und Ausfahren der Fahrzeuge, ist in den Werkhöfen Sprengi und Fribourg-Nord mit 27 bzw. 28 min deutlich geringer als im Werkhof Winterthur (50 min). Inwieweit dies auf organisatorische Einflüsse und unterschiedliche Anforderungen oder auf systemtechnisch bedingte Randbedingungen zurückzuführen ist, lässt sich nicht eindeutig beurteilen. Sicherlich führt die systemgesteuerte Alarmierung der Fahrer im Kanton Luzern zu einer Reduktion der Reaktionszeiten gegenüber der konventionellen Alarmierung des Personals, wie sie im Werkhof Winterthur erfolgt. Für den Werkhof Fribourg-Nord ist zu berücksichtigen, dass hier während des Untersuchungszeitraums häufig nur maximal drei Fahrzeuge zum Einsatz kamen, wovon eins in der Regel durch den lokalen Einsatzleiter des Werkhofs besetzt ist, so dass die Alarmierung mit wenig Aufwand erfolgen kann. Die Reaktionszeit bei Räumereinsätzen ist erheblich länger, im Werkhof Sprengi ist sie eine viertel Stunde länger, in Winterthur sogar eine halbe Stunde. Wesentliche Ursachen sind der Anbau

der Schneepflüge und die Synchronisation mit dem oder den weiteren Fahrzeugen, wenn in Kolonnen geräumt wird.

### **Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes**

Bis auf Einzelfälle lässt sich für die Einsatzentscheidungen der Ersteinsätze in allen drei Werkhöfen aus Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes die Notwendigkeit eines Winterdienstes direkt ableiten. Im Werkhof Fribourg-Nord, wo die Einsatzentscheidungen verstärkt auf direkten Beobachtungen und Meldungen des Personals basieren, gab es zwei Einsätze, bei denen evtl. das gezielte Anfahren einzelner kritischer Abschnitte ausreichend gewesen wäre. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die betreute Strecke in Fribourg-Nord inhomogener als in den beiden anderen Werkhöfen ist.

Eine differenzierte Analyse, inwieweit die Prognosen für einzelne Messstationen auch tatsächlich eingetroffen sind, wurde für den Werkhof Sprengi durchgeführt. Sie hat gezeigt, dass es nur in 2 % zu erheblichen Abweichungen gekommen ist. Bei 35 % der Einsätze sind zwar Abweichungen aufgetreten, diese waren jedoch nur gering. Die Abweichungen haben in der Regel nicht zu einer unmittelbaren Fehleinschätzung über die Notwendigkeit eines Einsatzes geführt und sind somit für den Winterdienst tolerabel.

## **4.3 Analyse der Verwendung aufgezeichneter Einsatzdaten**

### **Methodik**

Für die Untersuchung, inwieweit die automatisch aufgezeichneten Einsatzdaten für Protokolle, Berichte, Nachweise, Statistiken etc. verwendet werden, wurde ein Formblatt entwickelt, das als Anhang 4.4 beigefügt ist. Neben Art und Grund der Auswertung wurden auch die für die Auswertung genutzten Daten, die Methodik und der Zeitbedarf für die Auswertungen angegeben. Dieses Formblatt wurde durch die Mitarbeiter der Werkhöfe Sprengi und Fribourg-Nord während der Untersuchungen im Winter 2005/06 fortlaufend geführt. Darüber hinaus wurden Interviews mit den Mitarbeitern der Werkhöfe geführt. Im Werkhof Winterthur werden die Einsatzdaten nicht aufgezeichnet, hier gibt es daher keine detaillierten Informationen über die durchgeführten Einsätze.

Sehr umfangreiche Verwendung finden die aufgezeichneten Einsatzdaten vor allem im Werkhof Sprengi. Im Werkhof Fribourg-Nord standen die Einsatzdaten während des Winters 2005/06 nur eingeschränkt zur Verfügung, da die Online-Übertragung für einen Teil der Fahrzeuge erst während des Winters realisiert wurde und der Werkhof hierauf keinen Zugriff hatte. Daher sind für diesen Werkhof nur eingeschränkte Aussagen möglich.

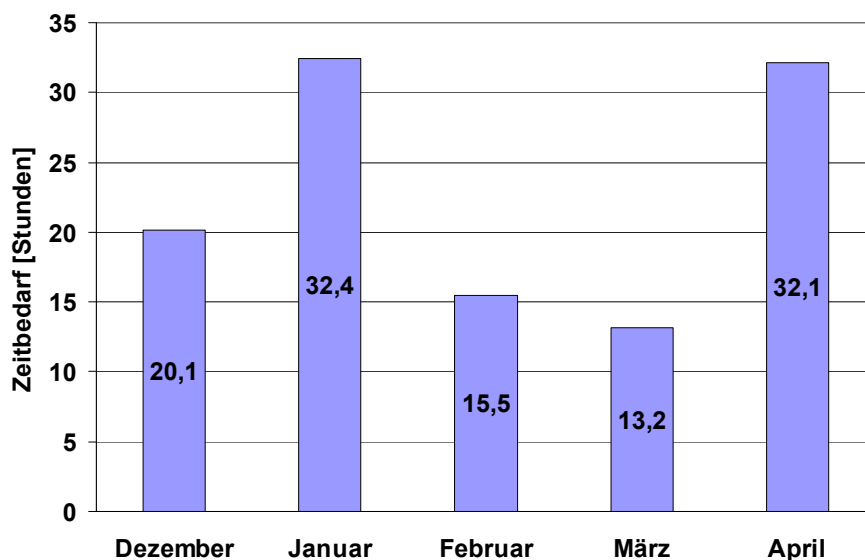
## **Werkhof Sprengi**

Die Aufzeichnung der Einsatzdaten ermöglicht eine detaillierte Analyse des zurückliegenden Winterdienstes. Diese erfolgt in der Regel nach jedem Einsatz und hat zum Ziel sowohl die Einsatzentscheidung als auch die Einsatzdurchführung zu optimieren. Somit sind die Einsatzdaten wichtige Grundlage der Qualitätssicherung. Weiterhin dient die Einsatzdatenaufzeichnung als Nachweis über durchgeführte Einsätze, insbesondere bei Unfällen auf winterlicher Fahrbahn. Dieser Nachweis ist nur sehr selten notwendig, kann dann aber mit großer Genauigkeit geführt werden.

Große Bedeutung haben die Einsatzdaten auch für die Abrechnung der Fremdunternehmer. Zwar stellen diese ihre Rechnungen auf Grundlage der von ihnen geführten Winterdienst-Rapporte. Die Überprüfung dieser manuell geführten Rapporte und ggf. ihre Korrektur ist jedoch nur mit den aufgezeichneten Einsatzdaten möglich. Durch die minutiös erfassten Einsatzdaten lassen sich Abweichungen bei der Abrechnung leicht erkennen, so dass die durchgeführten Einsätze exakt abgerechnet werden können. Eine unmittelbare und automatische Rechnungslegung bzw. -kontrolle ist mit den aufgezeichneten Einsatzdaten jedoch nicht möglich, da die Vergütung neben den ausgeführten Streu- und Räumereinsätzen weitere Elemente, wie Zuschläge für Nacht- und Sonntagsarbeit, Stillstandszeiten, Pikett und Bereitstellungspauschale enthält. Daher müssen die aufgezeichneten Daten mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen weiterverarbeitet werden. Dies ist mit einem Routineaufwand verbunden, der auf fehlenden spezifischen Aufbereitungsmöglichkeiten der Erfassungssoftware basiert.

Ein Teil der manuellen Auswertungen, die im Rahmen der Rechnungskontrolle der Fremdunternehmer erfolgen, wird gleichzeitig auch für Berichte und Statistiken über den durchgeführten Winterdienst verwendet. Hierfür sind weitere Daten, z.B. über den Streusalzverbrauch, oder Differenzierungen, z.B. nach Einsatzstrecke notwendig. Die Daten werden nicht nur für die Fremdunternehmer, sondern auch für die Winterdienstfahrzeuge des Kantons ausgewertet. Auch diese Zusammenstellungen werden mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen durchgeführt, da die Erfassungssoftware keine anforderungsgerechte Aggregation ermöglicht. Die Berichte über den durchgeführten Winterdienst haben mehrere Zielgruppen: Innerhalb des Strasseninspektorats liefert ihre Analyse und der Vergleich gegenüber den Vorjahren einen wesentlichen Beitrag zur strategischen Steuerung des Winterdienstes. Gegenüber dem Bund werden die Aufwendungen auf den Nationalstraßen nachgewiesen. Für die Öffentlichkeit werden ausgewählte Kennziffern, z.B. im Internet, veröffentlicht, um so transparent den Umfang des Winterdienstes und die notwendigen Aufwendungen darstellen zu können.

In Abbildung 4-15 ist der Zeitbedarf dargestellt, der durch die Mitarbeiter des Werkhofs Sprengi für die Auswertung der Einsatzdaten des Winterdienstes auf den Nationalstraßen erfasst wurde. Die Auswertungen erfolgen monatlich für den Vormonat. Ein Großteil der durchgeführten Auswertungen wird sowohl für die Rechnungslegung der Fremdunternehmer als auch für Statistiken und Berichtswesen benötigt. Nicht statistisch erfasst wurde der Aufwand für die Qualitätssicherung im Winterdienst bzw. den Einsatznachweis im Einzelfall, da es sich hierbei um seltene Ereignisse handelt und da sich der Aufwand für die Datennutzung hierbei nicht vom eigentlichen Prozess trennen lässt. Der Zeitbedarf hängt einerseits von der Anzahl der Fahrzeuge und zum anderen von der Anzahl der Einsätze ab. Insbesondere der hohe Aufwand in den Monaten Januar und April resultiert aus der hohen Anzahl der Einsätze in den Monaten Dezember und März.



**Abbildung 4-15: Zeitbedarf für die Nutzung aufgezeichneter Einsatzdaten des Winterdienstes auf den Nationalstraßen im Kanton Luzern im Winter 2005/2006**

Im Durchschnitt liegt der Zeitaufwand somit bei 2 bis 3 Arbeitstagen pro Monat und ist trotz automatisierter Datenaufzeichnung relativ hoch. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch, dass dieser Aufwand u.a. aus der detaillierten Rechnungsprüfung resultiert, die jedoch ohne die aufgezeichneten Einsatzdaten nicht möglich wäre. Weiterhin liegen verlässliche Kennzahlen zum Winterdienstaufwand vor, die eine wirtschaftliche Steuerung des Winterdienstes ermöglichen.

Ein Teil des Aufwandes resultiert aus den nicht anforderungsgerechten Auswertemöglichkeiten der Erfassungssoftware. Durch weitergehende Automatisierung der Auswertungen kann der Aufwand für Routinetätigkeiten bei der Auswertung voraussichtlich erheblich reduziert werden.

## **Werkhof Fribourg-Nord**

Monatsspezifische Angaben zur Nutzung der Einsatzdaten liegen für den Werkhof Fribourg-Nord nicht vor. Durch die Mitarbeiter des Werkhofs waren nur die Einsatzdaten nutzbar, die in den Fahrzeugen auf einer Speicherkarte gespeichert und nach Einsatzende übertragen wurden.

Ebenso wie im Werkhof Sprengi dienen die aufgezeichneten Einsatzdaten in erster Linie dem lückenlosen und detaillierten Nachweis über durchgeführte Einsätze im Falle von Unfällen. Der hiermit verbundene Zeitbedarf lässt sich nicht erfassen und wird nicht weiter berücksichtigt, da er nicht vermeidbar ist. Da in Fribourg-Nord nur wenige Fremdunternehmer im Einsatz sind, hat die Nutzung der Daten zur Rechnungslegung und –prüfung nur eine untergeordnete Bedeutung. Schwerpunkt ist die Erstellung von Berichten, Statistiken etc. über den Winterdienstumfang.

Im Durchschnitt sind die Mitarbeiter ca. 35 Stunden pro Monat mit der Auswertung von Einsatzdaten beschäftigt. Schwerpunkte sind hierbei Auswertungen zur Ermittlung der mittleren Einsatzzeiten sowie zum Streustoffverbrauch. Der Zeitbedarf liegt somit in vergleichbarer Größenordnung wie im Werkhof Sprengi und wird im wesentlichen durch die Anzahl der Einsätze bestimmt. Berücksichtigt man, dass einerseits kaum Fremdunternehmer im Einsatz sind, andererseits weniger Einsätze als im Werkhof Sprengi erfolgten, wird deutlich, dass der Aufwand tendenziell höher als im Werkhof Sprengi ist. Dies kann unter Umständen darauf zurückgeführt werden, dass die EDV-Systeme für den Winterdienst im Werkhof Fribourg-Nord unabhängig voneinander betrieben und nicht miteinander vernetzt sind.

## **Gesamtbewertung**

Anhand der beiden Werkhöfe Sprengi und Fribourg-Nord wird deutlich, dass der Aufwand für die Auswertung der Einsatzdaten trotz automatisierter Erfassung relativ hoch ist. Dies ist vor allem auf die spezifischen Anforderungen an die Auswertungen zurückzuführen, die in den eingesetzten EDV-Systemen nur unvollständig hinterlegt sind. Trotz umfangreicherer Nutzung der Daten, insbesondere für die Abrechnung der Fremdunternehmer, ist der Aufwand im Werkhof Sprengi nicht höher als in Fribourg. Dies kann zum einen auf herstellerspezifischen Gegebenheiten der eingesetzten EDV-Systeme basieren, zum anderen zeigt es jedoch die Tendenz, dass durch ein umfassendes Winterdienstmanagementsystem, wie es im Werkhof Sprengi eingesetzt wird, der Aufwand trotz größerer Nutzungsvielfalt nicht höher ist.

Gegenüber dem Werkhof Winterthur, wo keine Einsatzdaten aufgezeichnet werden, wird deutlich, dass nur die automatische Erfassung der Daten zahlreiche Auswertungen und Nachweise

ermöglicht. Eine fortlaufende Qualitätsüberwachung und Optimierung der Winterdiensteseinsätze ist dort aufgrund fehlender Daten nicht möglich. Ebenso fehlen objektive Daten zur Überprüfung der Fremdundernehmerrechnungen. Strecken- oder fahrzeugspezifische Kennzahlen zum Winterdienst sind nicht möglich, andere Kennzahlen müssen zum Teil hochgerechnet werden.

An Hand der Werkhöfe Sprengi und Fribourg-Nord lassen sich die folgenden wesentlichen Nutzungsmöglichkeiten für die automatisierte Einsatzdatenaufzeichnung identifizieren:

- objektiver und detaillierter Einsatznachweis im Einzelfall, z.B. bei Unfällen
- Grundlage für die Rechnungslegung und –prüfung der Fremdundernehmer
- Qualitätssicherung und –verbesserung der Winterdiensteseinsätze
- Kennzahlenermittlung für die interne Steuerung des Winterdienstes
- Generierung notwendiger Kennzahlen für den Bund
- Erstellung von Berichten und Statistiken für die Öffentlichkeitsarbeit
- Grundlage für Schulung der Einsatzleiter und Chauffeure (Best practice).

## **5. Vergleich von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur**

### **5.1 Methodik**

Um zu bewerten, inwieweit die in Einsatzfahrzeugen mobil gemessenen Temperaturen der Fahrbahnoberfläche zur Übertragung der punktuell an Messstationen gemessenen Daten auf angrenzende Streckenabschnitte herangezogen werden können, wurden Daten der Fahrbahnoberflächentemperatur, die stationär an einer Messstation und mobil durch das Einsatzfahrzeug gemessen wurden, miteinander verglichen. Ziel ist es, die Qualität der Korrelation unter realen Einsatzbedingungen zu bewerten und hierbei mögliche Einflüsse aus Fahrbahnfeuchte, Verkehr, Witterung und weiteren Einflussgrößen auf die Korrelation abzuschätzen.

Für den Vergleich wurden im Werkhof Fribourg-Nord zwei Winterdienst-Lkw mit einem System zur automatischen Streudichteanpassung in Abhängigkeit der Fahrbahnoberflächentemperatur ausgerüstet (Thermomat). Eine Komponente hiervon ist ein Infrarotthermometer, mit dem die Temperatur der Oberfläche kontinuierlich gemessen wird. Die beiden Lkw waren in der Regel im Streckenabschnitt zwischen dem Werkhof in Fribourg-Nord und dem südlichen Ende des Betreuungsbereichs beim Tunnel Gumefens im Einsatz. Die Messdaten wurden mit den anderen Einsatzparametern kontinuierlich aufgezeichnet und standen über eine zentrale Datenbank für die Auswertungen zur Verfügung.

Im Einsatzbereich der beiden Lkw liegen insgesamt fünf Messstationen, an denen neben anderen Parametern auch die Temperatur der Fahrbahnoberfläche gemessen wird. Auch diese Daten wurden zentral archiviert und standen so für die Auswertungen zur Verfügung. Für die Analyse wurden die Messwerte der Fahrzeuge und der Messstationen zu Wertepaaren zusammengefügt, die für den jeweiligen Zeitpunkt des Überfahrens der Messstelle galten. Daneben wurden weitere Parameter, wie Fahrzeug, Messstation, Witterung, Fahrbahnzustand, Datum und Uhrzeit für die Wertepaare in der Datenliste aufgenommen, um mögliche Einflüsse auf die Korrelation abschätzen zu können.

Die im Untersuchungsbereich eingerichtete virtuelle Messstelle blieb bei der Auswertung unberücksichtigt, da für diese keine echten Messdaten der Fahrbahnoberflächentemperatur vorliegen, sondern diese nur auf Grundlage spezifischer Randbedingungen an der virtuellen Messstelle aus den Daten angrenzender Messstationen berechnet wurde. Da somit nicht bekannt ist, wie genau diese berechnete Oberflächentemperatur ist, ist eine Korrelation mit der mobil gemessenen Temperatur nicht zielführend im Sinne der zu untersuchenden Fragestellung.

Weiterhin sind in die Analysen die Messdaten weiterer, an der Untersuchungsstrecke aufgestellter Messgeräte, die die Lufttemperatur und –feuchtigkeit gemessen und aufgezeichnet haben, nicht eingegangen. Ziel der Untersuchung ist die Korrelation der Messdaten für die Fahrbahnoberflächentemperatur, die nur bedingt durch die Lufttemperatur beeinflusst wird.

Die Lage der Messstationen ist in Anhang 5.1 dargestellt, wesentliche Kenngrößen sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt. Alle Messstationen befinden sich auf der Richtungsfahrbahn Lausanne – Bern in nördlicher Fahrtrichtung, so dass die Einsatzfahrzeuge sie erst auf der Rückfahrt der Betreuungsschleife passieren. Die Messdaten wurden alle 6 min aufgezeichnet, so dass der angegebene Messwert während der Überfahrt durch das Einsatzfahrzeug maximal 6 min alt ist. Die Auswertungen haben jedoch gezeigt, dass die Veränderung der Temperatur innerhalb von 6 min nur gering ist und daher vernachlässigt werden kann. Die Fahrbahnoberflächentemperatur wird mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen, wobei aufgrund der Sondenkonstruktion die Temperatur der obersten Belagsschicht gemessen wird, die auch durch die Temperatur des Untergrundes beeinflusst wird.

Messstation	Stationierung	Höhenlage	Bemerkungen
V. Gruyère	km 33.425	750 m ü. M.	auf Betonbrücke
Rossens	km 35.804	730 m ü. M.	im Einschnitt
Chaney	km 38.341	700 m ü. M.	im Einschnitt
Pont Glane	km 43.270	630 m ü. M.	auf Stahlbrücke
Moncor	km 46.565	690 m ü. M.	im Einschnitt

**Tabelle 5-1: Lage der berücksichtigten Messstationen**

Durch das Infrarotthermometer am Einsatzfahrzeug wird die Temperatur an der Fahrbahnoberfläche gemessen, die stärker durch Niederschlag, Lufttemperatur und Fahrbahnfeuchtigkeit beeinflusst wird als die Temperatur, die durch die Fahrbahnsonde erfasst wird. Die mobile Messung erfolgt alle 15 s, wobei die Messgenauigkeit bei  $\pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$  liegt. Aufgezeichnet wurden jedoch nicht alle Messwerte, sondern nur die Messwerte, die um mindestens  $0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  vom vorhergehenden Messwert abweichen.

Die Position der Einsatzfahrzeuge und die Daten der Messstationen werden in einer GIS-Anwendung (Beispiel s. Anhang 5.1) visualisiert. Hierbei können die Daten im Minuten-Intervall angezeigt werden; der genaue Zeitpunkt, zu dem ein Einsatzfahrzeug eine Messstelle passiert, wurde linear mit einer Genauigkeit von  $\pm 10 \text{ s}$  interpoliert. Die am Einsatzfahrzeug gemessene Temperatur wurde der detaillierten Ereignisliste für den jeweiligen Einsatz entnommen (Beispiel s. Anhang 5.1). Berücksichtigt man die Messgenauigkeit der Messgeräte sowie die Systematik

der Datenaufzeichnung und –auswertung, so kann die systembedingte Abweichung bei bis zu 2 °C liegen.

## 5.2 Korrelation der gemessenen Wertepaare

In die Untersuchung wurden insgesamt 50 Einsätze zwischen 06.02. und 10.04.2006 einbezogen. Hierbei waren häufig beide Fahrzeuge in einer Staffel im Einsatz. Zur Verfügung stehen insgesamt 536 Wertepaare der Fahrbahntemperatur (s. Tabelle 5-2). Die Anzahl der verfügbaren Messdaten korreliert mit der Entfernung der Stationen vom Werkhof und variiert, da einzelne Abschnitte zum Teil zweifach während eines Einsatzes befahren wurden.

Station	Fahrzeug 470	Fahrzeug 480	Summe
V. Gruyères	47	42	89
Rossens	48	43	91
Chaney	72	43	115
P. Glâne	72	43	115
Moncor	82	44	126
<b>Summe</b>	<b>321</b>	<b>215</b>	<b>536</b>

**Tabelle 5-2: Anzahl der ausgewerteten Wertepaare je Station und Fahrzeug**

Die Gegenüberstellung der Messdaten zeigt für einen Teil der Wertepaare, dass die Messwerte des Infrarotthermometers unter Umständen mit falschem Vorzeichen gespeichert wurden, da für die stationäre Messung negative Temperaturen, für die mobile Messung jedoch positive Temperaturen angegeben wurden. Daher bleiben für alle weiteren Auswertungen die Wertepaare, die im 1. Quadranten des Koordinatensystems liegen, unberücksichtigt.

Nach Eliminierung der offensichtlichen Datenfehler beträgt die Korrelation bei verbleibenden 403 Wertepaaren  $R^2 = 0.68$  (s. Abbildung 5-1). Nur für 40 % aller Wertepaare ist die Abweichung geringer als 1 °C; für 84 % liegt sie innerhalb von 2 °C. Dies entspricht den möglichen Fehlern aus Messtoleranzen und Ungenauigkeiten der Datenzuordnung.

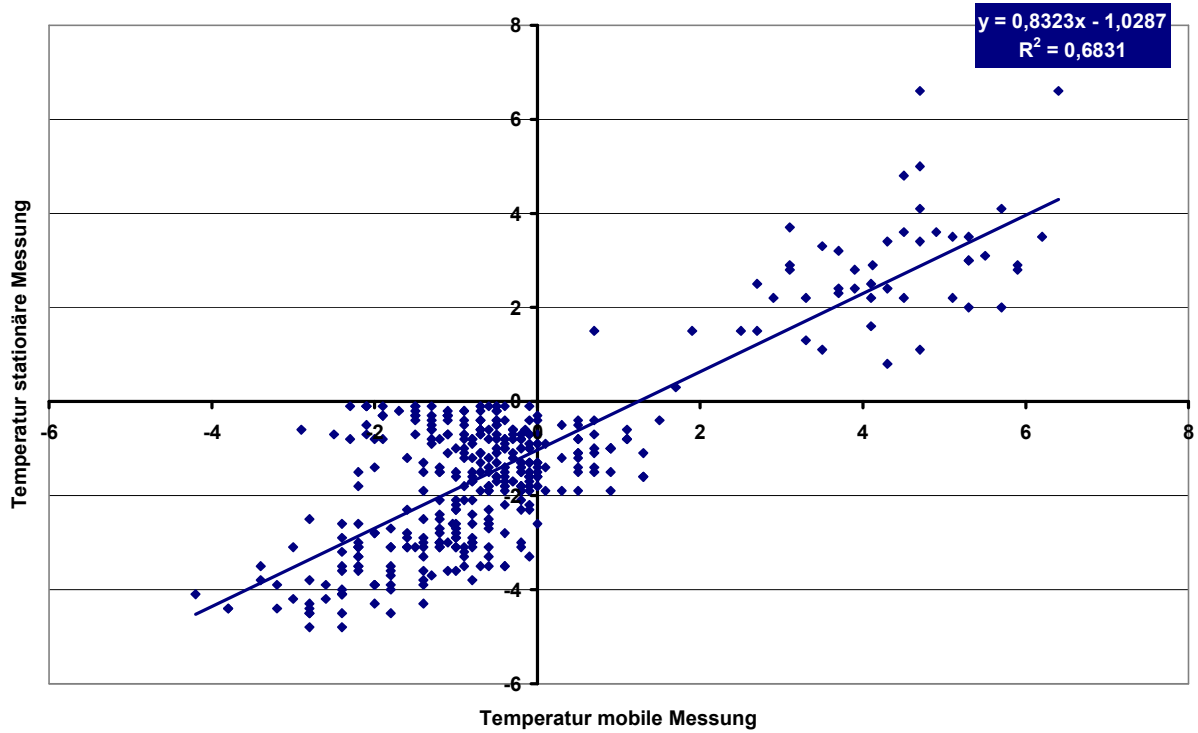


Abbildung 5-1: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung für alle Wertepaare ohne offensichtliche Datenfehler

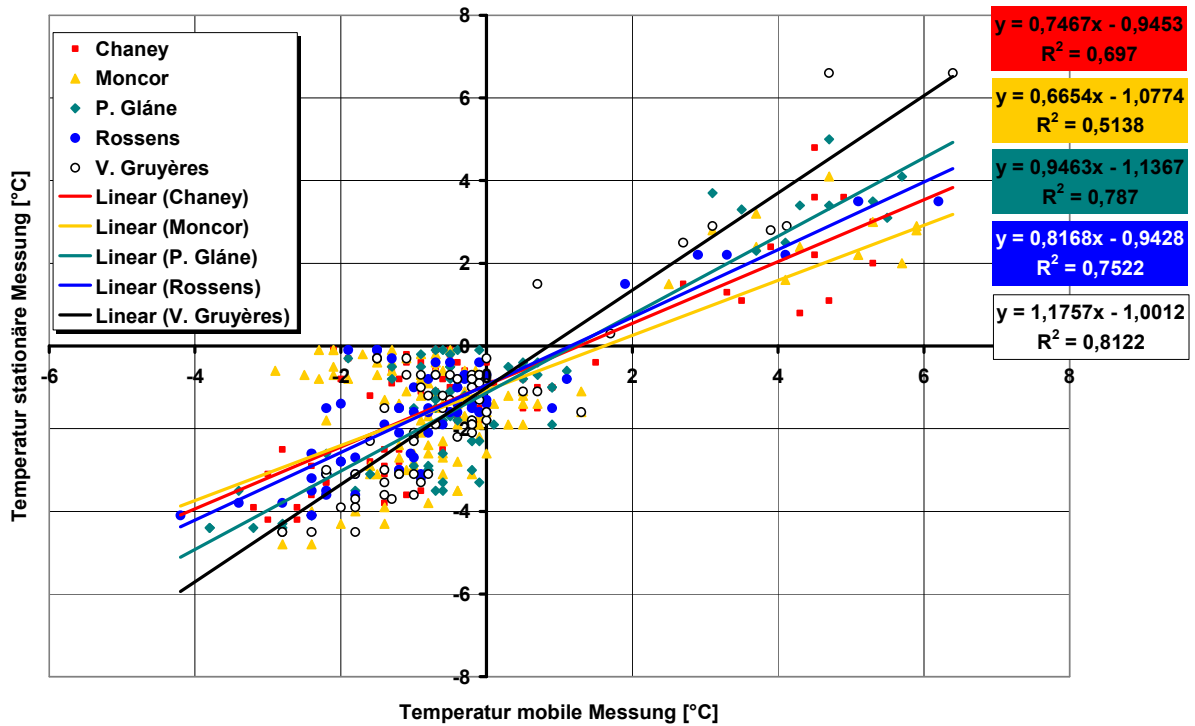
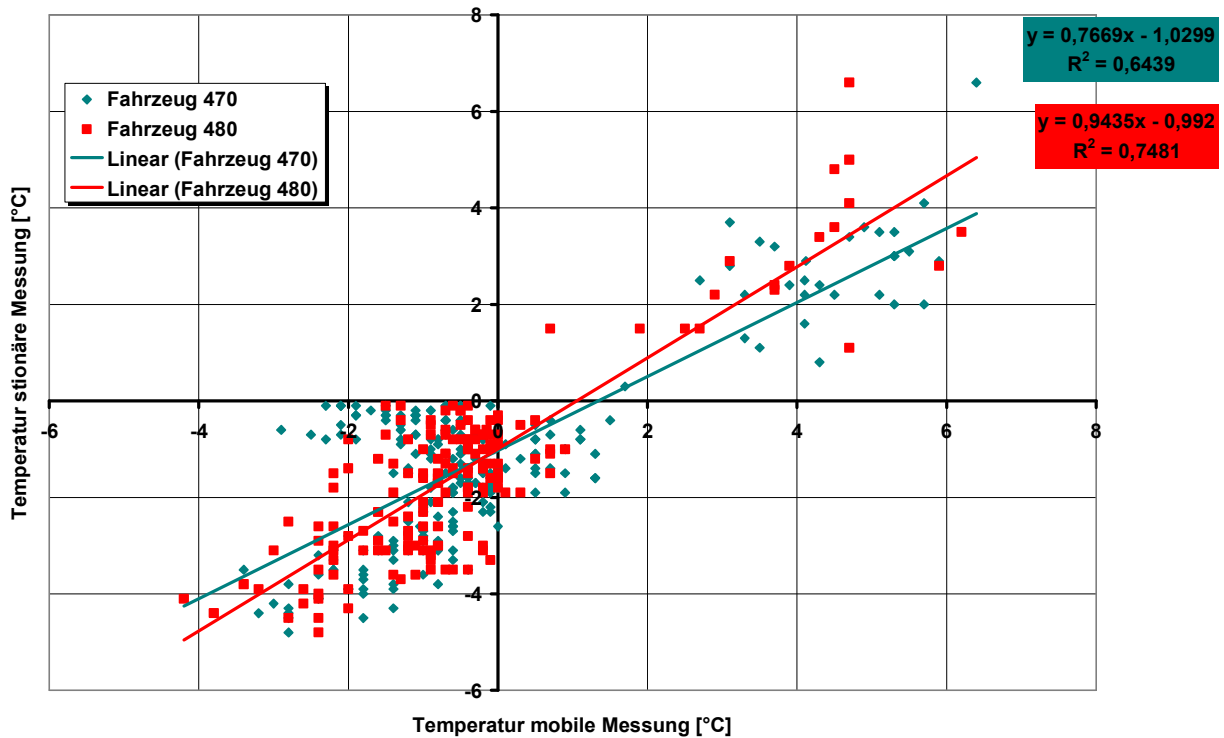


Abbildung 5-2: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung, nach Messstation differenziert

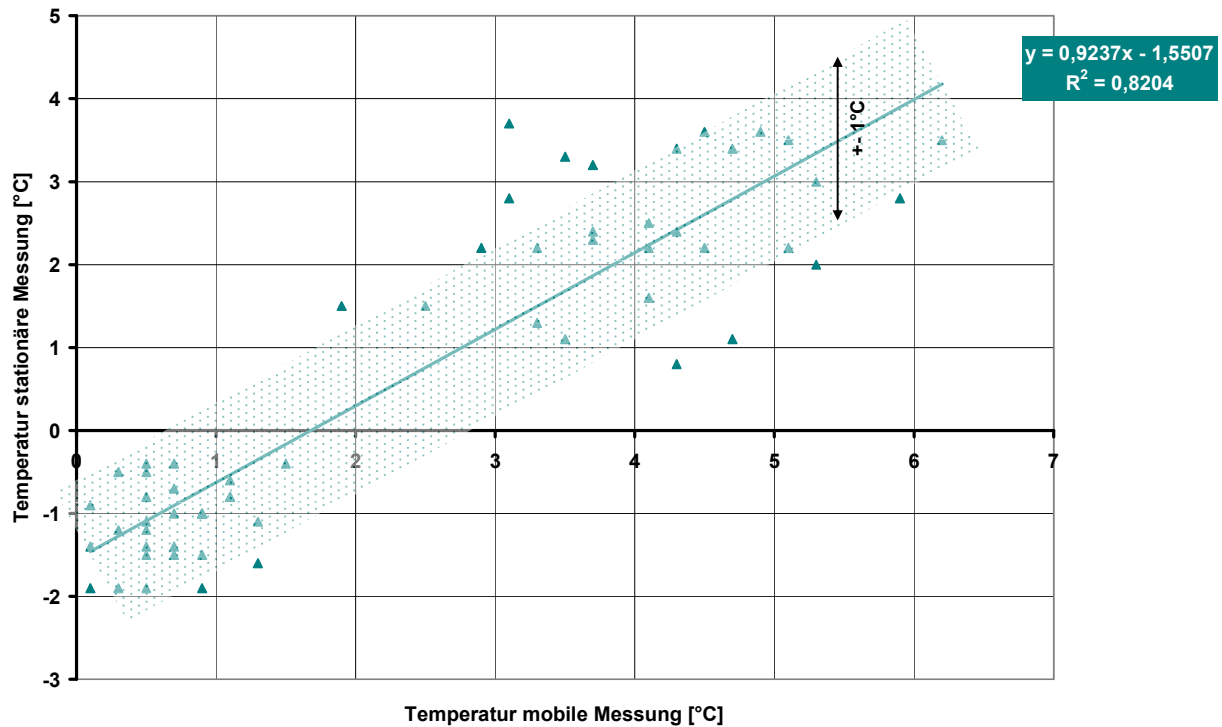


**Abbildung 5-3: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung, nach Fahrzeugen differenziert**

In einem weiteren Analyseschritt sind die Messergebnisse und Korrelationen nach Messstation (s. Abbildung 5-2) und nach eingesetztem Fahrzeug (s. Abbildung 5-3) differenziert worden. Es zeigt sich, dass außer für die Station Moncor, die Korrelation besser ist, wenn man nur die Daten einer Messstation berücksichtigt. Am höchsten ist die Korrelation an den beiden Messstationen auf den Brückenbauwerken. Ursache hierfür kann sein, dass die Brückenbauwerke schneller auskühlen bzw. aufwärmen und damit die Temperatur des Fahrbahnuntergrundes, die bei der stationären Messung die Temperaturmessung beeinflusst, schneller der der Fahrbahnoberfläche entspricht, die bei der mobilen Messung erfasst wird. Für die Station Moncor kann die geringere Korrelation möglicherweise auf eine höhere Messtoleranz des stationären Sensors zurückzuführen sein. Ursachen für die höhere Korrelation bei Fahrzeug 480 gegenüber Fahrzeug 470 können nicht genannt werden. Diese können sowohl mit der Genauigkeit des Messgerätes als auch mit den Einsatzbedingungen zusammenhängen. Die Differenzierungen nach Messstation und Fahrzeug machen jedoch deutlich, dass beide einen Einfluss auf die Korrelation der Messwerte haben und somit die Regression durch entsprechende Korrekturfaktoren verbessert werden kann.

Weitere Korrelationsrechnungen lassen weitere Einflüsse erkennen:

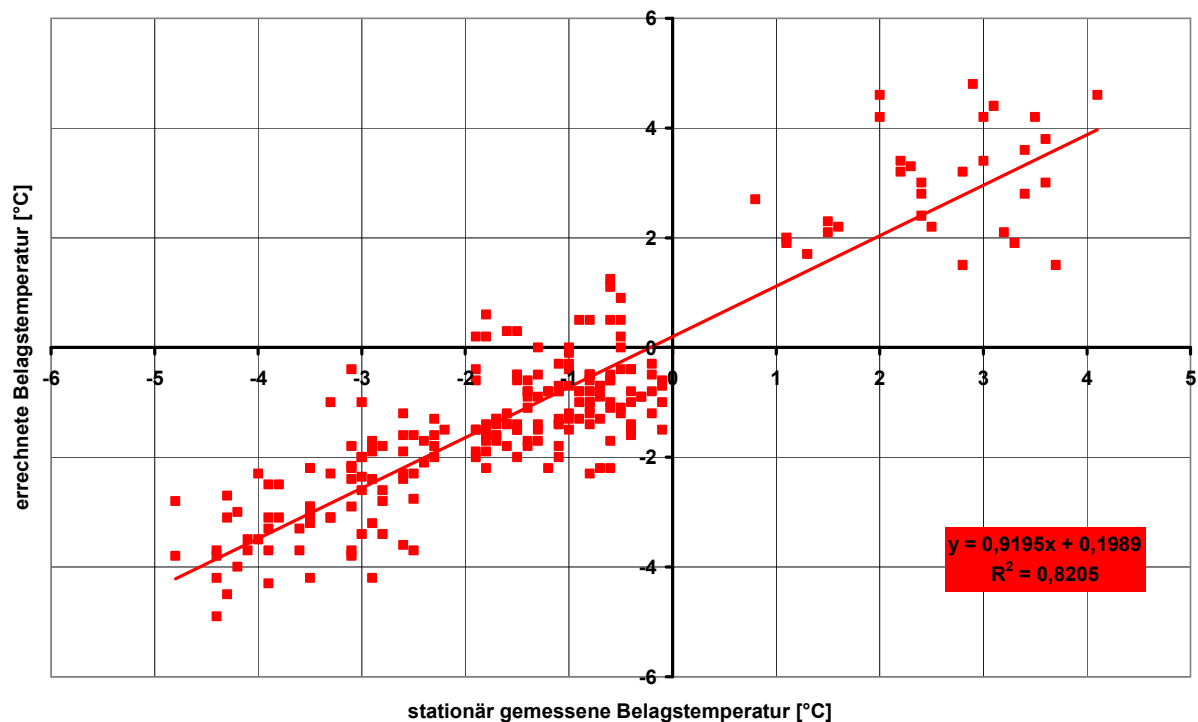
- Bei nasser Fahrbahn ist die Korrelation geringer, während sie bei trockener Fahrbahnoberfläche am höchsten ist. Ursache kann die Messmethodik sein, da bei nasser Fahrbahn mit dem Infrarotthermometer die Temperatur des Wasserfilms gemessen wird, die stärker durch die Luft beeinflusst wird, als die Temperatur des Fahrbahnbelags. Allerdings wurde während der Einsätze nur selten trockene Fahrbahn detektiert.
- Die Korrelation bei Luft- und Bodentemperaturen über dem Gefrierpunkt ist höher als bei geringen Temperaturen. Weiterhin wurde eine schlechtere Korrelation ermittelt, wenn die Belagstemperatur deutlich kühler als die Lufttemperatur ist, was jedoch auch darauf zurückgeführt werden kann, dass dies vor allem bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt auftritt. Am besten ist die Korrelation, wenn der Belag wärmer als die Luft ist.
- Bei positiven Messwerten und trockener Fahrbahn sind die Ergebnisse von mobiler und stationärer Messung nicht mehr proportional. Die in der Fahrbahn stationär gemessene Temperatur steigt mit zunehmender Temperatur an der Oberfläche nur noch geringfügig. Ursache hierfür ist die langsamere Erwärmung in der Fahrbahnoberfläche, da diese auch durch die Temperatur des Untergrundes beeinflusst wird. Insbesondere bei direkter Sonneneinstrahlung können daher erhebliche Abweichungen zwischen stationärer und mobiler Messung auftreten.
- Unter der Berücksichtigung, dass bei feuchter oder trockener Fahrbahn und bei Temperaturen über 0 °C bessere Korrelationen erzielt werden können, kann eine weitaus bessere Korrelation erzielt werden, wenn man dann auch nur die Messstationen mit der höchsten Übereinstimmung berücksichtigt (s. Abbildung 5-4). Diese Auswertung zeigt die Tendenz, dass unter Berücksichtigung maßgeblicher Einflussgrößen eine höhere Übereinstimmung zwischen mobiler und stationärer Messung erzielt werden kann. Die Korrelation für diese ausgewählten Wertepaare beträgt  $R^2 = 0.82$  und nur 20 % aller Messwerte weichen um mehr als 1° C voneinander ab.
- Es zeigt sich die Tendenz, dass die Abweichungen der Messwerte während eines Einsatzes häufig an allen Messstationen ähnlich sind. Somit verändern sich die Einflussgrößen, die die Korrelation von mobilen und stationären Messungen beeinflussen, in der Summe nicht zufällig. Die Auswertungen zeigen, dass die Korrelation nicht nur von einer Einflussgröße maßgeblich bestimmt wird, sondern von mehreren Faktoren abhängt. Diese Faktoren sind während eines Einsatzes häufig gleichartig ausgeprägt.



**Abbildung 5-4: Korrelation ausgewählter Messdaten (nur feuchte oder nasse Fahrbahn, nur Temperaturen der mobilen Messungen über 0° C, ohne Station V. Gruyères)**

### **Berücksichtigung eines einsatzspezifischen Korrekturwertes**

Um zu analysieren, inwieweit die Einflüsse auf mobile und stationäre Messungen während eines Einsatzes konstant bleiben, wurde in einer Simulationsrechnung für jeden Einsatz ein Korrekturwert ermittelt. Dieser berechnet sich aus der Differenz von mobiler und stationärer Messung an der Messstation Rossens, die vor den anderen Messstationen angefahren wird. Die Station V. Gruyères blieb bei dieser Analyse unberücksichtigt, da sie noch vor Rossens liegt, aber nicht bei allen Einsätzen angefahren wurde.



**Abbildung 5-5: Korrelation zwischen stationär gemessener Belagtemperatur und errechneter Belagtemperatur, die unter Berücksichtigung eines einsatzspezifischen Korrekturwertes aus dem Messwert des mobilen Infrarotthermometers abgeleitet wurde**

Mit Hilfe des Korrekturwertes, der die Differenz zwischen stationärer und mobiler Messung repräsentiert, wurden für die anderen Stationen die mobil gemessenen Werte zu einer Belagstemperatur umgerechnet. Diese errechneten Belagstemperaturen werden in Abbildung 5-5 den für die Messsonde aufgezeichneten Werten gegenübergestellt. Die Korrelation ist mit einer mittleren Abweichung von 0.69 °C und einem Korrelationskoeffizienten von 0.82 weitaus besser als der direkte Vergleich von stationärer und mobiler Messung (s.o.).

Wesentlichen Einfluss auf die Korrelation hat die Zeitspanne zwischen dem Passieren der Referenzstation Rossens und den anderen Stationen. Die Korrelation ist insbesondere bei Zeitspannen von mehr als einer Stunde deutlich geringer, allerdings liegen hierfür jedoch nur wenige Daten vor. Weiterhin kann die Qualität der Messstation einen Einfluss haben, da die Station Moncor, für die die größten Abweichungen zwischen mobiler und stationärer Messung festgestellt wurden, als letztes passiert wurde.

### 5.3 Schlussfolgerungen

Aus den Vergleichsmessungen der mobilen und stationären Fahrbahntemperatur wird deutlich, dass aufgrund von Messtoleranzen und nutzungsbedingten Abweichungen (Genauigkeit der Aufzeichnung, Positionierung etc.) Differenzen von 2 °C zu erwarten sind. Da ca. 80 % der Messwerte innerhalb dieser Spannweite liegen, haben die Messungen, die unter normalen Einsatzbedingungen durchgeführt wurden, diese erwarteten Abweichungen bestätigt.

Durch Verbesserungen bei der Synchronisation von Ort und Zeit der mobilen und stationären Messungen kann voraussichtlich eine Reduktion der Abweichungen erreicht werden. Daneben spielen jedoch auch weitere Umwelteinflüsse, insbesondere der Fahrbahnzustand, eine Rolle. Nur bei direkter Sonneneinstrahlung variieren die Ergebnisse der Messsonde im Fahrbahnbelag und des mobilen Infrarotthermometers erheblich; allerdings tritt diese bei winterlichen Witterungen, die einen Räum oder Streueinsatz erfordern, nur selten auf.

Eine praxisgerechte Lösung zur Berücksichtigung der Umwelteinflüsse und damit zur weiteren Verbesserung der Korrelation zwischen mobilen und stationären Messdaten scheint mit Hilfe einer fortlaufenden Referenzierung der mobilen Messdaten an einer festen Messstation möglich. Durch Ermittlung der Messdifferenz zu Beginn jeder Einsatzfahrt, die nach Möglichkeit ca. stündlich wiederholt werden sollte, kann die Korrelation auf eine Genauigkeit von  $\pm 1$  °C verbessert werden.

Ziel dieser Untersuchung war es aufzuzeigen, ob die mit Infrarotthermometern im Einsatzfahrzeug gewonnenen Messdaten der Fahrbahnoberfläche zur Übertragung der lokal gemessenen Daten auf angrenzende Streckenabschnitte herangezogen werden können. Es zeigt sich, dass dies – außer bei direkter Sonneneinstrahlung - mit Hilfe einer regelmäßigen Referenzierung an einer Messstation möglich ist. Somit können während eines Einsatzes Temperaturprofile der Einsatzstrecke erstellt werden. Diese Temperaturprofile können einfach während der Einsatzfahrten und damit bei winterlichen Witterungs- und Fahrbahnverhältnissen gewonnen werden, die für die Einsatzorganisation die größte Bedeutung haben.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Kenntnis über die Fahrbahnoberflächentemperaturen auf der gesamten Einsatzstrecke schon vor einer Einsatzentscheidung notwendig ist. Ein Ansatz, um diese Informationen frühzeitig zu bekommen, kann die statistische Auswertung einer Vielzahl von Temperaturprofilen sein, die während der Winterdienstesätze und auch anderer Fahrten auf der Einsatzstrecke aufgezeichnet werden. Diese können somit die im normalen Thermal Mapping notwendigen Messfahrten bei definierten Witterungsbedingungen und Fahrbahnzuständen ergänzen oder ggf. ersetzen.

## **6. Vergleich der Prognosegüte von Straßenoberflächenprognosen für den Kanton Zug und den Kanton Luzern**

### **6.1 Einleitung**

Seit rund 10 Jahren liefert die MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie) den Kantonen Zug und Luzern regionale Straßenwetter-Prognosen. Sie sind auf die vor Ort für den Straßen-Winterdienst im Einsatz stehenden Straßenwetter-Systeme abgestimmt und werden jeweils vom 1. November bis 15. April produziert.

Die Systeme von Zug (Boschung Mecatronic GFS 2000) und Luzern (Vaisala IceCast) sind vom Konzept her unterschiedlich. Das System von Boschung Mecatronic geht von einzelnen, an erfahrungsgemäss kritischen Stellen eingebauten Messgeräten aus. Dem Vaisala-System geht ein so genanntes Thermal Mapping (Thermische Kartierung) voraus, eine systematische Klimaaufnahme des Straßennetzes, auf Grund dessen die Messstationen gestellt werden.

Die Prognosen der MeteoSchweiz weisen folgende Unterschiede auf. Für den Kanton Zug wird eine Regionsprognose erstellt, gültig von 16 h abends bis 10 h morgens. Darin wird auch eine Straßenoberflächen-Prognose geliefert (Temperatur und Zustand). Ausgehend von der Prognose des Meteorologen wird mittels Energiebilanzmodell die Oberflächentemperatur berechnet. Der Oberflächenzustand wird vom Meteorologen abgeschätzt und eingetragen. Bei diesen Angaben handelt es sich um Mittelwerte für eine Region, die vom Winterdienstleiter richtig interpretiert werden müssen.

Für den Kanton Luzern werden ebenfalls Regionsprognosen berechnet, gültig von 13 h mittags bis 13 h am Folgetag. Diese enthalten die Oberflächentemperatur und den –zustand für eine bestimmte Referenzstation. Für die Berechnung mittels Energiebilanzmodell werden in diesem Fall die Daten der Messstation einbezogen. Durch die Daten des Thermal Mapping und eine Klassifizierung der Strahlungsverhältnisse werden die Minimumtemperaturen von der Prognostation automatisch aufs ganze Netz übertragen.

### **6.2 Ziel der Untersuchung**

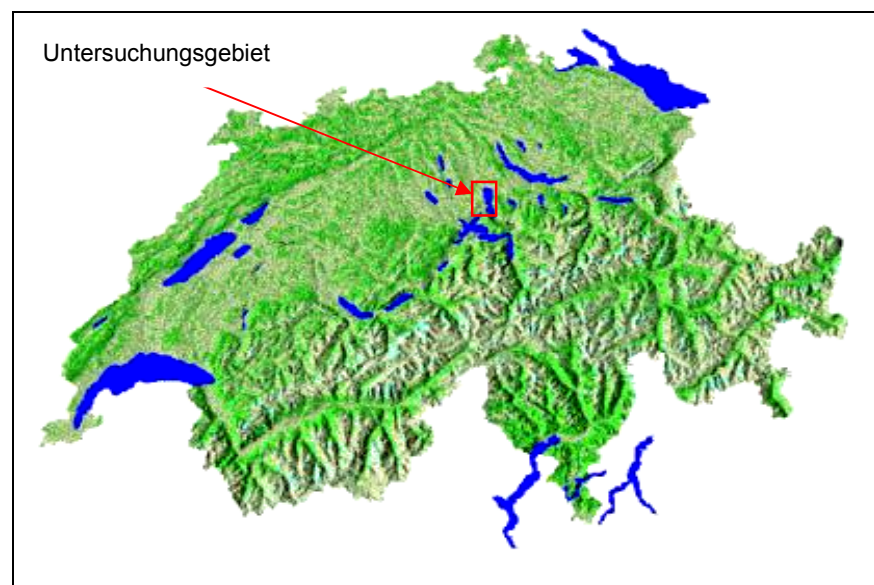
Es geht darum, den Unterschied der Prognosenqualität für die Straßenoberfläche in den beiden Regionen zu vergleichen. Die Prognosen werden mit verschiedenen Vorgaben erstellt und gelten in Zug für eine Region und in Luzern für einen Messpunkt. Diese Untersuchung sollte Hin-

weise liefern über die Genauigkeit der Prognosen und damit die Qualität der Grundlagen für die Entscheide der Winterdienstleiter.

### 6.3 Vorgehen und Beschreibung des Gebiets

Die täglichen Prognosen für die Region Zug und diejenigen für die Luzerner Station Meierskappel vom 1. Nov. 2005 bis 15. April 2006 werden miteinander verglichen. Verglichen werden die für den Straßen-Winterdienst wichtigen Parameter Minimumtemperatur der Nacht und Zeitpunkt der Nullgrad-Unterschreitung in Bezug auf zwei Stationen in Zug (Fännbrücke und Lorzenthalbrücke) und die Messstation Meierskappel im Kanton Luzern. Die beiden Stationen Fännbrücke und Meierskappel sind nur etwa 2,5 km voneinander entfernt. Der Höhenunterschied beträgt 210 m (Fännbrücke 420 m/Meierskappel 630 m).

Die Lage des Untersuchungsgebiets ist in der Abbildung 6-1 dargestellt.



**Abbildung 6-1: Untersuchungsregion Zentralschweiz**

Die Untersuchungsregion weist ein Winterklima auf, das einerseits vom Mittelland her geprägt ist. Das heisst, der oft im Mittelland liegende Kaltluftsee mit Nebel und Hochnebel erstreckt sich auch in die Region Zug-Küssnacht a.R.. Andererseits ist die Nebelhäufigkeit etwas geringer als in der Reussebene auf der anderen Seite des Rooterbergs. Die Region liegt aber auch am Rande der Voralpen, wo der Stau effekt der Luftmassen mehr Wolken und Niederschlag produziert als im Flachland draussen. Die Stationen Meierskappel LU und Fännbrücke ZG sind beide etwas westwindgeschützt, nicht aber vor der Bise, die vom Zugersee hereinweht. Die Station

Lorzentalbrücke ZG ist diesbezüglich mehr den Winden ausgesetzt, insbesondere auch, weil sie auf Viadukthöhe liegt.

Dem Föhn ist die Station Meierskappel am stärksten ausgesetzt, weil sie erhöht liegt und darum der Föhnwind schneller eine Erwärmung bringen kann. Fännbrücke wie auch Lorzentalbrücke liegen zwar im Gebiet, wo der Föhn für weniger Wolken und Regen sorgt, aber weniger als warmer Wind durchkommt.

Die detaillierte Lage der Messstationen ist im Anhang 6.1 dargestellt.

## 6.4 Ergebnisse

Die Resultate sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Monate	Fännbrücke ZG	Lorzentalbrücke ZG	Meierskappel LU
Nov 05	2.34	2.14	2.15
Dez 05	3.10	3.02	2.22
Jan 06	1.84	2.07	1.33
Feb 06	2.44	2.02	1.48
Mrz 06	2.97	2.93	1.79
<b>Winter 05/06</b>	<b>2.54</b>	<b>2.44</b>	<b>1.79</b>

**Tabelle 6-1: Standardabweichung der Minimumtemperatur (°C). Zusammenfassung des ganzen Winters (Monate November 2005 bis März 2006)**

Monate	Fännbrücke ZG	Lorzentalbrücke ZG	Meierskappel LU
Winter 05/06	3.4	4.1	3.1

**Tabelle 6-2: Standardabweichung der Nullgradunterschreitung (Stunden)**

Monate	Fännbrücke ZG	Lorzentalbrücke ZG	Meierskappel LU
Winter 05/06	78.4 %	81.5 %	92.9 %
Anzahl Prognosen	162	162	168

**Tabelle 6-3: Prognosequalität Frost/kein Frost (in %; ganzer Winter)**

Die obigen Resultate zeigen deutliche Unterschiede in der Prognosenqualität für die Stationen im Kanton Zug und im angrenzenden Meierskappel LU. Am markantesten ist der Unterschied bei der Qualität der Frost/kein Frost-Prognose. Darin wird untersucht, ob die Prognose der Oberflächentemperatur Werte über Null oder unter Null Grad voraussagte und dies eingetroffen

ist. Falsch sind Prognosen mit Werten über Null und Messungen unter Null und umgekehrt. Für Meierskappel war die Treffsicherheit mit 92.9 % markant höher als für Lorzenttalbrücke (81.5 %) und Fännbrücke (78.4 %).

Ähnliche Unterschiede zeigt auch die Standardabweichung der Minimumtemperatur-Vergleiche an den drei Standorten. Die Oberflächentemperatur-Prognosen für Meierskappel sind mit einer mittleren Abweichung von 1,79 Grad deutlich besser ausgefallen als diejenigen für den Kanton Zug (Fännbrücke 2.54 Grad, Lorenttalbrücke 2.44 Grad). Eine Abweichung der Tage, an denen die Oberflächentemperatur-Prognose in Meierskappel markant besser war (+) und den Tagen mit markant schlechterer Prognose für Meierskappel als für die Zuger Stationen (-) ergab folgendes Resultat: (+) = 20 Fälle; (-) = 10 Fälle. Auch da zeigt sich ein signifikanter Unterschied zugunsten höherer Qualität für die Luzerner Station.

Zusätzlich wird noch die Abweichung des Zeitpunkts der Nullgradunterschreitung am Boden verglichen. Da sind die Unterschiede ähnlich, auch wenn die Differenz zwischen Meierskappel und Fännbrücke weniger markant ausfällt. Diese Werte sind generell eher schlecht. Das hängt damit zusammen, dass in dieser Auswertung die schwierigen Situationen mit wechselhaftem Wetter mehr ins Gewicht fallen. Denn alle milden (ganztags über Null) und kalten (ganztags unter Null) Situationen sind nicht berücksichtigt.

## **6.5 Schlussfolgerungen**

Die aufgeführten Resultate lassen folgenden Schluss zu. Der Einbezug der aktuellen Messwerte einer Straßenmessstation in die Berechnung der Oberflächentemperatur bewirkt eine signifikante Verbesserung der Prognosen für die ganze Nacht. Dieser Schluss ist eigentlich trivial und gibt noch keinen Hinweis auf einen verbesserten Winterdienst bei vergrößerter Präsenz von Straßenmessstationen. Da aber die besseren Prognosen nur für Standorte von Straßenmessstationen möglich sind, wird klar, dass mehr Messstationen auch ein vollständigeres Bild der prognostischen Temperaturverhältnisse in einem Kanton wiedergeben.

Im Kanton Luzern werden zwar nicht für alle Messstationen solche Prognosen erstellt, aber mittels Thermal Mapping werden die Berechnungen für Meierskappel auf die ganze Klimaregion umgerechnet, was in der Region des Kantons Zug nicht der Fall ist, weil ja die Prognose für die ganze Region Gültigkeit hat.

Von der grossräumigen Wetterlage her lagen in den ausgewerteten Prognosen sowohl für Zug wie für die Luzerner Region die genau gleichen Entwicklungen zugrunde. Wesentlich für den Winterdienst ist das Hinunterbrechen auf einzelne Streckenabschnitte. Das bietet die Regions-

prognose für den Kanton Zug nicht, sondern muss mittels der Erfahrung des Winterdienstleiters erfolgen. Im Kanton Luzern geschieht es, wie schon erwähnt, mittels Thermal Mapping.

Um diese für den Winterdienst wichtigen Streckeninformationen zu erhalten, sind aktuelle Messwerte vor Ort wichtig, insbesondere die Oberflächentemperatur. Für eine Oberflächenberechnung mittels Energiebilanzmodell sind zusätzlich aktuelle Werte der Temperatur im Belagsinnern, der Lufttemperatur und –feuchte sowie des Niederschlags (inkl. Schneehöhe), des Windes und des Straßenzustandes nötig.

## **6.6 Empfehlungen**

Aus den gezeigten Resultaten und den Schlussfolgerungen geht hervor, dass es wichtig ist, an geeigneten Standorten zuverlässige und komplett ausgerüstete Messeinrichtungen zu haben. Für die richtige Platzierung von Messstationen gibt es zwei Vorgehen. Entweder führt man zuerst ein Thermal Mapping durch, dessen Analyse zeigt, wo die wichtigen und repräsentativen Messpunkte gesetzt werden müssen. Oder man erfasst die aus Erfahrung kritischen oder ähnlich reagierenden Streckenabschnitte und stellt dort Messstationen auf.

Eine möglichst zuverlässige Prognose über 2 Std. hinaus kann nicht ohne meteorologischen Input gerechnet werden. Das heisst, es braucht meteorologische Prognosendienste, die den Bereich 3 bis 24 Stunden abdecken. Damit diese präzise Lokalprognosen liefern können, müssen sie über die Messwerte von der Straße verfügen und diese in die Berechnungen einbeziehen. Eine Online-Vermittlung der Messdaten an den Prognosendienst ist deshalb unabdingbar.

## **7. Kosten der Systeme**

### **7.1 Methodik der Kostenermittlung**

Im Rahmen der Kostenbewertung werden die externen Kosten so weit möglich nach folgenden Komponenten differenziert:

- Messstationen für Straßenzustand und Witterung
- Videoüberwachung des Straßenzustands
- Meteodaten und -prognosen
- Alarmierung des operativen Personals
- Datenerfassung im Einsatzfahrzeug

Nicht berücksichtigt werden interne Kosten, insbesondere Personalkosten, die im Rahmen von Projektierung, Installation, Wartung, Schulung und Betrieb anfallen. Hierüber gibt es keine vergleichbaren Daten. Auch ist zu berücksichtigen, dass in der Praxis oft keine eindeutige Zuordnung möglich ist, da eine Vielzahl der Leistungen im Rahmen der Winterdienstorganisation erbracht werden. Weiterhin werden durch die Systeme andere Aufwendungen in Organisation und Verwaltung reduziert, z.B. für die Dateneingabe oder –auswertung. Auch diese Effizienzgewinne lassen sich in der Regel nicht eindeutig im Rahmen von Zeiterfassungen oder ähnlichem quantifizieren, da häufig mit der Einführung neuer Systeme auch neue Anforderungen an Qualität und Daten aufkommen.

Neben den einmaligen Investitions- und Implementierungskosten werden auch laufende Betriebs- und Unterhaltskosten in die Kostenbetrachtung einbezogen. Um die externen Kosten so vollständig wie möglich aufzunehmen, werden neben den direkten Anlagenkosten auch alle externen Planungs- und Projektierungsleistungen, Bauleistungen, Softwarelizenzen, notwendige Wartungsarbeiten, externe Schulungen etc. berücksichtigt. Erneuerungskosten werden über die Abschreibung der einmaligen Kosten berücksichtigt. Die Abschreibungsdauer ist für eine Vielzahl der Komponenten zehn Jahre; für einmalige Planungs- und Projektierungsaufwendungen sowie begleitende Bau- und Installationskosten werden 25 Jahre als Abschreibungszeitraum angesetzt. Alle Kosten werden als Bruttokosten inkl. der Umsatzsteuer ausgewiesen. Eine Preissteigerung für Kostenangaben aus der Vergangenheit wird nicht angesetzt, da im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie vielfach nicht nur Kostensteigerungen, sondern auch Kostensenkungen registriert werden konnten.

Grundlage der nachfolgenden Kostenangaben sind in erster Linie Daten aus den Kantonen Luzern und Zürich. Diese wurden untereinander und mit Hilfe von weiteren Erfahrungswerten auf ihre Plausibilität geprüft. Auf die Angabe detaillierter Kosten der einzelnen Systeme wird aus Wettbewerbsgründen verzichtet. Unterschiedliche Ausstattungen werden nur bei signifikanten Kostendifferenzen erläutert; ansonsten ist bei den Kostenangaben zu berücksichtigen, dass zum Teil erhebliche herstellerepezifische Unterschiede existieren. Weiterhin haben systemspezifische Randbedingungen erheblichen Einfluss auf die Kosten, insbesondere Systemgröße, Anzahl der Komponenten, Anbindung und Ausstattung der Komponenten.

## **7.2 Kosten der einzelnen Komponenten**

### **Messstationen für Straßenzustand und Witterung**

Die Kosten der Messstationen werden im Wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Ausstattung der Messstation (Anzahl und Art der Sensoren)
- verfügbare Stromversorgung und Datenverbindung
- Anzahl der Messstationen und Werkhöfe insgesamt

Geht man von einem größeren Projekt mit 20 oder mehr Messstationen aus, bei dem die Straßennetze mehrerer Werkhöfe ausgerüstet werden, so liegt der Planungs- und Projektierungsaufwand inkl. Ausschreibung, Vergabe und Bauüberwachung bei ca. 10 % der Gesamtkosten. Weitere 10 % der Kosten resultieren aus zentralen Komponenten (Server, Software). Die Hauptkosten entfallen zu je etwa 40 % in etwa gleicher Größenordnung auf die Sensorik vor Ort (Ausstattung, Installation) sowie vorbereitende bzw. begleitende Bau- und Installationskosten (Fundamente, Kabelrohre, Schaltschränke etc.). Diese Verteilung kann je nach Rahmenbedingungen unterschiedlich ausfallen und soll die Größenordnung der wesentlichen Kostenarten aufzeigen. Auch ist zu berücksichtigen, dass je nach Anbieter Kosten anders ausgewiesen werden, z.B. für die Software.

Die einmaligen Investitions- und Implementierungskosten je Messstation liegen in einer Größenordnung von 90'000 bis 120'000 CHF. Bei einer Abschreibungsdauer von ca. 10 Jahren für die Sensorik und Elektronik sowie 25 Jahren für Planung, Projektierung und Bau entspricht dies jährlichen Abschreibungskosten von 6'300 bis 8'400 CHF je Messstation. Zu diesen externen Kosten kommen die verwaltungsinternen Aufwendungen.

Wesentliche Kosten im laufenden Betrieb resultieren aus den regelmäßigen Wartungen und Kalibrierungen sowie Kleinreparaturen. Demgegenüber sind die Kosten für Energieversorgung

und Datenübertragung nur gering, auch wenn für die Datenübertragung auf externe Anbieter zurückgegriffen werden muss. Für die jährliche Wartung und Kalibrierung der Sonden, die wichtig für die Zuverlässigkeit der Sensoren sind, treten je Messstation Kosten in einer Größenordnung von 2'000 bis 4'000 CHF auf. Die Kosten für Energie und Datenübertragung liegen bei maximal 1'000 CHF je Station.

Insgesamt belaufen sich die Jahreskosten je Messstation somit auf ca. 9'000 bis 13'000 CHF. In diesen Vollkosten sind auch die zentralen Komponenten berücksichtigt, die zur Verteilung, Speicherung und Anzeige der Messdaten notwendig sind. Die Jahreskosten gelten für Anlagen mit einer Ausstattung, die dem derzeitigen Stand der Technik entspricht. Hierbei wird davon ausgegangen, dass, wie in der Praxis üblich, nicht alle Messstationen mit der kompletten Sensorik ausgerüstet sind, sondern ein Teil der Sensoren, z.B. Windmessung, Sichtweite oder Schneehöhenmessung, nur an ausgewählten Standorten installiert ist.

Weiterhin gelten die Kosten für den Fall, dass Stromversorgung und Datenverbindung am Standort der Messstation möglich sind, sowie für Anlagen mit einer Größenordnung von 20 oder mehr Messstationen.

### **Videoüberwachung des Straßenzustands**

Für die Überwachung des Straßenzustands mit Videokameras sind keine Echtzeitsysteme notwendig, sondern die Aufnahme und Übertragung von Einzelbildern sind ausreichend. Für diese können oftmals die an den Nationalstraßen vorhandenen Übertragungseinrichtungen genutzt werden, so dass nur die Kosten für die Kamerastationen in die Kostenbetrachtung einfließen.

Die Kosten der Kamerastationen hängen von der Ausstattung und Aufnahmequalität ab. Unterschiede bestehen z.B. hinsichtlich der Masthöhe, der Steuerungsmöglichkeiten der Kamera, der Bildauflösung oder der Aufnahmemöglichkeit bei Dunkelheit mit Infrarotkamera. Die Implementierungskosten je Kamerastandort liegen zwischen 30'000 und 50'000 CHF.

Im laufenden Betrieb sind Wartungs-, Strom- und ggf. Datenübertragungskosten zu berücksichtigen. Diese liegen je Kamera bei 1'000 bis 2'500 CHF pro Jahr. Setzt man eine 10-jährige Abschreibungsdauer für die Kameras an, so liegen die Jahreskosten der Videokameras bei 4'000 bis 7'500 CHF. Diese Jahreskosten werden maßgeblich von der Ausstattung und Qualität der Kameras beeinflusst. Sie berücksichtigen keine besonderen Übertragungs- oder zentrale EDV-Einrichtungen, da hierfür vielfach die an den Nationalstraßen vorhandenen Datenkabel sowie die Ausstattung, die für die weiteren Komponenten zur Steuerung des Winterdienstes notwendig sind, genutzt werden können.

## **Meteodaten und –prognosen**

Im Bereich der Meteodaten sind die Implementierungskosten gering, da die Meteodaten vielfach direkt über das Internet zur Verfügung gestellt und mit standardisierten Web-Browsern abgerufen werden können. Je nach System sind einmalige Kosten für Software zu berücksichtigen oder die Softwarekosten werden als jährliche Lizenzkosten verbucht.

Die Kosten für die Meteodaten hängen zum einen vom Umfang der Nutzung, d.h. der Anzahl der abrufenden Werkhöfe und der abrufenden Arbeitsplätze ab. Zum anderen werden sie vom Daten- und Informationsumfang bestimmt, wobei u.a. danach zu differenzieren ist, inwieweit unmittelbar verfügbare Daten, z.B. Bilder des Niederschlagsradars, genutzt werden oder Daten für spezifische Vorhersagen, z.B. für einzelne Klimagebiete, aufbereitet werden. Somit hat auch die Größe des Betreuungsgebietes einen Einfluss auf die Lizenzkosten. Allgemeine Wetterdaten und –prognosen stehen im Internet kostenfrei zur Verfügung.

Bei den Kosten für Meteodaten und –prognosen wird nicht nach einmaligen und laufenden Kosten differenziert, da keine umfangreichen Installationen notwendig sind und diese Unterscheidung somit vor allem vom Vertriebsmodell des Anbieters abhängt. Je nach Umfang und Differenzierung der genutzten Daten können für die Nutzung straßenspezifischer Meteodaten und –prognosen jährliche Kosten in einer Größenordnung von 10'000 CHF pro Werkhof angesetzt werden. Hierbei sind im wesentlichen laufende Daten der Messstationen, allgemeine und spezifische Straßenwettervorhersagen, Satellitenbilder und Niederschlagsradar berücksichtigt. Höhere Kosten bis zu 20'000 CHF pro Jahr fallen an, wenn zusätzlich spezifische Vorhersagen für einzelne Klimagebiete oder Streckenabschnitte erstellt werden, bei denen auch die Messdaten der Messstationen am Straßennetz ausgewertet werden, oder wenn besondere Anforderungen an die Integration und Darstellung der Daten im Gesamtsystem gestellt werden.

## **Alarmierung des operativen Personals**

Die Kosten für die Alarmierung hängen in erster Linie vom Umfang des Personals ab, das in der Einsatzplanung für die Winterdienst vorgesehen ist. Daneben werden die Kosten von der Art der Alarmierung, z.B. über Pager oder Natel, und der Anzahl der übertragenen Meldungen beeinflusst. Kostengünstig kann die Alarmierung erfolgen, wenn das gleiche System wie durch andere Kantonsbehörden, z.B. die Polizei, genutzt wird, da dann ein Rahmenvertrag mit größerem Umfang geschlossen werden kann.

Die Kosten für die Beschaffung notwendiger Geräte zur Alarmierung des Personals sind im Vergleich zu pauschalen Nutzungsgebühren und Übertragungskosten eher gering. Zum Teil sind sie subventioniert und werden durch höhere Nutzungsgebühren oder Übertragungskosten

kompensiert, so dass eine Unterscheidung nach einmaligen Investitionen und laufenden Kosten nicht sinnvoll ist. Zentrale Komponenten zur Generierung und zum Versand von Alarmmeldungen sind in der Regel Teile der Komponenten für die Messstationen für Straßenzustand und Witterung sowie für die Meteo-daten und –prognosen und dort berücksichtigt.

Wird ein unabhängiges Alarmierungssystem implementiert, so liegen die Jahreskosten in einer Größenordnung von 300 bis 500 CHF pro Mitarbeiter. Ist das System hingegen Teil eines größeren Rahmenvertrags, können diese Kosten erheblich reduziert werden und liegen bei nur 100 bis 150 CHF.

### **Datenerfassung im Einsatzfahrzeug**

Wesentliche Bestandteile der Datenerfassung sind die Erfassungsgeräte in den Winterdienstfahrzeugen sowie die zentralen Komponenten für die Übertragung, Speicherung und Verarbeitung der Einsatzdaten. Die Kosten für die fahrzeugseitige Implementierung können mit ca. 5'000 bis 7'000 CHF je Fahrzeug veranschlagt werden, die Kosten für die zentralen Komponenten betragen je nach Anzahl der Fahrzeuge und angebundenen Werkhöfe ca. 30'000 bis 50'000 CHF je Werkhof. Somit liegen für einen Werkhof mit zehn Fahrzeugen die Investitionen je Fahrzeug bei ca. 8'000 bis 12.000 CHF.

Die laufenden Kosten hängen in erster Linie davon ab, ob und wie häufig Einsatzdaten online übertragen werden oder die Daten erst nach Einsatzende übertragen werden. Für die Online-Übertragung sind 100 bis 200 CHF je Fahrzeug pro Jahr zu veranschlagen. Weitere laufende Kosten fallen für Reparaturen, Ersatzteile etc. an und können mit ca. 100 CHF pro Fahrzeug angesetzt werden.

Für die installierten Komponenten in den Fahrzeugen wird eine mittlere Nutzungsdauer von fünf Jahren angesetzt, da die Geräte im Fahrzeug einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt sind und die Nutzungsdauer von der Nutzungsdauer der Fahrzeuge und Geräte abhängt, die aus technischen oder vertraglichen Gründen oftmals kürzer als die der Erfassungskomponenten ist. Für die zentralen Komponenten im Werkhof werden hingegen zehn Jahre angesetzt. Somit liegen die Abschreibungskosten je Fahrzeug für einen Werkhof mit zehn Fahrzeugen bei 1'300 bis 1'900 CHF pro Jahr. Hinzu kommen die laufenden Betriebskosten von 100 CHF, so dass Jahreskosten von 1'400 bis 2'000 CHF zu veranschlagen sind, wenn keine Daten online übertragen werden. Bei Online-Übertragung liegen die Jahreskosten bei 1'500 bis 2'200 CHF pro Fahrzeug.

Ergänzend zu den Einsatzdaten können im Einsatzfahrzeug auch Meteo-daten, insbesondere die Temperatur der Fahrbahnoberfläche, erfasst werden, um im Rahmen eines permanenten

Thermal Mapping Daten zur Temperaturverteilung im gesamten Streckennetz zu erhalten. Diese Daten können auch für die temperaturabhängige Steuerung des Streugerätes verwendet werden. Kosten treten in diesem Zusammenhang in erster Linie für das Infrarotthermometer sowie die temperaturabhängige Steuerung des Streugerätes auf. Datenspeicherung und -übertragung können in gleicher Weise wie die Einsatzdaten erfolgen und sind daher nicht mit nennenswerten Mehrkosten verbunden. Detaillierte Daten zu den Kosten für Infrarotthermometer und die temperaturabhängige Steuerung liegen nicht vor, da sie bisher nur als Pilotprojekte realisiert wurden. Für die mobile Messung der Fahrbahntemperatur werden 500 CHF pro Jahr und Fahrzeug angesetzt; für die temperaturabhängige Steuerung kommen weitere 500 CHF zum Ansatz.

### 7.3 Gesamtkosten

In Tabelle 7-1 sind die Investitionskosten und die Jahreskosten als Summe der Abschreibungskosten und laufenden Kosten für die einzelnen Komponenten auf Grundlage der in Kapitel 7.2 dargestellten Kosten zusammengestellt.

Komponente	Bezugsgröße	Investitionskosten [CHF]	Jahreskosten [CHF]
Messstation für Straßenzustand und Witterung	je Messstation	90'000 – 120'000	9'000 – 13'000
Videoüberwachung des Straßenzustands	je Videokamera	30'000 – 50'000	4'000 – 7'500
Meteodaten und Prognosen	je Werkhof	k.A.	10'000 – 20'000
Alarmierung des operativen Personals	je Mitarbeiter	k.A.	300 – 500 (100 – 150) <sup>1)</sup>
Datenerfassung im Einsatzfahrzeug	je Fahrzeug	8'000 – 12'000	1.400 – 2.000 (1'500 – 2'200) <sup>2)</sup>
Infrarotthermometer und temperaturabhängige Steuerung	je Fahrzeug	k.A.	1'000

<sup>1)</sup> bei Vorhandensein eines Rahmenvertrags im Kanton

<sup>2)</sup> bei Online-Übertragung der Einsatzdaten

**Tabelle 7-1: Zusammenstellung von Investitions- und Jahreskosten für die Komponenten eines Winterdienstmanagementsystems**

Um die Kosten der unterschiedlichen Komponenten in Relation zueinander setzen zu können, werden nachfolgend die Kosten für die komplette Ausstattung eines Werkhofs zusammengestellt. Hierfür wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- 1 Werkhof

- 10 Fahrzeuge mit Datenaufzeichnung und Online-Übertragung der Einsatzdaten (mit Infrarotthermometer und temperaturabhängiger Steuerung)
- 25 Mitarbeiter als Fahrer
- 10 Messstationen an der Strecke
- 5 Videokameras
- Nutzung umfangreicher und straßenwetterspezifischer Meteodaten

Die Jahreskosten für diese Komponenten haben eine Größenordnung von 152'500 bis 232'000 CHF (s. Abbildung 7-1). Größten Anteil hieran haben die Kosten für die Messstationen. In Abbildung 7-2 ist die Verteilung auf die verschiedenen Komponenten dargestellt, die aus dem Ansatz mittlerer Kosten für die einzelnen Komponenten resultiert. Es wird deutlich, dass die Kosten für die Messstationen mit 57 % den höchsten Anteil an den Jahreskosten haben. Die Kosten für die Meteodaten für den gesamten Werkhof liegen in der Größenordnung der Kosten für nur eine bis zwei Messstationen. Auch die Kosten der Videokameras sind relativ hoch, wenn man berücksichtigt, dass diese Informationen vielfach nur ergänzenden Charakter haben. Die Komponenten Alarmierung und Einsatzdokumentation fallen im Vergleich zu den Messstationen bei den Jahreskosten ebenfalls nur wenig ins Gewicht.

Bei der Bewertung der Jahreskosten ist zu berücksichtigen, dass die Messstationen die wichtigste Grundlage der Einsatzentscheidung sind und damit entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Winterdienstesatzes haben. Diese Qualität kann jedoch nicht proportional zu der Anzahl der eingesetzten Stationen gesteigert werden und auch die Meteodaten sind für die richtige Einsatzentscheidung von großer Bedeutung. Daher sollte bei restriktiven Budgetvorgaben in der Regel die Anzahl der Messstationen reduziert werden, anstatt auf qualitativ hochwertige Meteodaten zu verzichten.

Die Videokameras dienen vor allem zur Verifikation der Messdaten. Aufgrund der Kosten hierfür sollten diese daher nur an ausgewählten Standorten eingesetzt werden bzw. durch zusätzliche redundante Sensoren an den Messstationen ersetzt werden.

Ebenso wie für die Meteodaten sind die Kosten für Alarmierung und Einsatzdatenerfassung gering. Nicht berücksichtigt sind hierbei mögliche Einsparungen durch die Automatisierung der Einsatzleitung und Einsatzabrechnung auf Seiten der Werkhöfe und Kantonalverwaltungen, die neben der Verbesserung des Winterdienstes in eine Kosten-Nutzen-Bewertung einzubeziehen sind. Auch die Kosten für die Ausstattung der Fahrzeuge mit Infrarotthermometer und temperaturabhängiger Steuerung sind von untergeordneter Bedeutung, so dass ihr Einsatz insbesondere unter den Aspekten des Nutzens zu bewerten ist.

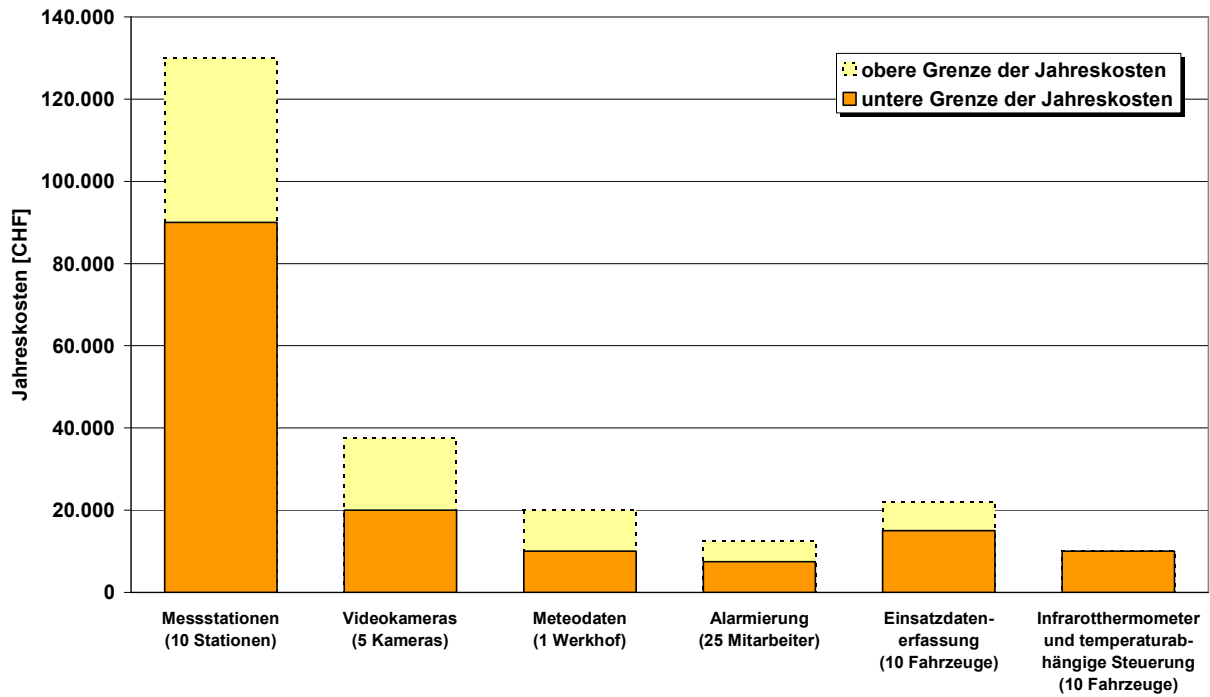


Abbildung 7-1: Jahreskosten eines durchschnittlichen Werkhofs für die Ausstattung mit Kommunikationstechnologie für den Winterdienst

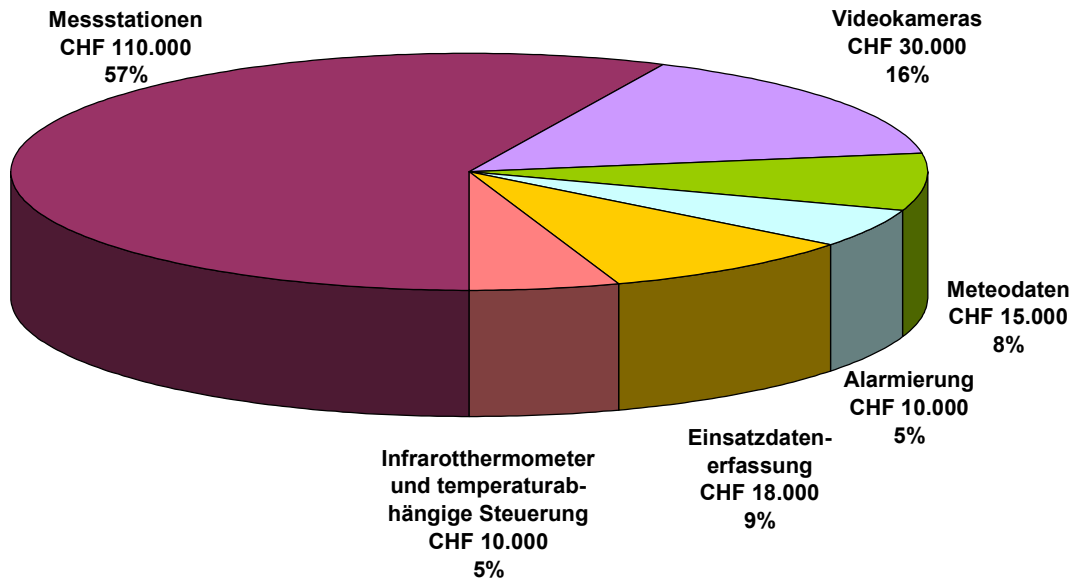


Abbildung 7-2: mittlere Anteile der einzelnen Komponenten an den Jahreskosten für die Ausstattung eines durchschnittlichen Werkhofs mit Kommunikationstechnologie für den Winterdienst

## 8. Nutzen der Systeme

### 8.1 Verkehrssicherheit

#### 8.1.1 Allgemeines

Die Wirksamkeit des Straßenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit auf Bundesautobahnen in Deutschland wurde von DURTH ET AL [1996] nachgewiesen. Die Beschleunigung eines Winterdiensteinsatzes um 10 Minuten führt bereits zu erheblichen Einsparungen der Straßennutzerkosten, und zwar vor allem durch eine Verminderung der Unfälle und eine Steigerung der Reisezeiten. Bereits in der ersten Studie auf Ausserortsstraßen wurde festgehalten, dass eine spürbare Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Schnelligkeit im Winterdienst erreicht werden kann [DURTH ET AL 1989]. Jede Minute, die der Winterdienst früher räumt und streut, kann potentielle Unfälle vermeiden. Dabei wurde damals schon die Bedeutung einer guten Wetterbeobachtung, einer effizienten Glättemeldeanlage und eines guten Bereitschaftssystems unterstrichen.

Eine Studie in der Schweiz zeigt, dass bei winterlichen Fahrbahnzuständen auf den Autobahnen deutlich vorsichtiger gefahren wird [ABAY 2005]. Es wird langsamer und homogener gefahren, und die Sicherheitsabstände werden von wesentlich mehr Fahrern eingehalten als auf trockener Fahrbahn. Es galt aber die Frage zu beantworten, ob das Fahrverhalten genügend angepasst wird. Um auf diese Frage einzugehen, vergleicht die Studie den Risikofaktor F (Quotient des Anhaltewegs bei verschiedenen Fahrbahnzuständen zu trockenem Fahrbahnzustand) auf verschiedenen winterlichen Fahrbahnen. Der Vergleich zeigt, dass das Fahrverhalten meist riskant ist und ein **schnell einsetzender Winterdienst**, welcher den Fahrbahnzustand in "salznass" verwandelt, das Unfallrisiko erheblich senkt. Auch in dieser Forschungsarbeit wird also die Schnelligkeit des Winterdienstes als wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit unterstrichen.

#### 8.1.2 Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews

Im vorliegenden Kapitel werden gestützt auf die durchgeführten Untersuchungen in den drei Werkhöfen Sprengi, Winterthur und Fribourg Nord sowie den zahlreichen Interviews und Diskussionen mit den Werkhofsleitern Kriterien definiert und Indikatoren gebildet, die den Nutzen oder auch die Nachteile der eingesetzten Systeme abbilden. Da sich die Indikatoren und Parameter auch auf die Interviews stützen und manchmal langjährige Erfahrungswerte wiederge-

ben, können sich kleine Unterschiede zu den Daten bei den Erhebungen (Kapitel 4) ergeben. Dies ist beispielsweise bei den Streudichten und beim Salzverbrauch der Fall.

In der Tabelle 8-1 werden einige wichtige Parameter und Informationen, die den Winterdienst in den drei untersuchten Werkhöfen charakterisieren, aufgelistet (Quelle der Daten zur Netzlänge und -fläche: Müller AG Chur)

Parameter	Winterthur	Fribourg Nord	Sprengi
Netzlänge Autobahn (km)	57.1 (Kanton: 123)	31.8 (Kanton: 83.9)	57.1
Virtuelle km (kmv)	71.2	38.2	70.2
Fahrstreifenlänge (km) Autobahn	204	127	246
Fläche Autobahnen (m <sup>2</sup> )	1'359'900	803'250	1'566'500
Fläche Kantons- und Gemeindestraßen	-	-	4'096'500
Anteil Autobahnfläche an Gesamtfläche	-	-	ca. 25 %
Netzlänge Gesamtstrecke, die durch den Werkhof alarmiert wird	57.1	am Tag: 31.8 km in der Nacht: 83.9 km	Autobahn: 57 km, Kantonsstr.: 510 km, Gemeindestr.: 85 km (teilw.) Total: 610 km (Annahme: Hälfte Gemeindestr.)
Mittlere Höhenlage der Autobahn (Twixroute)	460 m ü.M. (418 – 529 m ü.M.)	620 m ü.M. (550 – 760 m ü.M.)	470 m ü.M. (420 – 510 m.ü.M.)
Mittlere Verkehrsfrequenz	A1 Winterthur: 80'000 A1 Zürich Ost: 100'000 A4: 25'000	A12: 26'000	A2 Reiden: 43'000 A2 Lochhof: 88'000 A14 Rathusen: 61'000
Streu-km Pflug-km In Klammer: + 30 % für übrige Fahrzeuge	Keine Angaben	11'114 (14'482) 1'955 (2'541) (15.12 – 15.03.06)	21'545 7'560 (15.11 -15.03.06)
Streu-km je Fahrstreifen- länge	k. A.	(114)	87
Pflug-km je Fahrstreifen- länge	k. A.	(20)	30

**Tabelle 8-1: Allgemeine Informationen zu den drei Werkhöfen**

Die umfangreichen gesammelten Daten und Informationen in den drei untersuchten Werkhöfen können den folgenden sicherheitsrelevanten Kriterien zugeordnet werden.

1. Verminderung Reaktionszeit, Dauer der Einsätze
2. Strategie Verhinderung Glätte (zeitliche Komponente)
3. Jede lokale Glätte erfassen (geografische Komponente)

4. Jede Wettersituation beherrschen
5. Know-how durch Qualitätssicherung
6. Sicherheit für ganzen Kanton
7. Beeinflussung Fahrverhalten durch Information

Im Nachfolgenden wird jedes Kriterium anhand der gesammelten Daten und Informationen kurz beschrieben.

### 1. Verminderung Reaktionszeit, Dauer der Einsätze

Im Werkhof Sprengi können dank der weitgehend automatisierten Abläufe die kürzesten Reaktionszeiten am Tag und in der Nacht erreicht werden (Tabelle 8-2). Die Alarmierung geschieht von zuhause, und der Einsatzleiter kann am PC über das Einsatzmanagementsystem (Iceman) die Einsätze planen. Über Pager werden die Fahrer direkt aufgeboten.

Von Bedeutung ist die Tatsache, dass die Angaben zu den Reaktionszeiten im Werkhof Sprengi vom System geliefert werden (Zuverlässigkeit hoch) und nicht wie bei Winterthur und Fribourg durch Befragung ermittelt wurden (Zuverlässigkeit niedrig). Jede Befragung hat einen subjektiven Charakter und erlaubt keine gesicherten Aussagen.

Die Einhaltung der vorgegebenen Reaktionszeiten von 35 min (Streuen) und 45 min (Räumen) wird im Werkhof Sprengi durch die Einführung einer Konventionalstrafe für die Unternehmer sichergestellt.

<b>Sicherheitskriterium 1: Verminderung Reaktionszeit, Dauer Einsätze</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Reaktionszeit Streuen (im Untersuchungszeitraum) (min.)	37	24 am Tag (40 in der Nacht)	25
Reaktionszeit Räumen (im Untersuchungszeitraum)	69	42 am Tag (60 in der Nacht)	41
Zuverlässigkeit der Erfassung Reaktionszeit	gering (subjektiv)	gering (subjektiv)	hoch (vom System)
Dauer der Einsätze (gemäss Prozessablaufschemata der Werkhöfe: Alarmierung bis Qualitätssicherung)	Salzen 3 Std. (180') Räumen 5.5 Std. (330')	Salzen 1.5 Std. (94' Tag/110' Nacht) Räumen 2.9 Std. (174' Tag/190' Nacht)	Salzen 2.6 Std (160') Räumen: 3.1 Std (190')

**Tabelle 8-2: Sicherheitskriterium 1: Reaktionszeit, Einsatzdauer**

Objektive Daten vom Winterdienstmanagementsystem sind die Ausgangslage für eine Optimierung der Organisation unter Berücksichtigung des Aspekts Sicherheit (hier Schnelligkeit), wie sie dauerhaft im Kanton Luzern durchgeführt wird. Dies führt dazu, dass auch bei der Dauer der Einsätze im Werkhof Sprengi die kurzen Zeiten von 2.6 Std. beim Streuen und 3.1 Std. beim Räumen erreicht werden. Die kurze Dauer der Einsätze beim Werkhof Sprengi ergibt sich durch das Zusammenwirken von den technischen Systemkomponenten mit einer optimierten Organisation.

Im Werkhof Winterthur mit vergleichbarer Netzlänge beträgt die Dauer der Einsätze 3 Std. beim Streuen und 5.5 Std. beim Räumen. Beim Werkhof Winterthur wird für das Räumen also beinahe doppelt so lange gebraucht. Im Werkhof Sprengi werden oft die Schneepflüge dank exakter Wetterprognose bereits am Vorabend installiert. Dies trägt ebenfalls zu einer Reduktion der Reaktionszeit bei Schneefall bei.

Der Werkhof Fribourg erreicht die kürzeste Dauer der Einsätze am Tag mit 1.5 Std. beim Streuen und 2.9 Std. beim Räumen. Dies hängt aber auch mit der kurzen betreuten Netzlänge von 31.8 km zusammen.

Fazit: Das Winterdienstmanagementsystem und die daraus abgeleitete Organisation führen im Werkhof Sprengi zu kurzen Reaktionszeiten und einer kurzen Dauer der Einsätze. Dies erlaubt einen beschleunigten Winterdienst und wirkt sich positiv auf die Verkehrssicherheit aus.

## **2. Strategie Verhinderung Glätte (zeitliche Komponente)**

Die systematische Verhinderung von Glatteisbildung durch rechtzeitige Streuung, wie dies im Kanton Luzern umgesetzt wird, ist ein wichtiger Indikator der Verkehrssicherheit. "Nur ein Winterdienst mit 2 Std Vorausschau ist ein effizienter Winterdienst", wurde seitens des Produktverantwortlichen „Winterdienst“ bei den Interviews mehrmals betont. Die Glättezustände auf der Fahrbahn entstehen gar nicht oder nur marginal.

Im Werkhof Sprengi werden die Wetter- und Fahrbahnprognosen sehr intensiv beobachtet. Bei 81 % der untersuchten Fälle waren sie für die Auslösung des Einsatzes entscheidend (Kapitel 4). Bei Winterthur waren es 57 % und bei Fribourg Nord 48 % der Fälle (Tabelle 8-3). Dies zeigt eindeutig, dass der Werkhof Sprengi sich primär auf die Prognose abstützt und somit konsequent eine vorausschauende Strategie im Winterdienst einsetzt.

In Winterthur wird aufgrund der eingesetzten Technologien "reaktiver Winterdienst" betrieben. Die Einsätze werden in der Regel erst ausgerufen, wenn sich bereits eine dünne Eisschicht auf den Fahrbahnsensoren gebildet hat. Dann sendet die GMA einen Alarm. Das System generiert allerdings eine 1.5 Std. Prognose. Die Alarmierung wird aber durch das System aufgrund des Ist-Zustandes generiert. In wenigen Fällen wird aufgrund der Meteoverhältnisse "präventiv" gesalzen.

<b>Sicherheitskriterium 2: Strategie Verhinderung Glätte Teilkriterien</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Einsatz ausgelöst aufgrund von GMA-Meldungen und Wetterprognosen (Ersteinsätze; im Untersuchungszeitraum)	57 %	48 %	81 % Strategie vorausschauend
Strategie Verhinderung Glätte: - Glatteis, Frostglätte, Reifglätte - Schneeglätte	Bekämpfung Bekämpfung	Verhinderung Bekämpfung	Verhinderung Verhinderung (Präventivstreuung)
Kritische Glättezeit absolut (Reaktionszeit + 0.5 Einsatzzeit Fz; gemäß Prozessablauf- schema der Werkhöfe) (min.)	Streuen 115 Räumen 210	Streuen 59/75 Räumen 109/125	Streuen 97 Räumen 112

**Tabelle 8-3: Sicherheitskriterium 2: Strategie Verhinderung Glätte**

In Fribourg Nord werden die Einsätze laut Aussage eines Vertreters des Werkhofs in 80 % der Fälle, wenn die Alarmstufe 2 erreicht wird, ausgelöst (bei sinkender Temperatur Glatteis, Reif- oder Frostglätte-Gefahr). Gestützt auf den in der letzten halben Stunde gemessenen mikroklimatischen Daten wird durch das System der Verlauf der Kurve auf 1.5 Stunden extrapoliert. Die Ergebnisse liefern zwar punktuelle Informationen, aber auch in diesem Fall kann von einer Glätte-Verhinderungsstrategie gesprochen werden. Bei Schneefall gilt dies allerdings nicht. Es wird reaktiv gehandelt und meist sogar abgewartet, bis eine gewisse Schneemenge auf der Fahrbahn liegt.

Aufgrund der erfassten Reaktionszeiten und Einsatzzeiten lässt sich zur Veranschaulichung der Zusammenhänge eine neue Grösse definieren: die "kritische Glättezeit". Die kritische Glättezeit ergibt sich aus einer Addition der Reaktionszeit (Alarmierung bis Beginn Einsatz) und der Hälfte der Einsatzdauer der Fahrzeuge. Diese letzte Kenngrösse wurde halbiert, denn sie stellt somit eine repräsentative Dauer für die ganze betreute Strecke dar. Die verschiedenen Winterdienst-Prozesse in den drei Werkhöfen von der Überwachung bis zum Ende des Einsatzes bei Glatteis sind in den Abbildungen 8-1 bis 8-3 wiedergegeben (inkl. Schneeglätte bei Luzern). Dieselben Prozesse bei Schneeglätte in Winterthur und Fribourg Nord sind in den Anhängen 8-2 und 8-3 wiedergegeben. Die berechneten kritischen Glättezeiten sind darin ablesbar. Grund-

lage für die Aufstellung der Winterdienst-Prozesse waren Entwürfe der Prozesse mit Zeit- und Fahrzeugangaben von den jeweiligen Werkhofleitern. Der Werkhof Sprengi erreicht eine geringe kritische Glättezeit von 97 min für das Streuen und 112 min für das Räumen (Tabelle 8-3).

Die Werte vom Werkhof Fribourg Nord sind nicht vergleichbar, da die Fahrstreifenlänge in diesem Fall viel kleiner ist. Der Werkhof Fribourg Nord kommt aber mit seiner Organisation auf eine tiefe kritische Glättezeit von 59 min am Tag.

### Winterthur Winterdienst-Prozess: Glatteis

Reifglätte, Glatteis, Eisglätte, Volleinsatz

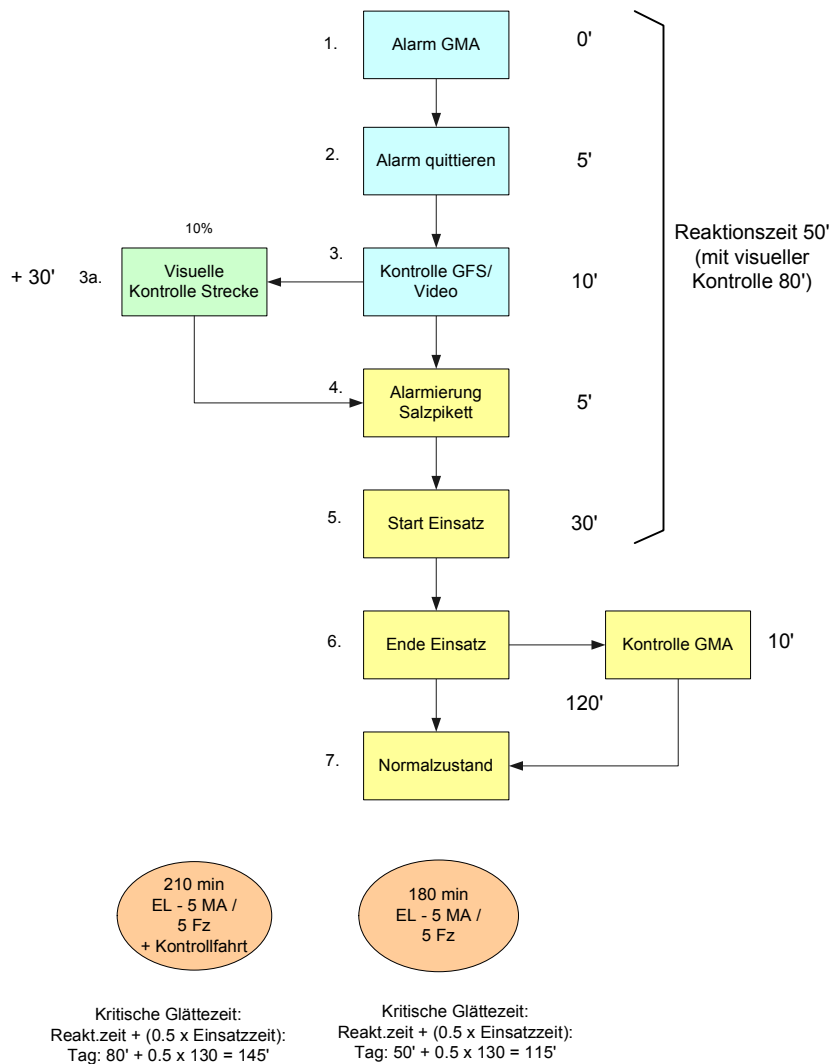


Abbildung 8-1: Winterdienst-Prozess Winterthur, Glatteis

# Fribourg Winterdienst-Prozess: Glatteis

Reifglätte, Glatteis, Eisglätte, Volleinsatz (Überwachung ganzer Kanton, Nacht)

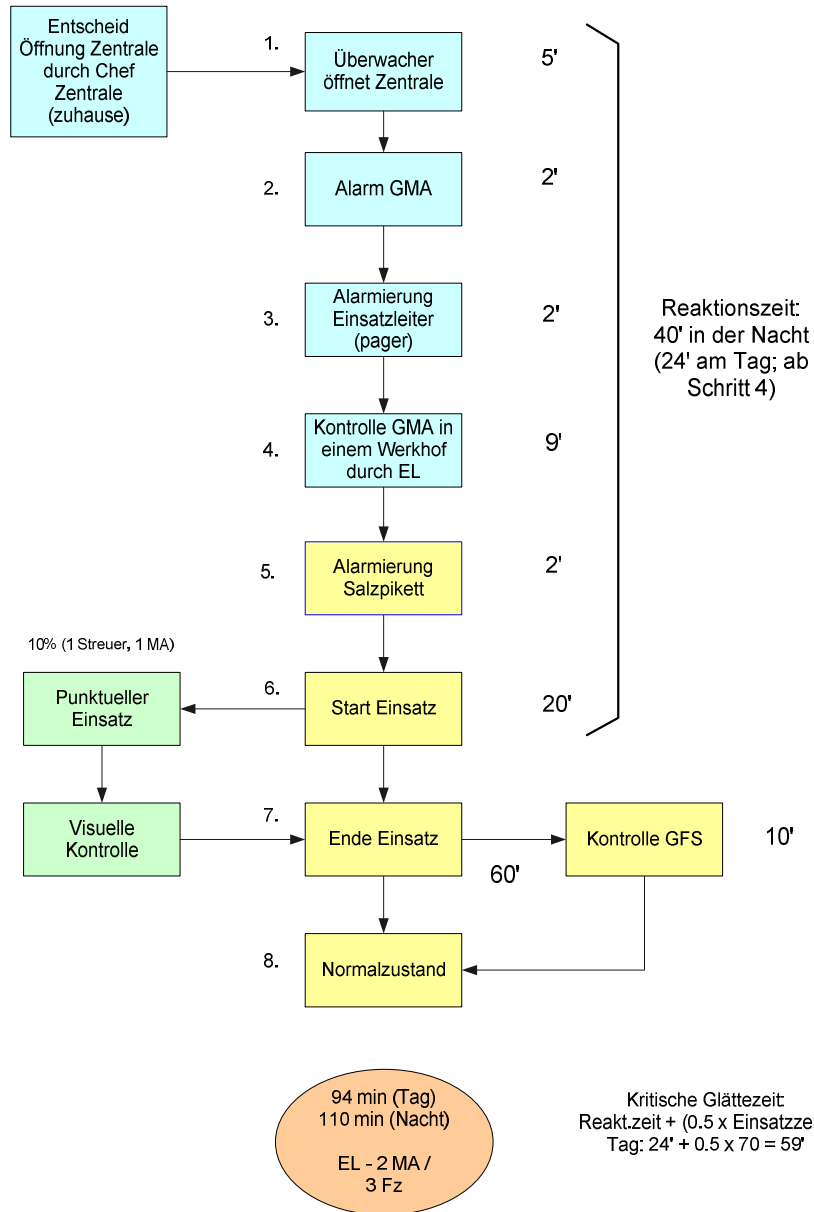
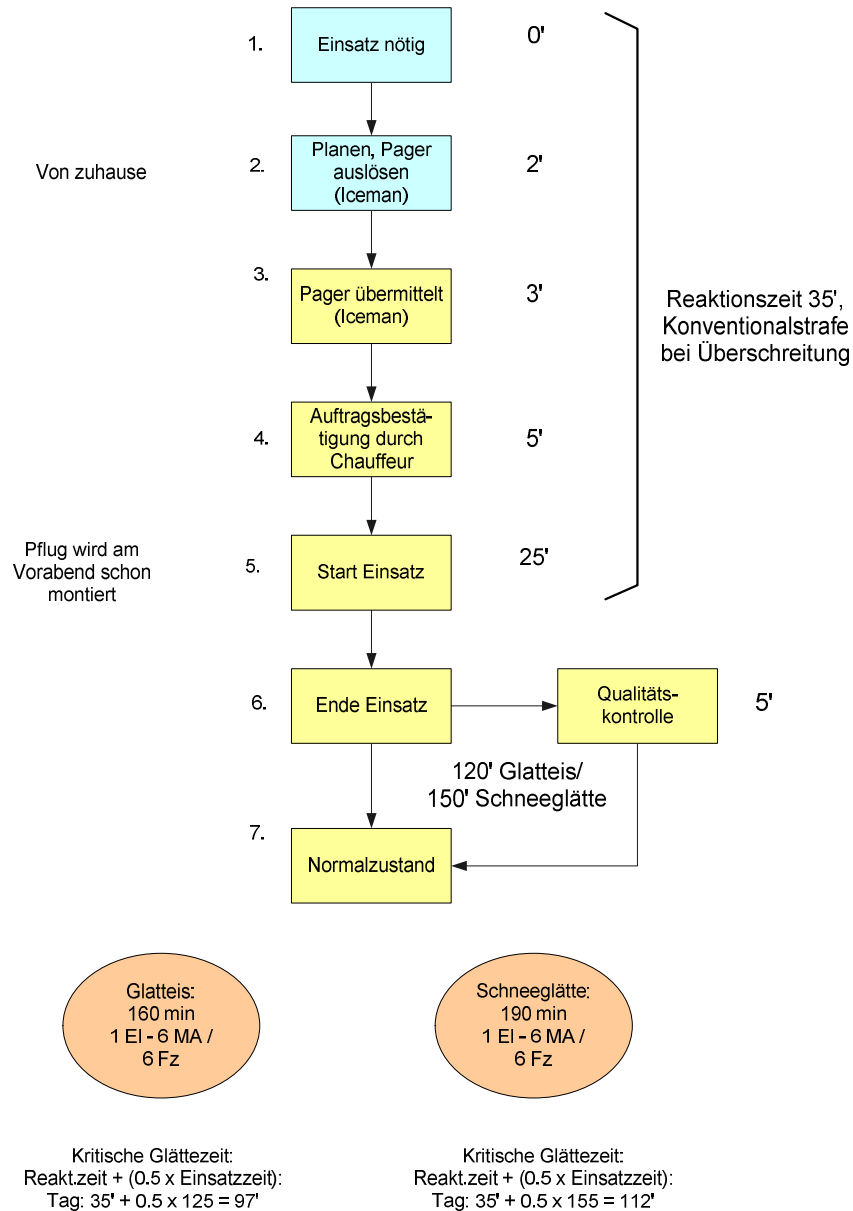


Abbildung 8-2: Winterdienst-Prozess Fribourg, Glatteis

# Luzern Winterdienst-Prozesse Glatteis/Schneeglätte

Reifglätte, Glatteis, Eisglätte, Schneeglätte, Volleinsatz



**Abbildung 8-3: Winterdienst-Prozesse Werkhof Sprengi, Glatteis und Schneeglätte**

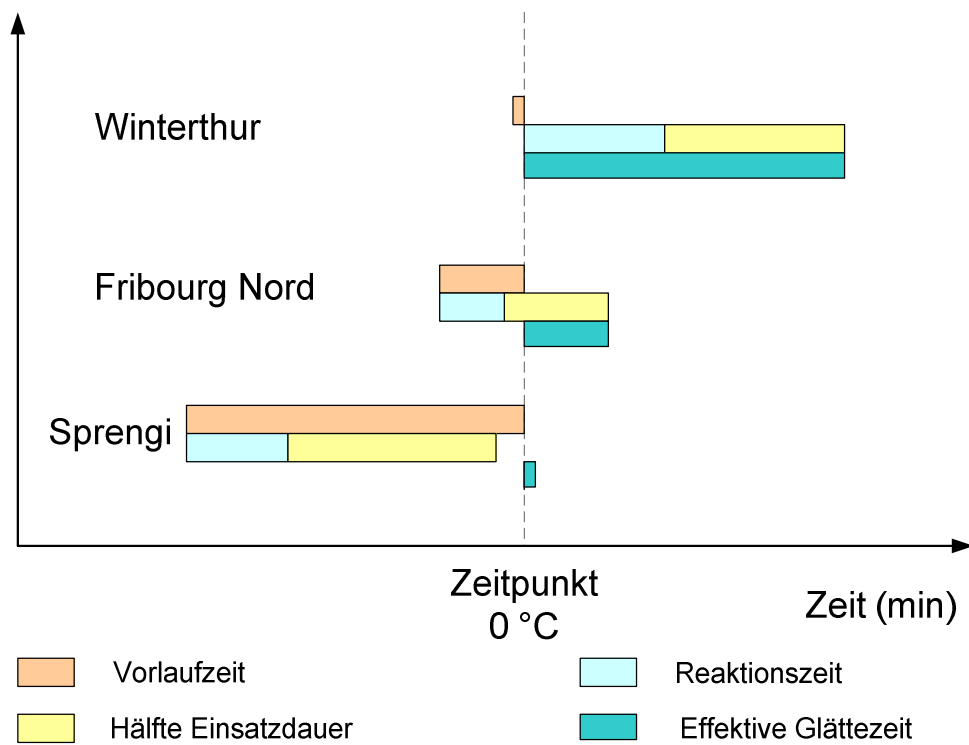
Die folgende, eher theoretische Berechnung für die drei Werkhöfe soll das Zusammenwirken von Verhinderungsstrategie und kritischer/effektiver Glättezeit veranschaulichen:

Für den Werkhof Sprengi wird eine genaue Wetter- und Fahrbahntemperaturprognose mit einer Vorlaufzeit von 24 Stunden (Korrektur durch den Meteorologen, sobald die Abweichung größer 1.5°C ist) durch Meteo-Schweiz erstellt. Das Wetterradar liefert eine 2-stündige Prognose der Niederschläge. Durch diese Vorlaufzeit kann die effektive Glättezeit auf 0 reduziert werden.

Das heisst, dank der Strategie „Verhinderung Glätte kombiniert mit der genauen Wetter- und Fahrbahnprognose“ werden die Strecken in der Regel kurz vor dem Eintreten von Eis-, Reifglätte, Glatteis gestreut (Abbildung 8-4).

Im Werkhof Fribourg Nord liefert das System eine Prognose von 1.5 Std. Die Alarmierung geschieht je nach Wetterlage im Allgemeinen ca. 0 bis 1 Std. vor dem Eintreten von Eis auf der Fahrbahnsonde. Im Durchschnitt wird also ca. 30 min vor der Eisbildung alarmiert. In den meisten Fällen ist dieser Alarm für den Einsatz entscheidend. In einzelnen Fällen kann in Abhängigkeit der Wetterentwicklung die Alarmierung auch früher erfolgen. Es wird hier von einem Durchschnittswert von 30 min ausgegangen. Die kritische Glättezeit beträgt beim Streuen am Tag 59 min, in der Nacht 75 min (Abbildung 8-2). Mit der Verhinderungsstrategie und der Alarmierungszeit ergibt sich im Durchschnitt eine effektive Glättezeit von 29 min am Tag und 45 min in der Nacht.

### Vorlaufzeit und effektive Glättezeit



Theoretische kritische Glättezeit = Reaktionszeit + Hälfte Einsatzdauer

**Abbildung 8-4:** Schema Vorlaufzeit und effektive Glättezeit in den Werkhöfen Winterthur, Fribourg Nord (Situation am Tag) und Sprengi. Die Balken entsprechen den Zahlen in den Winterdienst-Prozess-Diagrammen

Im Werkhof Winterthur führt die reaktive Strategie dazu, dass die Fahrbahn beim Streueinsatz während 115 min durch Glätte charakterisiert ist. Die kritische Glättezeit entspricht der effektiven

ven Glättezeit, da keine Verhinderungs-, sondern eine Bekämpfungsstrategie eingesetzt wird. Während dieser Zeit ist das Unfallrisiko für die Verkehrsteilnehmer eindeutig erhöht.

Somit ist nicht nur die Reaktionszeit, sondern auch die Strategie der Glätteverhinderung für die Verminderung des Unfallrisikos entscheidend. Die Erfahrung im Kanton Luzern zeigt, dass, wenn bei den folgenden Wettersituationen der Einsatz erst beim Auftreten der Glätte erfolgt, das Risiko für die Verkehrsteilnehmer viel grösser ist: Aufhellung nach Niederschlag, Frost, Raureif, Tauwasser, Föhn, Strahlungsnebel, Nieselregen aus Nebel, Eisregen, Schneefall, Industrieschnee und Schneeverwehungen.

Mit der reaktiven Strategie in Ballungszentren ergibt sich zudem häufiger die Situation, dass die Winterdiensteseinsätze während der verkehrsstarken Zeiten ausgerufen werden. Zu diesem Zeitpunkt bleiben die Winterdienst-Fahrzeuge oft im Stau blockiert. Dies führt zu einem weiteren Zeitraum, während dem die Glätte auf dem Netz nicht effizient bekämpft werden kann. Der Werkhof Winterthur hat diese Schwierigkeit erkannt und wird neuerdings durch automatische Meldungen von MeteoSoft direkt alarmiert (mündl. Mitteilung von W. Schmid, Meteoradar). Diese begrenzen sich allerdings auf eine spezifische Wettersituation, nämlich Schneefall. Der Bedarf für ein umfassendes zuverlässiges Prognose-System wird an diesem Beispiel ersichtlich.

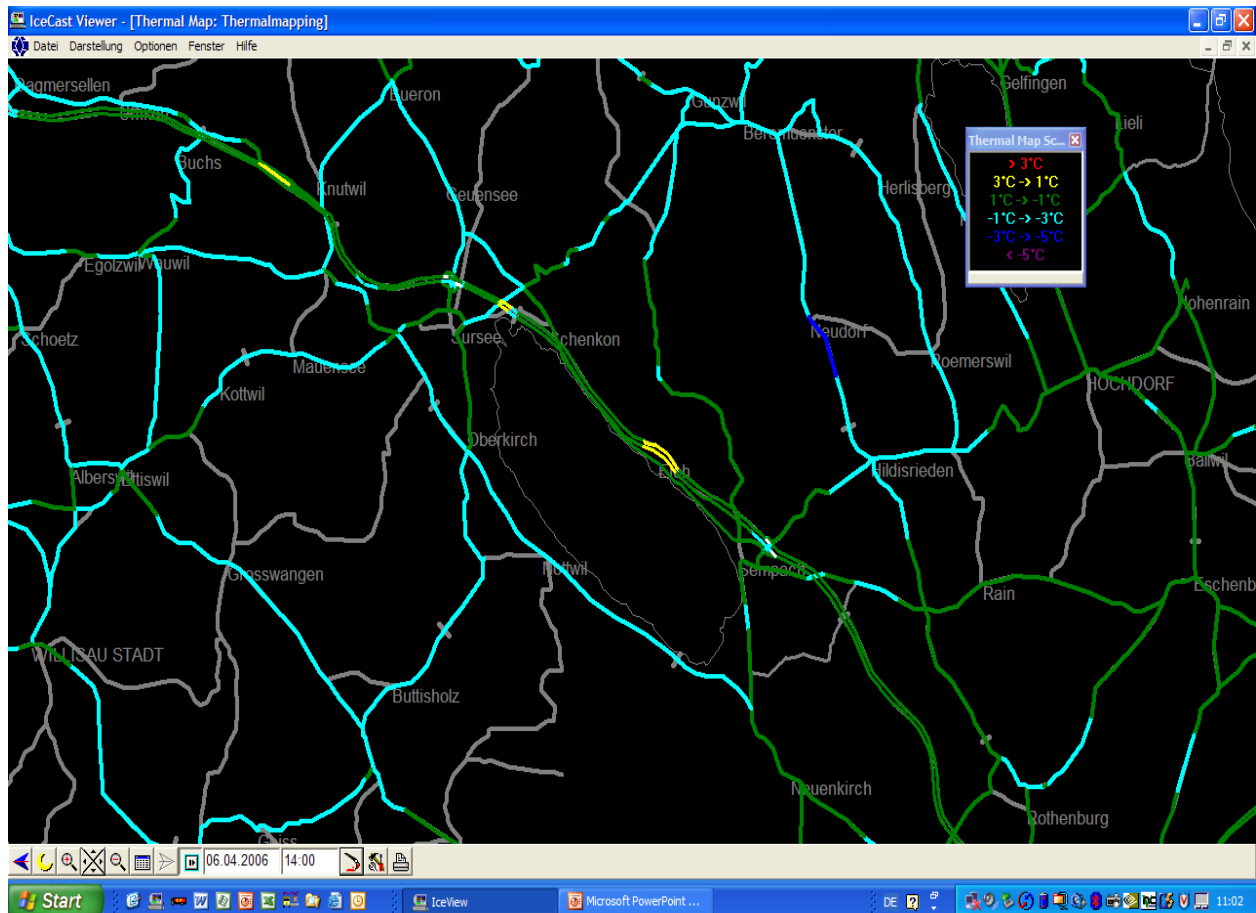
Fazit: Die erhobenen Daten zeigen eindeutig, dass sich der Werkhof Sprengi sehr stark auf die Prognose abstützt und somit konsequent eine vorausschauende Strategie im Winterdienst einsetzt. Die Glättezustände auf der Fahrbahn entstehen gar nicht oder nur marginal. Die systematische Verhinderung von Glatteisbildung durch rechtzeitige Streuung, wie dies im Kanton Luzern dank dem konsequenten Einsatz eines WMS praktiziert wird, ist ein wichtiger Indikator der Verkehrssicherheit.

### **3. Jede lokale Glätte erfassen (geografische Komponente)**

Dank der abschnittsbezogenen Prognose (Thermal Mapping kombiniert mit Prognose) kann im Werkhof Sprengi die zukünftige Fahrbahntemperatur auf dem ganzen Netz visualisiert werden (siehe Abbildung 8-5). Somit besitzt der Einsatzleiter ein Instrument, um auch lokal auftretende Glätte zu identifizieren. Diese werden durch Teileinsätze mit 1 oder 2 LKW verhindert. Aufgrund dieser Übersicht über das Netz werden im Werkhof Sprengi viel öfters (70 %) als in Winterthur (21 %) Teileinsätze mit 1 oder 2 LKW gefahren (Tabelle 8-4). Im Werkhof Fribourg Nord

sind die Daten aufgrund des abweichenden Untersuchungszeitraums und der geringeren Betreuungslänge nicht vergleichbar.

Die Strategie der gezielten Verhinderung von lokalen Glätten durch viele kleinere Einsätze lässt den Schluss zu, dass der Winterdienst im Werkhof Sprengi effizient durchgeführt wird. Auch nur sehr lokal auf dem Netz auftretende Glättepunkte können so verhindert oder bekämpft werden. Dies bedingt eine differenzierte Gesamtschau vom ganzen Netz und erlaubt eine wirtschaftliche Optimierung. Es müssen nicht jedes Mal alle Fahrzeuge mobilisiert werden.



**Abbildung 8-5: Prognose Fahrbahntemperatur auf dem ganzen Netz im Kanton Luzern basierend auf das Thermal Mapping**

<b>Sicherheitskriterium 3: Jede lokale Glätte erfassen</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Übersicht über die Fahrbahntemperatur auf dem ganzen Netz (Thermal Mapping)	nein	nein	ja. Prognose wird auf das ganze Netz umgerechnet
Anzahl Einsätze (15.11.2005 – 15.03.2006, Untersuchungszeitraum)	104 (57 % Streuen, 43 % Räumen)	82 (57 % Streuen, 43 % Räumen (15.12 – 15.03.06)	163 (57 % Streuen, 43 % Räumen)
Umfang der Einsätze (1 oder 2 LKW; Untersuchungszeitraum)	21 %	9 % (gilt nur für Erhebungen)	70 %

**Tabelle 8-4: Sicherheitskriterium 3: Jede lokale Glätte erfassen (geografische Komponente)**

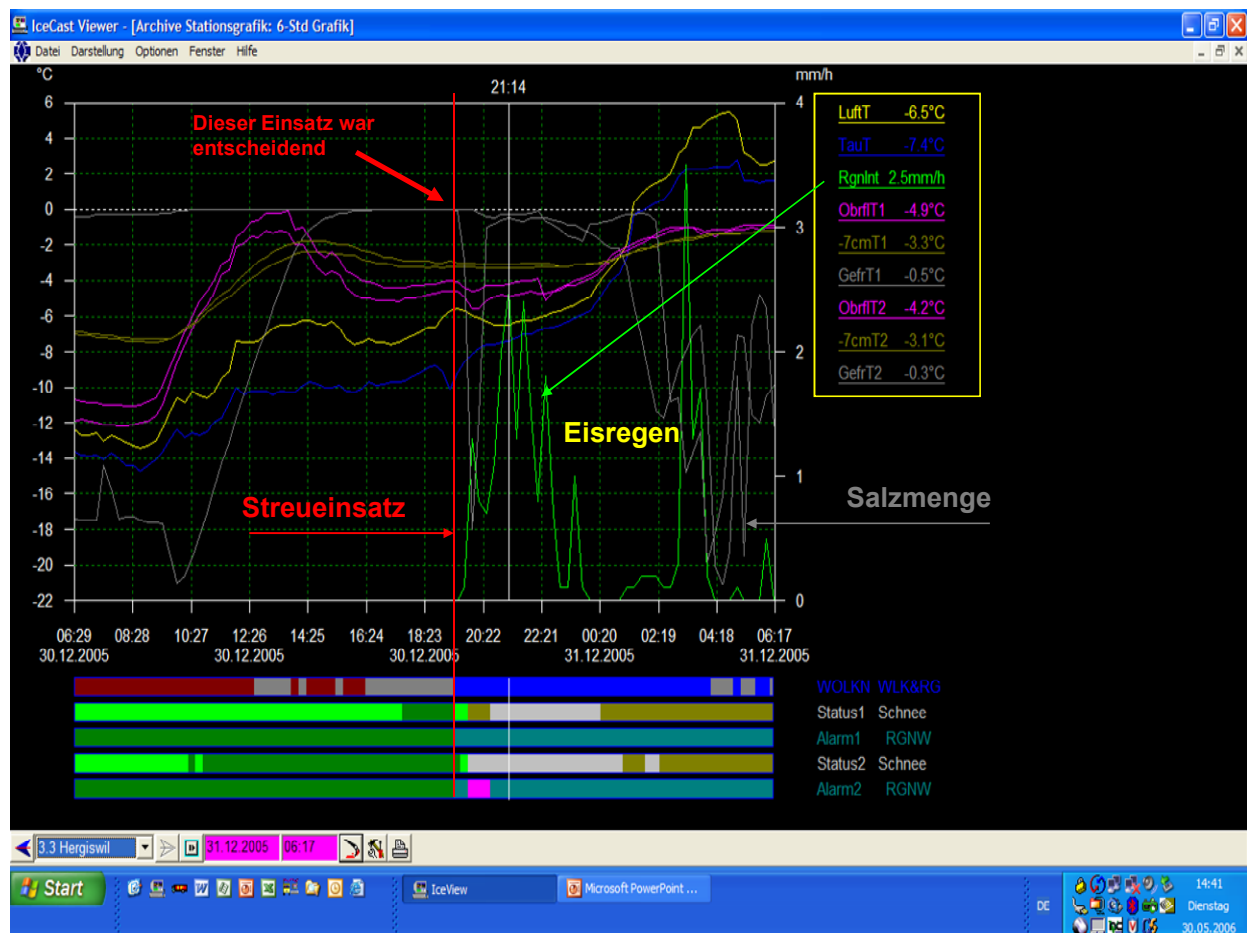
Fazit: Die Strategie der gezielten Verhinderung von lokalen Glätten durch viele kleinere Einsätze lässt den Schluss zu, dass der Winterdienst im Werkhof Sprengi effizient durchgeführt wird. Auch nur sehr lokal auf dem Netz auftretende Glättepunkte können so verhindert oder bekämpft werden. Dies bedingt eine sehr differenzierte Gesamtschau vom ganzen Netz, die durch das System generiert wird.

#### **4. Auf jede Wettersituation richtig reagieren**

Im Werkhof Sprengi wurden die Wetter- und Straßenzustandssituationen nach 13 Entscheidungskriterien geordnet (siehe Kapitel 3.2.1). Dabei werden die zu beachtenden Daten (Vorhersagegrafik, Raincast, Thermal Mapping, Wetterstationen, Restsalzmenge) mit Angabe von Kenngrößen, die in jedem Fall genau festgehalten werden, definiert (siehe Abbildung 3-3). Bei jedem Kriterium wird auch spezifiziert, ob ein Streu- oder ein Pflug-/ Streueinsatz nötig ist und ob sich ein Teil- oder Volleinsatz aufdrängt. Diese Systematik trägt wesentlich dazu bei, dass die verschiedenen Wettersituationen beherrscht werden können. Sie trägt auch zur Entlastung des Einsatzleiters bei, er kann so rascher entscheiden. In den Werkhöfen Fribourg Nord und Winterthur sind keine solchen Standards definiert.

Während der durchgeführten Erhebungen (s. Kapitel 4) waren die Einsatzentscheide aufgrund einer Analyse der Plausibilität der Daten der GMA meistens gerechtfertigt. Im Werkhof Winterthur waren die Entscheide zu 99 % gerechtfertigt. Ob Teileinsätze sinnvoll gewesen wären, lässt sich aus den Daten nicht ableiten. Im Werkhof Fribourg waren 92 % der Entscheide nachvollziehbar. In 4 % der Fälle wären Teileinsätze angebracht gewesen (Tabelle 8-5).

Im Werkhof Sprengi waren 99 % der Einsätze nachvollziehbar. Der Produktverantwortliche für den Winterdienst kommt aber auf eine genauere Zahl von 94 %. Das System erlaubt eine weitere Differenzierung: 3 % der Einsätze waren nicht nötig und 3 % waren zu früh oder zu spät (siehe auch MATHIS [2000]). Das Winterdienstmanagementsystem erlaubt in diesem Fall eine Bewertung der Einsätze, die zu einer sicherheitsorientierten (Einsätze zum richtigen Zeitpunkt und nicht zu spät) Optimierung führt. So konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass in der kritischen Nacht vom 30./31.12.05 der Winterdienstesinsatz zur Verhinderung der Glättebildung durch Eisregen im Kanton Luzern genau zum richtigen Zeitpunkt stattfand (s. Abbildung 8-6). Auf den Autobahnen wurden während dieser Nacht keine Unfälle registriert. In derselben Nacht ereigneten sich auf den Autobahnstrecken des Werkhofs Winterthur drei Unfälle und auf den Strecken des Werkhofs Fribourg Nord ein Unfall.



**Abbildung 8-6:** Zwei Einsätze zum richtigen Zeitpunkt im Kanton Luzern konnten die Glättebildung durch Eisregen in der kritischen Nacht vom 30/31.12.05 verhindern (Eisregen: grün)

<b>Sicherheitskriterium 4: Auf jede Wettersituation richtig reagieren</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Beherrschung aller Wettersituationen, Standards	keine Standards	keine Standards	13 Wetterkriterien genau definiert mit Entscheidungskriterien und Abläufe
Einsatzentscheide während Untersuchung richtig (Plausibilität GMA nachvollziehbar; Untersuchungszeitraum)	99 % (Bedarf Teileinsätze nicht ableitbar)	92 % (4 % Teileinsätze wären sinnvoll gewesen)	99 % (genau: 94 %; System erlaubt weitere Differenzierung: 3 % nicht nötig, 3 % zu früh oder zu spät)
Einsätze zu spät	nicht erfassbar	nicht erfassbar	erfassbar und nachweisbar z.B. am 06.04.2006

**Tabelle 8-5: Sicherheitskriterium 4: Auf jede Wettersituation richtig reagieren**

Fazit: Die Einteilung der Wetter- und Straßenzustandssituationen in 13 Entscheidungskriterien (Standards) trägt wesentlich dazu bei, dass die verschiedenen Wettersituationen beherrscht werden können. Sie entlastet den Einsatzleiter. Zudem erlaubt das Winterdienstmanagementsystem eine Bewertung der Einsätze, die zu einer sicherheitsorientierten Optimierung (Einsätze zum richtigen Zeitpunkt und nicht zu spät) des Winterdiensts führt.

## 5. Know-how durch Qualitätssicherung

In den durchgeführten Erhebungen konnte nur im Werkhof Sprengi ermittelt werden, ob die Wettervorhersage zutreffend war oder nicht. In 84 % der Fälle war die Abweichung kleiner als 2 °C. Im Schnitt liegt die Abweichung entsprechend den regelmässig durchgeführten Auswertungen bei 1,36 °C. In den anderen Werkhöfen waren diese Daten nicht vorhanden.

Eine systematische Einsatzanalyse inkl. Analyse der Wettervorhersage führt zu einem beträchtlichen Know-how über die komplexen Zusammenhänge zwischen Meteodaten, Fahrbahneigenschaften, -reaktionen, Wirkung der Einsätze etc. Im Werkhof Sprengi werden die Einsätze systematisch ausgewertet. Dabei werden insbesondere folgende Faktoren untersucht: Entscheidungen, Soll-Ist-Qualitätskontrolle, unnötige/späte Einsätze, spezielle Vorkommnisse. Pro Wintersaison werden ca. 60 Std. für diese Qualitätskontrolle aufgewendet. In den Werkhöfen Winterthur und Fribourg Nord gibt es keine solche Qualitätskontrolle.

Weiterhin wird im Werkhof Sprengi jeder Unfall systematisch ausgewertet. Diese Unfallanalyse zusammen mit der Qualitätssicherung führt zu einem beträchtlichen Know-how, welches sich

sicherlich positiv auf die Verkehrssicherheit im Winter auswirkt. In Winterthur werden nur die Klagen und die Massenkarambolagen analysiert. Im Werkhof Fribourg Nord wird der Straßenzustand bei jedem Unfall analysiert.

Insgesamt lässt sich nur mit der Aufzeichnung der Einsatzdaten eine ausreichende Qualitätssicherung und Erfolgskontrolle durchführen. Ansonsten muss sich oft der Einsatzleiter mit der Bemerkung begnügen: "Ich hoffe, dass ich das Richtige entschieden habe". Nur durch Unfälle erfährt er, dass es nicht der Fall war. Und auch in diesem Fall sind Unfallanalysen ohne genaue Einsatzdaten kaum zielführend.

<b>Sicherheitskriterium 5: Know-how durch Qualitätssicherung</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Meteorvorhersage zutreffend (im Untersuchungszeitraum)	nicht erfassbar	nicht erfassbar	84 % korrekt (Abw. 2 °C; im Schnitt 1,36 °C)
Erfolgskontrolle, systematische Analyse der Einsätze gemäss Angabe Werkhofleiter	keine	keine	60 Std pro Saison
Unfallanalyse	nur bei Klagen oder grösserem Crash	Ursache vom Unfall wird analysiert	jeder Unfall wird detailliert analysiert und bei Schulungen verwendet.

**Tabelle 8-6: Sicherheitskriterium 5: Know-how durch Qualitätssicherung**

Fazit: Im Winterdienst ist ohne Aufzeichnung der Einsatzdaten keine systematische Qualitätssicherung möglich. Der Know-how-Aufbau des Einsatzleiters durch Qualitätskontrollen und systematische Analysen der durchgeführten Einsätze ist ein wesentlicher Faktor für die Verkehrssicherheit.

## 6. Alarmierung ganzer Kanton

Im Werkhof Sprengi alarmiert der Einsatzleiter bei Glättegefahr den ganzen Kanton (Autobahnen, Kantonsstraßen, teilweise auch Gemeinden, s. Tabelle 8-7). Dadurch ergibt sich eine professionelle und exakte Alarmierung auf dem ganzen Kantonsgebiet. Für die Verkehrssicherheit im Winter ist dies ein bedeutender Fortschritt.

Die Gemeinden können sich ebenfalls organisieren und wie die Fremdchauffeure per Pager alarmiert werden. Einige Gemeinden lehnen aber die damit verbundene Verantwortung ab. Bei einem Unfall sind alle Meldungen verfügbar und einsehbar.

In Abbildung 8-7 ist der Zustand einer Kantonsstrasse im Kanton Luzern anhand eines Fotos dokumentiert. In Abbildung 8-8 wurde die Fortsetzung derselben Kantonsstrasse in einem angrenzenden Kanton ohne WMS und zentraler Alarmierung aufgenommen. Beide Fotos entstanden am frühen Morgen der kritischen Nacht vom 30./31.12.05 (Eisregen) zum gleichen Zeitpunkt. Die Aufnahmen zeigen, dass besonders bei schwierigen Wettersituationen eine zentrale Alarmierung Vorteile für die Verkehrssicherheit bringt.



**Abbildung 8-7: Zustand einer Kantonsstrasse im Kanton Luzern am kritischen Morgen (nach Eisregen) vom 31.12.2005 (10.55 Uhr)**



**Abbildung 8-8: Zustand der gleichen Kantonsstrasse gleich angrenzend im benachbarten Kanton ohne WMS und zentraler Alarmierung am 31.12.2005 (10.51 Uhr)**

<b>Sicherheitskriterium 6: Alarmierung ganzer Kanton</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
Alarmierung weitergeben an	Werkhof	Werkhof am Tag Kanton in der Nacht (Autobahnen)	ganzer Kanton (Autobahnen, Kantonsstraßen, Gemeindestraßen)
Netzlänge Gesamtstrecke, die durch den Werkhof alarmiert wird	57.1 km	am Tag: 31.8 km in der Nacht: 83,9 km	Autobahn: 57 km, Kantonsstr.: 510 km, Gemeindestr: 85 km (teilw.) Total: 610 km (Annahme: Hälfte Gemeindestr.)

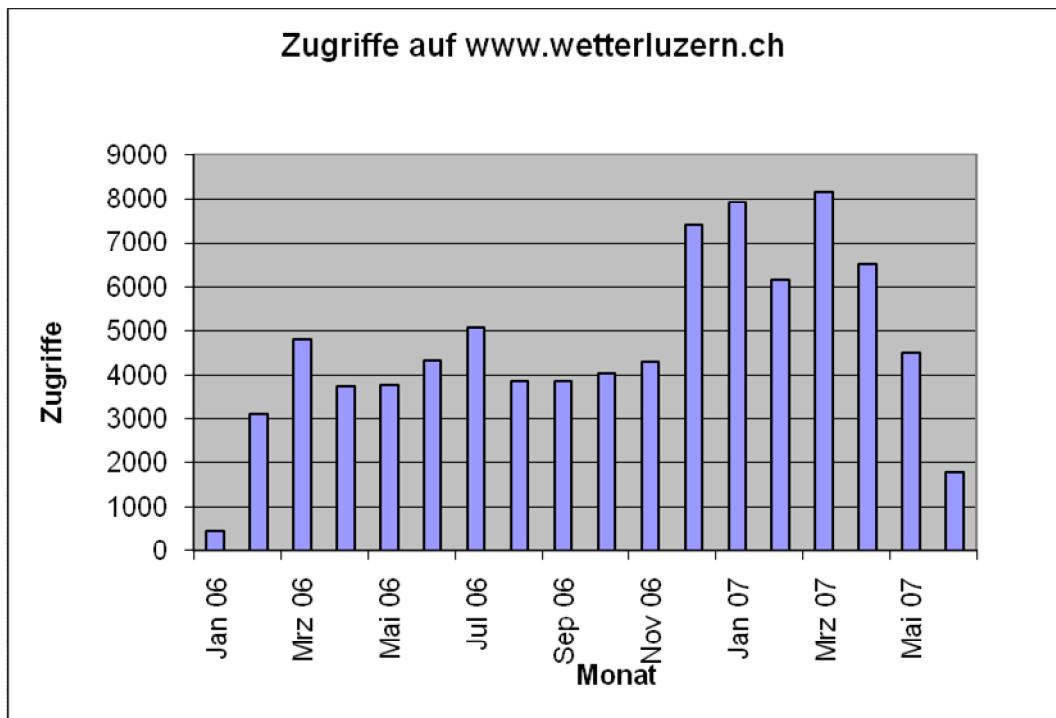
**Tabelle 8-7: Sicherheitskriterium 6: Alarmierung ganzer Kanton**

Im Werkhof Fribourg Nord wird in der Nacht die Alarmierung über ein Zweistufensystem an die zwei weiteren Autobahn-Werkhöfe weitergeleitet. Der Zentralen chef alarmiert den Überwacher und dieser eröffnet die Zentrale. Der Überwacher überprüft in der Zentrale nochmals die GMA und alarmiert dann den Einsatzleiter. Allerdings ergibt sich hiermit in der Reaktionszeit während der Nacht oder an Wochenenden eine Verzögerung von ca. 16 min.

Fazit: Mit dem Winterdienstmanagementsystem lässt sich eine frühzeitige professionelle Winterdienst-Alarmierung für alle Autobahnen, Kantonsstraßen und Gemeindestraßen implementieren. Dies wirkt sich positiv auf die Sicherheit auf den Straßen im ganzen Kanton aus.

## **7. Beeinflussung Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer durch Information**

Die Anpassung der Fahrweise der Verkehrsteilnehmer an die winterlichen Straßenzustände ist ein wichtiges Element der Verkehrssicherheit. Im Kanton Luzern werden seit 2002 alle Messwerte und Prognosen der Glättemeldeanlagen inkl. Prognose Thermal Mapping über das Internet dauernd veröffentlicht. Die Verkehrsteilnehmer haben die Möglichkeit, sich zu informieren und entsprechend die Route zu wählen oder das Fahrverhalten anzupassen. Die Informationen zum Straßenzustand werden im Winter häufiger als im Sommer eingesehen. In einem Wintermonat sind bis zu 8'000 Zugriffe auf die Webseite [www.wetterluzern.ch](http://www.wetterluzern.ch) zu verzeichnen (s. Abbildung 8-9). Im Winterhalbjahr 2006/07 wurden ca. 44'400 Zugriffe registriert.



**Abbildung 8-9: Monatliche Zugriffe auf die Webseite des Kantons Luzern mit Informationen zu den Glättemeldeanlagen und zu den Prognosen.**

Fazit: Ein wichtiger Aspekt der Verkehrssicherheit ist die Anpassung des Fahrverhaltens an die winterlichen Verhältnisse auf den Straßen. Alle Daten der GMA inkl. Prognosen werden im Kanton Luzern durch das System aufbereitet und im Internet veröffentlicht.

### **Bewertung der Sicherheitskriterien**

Die Vorteile eines professionellen WMS mit allen dazugehörigen Komponenten (siehe Abbildung 3-1) für die Verkehrssicherheit sind anhand dieser 7 definierten Sicherheitskriterien offensichtlich. Die Kombination aller dieser Kriterien führt zwangsläufig zu einer erhöhten Sicherheit und auch einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Straßen im Winter.

### **8.1.3 Analyse der Unfallzahlen**

Die bisher definierten Sicherheitskriterien deuten darauf hin, dass das WMS im Werkhof Sprengi einen schnellen und effizienten Winterdienst ermöglicht. Es stellt sich nun die Frage, ob sich diese Strategie tatsächlich auch in einer Verminderung der Unfallzahlen auf den Autobahnen widerspiegelt. Aus der Literatur ist bekannt, dass die absolute Zahl der Unfälle bei ver-

schiedenen Fahrbahnzuständen nur eine geringe Aussagekraft hat, da die Verkehrsleistungen, die während der verschiedenen Fahrbahnzustände erbracht werden, nicht berücksichtigt werden [DURTH ET AL. 1989]. Zudem sind Vergleiche von Unfallzahlen zwischen zwei Regionen nur möglich, wenn ähnliche Winterbedingungen herrschen.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde die Methodik des Projektes EuroRAP gewählt, um mit Hilfe einer retrospektiven Analyse der Unfälle das Risiko des Verkehrsteilnehmers für jeden untersuchten Autobahnabschnitt zu erfassen. Dazu wird eine statistische Unfallrate berechnet. Im Projekt EuroRAP wird sie herangezogen, um einen raschen Überblick über das Unfallgeschehen im Straßennetz zu gewinnen und Straßen im In- und Ausland zu vergleichen [BAUMANN 2007]. Es handelt sich um eine grobe Erfassungsmethodik. Die statistische Unfallrate darf nicht mit der effektiven Unfallrate, die auf die Verkehrsleistung beim entsprechenden Fahrbahnzustand bezogen wird, verglichen werden. Die statistischen Unfallraten sind streng genommen keine wirklichen Unfallraten, denn die effektive Verkehrsleistung bei Eis und Schnee ist hier nicht bekannt, sondern nur die Verkehrsleistung im Winterhalbjahr. Für Vergleichszwecke ist die Methodik aber geeignet.

## Vorgehen

Alle polizeilich registrierten Unfälle auf folgenden Autobahnabschnitten wurden bei der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung bestellt (Anhang 8.1):

- A1 und A12, Kanton Fribourg
- A2 und A14, Kanton Luzern
- A1, A4 und A7, Kanton Zürich

Die Unfalldaten der Wintermonate für die Jahre 1993 bis 2005 differenziert nach Eisunfällen und Schnee-/Pflotsch-Unfällen wurden analysiert. Die Erhebungsmethodik und Erhebungsinhalte der Verkehrsunfälle wurden im Jahr 1993 durch das Bundesamt für Statistik vereinheitlicht. Deshalb wurden keine früheren Daten erhoben.

Der Werkhof Sprengi konnte die eigene Unfallstatistik der Jahre 1982 bis 2005 ebenfalls differenziert nach Eis- und Schneeunfällen zu Verfügung stellen.

Die statistische Unfallrate wird im Rahmen dieser Untersuchung wie folgt berechnet:

$$SU(Z) = Z \times 10^9 / (DTV \times 182 \times T \times L)$$

DTV = mittlerer durchschnittlicher Tagesverkehr des Abschnitts (Fz/Tag)

L = Länge des untersuchten Abschnitts (km)

- T = Berechnungszeitraum (a)  
 Z = Anzahl aller registrierten Unfälle im untersuchten Abschnitt

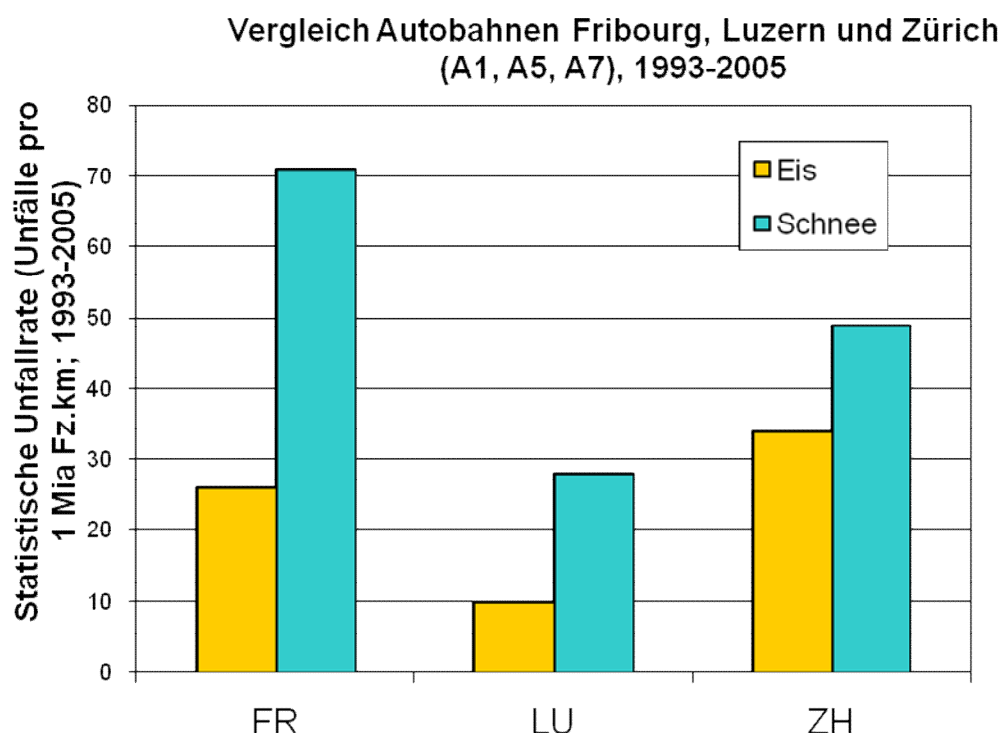
## Ergebnisse

### a) Vergleich der Autobahnen Fribourg, Luzern und Zürich (A1, A5, A7)

Die Strategie der Prävention im Kanton Luzern sollte sich prinzipiell direkt in den Unfallzahlen niederschlagen. Die Ergebnisse bestätigen, dass auf den Autobahnen im Kanton Luzern geringe statistische Unfallraten bei Eis und Schnee/Pflotsch erreicht werden können (Abbildung 8-10). Allerdings müssen die Ergebnisse differenziert interpretiert werden.

Im Kanton Fribourg liegt das Autobahnnetz (A1 und A12) generell höher als in den beiden anderen Kantonen. Die Winterverhältnisse sind also strenger, und die A12 weist zudem einen sehr steilen Abschnitt auf, der besonders gefährlich ist.

Im Kanton Zürich ist die Verkehrsleistung auf der A1 besonders hoch und kann abschnittsbezogen einen DTV von bis zu 132'000 Fz/Tag erreichen. Bei solchen Verkehrsleistungen ist das Unfallrisiko generell höher als auf einem Autobahnabschnitt mit geringerer Verkehrsleistung.



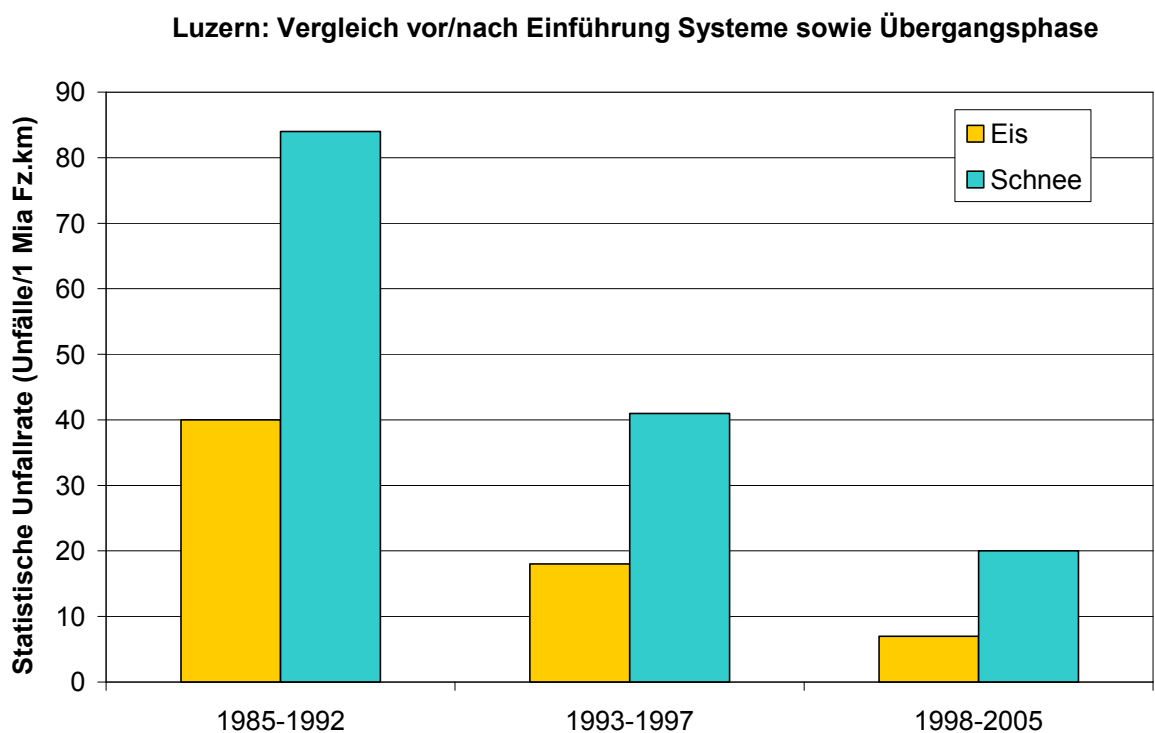
**Abbildung 8-10: Vergleich der statistischen Unfallraten auf den Autobahnen der Kantone Fribourg, Luzern und Zürich (A1, A4, A7), Jahre 1993 - 2005**

Trotz dieser Einschränkungen zeigen die Ergebnisse, dass der Kanton Luzern sowohl bei Eisglätte als auch bei Schneeglätte/Pflotsch eine sehr geringe statistische Unfallrate erreicht. Nebst den bereits erwähnten Unterschieden ist dies sicherlich zum grossen Teil auch auf das effiziente WMS mit der Glätte-Verhinderungsstrategie, den schnellen Winterdienst und das hohe Know-how der Einsatzleiter zurückzuführen.

Fazit: Die eingangs definierten und bewerteten Sicherheitskriterien wirken sich direkt auch positiv auf die Unfälle aus. Die statistische Unfallrate auf den Autobahnen liegt im Kanton Luzern deutlich tiefer als in den Kantonen Zürich (A1, A4, A7) und Fribourg.

### **b) Luzern: Vergleich vor/nach Einführung des Systems sowie Übergangsphase**

Es stellt sich nun die Frage, ob sich die Effizienz eines WMS auch durch einen Vergleich der statistischen Unfallraten vor und nach Einführung des Systems nachweisen lässt. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die statistischen Unfallraten auf den Autobahnen im Kanton Luzern in den Zeiträumen 1985 - 1992 (vor Einführung des Systems), 1993 - 1997 (Übergangsphase) und 1998 - 2005 (nach Einführung des Systems) verglichen.



**Abbildung 8-11: Vergleich der statistischen Unfallraten auf den Autobahnen im Kanton Luzern vor/nach Einführung des WMS und während der Übergangsphase**

Die Ergebnisse zeigen einen sehr starken Rückgang der statistischen Unfallraten nach Einführung des WMS (ab 1993). Die Werte gehen bereits in der Übergangsperiode (1993 - 1997) stark zurück.

Der generelle Trend zu einer Abnahme der Unfälle zwischen 1985 und 2005 ist ohne Zweifel auch auf straßen- und verkehrstechnische Verbesserungen sowie Verbesserungen in der Fahrzeugtechnik (z.B. ABS) zurückzuführen. Die sehr ausgeprägte Reduktion der statistischen Unfallrate im Winterhalbjahr zwischen dem Zeitraum 1985 - 1992 und 1998 - 2005 um einen Faktor 5.7 bei Eisglätte und 4.2 bei Schneeglätte/Pflotsch ist insgesamt aber nebst den anderen erwähnten Faktoren sicherlich auch zum grossen Teil auf die Einführung eines effizienten WMS im Kanton Luzern zurückzuführen.

Um den Unterschied zwischen generellem Trend der Unfälle und Abnahme der Unfälle bei Glätte zu ermitteln, wurden die beiden Zeiträume 1993 - 1997 und 1998 - 2005 verglichen. Die statistische Unfallrate unter Berücksichtigung aller Unfälle über das ganze Jahr auf dem Autobahnnetz im Kanton Luzern reduzierte sich in diesem Zeitraum um den Faktor 1.4. Die Reduktion der statistischen Unfallrate im gleichen Zeitraum betrug 2.6 bei Eisglätte und 2.1 bei Schneeglätte und lag somit erheblich höher als die Reduktion für alle Unfälle. Diese Zahlen bestätigen die Wirksamkeit eines WMS zur Verhinderung von Verkehrsunfällen.

Fazit: Der Vergleich der statistischen Unfallrate vor und nach Einführung des WMS zeigt, dass solche Systeme nebst anderen Faktoren wie z.B. straßen- und verkehrstechnische Verbesserungen zu einer deutlichen Reduktion der Unfälle beitragen können.

## 8.2 Verkehrsfluss

Durch winterliche Fahrbahnbedingungen kann die Kapazität von Autobahnen stark abnehmen. In Deutschland wurden kürzlich in Rahmen einer umfassenden Studie alle winterbedingten Staus auf einigen Autobahnabschnitten untersucht [ROOS ET AL 2005]. Es konnten Kapazitätsrückgänge in der Grössenordnung von 10 % bis knapp über 60 % festgestellt werden. Die grosse Bandbreite zeigt, dass die Kapazitätsminderung sehr stark von der Art und der Intensität des Winterereignisses abhängt. Besonders extreme Winterereignisse mit lang anhaltenden Schneefällen führten zu den stärksten Rückgängen der Kapazität. Die durch Unfälle verursachten Staus wurden bei dieser Analyse ausgeklammert.

Die verkehrstechnische Untersuchung kommt zum folgenden Schluss: "Die ermittelten Größenordnungen bei den Kapazitätsrückgängen bei winterlichen Fahrbahnbedingungen machen die volkswirtschaftliche Bedeutung des Winterdienstes deutlich. Denn nur, wenn es dem Winterdienst gelingt, frühzeitig bzw. schnellstmöglich die Streckenabschnitte zu betreuen und damit die Fahrbahnzustände zu verbessern, kann die Kapazität wieder steigen und damit die Gefahr von winterbedingten Verkehrsstörungen sinken. Dies gilt insbesondere für die hochbelasteten Autobahnabschnitte in Deutschland, die bereits bei normalen Umfeldbedingungen aufgrund der hohen Verkehrsbelastung kaum Kapazitätsreserven mehr besitzen."

In Schweden wurde bei ähnlichen Untersuchungen lediglich eine Kapazitätsabnahme von 20 % auf winterglatten Fahrbahnen festgestellt [ÖBERG ET AL 1997]. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in Norwegen ermittelt. Die Bevölkerung der nordischen Länder ist aber an winterliche Bedingungen gewohnt und passt daher das Fahrverhalten eher an [ROOS ET AL 2005]. Die Werte können also nicht auf Deutschland oder die Schweiz übertragen werden.

In der Schweiz wurde der Kapazitätsrückgang auf winterglatten Fahrbahnen nicht speziell erfasst. Hingegen wurde in einer Untersuchung an einem "mittleren" winterlichen Tag der Zeitgewinn, der den Winterdiensteinsätzen zu verdanken ist, berechnet. Dieser Zeitgewinn beträgt für die Autobahn A3 bei Wädenswil auf einer Strecke von 20 km (DTV ca. 40'000 KfZ/24 Std.) 3'342 Std. Dieser Wert ergibt sich aus der Summe der Fahrzeiten mit Winterdienst (8'889 Std.) und der Summe der Fahrzeiten ohne Winterdienst (12'232 Std.) an einem Tag. Bei diesem letzten Wert wurde angenommen, dass die niedrige Geschwindigkeit, die vor dem ersten Winterdiensteinsatz herrschte, beibehalten wird [ABAY 2005].

Die im Abschnitt 8.1.4 definierten und analysierten Sicherheitskriterien sind auch von Bedeutung für den Verkehrsfluss. Je schneller und effizienter ein Winterdienst durchgeführt wird, umso höher ist auch der Verkehrsfluss auf dem betreuten Netz. Durch den Einsatz eines WMS sind beim Verkehrsfluss wie bei der Verkehrssicherheit positive Entwicklungen zu erwarten. Die Schlussfolgerungen für die Verkehrssicherheit können auf den Verkehrsfluss übertragen werden. Eine detaillierte Analyse der Kriterien erübrigt sich.

## **8.3 Umwelt**

### **8.3.1 Allgemeines**

Die Belastung der Umwelt mit Tausalz wurde von verschiedenen Autoren untersucht. Der aktuelle Stand der Umweltverträglichkeit von Streusalz ist im Handbuch Straßenwinterdienst

[DURTH/HANKE 2004] dargelegt. Eine Forschungsarbeit fasste vor ein paar Jahren die verschiedenen Auswirkungen der Streustoffe auf Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer und Vegetation zusammen [RUESS 1998]. Ein verantwortlicher und sparsamer Umgang mit Streusalz drängt sich weiterhin auf. Dazu gehört selbstverständlich auch der Einsatz von Feuchtsalz.

Im Zusammenhang mit einem WMS wird oft als Vorteil ein sparsamer Umgang mit Streusalz genannt. Es stellt sich nun die Frage, ob sich dieser positive Effekt auch in den drei untersuchten Werkhöfen nachweisen lässt.

### 8.3.2 Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews

Tabelle 8-8 fasst die umweltrelevanten Kriterien und Indikatoren, die während der Erhebungen und den zahlreichen Interviews in den drei Werkhöfen gesammelt wurden, zusammen.

Umweltkriterien	Winterthur	Fribourg Nord	Sprengi
<b>1. Salzverbrauch minimieren</b>			
Streudichte (g/m <sup>2</sup> ) (im Untersuchungszeitraum)	10 - 15 (manchmal 20)	10.2 Lerneffekt Thermomat	10.5
Streudichte (g/m <sup>2</sup> ) (Durchschnitt mehrere Winter)	12.5 (Annahme)	10 bis 20	9
Streuverbrauch im Gesamtwinter 05/06 (21 % Sole)	1'604 t Trockensalz 15 % Sole Tot. 1'663 t Salz	941 t Trockensalz 228'000 m <sup>3</sup> Sole Tot. 988 t Salz	1'790 t Trockensalz 295'300 m <sup>3</sup> Sole Tot. 1'852 t Salz
Salzverbrauch pro Fahrstreifenlänge (Gesamtwinter 05/06)	8.1 t/km	7.8 t/km	7.5 t/km
<b>2. Unnötige Einsätze minimieren</b>			
unnötige Einsätze (im Gesamtwinter 05/06)	nicht erfassbar	nicht erfassbar	3 % (Winter 05/06) System erlaubt diese Differenzierung

**Tabelle 8-8: Umweltrelevante Kriterien**

Die gesammelten Daten lassen folgende Schlüsse zu:

#### 1. Salzverbrauch minimieren

Der Werkhof Sprengi erreicht im Schnitt die niedrigste Streudichte (9 g/m<sup>2</sup>; Durchschnitt über Jahre mit Einsatzdatenerfassungssystem). Bei gleicher Streufläche und vorausgesetzt, die Angaben entsprechen den effektiv gestreuten Mengen (Problematik Kalibrierung), ergibt sich theoretisch gegenüber dem Werkhof Winterthur (durchschnittliche Streudichte: 12.5 g/m<sup>2</sup>; als konservative Annahme Durchschnitt von 10 g/m<sup>2</sup> und 15 g/m<sup>2</sup>, siehe Tabelle 8-8) eine Salzeinsparung von 28 %. Die gestreute Salzmenge pro Fahrstreifenlänge im Winter 2005/06 betrug im Werkhof Winterthur 8.1 t/km, im Werkhof Fribourg 7.8 t/km und im Werkhof Sprengi 7.5 t/km.

Die effektive Salzeinsparung im Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur betrug im Winter 05/06 also ca. 8 %.

Der geringe Streustoffverbrauch im Werkhof Sprengi ist auf die sorgfältige Planung der Einsätze mit Vorgabe der Streudichte durch den Einsatzleiter je nach Winterglätte sowie auf eine gute Ausbildung der Chauffeure, die situationsbezogen reagieren können, zurückzuführen (Tabelle 8-9). Zudem trägt sicherlich auch die systematische Umsetzung der Strategie "Verhinderung der Glätte" (siehe Kapitel 8.1.2) zum sparsamen Umgang mit Streumitteln bei.

Diese Optimierung wird durch den hohen Informationsgehalt des implementierten WMS kombiniert mit dem dadurch erreichten Know-how durch Qualitätssicherung wesentlich unterstützt.

Winterglätten	Gerät	Streusalz fest	Feuchtsalz (21%-ige Sole)
Reifglätte	Feuchtsalzstreuer		FS 6 – 8 g/m <sup>2</sup>
Eisglätte	Feuchtsalzstreuer		FS 8 – 10 g/m <sup>2</sup>
Glatteis	Feuchtsalzstreuer		FS 10 – 15 g/m <sup>2</sup>
Schneeglätte	Feuchtsalzstreuer und Pflug	12 – 15 g/m <sup>2</sup>	

**Tabelle 8-9: Vorgegebene Streumengen im Werkhof Sprengi [HANDBUCH WINTERDIENST 2006]**

Der Unterschied zwischen der errechneten theoretischen Salzeinsparung von 28 % beim Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur und der effektiven Einsparung von 8 % ist sehr wahrscheinlich auf die zusätzlichen "kleinen Einsätze" im Werkhof Sprengi zurückzuführen. Mikroklimatische Unterschiede können diese Differenz aber auch beeinflussen [RUESS 2004]. Insgesamt kann aber gesagt werden, dass sich im Werkhof Sprengi eine hohe Effizienz in der Glätteverhinderung kombiniert mit einem sparsamen Umgang mit Salz verwirklichen lässt.

Im Werkhof Fribourg Nord wird mit dem Thermomat ein Salzverbrauch pro Fahrstreifenlänge von 7.8 t/km erreicht. Der Salzverbrauch liegt in der gleichen Grössenordnung wie im Werkhof Sprengi (7.5 t/km). Frühere Untersuchungen im Werkhof Fribourg Nord hatten gezeigt, dass der Einsatz des Thermomat eine Salzeinsparung von ca. 20 % bewirkt [AUDERGON/VIONNEY 2005]. Bei diesem Versuch wurde auch die Griffigkeit erfasst. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Griffigkeit auf der Fahrbahn mit oder ohne Thermomateinsatz in etwa gleich bleibt.

Beim Werkhof Sprengi ist noch ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen. Durch die vorausschauende Strategie kann in der Gesamtbilanz Streusalz eingespart werden. Die Bekämpfung

von Glätteis braucht viel mehr Salz (bis zu 40 g/m<sup>2</sup>), als die Verhinderung der Entstehung durch Prävention (10 g/m<sup>2</sup>) [THORNES et al. 2006]. Auch bei Schneefall ist die Präventivsalzung effizient. Kleinere Schneemengen schmelzen rasch und grössere Schneemengen können schneller geräumt werden, da der Schnee nicht durch Eisbildung an der Fahrbahn haftet.

Fazit: Die potentielle Salzeinsparung im Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur bei gleicher Winterdienststrategie würde 28 % betragen. Die effektive Salzeinsparung im Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur beträgt im Winter 2005/2006 ca. 8 %. Dieser Vergleich muss allerdings aufgrund der unterschiedlichen mikroklimatischen Bedingungen, die schwer zu erfassen sind, relativiert werden. Das systematisch umgesetzte WMS führt ganz allgemein zu einer hohen Effizienz in der Glätteverhinderung verbunden mit einem sparsamen Umgang mit Salz dank witterungsabhängiger differenzierter Vorgaben der Streumenge.

## 2. Unnötige Einsätze minimieren

Das WMS im Werkhof Sprengi erlaubt eine genaue Analyse der durchgeführten Einsätze und differenzierte Aussagen: 3 % der Einsätze waren nicht nötig und 3 % waren zu früh oder zu spät. Das Winterdienstmanagementsystem erlaubt in diesem Fall eine Bewertung der Einsätze, die zu einer umweltorientierten Optimierung führt. Die Anzahl unnötiger Einsätze oder die so genannten falschen Alarme werden minimiert.

In den zwei anderen untersuchten Werkhöfen ist eine solche Differenzierung nicht möglich.

Falsche Alarme der GMA bergen generell die Gefahr in sich, dass unnötige Einsätze zu oft ausgelöst werden. Einige Einsatzleiter wollen keine Verantwortung tragen oder haben noch zu wenig Erfahrung und lösen bei jedem Alarm der GMA einen Einsatz aus, ohne die Wetterprognose genau zu analysieren. Dieses Verhalten kann zu einem zu hohen Salzverbrauch führen und ist auch wirtschaftlich nicht vertretbar. Dasselbe kann auch passieren, wenn die GMA nicht sorgfältig kalibriert sind.

Fazit: Mit einem effizienten WMS lassen sich die unnötigen Einsätze minimieren. Dies sollte eine Priorität bei jeder Winterdienst-Strategie sein. Voraussetzung dafür ist eine systematische Erfolgskontrolle durch Qualitätssicherung auf der Basis einer zuverlässigen Registrierung der Einsatzdaten.

## **Bewertung der umweltrelevanten Kriterien**

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Analyse der definierten umweltrelevanten Kriterien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Ein systematisch umgesetztes WMS führt zu einer hohen Effizienz in der Glätteverhinderung verbunden mit einem sparsamen Umgang mit Salz dank witterungsabhängiger differenzierter Vorgaben der Streumenge.

Zudem lassen sich mit einem effizienten WMS die unnötigen Einsätze minimieren.

Insgesamt erlaubt der Einsatz eines WMS eine umweltorientierte Optimierung des Winterdienstes unter gleichzeitiger Einhaltung eines hohen Sicherheitsstandards.

## **8.4 Wirtschaftlichkeit des Winterdienstes und volkswirtschaftlicher Nutzen**

### **8.4.1 Allgemeines**

Die Wirksamkeit des Straßenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes auf Bundesautobahnen in Deutschland wurde von DURTH et al. [1996] nachgewiesen. Der Winterdienst auf Autobahnen ist volkswirtschaftlich sinnvoll. Es bestehen immer noch Möglichkeiten, den Winterdienst durch Beschleunigungsmassnahmen effizienter zu gestalten und dadurch auch den Verkehrsablauf positiv zu beeinflussen. Dies gilt insbesondere auf hochbelasteten Autobahnstrecken.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit in Deutschland wurden verschiedene solche Massnahmen neuerdings untersucht [ROOS ET AL 2005]. Dazu gehören der Einsatz eines Hochleistungs-Kehrblas-Gerätes, der Einsatz einer mobilen Taumittelsprühanlage im Bereich einer Baustelle, die Benutzung von blauem Blinklicht an Winterdienst-Fahrzeugen, der Einsatz eines zusätzlichen Winterdienstfahrzeuges zur Reduktion der Umlaufzeiten, die Reduktion der Beladungszeiten, die Nutzung von Betriebsumfahrten im Winterdienst sowie die Möglichkeit einer optimierten Winterdienststeuerung durch eine Winterdienstzentrale. Im Rahmen der Forschungsarbeit konnten verschiedene Empfehlungen zum Einsatzbereich und zur Effektivität dieser Massnahmen abgegeben werden. Die Studie kommt zum Schluss, dass eine zentrale Straßenzustandsüberwachung und Einsatzsteuerung z.B. in Form einer Winterdienstzentrale die Organisation des Winterdienstes grundsätzlich verbessern kann. Mit einer Winterdienstzentrale wird eine hohe Überwachungsgüte und –sicherheit erreicht. Zudem ergibt der Kostenvergleich zwischen

dezentraler Überwachung und Winterdienstzentrale einen klaren wirtschaftlichen Vorteil für die Winterdienstzentrale (ca. 248'000 EUR/Winter) beim Vergleich mit einer durchgängigen dezentralen Überwachung in den Autobahnmeistereien (ca. 205'000 EUR/Winter bei Überwachung nur an kritischen Tagen bis 412'000 EUR/Winter bei durchgängiger Überwachung).

Es stellt sich nun die Frage, wie sich ein seit Jahren implementiertes Winterdienstmanagementsystem, welches im Kanton Luzern bezüglich Überwachung und Alarmierung auch die Kantonsstraßen und einen Teil der Gemeindestraßen umfasst, auf die Wirtschaftlichkeit des Winterdienstes und auf deren volkswirtschaftlichen Nutzen auswirkt.

#### **8.4.2 Investitions- und Betriebskosten eines WMS**

Die Investitions- und Betriebskosten eines WMS wurden im Kapitel 7 im Detail dargelegt. Dabei wurden die Jahreskosten eines durchschnittlichen Werkhofs für die Ausstattung mit Kommunikationstechnologie für den Winterdienst berechnet.

#### **8.4.3 Wirtschaftliche Optimierungen dank eines WMS**

Wie bereits mehrmals angedeutet, erlaubt ein professionell umgesetztes WMS eine wirtschaftliche Optimierung des Winterdienstes. Die verschiedenen Elemente, die sich aus den Erhebungen oder den Interviews herauslesen lassen, sind in der Tabelle 8-10 zusammengefasst. Dabei handelt es sich um einzelne Parameter, die nur Teilaspekte beleuchten. Für ein vollständiges Bild müsste auch die gesamte Winterdienstorganisation im Detail untersucht werden. Eine solche Analyse ist jedoch nicht Gegenstand dieser Forschungsarbeit.

<b>Wirtschaftlichkeit Kriterien</b>	<b>Winterthur</b>	<b>Fribourg Nord</b>	<b>Sprengi</b>
<b>Personal für Alarmierung</b> (Mann pro 8 h)	1	1 am Tag 1.3 in der Nacht (zusätzlich Überwacher)	0.5 (0.5 = Anteil Autobahnen am Gesamtnetz; 0.25 pro Sektor Berg und Tal)
Personal Alarmierung (Mann pro km Autobahn und 8 h)	0.017	0.031 0.015 (Alarmierung ganzer Kanton)	0.008
Personal Alarmierung pro km betreutes Netz (inkl. Kantons- und Gemeindestr.: nur Sprengi)	0.017	0.031 0.015	0.003 (2 Personen für das ganze Netz)
<b>Einsatzstunden</b> (15.11.2005 – 15.03.2006)	1'038	524 (ab 15.12.05; Zeitraum nicht vergleichbar)	1'178
Einsatzstunden pro Fahrstreifen- länge (Std/km) (15.11 – 15.03.06)	5.1	nicht vergleichbar	4.8
<b>Kontrollfahrten</b> bei den Einsätzen (% der Einsätze)	Streuung: 10 % Räumen: 100 % (nach dem Einsatz)	Streuung: 10 % Räumen: 30 %	0 % 0 %
Anzahl Einsätze (15.11.05 – 15.03.2006)	104 (57 % Streuen, 43 % Räumen)	82 (57 % Streuen, 43 % Räumen (15.12 – 15.03.06)	163 (57 % Streuen, 43 % Räumen)
Anzahl Einsätze differenziert (15.11.05 – 15.03.2006)	Streuen 59 Räumen 45	Streuen 47 Räumen 35 (15.12 – 15.03.06)	Streuen 93 Räumen 70
Kontrollfahrten: Stunden im Winter 05/06	Streuen 6 Räumen 45 Total 51	Streuen 5 Räumen 10 Total 15	keine
<b>Umfang der Einsätze: alle Routen bedient</b>	69 (66 %)	76 (92 %)	33 (20 %)
Anzahl Ersteinsätze: alle Routen bedient	48 (70 %)	43 (56 %)	26 (79 %)
Anzahl Zweiteinsätze: alle Routen bedient	21 (30 %)	33 (44 %)	7 (21 %)
<b>unnötige Einsätze</b>	nicht erfassbar	nicht erfassbar	3 % (Winter 05/06; System erlaubt Diffe- renzierung)
<b>Salzmenge pro Fahrstreifen- länge (siehe Tabelle 8-8)</b>	8.1 t/km	7.8 t/km	7.5 t/km

**Tabelle 8-10: Kriterien mit Relevanz für die Wirtschaftlichkeit**

Die verschiedenen Kenndaten in dieser Tabelle lassen folgende Schüsse zu:

- **Alarmierung:** Durch die Alarmierung des ganzen Stassennetzes des Kantons dank dem WMS können die Personalkosten sehr stark reduziert werden. Pro Kilometer betreutes Netz ergeben sich für Winterthur 0.017 Stellen, in Fribourg Nord 0.031 Stellen

am Tag (0.015 in der Nacht) und im Werkhof Sprengi 0.003 Stellen. Auch wenn die Verhältnisse in den drei Werkhöfen nicht direkt vergleichbar sind, verdeutlichen diese Zahlen das Einsparpotential. Eine Abschätzung des Einsparpotentials im Kanton Luzern durch die Einführung des WMS wird im Abschnitt 8.4.4 vorgenommen.

- **Aufwand für die Einsätze:** Der Zeitaufwand für die Durchführung der Einsätze pro Fahrsteifenlänge liegt im Rahmen der Erhebungen bei den Werkhöfen Winterthur und Sprengi in derselben Grössenordnung. Vorausgesetzt die winterlichen Verhältnisse in den beiden Regionen waren im Untersuchungszeitraum vergleichbar, bedeutet dies, dass die Verhinderungsstrategie bei Streu- und Räumeeinsätzen im Werkhof Sprengi mit vielen kleinen Einsätzen (siehe nächster Punkt) keinen höheren Aufwand als im Werkhof Winterthur verursacht. In der Gesamtbilanz ist es eine effiziente Strategie zur Herabsetzung des Unfallrisikos, die gleichzeitig auch wirtschaftlich durchgeführt werden kann.
- **Kontrollfahrten:** Kontrollfahrten werden in den Werkhöfen Winterthur und Fribourg Nord bei Unsicherheiten über den Fahrbahnzustand (z.B. sehr lokale Glätte) oder zur Kontrolle des Fahrbahnzustandes nach dem Räumen eingesetzt. Der Stundenaufwand für diese Kontrollfahrten ist in der Gesamtbilanz vernachlässigbar. Die Angaben können allerdings nicht überprüft werden. Die Kontrollfahrten deuten aber auf eine gewisse Unsicherheit bezüglich der Informationen der GMA oder der Effizienz der Einsätze. Zudem sind das Vorhalten dieser Leistung und die finanzielle Entschädigung für das Pikett im allgemeinen nicht vernachlässigbar.
- **Umfang der Einsätze mit allen Routen bedient:** Die durchgeführten Erhebungen zeigen, dass im Werkhof Sprengi bei nur 33 Einsätzen (20 %) alle Routen bedient werden. Beim Werkhof Winterthur werden bei 69 Einsätzen (66 %) alle Routen bedient. Die geringe Zahl der Gesamteinsätze und der Wiederholungseinsätze mit Bedienung aller Routen beim Werkhof Sprengi deutet auf eine wirtschaftliche Optimierung hin, die nur dank dem WMS und dem damit verbundenen Know-how erreicht werden kann.
- **Keine unnötigen Einsätze:** Im Werkhof Sprengi können die unnötigen Einsätze (falsche Alarme) aufgrund der Erfolgskontrolle und der vorhandenen Daten identifiziert und quantifiziert werden. Dies ist ebenfalls Teil einer wirtschaftlichen Optimierung. Eine solche differenzierte Erfassung ist in den beiden anderen Werkhöfen nicht möglich.

- **Salzverbrauch:** Der sparsame Umgang mit Salz im Werkhof Sprengi wurde im Abschnitt 8.3.2 behandelt. Auch hier besteht ein Einsparpotential, welches dank eines WMS ausgeschöpft werden kann.

Nebst den verschiedenen aufgelisteten Einsparpotenzialen ermöglicht ein WMS zudem ganz allgemein eine bessere Abrechnung im Winterdienst und somit auch eine genauere Budgetierung.

#### 8.4.4 Einsparungen und Kosten: Vergleich vor/nach Einführung WMS

Durch die Einführung eines WMS und die Zentralisierung der Alarmierung lassen sich vor allem Kosten beim Personal, welches in der Überwachung und bei der Kontrolle der Strecken tätig ist, einsparen. Aufgrund der Angaben zum Kanton Luzern ergeben sich rückblickend folgende Zahlen (Tabelle 8-11):

	Stellen Wegmacher oder Winterdienst- leiter	Stellen Strassenaufseher oder Kontroller	Total Stellen	Jährliches Lohneinsparpo- tential
vor 1992	(53 Wegmacher)	(5 Straßenaufseher)	58	
1992 (Übergangslösung)	6 Winterdienstleiter	16 Kontroller	22	
2007	2 Winterdienstleiter	2 Kontroller	4	
Personalabbau Überwacher und Kon- troller seit 1992 auf Kantonsstrassen	4	12	16	1,4 Mio CHF
Personalabbau von 1990 bis 2006			40	3,5 Mio CHF

**Tabelle 8-11: Stellenabbau bei der Überwachung und bei den Kontrollern durch die Einführung eines WMS mit zentralisierter Überwachung und Alarmierung**

Unter der Annahme eines Jahreslohnes von 87'500 CHF lässt sich ein Einsparpotential an Personalkosten von 1,4 Mio CHF pro Jahr berechnen. Bezogen auf das Winterhalbjahr ergibt sich somit ein Einsparpotential von 0,7 Mio CHF pro Jahr

Diese Berechnung ist eher konservativ, denn im Kanton Luzern waren im Jahr 1990 noch 93 Stellen besetzt. Im Jahr 2006 sind es noch 53. In diesem Zeitraum wurden also bedingt durch das WMS aber auch durch organisatorische Anpassungen und Vergabe der Arbeit an Dritte 40 Stellen abgebaut und nicht mehr ersetzt. Diese 40 Stellen würden heutzutage einer jährlichen Lohnsumme von 3,5 Mio CHF entsprechen. Bezogen auf das Winterhalbjahr ergibt sich die

Zahl von 1,75 Mio CHF. Diese Einsparung ist teilweise auf die Einführung des WMS und teilweise auf andere technisch-organisatorische Massnahmen zurückzuführen, wobei laut Aussage des Werkhofvertreters das WMS den weit grösseren Teil ausmacht.

Für den Kanton Luzern belaufen sich die jährlichen Kosten des WMS gemäss Kostenangaben im Abschnitt 7.3 auf 0,85 Mio CHF.

Die potentiellen jährlichen Lohneinsparungen liegen also höher als die jährlichen Kosten eines WMS mit zentralisierter Alarmierung für den ganzen Kanton.

Im Kanton Luzern waren die effektiv eingesparten Lohnsummen, die seit 1990 bis 2006 in der Grössenordnung von 25 Mio CHF liegen, für den Investitionsentscheid zugunsten eines modernen Entscheidungsprozesses mittels WMS inkl. Anpassung des Streu- und Pflugprozesses entscheidend.

#### **8.4.5 Volkswirtschaftlicher Nutzen des Winterdienstes mit Einsatz von modernen Kommunikationsmitteln**

In einer Forschungsstudie wurde in letzter Zeit zum ersten Mal in der Schweiz der volkswirtschaftliche Nutzen des Straßenwinterdienstes quantifiziert [ABAY 2005]. Die Untersuchung basiert auf der durch DURTH ET AL. [1989] entwickelten Methodik. Zur Erfassung des volkswirtschaftlichen Nutzens des Winterdienstes wurden das Unfallgeschehen, die Reisezeit- und Betriebskostensparnisse (Kraftstoff) und die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit berücksichtigt. Gemäss dieser Studie besteht der Nutzen des Winterdienstes insbesondere darin, dass Glätteunfälle und grössere Zeitverluste verhindert werden. Die Studie kommt zum Schluss, dass, je schneller der Winterdiensteinsatz erfolgt, umso mehr Glätteunfälle verhindert werden können. Das ermittelte Kosten-Nutzen-Verhältnis im untersuchten Werkhof Wädenswil auf der A1 (Kanton Zürich) beträgt laut dieser Studie 5.9. Dies bedeutet, dass der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke fast 6mal grösser ist, als die Kosten. Auf der Strecke der A1 zwischen Baden und Rothrist (Kanton Aargau) beträgt das Verhältnis ca. 3. Untersucht wurden die Winter 2000/2001 bis 2003/2004. Dieser Zeitraum war durch eine geringe bis mittlere Strenge der winterlichen Bedingungen charakterisiert. In einem strengen Winter wären die Werte höchstwahrscheinlich noch viel höher.

Die Autoren haben auch abgeschätzt, welcher zusätzliche Nutzen zu erwarten ist, wenn die Fahrbahnglätte noch schneller beseitigt wird. Bei einem um 30 Minuten beschleunigten Winterdienst erhöht sich der Nutzen je Einsatz um rund 5'400 CHF. Pro durchschnittlicher Winterperiode und einer Netzlänge von 20 km würde sich der Nutzen um ca. 420'000 CHF erhöhen.

In der Forschungsarbeit von ROOS ET AL [2005] wurde für einen um 10 bzw. 15 Minuten beschleunigten Winterdienst von einem volkswirtschaftlichen Nutzen nach dem aktualisierten Verfahren von DURTH ET AL [1996] zwischen 156'000 und 235'000 EUR ausgegangen (Verkehrsstärke: 2'500 Fz/h; 35 Winterdiensttage). Dies ergibt für 10 Minuten einen Zusatznutzen von ca. 257'000 CHF. In der schweizerischen Studie beträgt der Zusatznutzen pro 10 Minuten beschleunigtem Winterdienst 140'000 CHF.

Da die Berechnungsansätze in den beiden Studien unterschiedlich sind und die Verhältnisse in Deutschland nicht direkt auf die Schweiz übertragen werden können, sind die Werte nicht direkt vergleichbar.

Vorausgesetzt die Verhältnisse in den beiden Werkhöfen Wädenswil und Winterthur (Kanton Zürich) seien vergleichbar, dann würde eine Beschleunigung des Winterdienstes von 20 min einen Zusatznutzen von ca. 280'000 CHF bedeuten (Strecke von 20 km). Da ein effizientes WMS nicht nur eine Beschleunigung des Winterdienstes erlaubt, sondern auch eine konsequente Glätte-Verhinderungsstrategie, wird der Nutzen pro 20 km sicherlich die Zahl von 280'000 CHF um ein Mehrfaches übersteigen. Eine genaue Quantifizierung könnte nur im Rahmen einer detaillierten Studie vorgenommen werden, da viele unterschiedliche Einflussfaktoren die Extrapolation dieser Zahl beeinflussen.

#### **8.4.6 Bewertung**

Die Analyse von verschiedenen wirtschaftlich relevanten Kriterien lässt den Schluss zu, dass ein systematisch umgesetztes WMS eine wirtschaftliche Optimierung des Winterdienstes ermöglicht.

Durch die Einführung eines WMS und die Zentralisierung der Alarmierung lassen sich vor allem Kosten beim Personal, welches in der Überwachung und bei der Kontrolle der Strecken tätig ist, einsparen.

Der volkswirtschaftliche Zusatznutzen durch den Einsatz eines WMS lässt sich nicht einfach quantifizieren. Da ein effizientes WMS eine Beschleunigung des Winterdienstes verbunden mit einer konsequenten Glätte-Verhinderungsstrategie ermöglicht, wird der Nutzen gestützt auf die Studie von ABAY [2005] bei einer Beschleunigung des Winterdienstes von 20 min im Werkhof Winterthur (für eine Strecke von 20 km) auf ein Mehrfaches von 280'000 CHF geschätzt.

## **8.5 Soziale Aspekte**

### **8.5.1 Allgemeines**

Im Zusammenhang mit dem Nutzen des Winterdienstes werden in der Literatur oft soziale Kriterien, die allerdings schwer quantifizierbar sind, genannt [SAGASSER 1982, OECD 1990, ABAY 2005]. Dazu zählen unter anderem die Notdienste wie Notarzt- und Unfallrettungswagen, Polizei und Feuerwehr, die ihre Arbeit nur mit einem effizienten Winterdienst zeitgerecht erledigen können.

Ein weiteres Kriterium betrifft die sozialen Folgen von Unfällen, welche meist in den volkswirtschaftlichen Betrachtungen bisher unberücksichtigt bleiben.

Für die Verkehrsteilnehmer ist auch der gesteigerte Fahrkomfort durch einen effizienten Winterdienst von Bedeutung. Die Nervenanspannung auf glatten Fahrbahnen ist enorm und beeinträchtigt die Lebensqualität der Fahrer.

Weitere Kriterien, die bisher kaum berücksichtigt wurden, die aber im Rahmen einer Studie über die Wirksamkeit von modernen Kommunikationsmitteln von Bedeutung sind, betreffen die Stresssituation des Einsatzleiters und der Controller sowie den Stellenabbau. Diese letztgenannten Kriterien sollen hier näher betrachtet werden.

### **8.5.2 Kriterien aus den Untersuchungen und den Interviews**

Die verschiedenen sozialen Kriterien, die sich aus den Interviews ableiten lassen, sind in Tabelle 8-12 zusammengefasst. Dabei handelt es primär um Kriterien, die direkt oder indirekt in einem Zusammenhang mit der Einführung eines WMS stehen.

Soziale Kriterien	Winterthur	Fribourg Nord	Sprengi
<b>Vermeidung Stress, Unterstützung beim Einsatzentscheid</b>			
Maximale Einsatzstunden Einsatzleiter (max. im Tag; Extremfall)	12 - 14	11	8
Sicherheit Einsatzleiter: Vollständigkeit der Informationen für den Entscheid	mittel	mittel	hoch
Ausbildungsstunden Einsatzleiter	Weiterbildung: ca. 12 Std pro Winter	keine Grundausbildung Weiterbildung: 4 Std pro Winter	Grundausbildung: mind. 50 Std Weiterbildung: 10 Std pro Winter
Stress Kontrollfahrten in der Nacht zur Überwachung der Fahrbahn auf Autobahn	gering (vereinzelt)	gering (vereinzelt)	keine
Stress Kontrollfahrten in der Nacht zur Überwachung der Fahrbahn auf Kantonsstraßen	hoch	hoch	gering (nur 2 Controller im Einsatz)
<b>Stellenabbau</b>			
Stellenabbau 1990 – 1995	2 (Mechanisierung)	nicht bekannt	12
Stellenabbau 1996 – 2000	3 (Optimierung betriebliche Abläufe)	2	25
Stellenabbau 2001 - 2006	2 (Reorganisation)	4	3
Total Stellenabbau seit 1990	7	6	40
<b>Stellenabbau Überwacher/Controller (seit 1992)</b>	2	nicht bekannt	16

**Tabelle 8-12: Soziale Kriterien aufgrund der in den drei untersuchten Werkhöfen durchgeführten Interviews**

### **Vermeidung Stress, Unterstützung beim Einsatzentscheid**

Im Werkhof Sprengi arbeiten die Einsatzleiter maximal 8 Std am Tag, wobei der Dreischichtbetrieb streng eingehalten wird. Im Werkhof Winterthur kann es bei extremen Winterbedingungen vorkommen, dass der Einsatzleiter bis zu 12 – 14 Std am Tag arbeitet. Dies bedeutet für den Einsatzleiter eine Stresssituation, die sich je nach Einsatzbedingungen nachteilig auf die Verkehrssituation auswirken kann.

Der Indikator „Sicherheit Einsatzleiter beim Entscheid“ wird aufgrund der verfügbaren Wetter- und Straßenzustandsinformationen beim Werkhof Sprengi als hoch bewertet, bei den Werkhöfen Winterthur und Fribourg Nord als mittel. Beim Werkhof Sprengi steht der Einsatzleiter nicht alleine vor den vielfältigen und komplexen Informationen des Straßenwettersystems. Das WMS mit den daraus abgeleiteten Instrumenten (z.B. Entscheidungskriterien) ist eine effiziente Hilfe.

In einem engen Zusammenhang zum Indikator „Sicherheit Einsatzleiter beim Entscheid“ steht auch der weitere Indikator „Ausbildungsstunden des Einsatzleiters“. Mit einer Grundausbildung von 50 Stunden und eine Weiterbildung von 10 Stunden pro Saison wird der Einsatzleiter im Werkhof Sprengi gründlich auf seine Aufgabe vorbereitet. Dazu tragen auch die guten Ausbildungsunterlagen, zum Teil auf Grundlage aufgezeichneter Einsatzdaten, bei (s. Abbildung 8-12).

Durch das WMS konnten im Werkhof Sprengi die Kontrollfahrten auf der Autobahn vollständig eliminiert und auf den Kantonsstraßen massiv reduziert werden. Diese Kontrollfahrten in der Nacht bedeuten für die Betroffenen schwierige Arbeitsbedingungen unter beträchtlichem Stress.

Fazit: Durch ein WMS wird der Einsatzleiter beim Einsatzentscheid wirksam unterstützt. Er steht nicht alleine vor den vielfältigen und komplexen Informationen des Straßenwetterystems und kann mit Sicherheit entscheiden. Dabei wird er durch eine gründliche Aus- und Weiterbildung sowie durch das bei der regelmässig durchgeführten Qualitätssicherung gewonnene Know-how unterstützt. Die durch hohen Stress gekennzeichneten Kontrollfahrten entfallen auf der Nationalstraßen weitgehend. Insgesamt werden durch ein WMS bessere Arbeitsbedingungen geschaffen. Die psychische und physische Last der Mitarbeiter, die in der Überwachung und bei der Kontrolle der Strecken tätig sind, wird wesentlich vermindert.

### **Stellenabbau**

Im Kanton Luzern wurden von 1992 bis 2006 16 Überwacher- und Kontroller-Stellen abgebaut, wobei dieser Abbau sich auf National- und Kantonsstraßen bezieht.

Fazit: Als soziales Kriterium wäre der mit der Einführung eines WMS stattfindende Stellenabbau negativ zu bewerten. Dieser Prozess findet aber heutzutage in allen Bereichen, wo neue Technologien eingeführt werden, statt. Die Stellen der Kontroller im Winterdienst sind zudem durch viel Stress und schwierige Arbeitsbedingungen charakterisiert.

# Winterglätten

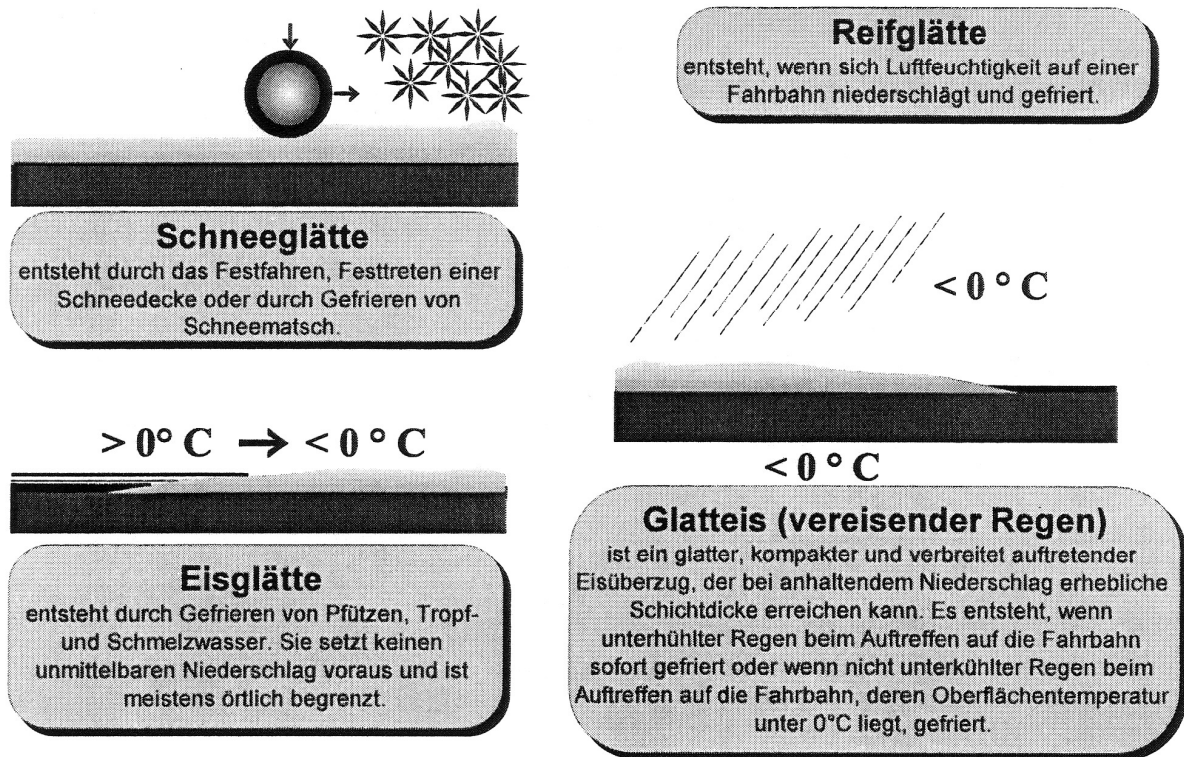


Abbildung 8-12: Winterglätten. Auszug aus dem Handbuch Winterdienst 2006/2007, National- und Kantonsstraßen, Kanton Luzern

## 8.5.3 Bewertung der sozialen Aspekte

Durch die Einführung eines WMS wird die Lebensqualität der Einsatzleiter wesentlich verbessert. Stresssituationen können wirksam abgebaut werden. Der Stellenabbau von Kontrollern auf den National- und Kantonsstraßen ist vertretbar, denn die damit verbundene Arbeit ist physisch und psychisch extrem anstrengend. Insgesamt werden bessere Arbeitsbedingungen geschaffen.

## **9. Zusammenfassung und Gesamtbewertung der vorhandenen Systeme**

### **9.1 Analysen des Einsatzentscheids**

Für den Winter 2005/06 wurden die Einsatzentscheide in den Werkhöfen Sprengi (Kanton Luzern), Winterthur (Kanton Zürich) und Fribourg-Nord (Kanton Fribourg) erfasst und analysiert. Es wurde deutlich, dass im Werkhof Sprengi differenziertere Einsatzentscheide getroffen wurden, bei denen häufig nur ein Teil der Routen betreut wurde. Der Anteil der Wiederholungseinsätze war im Werkhof Sprengi nicht höher als in den anderen Werkhöfen, obwohl dort die Einsätze nach Möglichkeit immer vor Auftreten der winterlichen Fahrbahnzustände durchgeführt wurden.

Wichtigste Informationsquelle für den Einsatzentscheid sind in allen Werkhöfen die Messstationen entlang der Strecke. Es ist auffallend, dass im Werkhof Fribourg trotz höchster Messstellendichte stärker auf Meldungen des Personals oder von Dritten zurückgegriffen wurde, da der Streckenverlauf inhomogen ist und Glättegefährdungen häufig nur sehr begrenzt auftreten. Aus den Analysen lässt sich ableiten, dass weitere Messstellen die Einsatzentscheide nicht zwangsläufig weiter verbessern, da in der Regel nur ein Teil der Messstationen in die Analyse für den Einsatzentscheid einbezogen wird. Videobilder dienen neben der Beurteilung des Fahrbahnzustandes bei Schneefall in erster Linie der Verifikation der Messdaten. Im Werkhof Sprengi sind alle Messstationen mit zwei Sensoren ausgerüstet, so dass Messfehler besser erkannt werden können.

Im Werkhof Sprengi wird daneben den Meteodaten größere Bedeutung als in den beiden anderen Werkhöfen beigemessen, da diese in Sprengi direkt in das Gesamtsystem integriert sind. Wichtigste Meteodaten für den Einsatzentscheid sind in allen Werkhöfen die Daten und Prognosen des Niederschlagsradars. Diese ermöglichen dem Einsatzleiter im Zusammenhang mit den weiteren Informationen zur Witterung eine differenzierte Bewertung der Wettersituation. Allerdings ist eine Beschränkung auf wesentliche Informationen und eine sehr gute Aufbereitung der Daten von hoher Bedeutung, da die Meteodaten ansonsten nicht richtig durch den Einsatzleiter genutzt werden.

Die differenzierten Einsatzentscheidungen im Werkhof Sprengi führen zu einer Reduktion der Einsatzkilometer, da nur die glättegefährdeten Routen betreut werden. Der Gesamt-Salzverbrauch wird hierbei etwas gesenkt. Es wird jedoch deutlich, dass durch die differenzier-

ten Einsatzentscheide weder vermehrt Wiederholungseinsätze notwendig sind noch häufiger nachgestreut werden muss, da die Streudichte zu gering bemessen war.

Die Streudichte bei Einsatz einer automatischen Streudichteanpassung aufgrund der fortlaufend gemessenen Fahrbahntemperatur (System Thermomat) wurde nur geringfügig (um 6 %) gesenkt, was insbesondere auf das große Know-How des an den Untersuchungen beteiligten Personals zurückzuführen ist.

Bis auf Einzelfälle haben Witterung und Straßenzustand während des Winterdiensteinsatzes diesen auch gerechtfertigt. Die Daten der an der Strecke liegenden Messstationen haben in der Regel winterliche Fahrbahnzustände bzw. eine signifikante Glättegefährdung im Einsatzzeitraum registriert. Zwar hat eine differenzierte Analyse für den Werkhof Sprengi gezeigt, dass bei ca. einem Drittel der Einsätze Abweichungen zwischen Prognose und dann eingetretenem Fahrbahnzustand aufgetreten sind. Diese sind jedoch in der Regel nur gering, so dass hierdurch nicht die Notwendigkeit des Winterdiensteinsatzes falsch eingeschätzt wurde.

## **9.2 Analyse der Verwendung aufgezeichneter Einsatzdaten**

Die Nutzung der aufgezeichneten Einsatzdaten wurde in den Werkhöfen Sprengi und Fribourg-Nord analysiert. Es wurde deutlich, dass die Auswertungen trotz der automatisierten Erfassung relativ aufwendig ist, da die notwendigen Auswertungen in den genutzten Systemen nur unvollständig hinterlegt sind.

Im Vergleich zum Werkhof Winterthur, wo keine Einsatzdaten automatisch erfasst werden, wird deutlich, dass eine Vielzahl von Auswertungen und Nachweisen ohne die automatische Einsatzdatenerfassung nicht möglich ist. Hierzu zählen in erster Linie die fortlaufende Qualitätsüberwachung und somit die fortlaufende Optimierung des Winterdienstes sowie die Überprüfung der Fremdunternehmerrechnungen. Die Ermittlung von spezifischen Kennzahlen und Statistiken zum Winterdienst wird ohne Einsatzdatenerfassung erheblich erschwert bzw. ist nicht möglich. Der objektive und detaillierte Einsatznachweis, der zwar nur selten, z.B. bei Unfällen, benötigt wird, ist ein weiterer wichtiger Einsatzbereich der Einsatzdatenerfassung.

## **9.3 Vergleich der Prognosegüte von Strassenoberflächenprognosen für den Kanton Zug und den Kanton Luzern**

Die Prognosen der MeteoSchweiz mit oder ohne Einbezug der Daten der lokalen Strassenmessstationen für den Kanton Zug und den Kanton Luzern wurden verglichen.

Die Resultate zeigen deutliche Unterschiede in der Prognosenqualität für die Stationen im Kanton Zug und im angrenzenden Meierskappel im Kanton Luzern. Am markantesten ist der Unterschied bei der Qualität der Frost/kein Frost-Prognose. Darin wird untersucht, ob die Prognose der Oberflächentemperatur Werte über null oder unter null Grad voraussagte und dies eingetroffen ist. Falsch sind Prognosen mit Werten über Null und Messungen unter Null und umgekehrt. Für Meierskappel (Luzern) war die Treffsicherheit mit 92.9 % markant höher als für Lorzentalbrücke (81.5 %) und Fännbrücke (78.4 %).

Ähnliche Unterschiede zeigt auch die Standardabweichung der Minimumtemperatur-Vergleiche an den drei Standorten. Die Oberflächentemperatur-Prognosen für Meierskappel sind mit einer mittleren Abweichung von 1.79 Grad deutlich besser ausgefallen als diejenigen für den Kanton Zug (Fännbrücke 2.54 Grad, Lorzentalbrücke 2.44 Grad).

Der Einbezug der aktuellen Messwerte einer Strassenmessstation in die Berechnung der Oberflächentemperatur bewirkt eine signifikante Verbesserung der Prognosen für die ganze Nacht. Im Kanton Luzern werden nicht für alle Messstationen solche Prognosen erstellt, aber mittels Thermal Mapping werden die Berechnungen für Meierskappel (Referenzstation) auf die ganze Klimaregion umgerechnet. In der Region des Kantons Zug sind die Prognosen weniger genau, gelten für die ganze Region und müssen vom Einsatzleiter richtig interpretiert werden. Die Vorteile eines gut ausgebauten Strassenmesssystems werden somit offensichtlich.

#### **9.4 Kosten der Systeme**

Neben den Investitions- und Implementierungskosten sind auch die laufenden Betriebs- und Unterhaltskosten maßgebend bei der Bewertung der Komponenten für das Winterdienstmanagement. Eine eindeutige Zuordnung der Kosten zu einzelnen Systemkomponenten ist nicht möglich, da die Kosten sehr stark von der spezifischen Implementierung abhängen. Neben den externen Kosten fallen auch interne Aufwendungen innerhalb der Werkhöfe und Kantone an. Diese lassen sich jedoch nicht weiter spezifizieren, da sich insbesondere die Aufwendungen für den laufenden Betrieb nicht eindeutig dem eingesetzten System, sondern nur pauschal dem Winterdienst bzw. der Winterdienststeuerung zuordnen lassen. Auf Grundlage der Systeme, die im Kanton Zürich und im Kanton Luzern implementiert wurden, wurden zum einen die einmaligen Investitionen, zum anderen Jahreskosten unter Berücksichtigung von Betrieb, Unterhalt und Abschreibung analysiert.

Den größten Anteil an den Kosten haben die Messstationen an der Strecke. Die einmaligen Investitionskosten liegen je Messstation in einer Größenordnung von 90'000 - 120'000 CHF, die laufenden Kosten bei 9'000 bis 13'000 CHF pro Jahr. Hohe Kosten fallen auch für die Video-

überwachung an, hierfür belaufen sich die Investitionen auf ca. 30'000 bis 50'000 CHF und die Jahreskosten auf ca. 4'000 – 7'500 CHF je Videokamera. Demgegenüber sind die laufenden Kosten für umfassende und gut aufbereitete Meteodaten inkl. der notwendigen Prognosen mit 10'000 bis 20'000 CHF je Werkhof relativ gering.

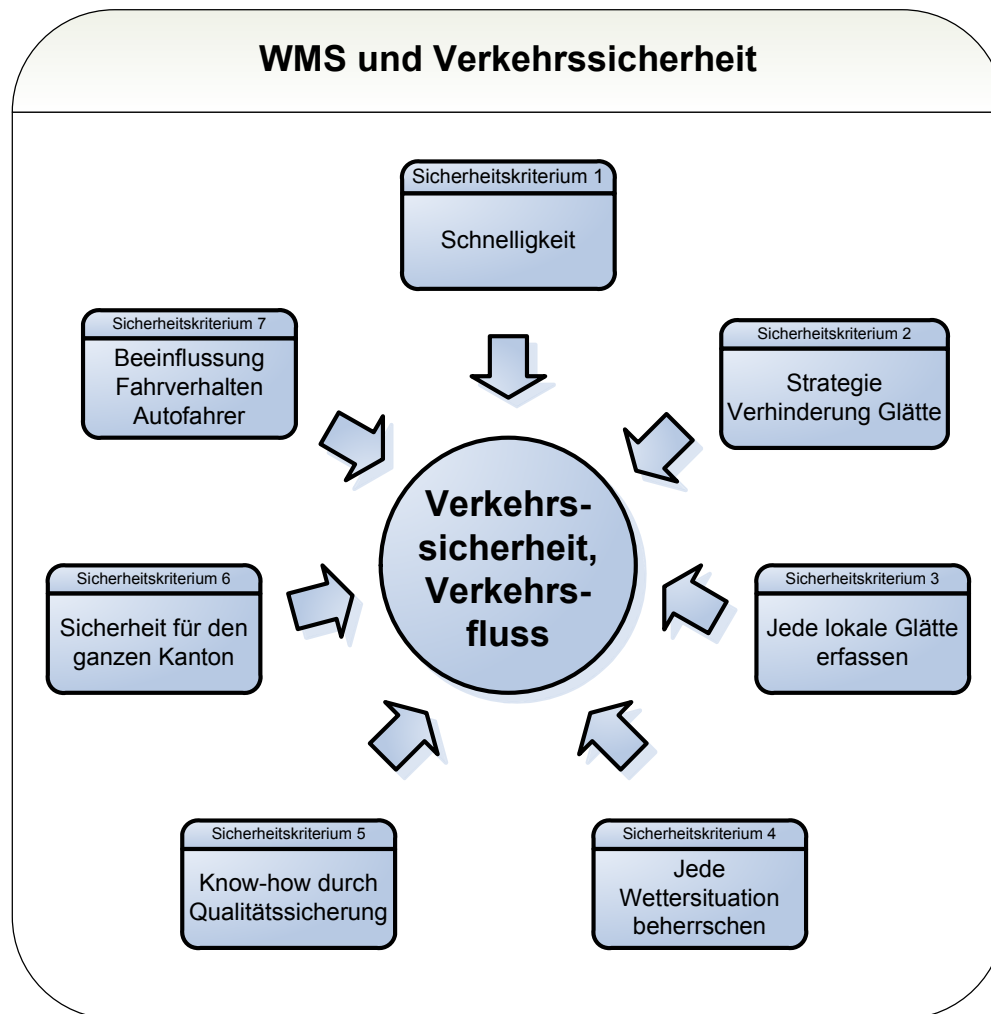
Berücksichtigt man, dass die Daten der Messstationen wichtigste Grundlage der Einsatzentscheidung sind, so sind die hierfür anfallenden Kosten sicherlich gerechtfertigt. Es wird jedoch gleichzeitig deutlich, dass bei der Projektierung größter Wert auf die Lage und Anzahl der Messstationen gelegt werden sollte, da einerseits so Kosten reduziert werden können und andererseits der Nutzen der Messstationen nicht proportional zu ihrer Anzahl gesteigert werden kann. Für die Verifikation der Messdaten sind Stationen mit redundanter Sensorik kostengünstiger als zusätzliche Videokameras. Diese können jedoch die Bewertung des Fahrbahnzustandes bei Schneefall erleichtern und erlauben gleichzeitig eine visuelle Überwachung der Verkehrslage, so dass sie im Einzelfall ihre Berechtigung haben können. Gegenüber den Kosten für die Messstationen sind die Kosten für die Meteodaten sekundär. Zieht man den mit diesen Daten verbundenen hohen Nutzen für die Einsatzentscheidung in Betracht, erscheint es sinnvoll, umfassende Meteodaten zu beziehen.

Die Kosten für die Komponenten zur Einsatzauslösung, -leitung und -dokumentation sind gegenüber den Systemkosten zur Einsatzentscheidung weitaus geringer. Sie liegen für einen Werkhof in einer Größenordnung von 30'000 CHF pro Jahr. Berücksichtigt man den hohen Nutzen und auch die Einsparungen interner Aufwendungen, so sollte die Implementierung dieser Komponenten weniger unter dem Kostengesichtspunkt als unter den Aspekten des Nutzens bei den gegebenen konzeptionellen und organisatorischen Randbedingungen bewertet werden. Auch die Kosten für die Ausrüstung der Winterdienstfahrzeuge mit Infrarotthermometer und temperaturabhängiger Steuerung liegen nur in einer Größenordnung von 1'000 CHF pro Jahr und Fahrzeug, so dass sie bei einem signifikanten Nutzen sicherlich ebenfalls gerechtfertigt sind.

## **9.5 Nutzen der Systeme**

### **9.5.1 Verkehrssicherheit**

Gestützt auf die durchgeführten Untersuchungen in den drei Werkhöfen Sprengi, Winterthur und Fribourg Nord sowie den zahlreichen Interviews und Diskussionen mit den Werkhofleitern wurden sieben Sicherheitskriterien definiert und Indikatoren gebildet (Abbildung 9-1).



**Abbildung 9-1: Winterdienstmanagementsystem und Verkehrssicherheit: Zusammenspiel der Sicherheitskriterien**

Die Vorteile eines systematischen WMS für die Verkehrssicherheit sind anhand dieser 7 Sicherheitskriterien offensichtlich. Sie drücken sich einerseits in der Schnelligkeit des Winterdienstes aus. Wie eingangs festgehalten, ist bei Fahrbahnglätte jede gewonnene Minute für die Verkehrssicherheit entscheidend. Andererseits erlaubt die genaue Wetterprognose einen konsequent vorausschauenden Winterdienst. Die Glätte wird noch vor deren Entstehung verhindert. Es können auch lokal und zeitlich beschränkte Glätte auf dem Strassennetz im Voraus identifiziert und dann verhindert werden. Auch schwierige Wettersituationen werden durch die systematische Anwendung von Entscheidungskriterien beherrscht. Diese verschiedenen Elemente, kombiniert mit einer regelmässigen Qualitätssicherung der Einsätze, führen zu einem beträchtlichen Know-how des Einsatzleiters. Das System lässt sich auch für die Kantons- und Gemeindestraßen anwenden. Somit profitiert der ganze Kanton von einer professionellen Alarmierung. Die Verkehrsteilnehmer haben die Möglichkeit, sich über Internet über die detaillierten Straßenzustandsprognosen auf dem ganzen Netz zu informieren. Die Kombination all

dieser Kriterien führt zu einer erhöhten Verkehrssicherheit und auch einer erhöhten Leistungsfähigkeit der Straßen im Winter.

Die Umsetzung dieser Strategie sollte sich prinzipiell direkt in den Unfallzahlen niederschlagen. Die Ergebnisse bestätigen, dass auf den Autobahnen im Kanton Luzern gegenüber den Kantonen Fribourg und Zürich sehr niedrige statistische Unfallraten bei Eis und Schnee/Pflotsch erreicht werden können (Abbildung 8-10).

Die definierten und bewerteten Sicherheitskriterien wirken sich also auch positiv auf die Unfälle aus.

### **9.5.2 Verkehrsfluss**

Die im vorherigen Abschnitt zusammengefassten Sicherheitskriterien sind auch von Bedeutung für den Verkehrsfluss. Je schneller und effizienter ein Winterdienst durchgeführt wird, umso höher ist auch der Verkehrsfluss auf dem betreuten Netz. Durch den Einsatz eines WMS sind beim Verkehrsfluss wie bei der Verkehrssicherheit positive Entwicklungen zu erwarten.

### **9.5.3 Umwelt**

Die potentielle Salzeinsparung im Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur bei gleicher Winterdienststrategie würde 28 % betragen. Im Winter 2005/2006 betrug die effektive Salzeinsparung im Werkhof Sprengi gegenüber dem Werkhof Winterthur ca. 8 %. Dieser Vergleich muss allerdings aufgrund der unterschiedlichen mikroklimatischen Bedingungen, die schwer zu erfassen sind, relativiert werden. Das systematisch umgesetzte WMS führt aber ganz allgemein zu einer hohen Effizienz in der Glätteverhinderung verbunden mit einem sparsamen Umgang mit Salz dank witterungsabhängiger differenzierter Vorgaben in der Streumenge.

Mit einem effizienten WMS lassen sich die unnötigen Einsätze minimieren. Insgesamt erlaubt der Einsatz eines WMS eine umweltorientierte Optimierung des Winterdienstes unter gleichzeitiger Einhaltung eines hohen Sicherheitsstandards.

### **9.5.4 Wirtschaftlichkeit und volkswirtschaftlicher Nutzen**

Die Analyse verschiedener wirtschaftlich relevanter Kriterien in den drei untersuchten Werkhöfen lässt den Schluss zu, dass ein systematisch umgesetztes WMS eine wirtschaftliche Optimierung des Winterdienstes erlaubt. Zu diesen Kriterien zählen die Reduktion des Personals

für die Alarmierung, die Optimierung des Umfangs und der Dauer der Einsätze, die Reduktion der unnötigen Einsätze und die Reduktion der gestreuten Salzmenge dank differenziertem Vorgehen.

Durch die Einführung eines WMS und die Zentralisierung der Alarmierung für den ganzen Kanton lassen sich vor allem Kosten beim Personal, welches in der Überwachung und bei der Kontrolle der Strecken tätig ist, einsparen. Die potentiellen jährlichen Lohnersparungen (0.87 bis 1.75 Mio CHF) liegen höher als die jährlichen Kosten eines WMS (0.85 Mio CHF) mit zentralisierter Alarmierung für einen ganzen Kanton.

Der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes besteht insbesondere darin, dass Glätteunfälle und grössere Zeitverluste verhindert werden [ABAY 2005]. Auf der A3 im Kanton Zürich wurde ermittelt, dass der volkswirtschaftliche Nutzen des Winterdienstes auf dieser Strecke (20 km) fast sechsmal grösser ist als die Kosten.

Der Zusatznutzen durch den Einsatz eines WMS lässt sich nicht einfach quantifizieren. Da ein effizientes WMS eine Beschleunigung des Winterdienstes verbunden mit einer konsequenten Glätte-Verhinderungsstrategie ermöglicht, wird der Nutzen gestützt auf die Studie von ABAY [2005] bei einer Beschleunigung des Winterdienstes von 20 min im Werkhof Winterthur (für eine Strecke von 20 km) auf ein Mehrfaches von 280'000 CHF geschätzt.

### **9.5.5 Soziale Aspekte**

Im Zusammenhang mit dem Nutzen des Winterdienstes werden in der Literatur oft soziale Kriterien wie Notdienste, soziale Folgen von Unfällen und gesteigerter Fahrkomfort genannt [SAGASSER 1982, OECD 1990, ABAY 2005]. Weitere Kriterien, die bisher kaum berücksichtigt wurden, die aber im Rahmen einer Studie über die Wirksamkeit von modernen Kommunikationsmitteln von Bedeutung sein können, betreffen die Stresssituation des Einsatzleiters und der Streckenkontrollen und der Stellenabbau.

Dank einem WMS wird der Einsatzleiter beim Einsatzentscheid durch verschiedene Instrumente wirksam unterstützt. Er steht nicht alleine vor den vielfältigen und komplexen Informationen des Straßenwettersystems und kann mit Sicherheit entscheiden. Stresssituationen können wirksam entschärft werden.

Bei Einführung eines WMS mit zentralisierter Alarmierung für den ganzen Kanton werden einige Stellen bei den Einsatzleitern und den Strecken-Kontrollern überflüssig. Aus sozialer Sicht wäre dieser Stellenabbau negativ zu werten. Allerdings sind solche Stellen mit viel Stress und extrem schwierige Arbeitsbedingungen verbunden.

### **9.5.6 Gesamtbewertung des Nutzens der Systeme**

Der Winterdienst ist aufgrund der vorhandenen präzisen Meteoprognosen sehr komplex geworden und die Anforderungen an die Autobahnen bezüglich Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss sind in letzter Zeit immer gestiegen. Der Winterdienst auf den Autobahnen lässt sich nicht mehr nach traditionellem Schema mit groben Meteodaten und vielen Kontrollfahrten bewältigen. Die Fülle der Informationen, die dank modernster Kommunikationstechnik gesammelt und übermittelt werden können, sind nur im Rahmen eines modernen WMS optimal zu nutzen. In diesem Zusammenhang muss auf den Leistungsbeschrieb für Autobahnen in der Schweiz hingewiesen werden. Als oberstes Ziel wird die möglichst hohe Verfügbarkeit des Netzes genannt. Die allerhöchste Priorität haben dabei die höchst belasteten Strecken.

Ein professionell implementiertes und umgesetztes Winterdienstmanagementsystem führt zu einer erhöhten Verkehrssicherheit und einem besseren Verkehrsfluss. Dabei ist die Optimierung der Einsätze aus der Sicht Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt eine Daueraufgabe. Um diese Aufgabe sachgerecht zu erfüllen, sind alle Komponenten eines modernen Winterdienstmanagementsystems notwendig. Dazu gehören die Beschaffung von präzisen Meteodaten mit Einbezug der Daten der lokalen GMA in die Straßenzustandsprognose mittels zeitgemäßem Energiebilanzmodell, das Einsatzplanungssystem, die Einsatzdatenaufzeichnung sowie die Einsatznachverfolgung mit Qualitätssicherung. Das Zusammenspiel all dieser Komponenten führt zu einem nachhaltigen Winterdienst, welcher sowohl sicherheitsorientierte wie auch umweltrelevante, soziale und wirtschaftliche Kriterien mit gleich hoher Gewichtung berücksichtigt.

Bisher war nur die Rede von den Vorteilen eines WMS. Es stellt sich nun die Frage, ob es auch mit Nachteilen verbunden ist. Als Nachteil kann wie bei allen modernen Technologien die Abhängigkeit von der Technik genannt werden. Im Falle einer Baustelle auf der Autobahn kann es beispielsweise zu Unterbrüchen in den Leitungen kommen und das System würde nicht mehr einwandfrei funktionieren. Durch Redundanz der verwendeten Systeme können aber auch Ausfälle von Teilen des WMS heutzutage meist gemeistert werden. Es besteht auch eine Abhängigkeit vom Know-how von wenigen Mitarbeitern. Diese Abhängigkeit kann allerdings im Rahmen von organisatorischen Massnahmen reduziert werden. Das Know-how muss auch im Hinblick auf Kontinuität bei den Mitarbeitern sichergestellt werden. Angesichts der umfangreichen Vorteile des WMS fallen aber aus unserer Sicht diese Nachteile kaum ins Gewicht.

Ein modernes Straßenwetterinformationssystem ohne die weiter oben genannten zusätzlichen Komponenten kann zwangsläufig nicht die gleiche Effizienz erreichen. Vor allem fehlt in diesem Fall der ganze Teil der Einsatznachverfolgung mit systematischer Erfolgskontrolle und Quali-

tätssicherung, der für eine Optimierung in dreifacher Hinsicht notwendig ist. Auch eine Alarmierung, die sich auf den Ist-Wert der Fahrbahntemperatur orientiert, ist zwangsläufig für die Verkehrssicherheit und der Verkehrsfluss nicht optimal. Die kritische Glättezeit der Fahrbahn (Summe Reaktionszeit und Hälfte der Einsatzzeit der Fahrzeuge) ist dadurch wesentlich höher als mit der Strategie "vorausschauender Winterdienst".

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zusatzkosten für die Komponenten präzise Meteo-daten, Alarmierung/Einsatzplanung, Einsatzdatenerfassung im Vergleich zu den Kosten der Messstationen eigentlich gering sind. Somit lässt sich eine Aufrüstung eines Straßenwetterinformationssystems mit relativ geringen Zusatzkosten realisieren.

Aufgrund der verschiedenen durchgeführten Diskussionen muss festgehalten werden, dass ein Straßenwetterinformationssystem, welches sich am Ist-Wert der GMA orientiert, immer noch ein effizienteres System darstellt, als ein System nach altem Schema mit Wetterprognose ohne Einbezug von lokalen Wetterdaten (GMA) und mit vielen Streckenkontrollen. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die von MeteoSchweiz gelieferten Straßenzustandsprognosen wesentlich genauer werden, wenn die Daten von lokalen Wetterstationen (GMA) einfließen. Die Kontrollfahrten verursachen zudem eine zusätzliche Verzögerung in der kritischen Glättezeit. Denn die Streckenkontroller können nicht überall zum selben Zeitpunkt sein. Bis beispielsweise eine lokale Glätte auf dem Netz entdeckt wird, geht wieder wertvolle Zeit verloren. Eine detaillierte Analyse dieser Frage war nicht Gegenstand dieser Untersuchung, aber eine kritische Betrachtung der sieben definierten Sicherheitskriterien genügt, um die im Rahmen von Diskussionen aufgeworfenen Fragen zu diesem Thema zu beantworten.

Insgesamt stellt ein Winterdienstmanagementsystem ein wirkungsvolles Instrument dar, um den Winterdienst aus der Sicht Verkehrsfluss, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Umwelt zu optimieren. Als Managementinstrument muss es aber dauernd einer Qualitätskontrolle unterworfen werden, um wirksam zu bleiben. In der Schweiz sind wir in der glücklichen Lage, dass ein solches System schon seit Jahren in einem Kanton implementiert wurde und umfangreiche Erfahrungen damit gesammelt wurden. Es bleibt nur zu hoffen, dass diese Erfahrung auch von anderen Kantonen aufgegriffen wird und so in der ganzen Schweiz, wie es momentan auch in Österreich geschieht, auf koordinierter Weise ein effizientes Winterdienstmanagementsystem implementiert wird.

Aufgrund der Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit und zum volkswirtschaftlichen Nutzen werden die Gewinner der Bund und die Kantone sein. Aber auch die Verkehrsteilnehmer werden dabei an Lebensqualität viel gewinnen!

## 10. Empfehlungen

### 10.1 Einsatz der Systeme

Aus den durchgeführten Untersuchungen und gewonnenen Erkenntnissen lassen sich in Verbindung mit weiteren nationalen und internationalen Erkenntnissen folgende Empfehlungen zum Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologien im Winterdienst (Winterdienstmanagementsysteme) ableiten:

- **Einsatz WMS:** Mit dem Einsatz moderner, anforderungsgerechter Informations- und Kommunikationstechnologien im Winterdienst lassen sich zahlreiche Verbesserungen des Winterdienstes erzielen, die signifikant zur Steigerung der Verkehrssicherheit und Verbesserung des Verkehrsflusses bei winterlichen Straßenverhältnissen beitragen können, so dass ihr Einsatz generell zu empfehlen ist.
- **Konzeption WMS:** Die optimale Konfiguration eines Winterdienstmanagementsystems hängt stark von den gegebenen Randbedingungen, wie zu betreuendem Straßennetz, Topographie, klimatische Verhältnisse, verfügbare Personal-, Fahrzeug- und Geräteresourcen, Streumittelbewirtschaftung, Einsatzstrategie und Organisation des Winterdienstes ab. Diese sind im Rahmen der Projektierung ebenso wie ggf. schon vorhandene Komponenten zu berücksichtigen. Es ist daher zu empfehlen, die Projektierung auf die derzeitigen und künftigen Randbedingungen abzustimmen bzw. die Implementierung im Rahmen einer Gesamtoptimierung des Winterdienstes vorzunehmen, zu der beispielsweise eine Strategie der Glättevermeidung mit dem Einsatz von Feuchtsalz oder Sole gehören. Wichtig bei der Projektierung ist neben der technischen Konzeption auch die Festlegung der zeitlichen und finanziellen Umsetzung im Rahmen eines Umsetzungsfahrplans einschließlich der notwendigen organisatorischen Maßnahmen.
- **Genauere Wetterprognosen:** Messstationen entlang des Straßennetzes in Verbindung mit umfangreichen und gut aufbereiteten Meteodaten ermöglichen in der Regel präzise Prognosen des Straßenzustandes und sind daher wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung einer vorbeugenden Winterdienststrategie, bei der durch rechtzeitige Streueinsätze winterliche Straßenzustände vermieden werden. Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Wetterprognosen können durch die Berücksichtigung aktueller Messdaten ausgewählter Messstationen wesentlich gesteigert werden. Daher ist zu empfehlen, für die regionalen Prognosen für einzelne Klimagebiete ausgewählte Messdaten an die Vorhersageinstitute weiterzuleiten. Nur durch die Berücksichtigung des ört-

lichen Witterungsverlaufs ist eine hinreichend genaue Prognose des Straßenzustandes möglich; die Extrapolation der Messdaten im Rahmen einer Trendprognose allein reicht für die Entscheidung über rechtzeitige Einsätze nicht aus.

- **Lage und Anzahl der Messstationen:** Da die Kosten für die Messstationen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten der Winterdienstmanagementsysteme haben, gleichzeitig aber der Nutzen nicht proportional mit der Anzahl der Messstationen anwächst, ist die Festlegung von Lage und Anzahl der Messstationen sorgfältig auf Grundlage dezidierter Untersuchungen vorzunehmen. Hierbei sollten neben der Erfahrung des örtlichen Personals externe Winterdienstexperten und Meteorologen herangezogen werden. Die messtechnische Aufnahme der Fahrbahnoberflächentemperaturen im Streckennetz kann hierfür zweckmäßig sein, es können jedoch auch andere Bewertungsmethoden ausreichend sein.
- **Zuverlässigkeit der Messdaten:** Große Bedeutung für die Nutzung der Messstationen bei der Einsatzentscheidung hat die Zuverlässigkeit der Messdaten. Daher ist zu empfehlen, wie im Kanton Luzern oder im Ausland, z.B. in Frankreich und Österreich, wesentliche Sensoren doppelt einzubauen, insbesondere die Sensoren zur Messung von Fahrbahntemperatur und –zustand. Hierdurch können zum einen Ausfälle oder punktuelle Messabweichungen sofort erkannt werden und zum anderen liegen auch bei Ausfall eines Sensors noch Daten von der Messstation vor.
- **Unterstützung Einsatzleiter beim Einsatzentscheid:** Einsatzentscheidungen für den Winterdienst gehen häufig komplexe Entscheidungsprozesse der Einsatzleiter voraus. Wesentlich für den Einsatzentscheid sind die Informationen zu Straßenzustand und Witterung sowie ihre Prognose. Daneben spielen aber auch Kenntnisse über durchgeführte Winterdiensteinsätze, Verkehrssituation, Unfälle, einzusetzende Ressourcen und weitere nicht eindeutig zu definierende Faktoren eine Rolle für die Einsatzentscheidung. Um den Einsatzleiter zu entlasten, ist daher die einfache Verfügbarkeit und die sachgerechte Aufbereitung der Daten und Informationen zu empfehlen. Dies kann die automatische Generierung einer Einsatzempfehlung auf Grundlage von aktuellen und prognostizierten Straßenzustands- und Witterungsdaten einschließen, die jedoch für einen Einsatzleiter nicht bindend sein sollte. Eine Automatisierung der Einsatzentscheidung wird nicht nur aus rechtlichen Erwägungen, sondern auch aus Gründen der Komplexität und zu hohen Fehleranfälligkeit derzeit nicht empfohlen.
- **Zentralisierung der Einsatzleitung:** Der Einsatz von Winterdienstmanagementsystemen erlaubt die Zentralisierung der Einsatzleitung, bei der die Streckennetze mehre-

rer Werkhöfe zentral überwacht und die notwendigen Einsätze werkhofübergreifend ausgelöst und überwacht werden. Durch die Zusammenfassung ist es möglich, den Personalaufwand zu reduzieren, gleichzeitig aber die Qualität der Winterdiensteinsätze durch höhere Qualifikation des Personals zu steigern. Es wird daher empfohlen, die Potenziale von Winterdienstmanagementsystemen bestmöglich auszunutzen, indem die Einsatzleitung werkhofübergreifend, ggf. auch für verschiedene Straßenkategorien, zusammengefasst wird. Bei einer Zentralisierung der Einsatzleitung wird der Einsatz automatisierter Systeme zur Einsatzauslösung empfohlen, bei der die Informationsübermittlung und die Überwachung der Rückmeldungen der Winterdienstfahrer durch das System automatisch auf Grundlage der Entscheidung des Einsatzleiters erfolgen.

- **Entlastung des Personals:** Die Komplexität der Einsatzentscheidung und die unmittelbare Verantwortung für die Verkehrssicherheit können zu erheblichen psychischen Beanspruchungen und Stresssituationen für die Einsatzleiter führen. Neben der Verfügbarkeit umfassender und eindeutiger Informationen sowie einer guten Schulung und Weiterbildung trägt auch die Reduktion der zeitlichen Belastung der Einsatzleiter im Rahmen von Schichtdiensten zur Entlastung des Personals bei. Daher wird empfohlen, die Schichten der Einsatzleiter nach Möglichkeit auf 8 Stunden zu begrenzen, was kostenneutral durch die Zentralisierung der Einsatzleitung erreicht werden kann. Weiterhin ermöglicht die moderne Datenkommunikation über das Internet die flexible Verfügbarkeit aller Daten und Informationen, so dass die Einsatzleitung auch außerhalb des Werkhofes erfolgen kann. Hierfür wird der Einsatz internetbasierter Winterdienstmanagementsysteme empfohlen.
- **Know-how des Winterdienstpersonals:** Erfahrungen und Kenntnisse des Winterdienstpersonals sind entscheidend für die Qualität der Winterdiensteinsätze. Um diese fortlaufend zu steigern, sind systematische Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen zu empfehlen. Wesentlich für die Qualitätssteigerung ist die systematische Analyse der durchgeführten Winterdiensteinsätze auf Grundlage protokollierter Einsatzentscheidungen und automatisch erfasster Einsatzdaten. Es wird daher empfohlen, Einsatzdaten (Streuer und Pflug) im Winterdienstfahrzeug automatisch aufzuzeichnen und auch die in der Einsatzzentrale verfügbaren Informationen und getroffenen Einsatzentscheidungen zu archivieren. Weiterhin wird empfohlen, personelle Ressourcen für die systematische Analyse bereit zu stellen.
- **Automatische Einsatzdatenerfassung:** Durch die automatische Einsatzdatenerfassung (Streuer und Pflug) werden die Fahrer der Winterdienstfahrzeuge wesentlich von Protokollierungsaufgaben entlastet und gleichzeitig werden Genauigkeit und Zuverlässigkeit

sigkeit des Einsatznachweises wesentlich gesteigert. Insbesondere bei Fremdunternehmen können die automatisch erfassten Einsatzdaten die Rechnungslegung bzw. die Überprüfung der Rechnungen erheblich vereinfachen und zu einer höheren Genauigkeit der Abrechnungen beitragen. Daher wird zum Einsatznachweis eine automatische Einsatzdatenerfassung empfohlen.

- **Online-Übertragung der Einsatzdaten:** Die fortlaufende Übermittlung von Einsatzdaten an die Einsatzzentrale ermöglicht es dem Einsatzleiter, ständig Standorte und Status der Einsatzfahrzeuge und der Bestand an Streustoffen zu überwachen. Für die Einsatzsteuerung sind diese Daten vielfach nur von nachgeordneter Bedeutung, da nach Einsatzauslösung in der Regel fest vorgegebene Routen betreut werden. Die Einsatzdaten zu den ausgebrachten Streustoffen können mit den geladenen Streumengen überprüft werden. Zu empfehlen ist die Online-Übertragung der Einsatzdaten jedoch dann, wenn aufgrund äußerer Einflüsse, z.B. bei starken Verkehrsbehinderungen, Unfällen und extremen Witterungssituationen mit starken Schneefällen oder Eisregen, die Einsätze flexibel gestaltet werden müssen, wofür der Einsatzleiter ständig über Einsatzstatus und betreute Streckenabschnitte informiert sein sollte.
- **Permanente Messung der Fahrhahnoberflächentemperatur:** Die permanente Messung der Fahrhahnoberflächentemperatur während des Winterdienstesinsatzes kann den Fahrer bei Glätte bekämpfenden Einsätzen die Entscheidung über die richtige Streudichte erleichtern, so dass die Ausrüstung der Winterdienstfahrzeuge mit Infrarotthermometern zu empfehlen ist. Eine unmittelbare und automatische Steuerung der Streudichte hingegen ist nicht generell zu empfehlen, da hiermit keine signifikante Verbesserung der Streudichtewahl gegenüber gut geschultem Winterdienstpersonal erzielbar ist. Sinnvoll kann ihr Einsatz aber zu Schulungszwecken sein.

## 10.2 Entwicklungs- und Untersuchungsbedarf

Winterdienstmanagementsysteme werden u.a. aufgrund der raschen Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnologie fortlaufend weiter entwickelt. Hierbei werden die neuen technischen Möglichkeiten und ihre Potenziale umgesetzt. Daneben sind auch technische, konzeptionelle und organisatorische Entwicklungen zweckmäßig, durch die die Vorteile einzelner Komponenten gesteigert oder Arbeitsabläufe vereinfacht werden können. Nachfolgend sind als Ergebnis der Forschungsarbeit zweckmäßige Entwicklungen und weitergehende Untersuchungen zusammengestellt.

- **Prognosegenauigkeit verbessern:** Wesentliche Komponente eines Winterdienstmanagementsystems ist die Erfassung und Prognose von Straßenzustand und Witterung als Grundlage für die Einsatzentscheidung. Daher sind Entwicklungen voranzutreiben, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Prognose, insbesondere für einen Zeitraum von 2 bis 5 Stunden (Nowcast), soweit erhöhen, dass örtlich und zeitlich differenzierte Einsatzentscheidungen für rechtzeitige Einsätze mit großer Sicherheit möglich sind. Insbesondere die Entwicklung der Bewölkung und des Niederschlags sind im Nowcastbereich entscheidend, denn diese Parameter sind für die Abkühlung, Vereisung oder Schneebedeckung der Fahrbahn entscheidend. Die Wolken- und Niederschlagsbildung werden meist grossräumig beeinflusst und deren Prognose ist auf Seite der Wetterdienste zu verbessern.
- **Nutzung der Einsatzdaten verbessern:** Der Aufwand für die Nutzung automatisch erfasster Einsatzdaten für statistische Auswertungen, Berichte und als Abrechnungsgrundlage für Fremdunternehmer ist vielfach relativ hoch. Dies ist u.a. auf nicht kompatible Schnittstellen zwischen verschiedenen EDV-Systemen zurückzuführen. Daher wird empfohlen, dass Winterdienstbetreiber eindeutige Anforderungen an die Nutzung der erfassten Einsatzdaten definieren und dass die Anbieter der automatisierten Einsatzdatenerfassung diese Anforderungen in ihren Systemen umsetzen. Darüber hinaus empfiehlt sich eine einheitliche, systemunabhängige Datenstruktur, so dass flexibel Abfragen und Berichte generiert werden können.
- **Erfolgskontrolle Winterdienststrategie:** Die sieben definierten Sicherheitskriterien könnten im Rahmen einer Forschungsarbeit vertieft werden, um ein Erfolgskontrolle-Programm für die Effizienz des Winterdienstes zu entwickeln. Für die Umwelt wäre ein achttes Kriterium (geringer Streumittelverbrauch) zu berücksichtigen. Mit einem solchen Instrumentarium wäre es möglich Kenngrößen zu definieren, die man stufenweise erreichen sollte. Diese Kenngrößen wären dann auch bei der Planung neuer WMS zu berücksichtigen und zu optimieren.
- **Kompatible Komponenten entwickeln:** Dem Einsatzleiter stehen vielfältige Komponenten für das Winterdienstmanagement zur Verfügung. Häufig sind diese auf unterschiedlichen Bedienoberflächen implementiert, so dass die Informationen nicht immer vollständig durch den Einsatzleiter erfasst werden. Durch die Integration in eine einheitliche Benutzeroberfläche kann die Nutzung der Informationen gesteigert und gleichzeitig der Einsatzleiter entlastet werden. Daher wird den Anbietern empfohlen, einheitliche Benutzerschnittstellen zu entwickeln, in denen nach Möglichkeit alle Komponenten für die Bereiche Einsatzentscheidung, Einsatzauslösung und Einsatzdokumentati-

on integriert sind. Aufgrund der einfacheren Erfassbarkeit durch den Anwender bieten sich hierfür grafische Benutzerschnittstellen auf kartographischer Grundlage an. Um auch Komponenten unterschiedlicher Anbieter einfach in ein Gesamtsystem integrieren zu können, wird die Entwicklung herstellerunabhängiger Benutzeroberflächen empfohlen.

- **Modulare Struktur der Komponenten:** Die Integration der verschiedenen Komponenten in einem Winterdienstmanagementsystem kann durch eine modulare Struktur mit eindeutigen Schnittstellen erheblich vereinfacht werden. Hierdurch wäre auch die einfache Integration von Systemkomponenten unterschiedlicher Hersteller möglich, was zur Steigerung des Wettbewerbs beitragen kann. Weiterhin wäre der Implementierungsaufwand bei einer modularen Struktur geringer, da die unterschiedlichen Komponenten den spezifischen Anforderungen entsprechend nach dem Baukastenprinzip zusammengestellt und konfiguriert werden könnten. Es wird daher empfohlen, unter Federführung der Systemanwender, d.h. der Winterdienstbetreiber, eine Modulstruktur mit eindeutigen Schnittstellen zu definieren.
- **Schulungs- und Weiterbildungsprogramm entwickeln:** Die Möglichkeiten, die ein umfassendes Winterdienstmanagementsystem bietet, können nur dann bestmöglich genutzt werden, wenn die Einsatzleiter eine sehr hohe Qualifikation besitzen. Es wird daher empfohlen, ein umfassendes Schulungs- und Weiterbildungsprogramm zu entwickeln und landesweit verbindlich für die Einsatzleiter im Winterdienst vorzugeben. Grundlage hierfür können das umfangreiche Datenmaterial und die weit reichenden Erfahrungen sein, die im Kanton Luzern durch das Winterdienstmanagement gesammelt wurden. Im Bereich der Schulung ist eine engere Zusammenarbeit zwischen Winterdienst- und Wetterdienstfachleuten sowie Herstellern anzustreben.
- **Mobile Messeinheiten und netzweite Strassenzustandsprognosen:** Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes haben gezeigt, dass die Nutzung mobil, im Winterdienstfahrzeug erfasster Daten des Strassenzustandes, insbesondere der Fahrbahnoberflächentemperatur, möglich ist (s. Kapitel 5). Hiermit kann wie beim Thermal Mapping der Strassenzustand netzweit dargestellt werden. Offen ist jedoch, in welcher Form diese Daten für die netzweite Darstellung genutzt werden können, da sie nur während eines Winterdiensteinsatzes erfasst werden und somit nicht vorab für die Einsatzentscheidung verfügbar sind. Daher wird empfohlen, Strategien und Algorithmen zu entwickeln, wie diese einfach verfügbaren Daten für die netzweite Übertragung punktuell gemessener Daten und die netzweite Strassenzustandsprognose nutzbar sind. In diesem Zusammenhang sind auch weitere Untersuchungen notwendig,

um die Korrelation zwischen stationär und mobil gemessener Fahrbahnoberflächen-temperatur zu verbessern.

- **Abschnittsbezogene Einsatzauslösung:** Die abschnittsbezogene Differenzierung bei der Prognose des Straßenzustandes wird in Zukunft weiter verbessert werden, z.B. durch die vorgenannte mobile Erfassung des Straßenzustandes bzw. detaillierte Temperaturprofile entsprechend dem System XRWIS (s. Abbildung 3-13). Hiermit wird eine abschnittsbezogene, differenzierte Einsatzauslösung möglich, durch die der Gesamtaufwand des Winterdienstes signifikant reduziert werden kann. Dies lässt sich jedoch nur dann wirksam in die Praxis umsetzen, wenn Einsatzstrategien und -konzepte vorliegen, bei denen die Einsatzfahrzeuge nicht fix festen Routen zugeordnet sind, sondern variabel auf den notwendigen Streckenabschnitten eingesetzt werden. Es wird daher empfohlen, die hierfür notwendige Konzeption einer Einsatzplanung mit variablen Winterdienststruten in der Praxis zu entwickeln, bei der vor allem auch die rechtlichen und betrieblich-organisatorischen Gesichtspunkte, wie Zuständigkeit und Verantwortlichkeit, Streckenkenntnisse, Qualitätsüberwachung, Arbeits- und Personalrecht sowie Vertragsform bei Einsatz von Fremdunternehmern berücksichtigt werden müssen. Für eine Pilotanwendung der flexiblen Einsatzplanung sollten in einer vergleichenden Untersuchung Vor- und Nachteile bewertet werden. Parallel dazu sollten die Chancen, Randbedingungen und Voraussetzungen für den Einsatz des Systems XRWIS analysiert werden.
- **Automatische Einstellung von Streubreite und Streubild:** Die automatische Einstellung von Streubreite und Streubild kann den Fahrer von zahlreichen Schaltvorgängen entlasten und die Streustoffausbringung wirksam verbessern, indem weniger Streustoffe in angrenzende Bankette gelangen und die Fahrbahnen auch bei Querschnittswechseln vollständig abgestreut werden. Dieses System kann sich somit positiv auf die Arbeitsbelastung des Winterdienstpersonals, die Umwelt und die Verkehrssicherheit auswirken sowie durch die Optimierung des Streubildes auch die Kosten für Streustoffe senken. Da es sich hierbei um neue Entwicklungen handelt, die bisher in der Schweiz noch nicht im Einsatz waren, können hierzu keine konkreten Empfehlungen gegeben werden. Aufgrund der homogenen Querschnitte im Autobahnbereich sind diese Systeme jedoch in erster Linie für Kantons- und Gemeindestraßen sinnvoll einsetzbar. Es wird empfohlen, die Erfahrungen aus dem Ausland zusammenzutragen und hierauf aufbauend in einem Pilotversuch den Einsatz der automatischen Einstellung von Streubreite und Streubild zu begleiten.

- **Kommunikationskonzept Verkehrsteilnehmer:** Da die frühzeitige Information der Verkehrsteilnehmer über winterliche Fahrbahnzustände zu einer angepassten Fahrweise und ggf. zur Reduktion nicht notwendiger Fahrten führen kann, kann diese zur Steigerung der Verkehrssicherheit beitragen. Daher wird empfohlen, Mess- und Prognosedaten verstärkt den Verkehrsteilnehmern zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist eine nutzerfreundliche Aufbereitung der Informationen, z.B. im Internet, in Autobahnraststätten, über Natel, Radio etc. zweckmäßig. Es wird daher empfohlen, ein landesweites Konzept sowohl für die technische (welche Kommunikationswege) als auch die informatorische Umsetzung (welche Daten und Informationen) zu entwickeln.

## Literaturverzeichnis

ABAY, G.

Wirksamkeit des Winterdienstes  
Forschungsauftrag VSS 1999/246, Rapp Trans AG Zürich  
UVEK/Bundesamt für Strassen  
Zürich 2005

ASFINAG – AUTOBAHNEN- UND SCHNELLSTRAßEN-FINANZIERUNGS-  
AKTIENGESELLSCHAFT

Straßenwetterstationen – Standard für Planung, Ausführung und Instandhaltung -  
Entwurf  
Planungshandbuch der ASFiNAG, PLaNT 210.100.10  
Wien 2005

AUDERGON, J. / VIONNEY, J.-P

Rapport final sur le contrôle de l'efficacité du système de salage économique, Ther-  
momat. Service d'entretien des routes nationales du canton de Fribourg  
Mai 2005 (nicht publiziert)

BADEL, H. / MORITZ, K.

Use of Data on Road Condition and Weather for Winter Maintenance  
in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany  
Annalen der Meteorologie, Band 40  
Offenbach am Main 2004

BAST – BUNDESANSTALT FÜR STRAßENWESEN

Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen – Ausgabe 2002 (TLS 2002)  
Bergisch Gladbach 2002

BAUMANN, D.

EuroRAP in der Schweiz, Straße und Verkehr Nr.3, März 2007

BRODARD, P.-A.

Surface Condition Management - A global concept for winter maintenance operations  
in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany  
Annalen der Meteorologie, Band 40  
Offenbach am Main 2004

CHAPMAN, L. / HANDA, H. / YAO, X. / THORNES, J. E.

Salting Route Optimisation Using XRWIS and Evolutionary Computation  
in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference  
Turin 2006

DURTH, W. / HANKE, H. / LEVIN, CH.

Wirksamkeit des Straßenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes,  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik  
Bonn-Bad Godesberg 1989

DURTH, W. / BARK, A. / LEVIN, C. / MATTEß, V.

Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufes auf Bundesautobahnen  
Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 719  
Bonn 1996

DURTH, W. / HANKE, H.

Handbuch Strassenwinterdienst, Kirschbaum Verlag  
Bonn 2004

ENDRULAT, T.

A Java-based Data Presentation System for RWIS Data and Forecasts  
in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference  
Turin 2006

ERIKSSON, D.

Reducing salt consumption by using RWIS and Mesoscale data  
in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

FHA – Federal Highway Agency

Clarus – America's 21<sup>st</sup> Century Surface Transportation Weather Observing and Forecasting System  
[www.clarusinitiative.org](http://www.clarusinitiative.org) 2004

HANDBALI, R.M.

The Economic Impact of Winter Road Maintenance on Road Users.

in: Proceedings IX<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC

Seefeld 1994

HANKE, H.

Winter Maintenance Management by the Use of Floating Car Data

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)

Turin 2006

HIETANEN, S.

Cost-efficiency and interactivity for Winter Maintenance Process with Mobile Technology

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)

Turin 2006

HOLLDORB, C. / IHS, A. / HERGA-LUIS, L. / SKERLAN, M. / COCU, X.

Winter Maintenance Management System

in COST 344, Improvements to Snow and Ice Control on European Roads and

Bridges - Documentation for the final Seminar Ljubljana, December 9.- 10 2002

Ljubljana 2002

HOLLDORB, C.

Concept for the Modular Structure of Winter Maintenance Management Systems

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)

Turin 2006

HOPWOOD, P.

Improvements in Road Forecasting Techniques & their Applications

in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany

Annalen der Meteorologie, Band 40

Offenbach am Main 2004

KAGAYA, H. / KAJIYA, Y. / YAMAGIWA, Y.

Smart Sapporo Snow Information Experiment

in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany

Annalen der Meteorologie, Band 40

Offenbach am Main 2004

KAJIYA, Y. / YAMAGIWA, Y. / MATSUDA, Y.

Needs for Winter Road Information in Hokkaido and Government-Resident Partnership  
in Gathering and Providing Information

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

KANTON LUZERN – STRAßENINSPEKTORAT

223\_100 Fachordner Winterdienst, Ausgabe 31.12.2002

Emmenbrücke 2002 (unveröffentlicht)

KANTON LUZERN – STRAßENINSPEKTORAT

Handbuch Winterdienst 2006 / 2007 National- und Kantonsstraßen

Emmenbrücke 2006 ([www.vif.lu.ch/handbuch\\_2006\\_07\\_internet.pdf](http://www.vif.lu.ch/handbuch_2006_07_internet.pdf))

KOMURO, T. / OZASA, K. / MORIYAMA, K.

Snow and Ice Control Measures on Expressways during the Winter Period

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

KNUDSEN, F.

GPS Controlled spreading

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

LAHTINEN, E. / KANTONEN, J.

Finnish Road Weather Camera System

in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany

Annalen der Meteorologie, Band 40

Offenbach am Main 2004

LANG, J.

Data Management in Road Maintenance

in: New Way in Road Maintenance, European Symposium in Mainz on 23.03.2000

Karlsruhe 2000 (unveröffentlicht)

LELAND, T. / BERG, J.

Competitive Bidding and Management of Contracts for Winter Operation Activities in Norway

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

MAHONEY, W. / MYERS, W. / PISANO, P. / HALLOWELL, R. / STERN, A.

The U.S. Federal Highway Administration Winter Road Maintenance Decision Support System (MDSS) Project: Overview and Results

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

MATHIS, A.

Reengineering winter road maintenance: Decision making process

in: SIRWEC 2000, X International Road Weather Conference  
Davos 2000

MATSUZAWA, M. / KAJIYA, Y. / SUZUKI, T.

Research on a Safe-Driving Support System for Winter Roads

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)  
Turin 2006

MEINDL, T. / MONIACI, W. / PASERO, E.

Ice Detection and Forecasting System

in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference  
Turin 2006

MYLLYLÄ, J. / PILLI-SIHVOLA, Y.

Floating Car Road Weather Monitoring

in: 11<sup>th</sup> SIRWEC Conference, Sapporo  
Sapporo 2002

NIEBRÜGGE, L.

Erfahrungen mit der zentralen Winterdienststeuerung beim Landschaftsverband Westfalen-Lippe

in: Kolloquium Straßenbetriebsdienst 1999 der FGSV  
Köln 1999

OECD

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

PASERO, E. / MONIACI, W. / MEINDL, T. / MONTUOSI, A.

NEMEFO: NEural MEteorological FOrecast

in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany

Annalen der Meteorologie, Band 40

Offenbach am Main 2004

PASERO, E. / MEINDL, T. / RICCARDI, M.

Mobile Road Weather Monitoring

in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference

Turin 2006

PIARC TECHNICAL COMMITTEE ON WINTER MAINTENANCE (TC 3.4)

Snow & Ice Databook, Edition 2006

La Défense Cedex 2006

PILLI-SIHVOLA, Y. / TOIVONEN, K. / HAAVASOJA, T. / HAAVISTO, V. / NYLANDER, P.

New Approach to Road Weather: Measuring Slipperiness

in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference

Turin 2006

PISANO, A.P. / GOODWIN, L.C. / STERN, A.D.

U.S. Road Weather Management Program – Sensor Siting and Weather Information Integration Projects

in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference

Turin 2006

RODRIGUEZ, M. / DUMONT, A.-G.

Zweckmässigkeitsuntersuchung von automatischen Taumittelsprühanlagen - Nationalstraßennetz des Kantons Zürich

Bericht im Auftrag der Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt - Straßeninspektorat

ÉPFL – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire des voies de circulation

Lausanne 2006

RUESS, B.

Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst, Optimierung der Kosten/Nutzen-  
Verhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und sicherheitsrelevanten Faktoren  
Forschungsauftrag VSS 4/95, RUS AG, UVEK/Bundesamt für Strassen  
Zürich 1998

RUESS, B.

Indikator der Winterlichkeit, Berücksichtigung der verschiedenen Klimaregionen der  
Schweiz,  
RUS AG, Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation,  
Bundesamt für Strassen 2004 (unveröffentlicht)

SAGASSER, P. (1982).

Nutzen- Kosten-Analyse einer Salzstreuung im Winter. Strassen- und Tiefbau, Hefte  
11 und 12

SASS, B.H. / PETERSEN, C.

A coupled automatic road-weather forecasting system  
in: SIRWEC 2004, 12<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Bingen, Germany  
Annalen der Meteorologie, Band 40  
Offenbach am Main 2004

SCHMID, W. / MATHIS, A. / KELLER, U.

Nowcasting the Risk for Snowfall and Freezing Rain with Radar and Ground Data  
in: SIRWEC 2002, 11<sup>th</sup> International Road Weather Conference in Sapporo, Japan  
Sapporo 2002

SOMMER, B.

VINTERMAN - The Danish Winter Maintenance Management System  
Road Directorate, Ministry of Transport Denmark,  
Kopenhagen 2002

THOMAS, R.

stand der Europäischen Normung im Straßenbetriebsdienst  
in: Kolloquium Straßenbetriebsdienst 2005 der FGSV  
Köln 2005

THORNES, J.E. / CHAPMAN, L. / WHITE, S.

XRWIS: A New Paradigm for Winter Road Maintenance

in: SIRWEC 2006, XIII International Road Weather Conference

Turin 2006

VIGREUX, J.L. / POURTOIS, C.

System for ensuring winter road serviceability in the Walloon Region

in: Proceedings XII<sup>th</sup> International Winter Road Congress of AIPCR/PIARC (CD-Rom)

Turin 2006

## Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abbildung 3-1: Komponenten eines Winterdienstmanagementsystems, nach HOLLDORB [2006]	3-2
Abbildung 3-2: Die Produkte und Prognosen vom System MeteoSoft (Quelle Website <a href="http://www.MeteoSoft.ch">www.MeteoSoft.ch</a> )	3-5
Abbildung 3-3: Beispiel Entscheidungskriterium 3. Rauhreif = Glatteis, Kanton Luzern (Auszug aus Winterdienst, Entscheidungsgrundlagen für den Winterdienstleiter, Kanton Luzern, 20.08.2003)	3-10
Abbildung 3-4: Kantonsstrasse bei Litzhut, Rauhreifsituation (Kanton Luzern, Foto H.-R. Stadelmann, 11.06.2006)	3-11
Abbildung 3-5: Darstellung der aktuellen Position des Einsatzfahrzeugs gemeinsam mit den Daten der Glättemeldeanlagen in einer Übersichtskarte mit dem System BORRMA-web [BRODARD 2004]	3-13
Abbildung 3-6: Detaillierte Einsatzdokumentation mit Hilfe automatisch erfasster Einsatzdaten, Beispiel Werkhof Fribourg-Nord	3-14
Abbildung 3-7: Zusammenstellung der Winterdiensteinsätze für die Abrechnung eines Nachunternehmers auf Grundlage automatisch erfasster Einsatzdaten im Kanton Luzern	3-15
Abbildung 3-8: Das Dänische Winterdienstmanagementsystem mit den unabhängigen Modulen RWIS und WINTERMAN [PIARC 2006]	3-19
Abbildung 3-9: Informationen zum Straßenzustand für die Verkehrsteilnehmer im Baltikum, Quelle: <a href="http://www.balticroads.net">www.balticroads.net</a>	3-22
Abbildung 3-10: Automatische Informationsanzeige über Straßenzustand und Winterdiensteinsatz im Internet in Island, Quelle: <a href="http://www.vegagerdin.is">www.vegagerdin.is</a>	3-25
Abbildung 3-11: Visualisierung von Wetterprognose und Messdaten mit JAVA Map 3, entnommen ENDRULAT [2006]	3-26
Abbildung 3-12: Systemübersicht NEMEFO , entnommen MEINDL et al. [2006]	3-27

- Abbildung 3-13: Visualisierung des Systems XRWIS mit a) Darstellung der Fahrbahntemperatur, b) Darstellung des Straßenzustands, c) zeitliche Entwicklung der Fahrbahntemperatur und d) Empfehlung zum Winterdiensteinsatz, entnommen THORNES et al [2006] 3-32
- Abbildung 3-14: Das in den USA entwickelte System zur Unterstützung der Einsatzentscheidung (MDSS), links: Gesamtdarstellung mit abschnittsbezogener Prognose sowie Einsatzempfehlungen und rechts: Simulation des Fahrbahnzustands bei unterschiedlichen Einsatzstrategien, entnommen: MAHONEY et al [2006] 3-33
- Abbildung 3-15: Visualisierung der Einsatzdaten eines Winterdiensteinsatzes im System Vinterman, entnommen SOMMER [2002] 3-35
- Abbildung 4-1: Einsatzentscheide zwischen 15.11.2005 und 15.03.2006 im Werkhof Sprengi, differenziert nach Einsatzkriterien 4-10
- Abbildung 4-2: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Sprengi 4-11
- Abbildung 4-3: Wesentliche Informationsquellen für den Einsatzentscheid bei Ersteinsätzen im Werkhof Sprengi, differenziert nach Einsatzkriterien 4-12
- Abbildung 4-4: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Sprengi 4-13
- Abbildung 4-5: Abweichungen der Streuparameter während des Einsatzes von der Vorgabe des Aufgebots für den Werkhof Sprengi 4-14
- Abbildung 4-6: Übereinstimmung der Messdaten der Straßen- und der Klimastationen mit den vorhergesagten Werten während des Winterdiensteinsatzes für den Werkhof Sprengi 4-15
- Abbildung 4-7: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Winterthur 4-17
- Abbildung 4-8: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Winterthur 4-17
- Abbildung 4-9: Schneeräumung auf der Autobahnstrecke des Werkhofs Winterthur (05.03.2006) 4-18

Abbildung 4-10: Informationsquellen für die Einsatzentscheidung der zentralen Einsatzleitung des Kantons Fribourg	4-20
Abbildung 4-11: Informationsquellen für die Einsatzentscheidung der Einsatzleitung des Werkhofs Fribourg-Nord bei Ersteinsätzen	4-20
Abbildung 4-12: Informationsquellen für den Einsatzentscheid im Werkhof Fribourg-Nord (Zusammenfassung der Angaben von zentraler Einsatzleitung des Kantons und lokaler Einsatzleitung des Werkhofs)	4-21
Abbildung 4-13: Bedeutung der Messstationen für den Einsatzentscheid im Werkhof Fribourg-Nord (Zusammenfassung der Angaben von zentraler Einsatzleitung des Kantons und lokaler Einsatzleitung des Werkhofs)	4-22
Abbildung 4-14: Informationsquellen der Einsatzentscheidungen bei Ersteinsätzen in den drei Werkhöfen	4-26
Abbildung 4-15: Zeitbedarf für die Nutzung aufgezeichneter Einsatzdaten des Winterdienstes auf den Nationalstraßen im Kanton Luzern im Winter 2005/2006	4-31
Abbildung 5-1: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung für alle Wertepaare ohne offensichtliche Datenfehler	5-4
Abbildung 5-2: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung, nach Messstation differenziert	5-4
Abbildung 5-3: Korrelation der Messdaten der mobilen und der stationären Messung, nach Fahrzeugen differenziert	5-5
Abbildung 5-4: Korrelation ausgewählter Messdaten (nur feuchte oder nasse Fahrbahn, nur Temperaturen der mobilen Messungen über 0° C, ohne Station V. Gruyères)	5-7
Abbildung 5-5: Korrelation zwischen stationär gemessener Belagstemperatur und errechneter Belagstemperatur, die unter Berücksichtigung eines einsatzspezifischen Korrekturwertes aus dem Messwert des mobilen Infrarotthermometers abgeleitet wurde	5-8
Abbildung 6-1: Untersuchungsregion Zentralschweiz	6-2

Abbildung 7-1:	Jahreskosten eines durchschnittlichen Werkhofs für die Ausstattung mit Kommunikationstechnologie für den Winterdienst	7-8
Abbildung 7-2:	mittlere Anteile der einzelnen Komponenten an den Jahreskosten für die Ausstattung eines durchschnittlichen Werkhofs mit Kommunikationstechnologie für den Winterdienst	7-8
Abbildung 8-1:	Winterdienst-Prozess Winterthur, Glatteis	8-14
Abbildung 8-2:	Winterdienst-Prozess Fribourg, Glatteis	8-15
Abbildung 8-3:	Winterdienst-Prozesse Werkhof Sprengi, Glatteis und Schneeglätte	8-16
Abbildung 8-4:	Schema Vorlaufzeit und effektive Glättezeit in den Werkhöfen Winterthur, Fribourg Nord (Situation am Tag) und Sprengi. Die Balken entsprechen den Zahlen in den Winterdienst-Prozess-Diagrammen	8-17
Abbildung 8-5:	Prognose Fahrbahntemperatur auf dem ganzen Netz im Kanton Luzern basierend auf das Thermal Mapping	8-19
Abbildung 8-6:	Zwei Einsätze zum richtigen Zeitpunkt im Kanton Luzern konnten die Glättebildung durch Eisregen in der kritischen Nacht vom 30/31.12.05 verhindern (Eisregen: grün)	8-21
Abbildung 8-7:	Zustand einer Kantonsstrasse im Kanton Luzern am kritischen Morgen (nach Eisregen) vom 31.12.2005 (10.55 Uhr)	8-25
Abbildung 8-8:	Zustand der gleichen Kantonsstrasse gleich angrenzend im benachbarten Kanton ohne WMS und zentraler Alarmierung am 31.12.2005 (10.51 Uhr)	8-25
Abbildung 8-9:	Monatliche Zugriffe auf die Webseite des Kantons Luzern mit Informationen zu den Glättemeldeanlagen und zu den Prognosen.	8-27
Abbildung 8-10:	Vergleich der statistischen Unfallraten auf den Autobahnen der Kantone Fribourg, Luzern und Zürich (A1, A4, A7), Jahre 1993 - 2005	8-29
Abbildung 8-11:	Vergleich der statistischen Unfallraten auf den Autobahnen im Kanton Luzern vor/nach Einführung des WMS und während der Übergangsphase	8-30

Abbildung 8-12: Winterglätten. Auszug aus dem Handbuch Winterdienst 2006/2007,  
National- und Kantonsstraßen, Kanton Luzern 8-46

Abbildung 9-1: Winterdienstmanagementsystem und Verkehrssicherheit:  
Zusammenspiel der Sicherheitskriterien 9-5

## Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tabelle 1-1: Die Untersuchungen und das Bearbeitungsteam	1-3
Tabelle 3-1: Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Luzern	3-7
Tabelle 3-2: Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Zürich	3-7
Tabelle 3-3: Komponenten des Straßenwetterinformationssystems Kanton Fribourg	3-8
Tabelle 3-4: Entscheidungskriterien (Meteokriterien) für den Einsatz im Werkhof Sprengi	3-9
Tabelle 3-5: Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien im Winterdienst auf den Außerortsstraßen in Europa, nach [HOLLDORB et al 2002]	3-16
Tabelle 4-1: Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Sprengi (Kanton Luzern); Quelle: KANTON LUZERN [2002]	4-3
Tabelle 4-2: Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Winterthur (Kanton Zürich)	4-4
Tabelle 4-3: Verfügbare Managementkomponenten für den Winterdienst im Werkhof Fribourg-Nord (Kanton Fribourg)	4-6
Tabelle 4-4: Kennzahlen der durchgeführten Winterdiensteinsätze in den drei untersuchten Werkhöfen für den Untersuchungszeitraum 15.11.2005 bis 15.03.2006 (Werkhof Fribourg-Nord 15.12.2005 – 15.03.2006)	4-28
Tabelle 5-1: Lage der berücksichtigten Messstationen	5-2
Tabelle 5-2: Anzahl der ausgewerteten Wertepaare je Station und Fahrzeug	5-3
Tabelle 6-1: Standardabweichung der Minimumtemperatur (°C). Zusammenfassung des ganzen Winters (Monate November 2005 bis März 2006)	6-3
Tabelle 6-2: Standardabweichung der Nullgradunterschreitung (Stunden)	6-3
Tabelle 6-3: Prognosequalität Frost/kein Frost (in %; ganzer Winter)	6-3

Tabelle 7-1:	Zusammenstellung von Investitions- und Jahreskosten für die Komponenten eines Winterdienstmanagementsystems	7-6
Tabelle 8-1:	Allgemeine Informationen zu den drei Werkhöfen	8-10
Tabelle 8-2:	Sicherheitskriterium 1: Reaktionszeit, Einsatzdauer	8-11
Tabelle 8-3:	Sicherheitskriterium 2: Strategie Verhinderung Glätte	8-13
Tabelle 8-4:	Sicherheitskriterium 3: Jede lokale Glätte erfassen (geografische Komponente)	8-20
Tabelle 8-5:	Sicherheitskriterium 4: Auf jede Wettersituation richtig reagieren	8-22
Tabelle 8-6:	Sicherheitskriterium 5: Know-how durch Qualitätssicherung	8-23
Tabelle 8-7:	Sicherheitskriterium 6: Alarmierung ganzer Kanton	8-26
Tabelle 8-8:	Umweltrelevante Kriterien	8-33
Tabelle 8-9:	Vorgegebene Streumengen im Werkhof Sprengi [HANDBUCH WINTERDIENST 2006]	8-34
Tabelle 8-10:	Kriterien mit Relevanz für die Wirtschaftlichkeit	8-38
Tabelle 8-11:	Stellenabbau bei der Überwachung und bei den Kontrollern durch die Einführung eines WMS mit zentralisierter Überwachung und Alarmierung	8-40
Tabelle 8-12:	Soziale Kriterien aufgrund der in den drei untersuchten Werkhöfen durchgeführten Interviews	8-44

## **Verzeichnis des Anhangs**

Anhang 4.1: Erhebungsprotokolle (Beispiel Werkhof Sprengi)

Anhang 4.2: Einsatzdaten in Listenform (Beispiel Werkhof Fribourg-Nord)

Anhang 4.3: Aggregierte Beschreibung von Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes (Beispiel Werkhof Winterthur)

Anhang 4.4: Erfassungsprotokoll zur Nutzung aufgezeichneter Einsatzdaten (Beispiel Werkhof Sprengi)

Anhang 5.1: Erläuterungen zur Methodik der Analyse des Vergleichs von stationären und mobilen Messungen der Fahrbahntemperatur

Anhang 6.1: Lage der Messstationen in Zug und Luzern

Anhang 8.1: Unfallzahlen

Anhang 8.2: Winterdienst-Prozess Winterthur, Schneeglätte

Anhang 8.3: Winterdienst-Prozess Fribourg Nord, Schneeglätte

**Anhang**

### Anhang 4.1: Erhebungsprotokoll (Beispiel Werkhof Sprengi)

Forschungsprojekt VSS 2003/601

Kanton Luzern

#### Analyse der Einsatzentscheidung im Winterdienst

Bitte protokollieren Sie für den Bereich der **Nationalstraßen** jede Einsatzentscheidung möglichst unmittelbar während des Einsatzes. Alle Auswertungen erfolgen anonymisiert. Für Rückfragen wenden Sie sich bitte an Herrn Dr.-Ing. Christian Holldorb (Tel. +49 173 2407717, christian.holldorb@holldorb-consult.de).

Name Einsatzleiter: <u>Bonassi</u>		Datum: <u>28.11.05</u>	
<b>Einsatzart:</b> <input type="checkbox"/> Präventiv <input checked="" type="checkbox"/> Streuen <input type="checkbox"/> Räumen/ Streuen <input type="checkbox"/> _____ <input checked="" type="checkbox"/> Ersteinsatz <input type="checkbox"/> Wiederholung <hr/> <b>Straßenzustand:</b> <input type="checkbox"/> Glatteis <input checked="" type="checkbox"/> Eisglätte <input type="checkbox"/> Schneeglätte <input type="checkbox"/> Reifglätte	<b>Zeitpunkt Einsatzentscheidung: (Pageraufwurf)</b> <u>16.58</u> Uhr	<b>aufgebotene Fahrzeuge:</b> Streustrecke <input checked="" type="checkbox"/> F500 Haupt Job-Nr. <u>9267</u> <input checked="" type="checkbox"/> F510 Anschl. Job-Nr. <u>9348</u> <input type="checkbox"/> F511 Über Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F520 A 2 Süd Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F521 A 2 Über Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F522 Überh. Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F530 Haupt Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F531 Anschl. Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F532 Überh. Job-Nr. _____ <input type="checkbox"/> F540 Verzweig Job-Nr. _____	
	<b>Einsatzkriterien (1 - 13):</b> <u>9</u> _____ _____	<b>Streustoff:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Feuchtsalz FS 30 <input type="checkbox"/> Salz	
<b>Maßgebende Informationen für die Einsatzentscheidung (Bitte maximal 2 angeben!)</b> <input checked="" type="checkbox"/> Glättemeldeanlage <input type="checkbox"/> Vorhersage (Forecast) <input type="checkbox"/> Wetterradar <input type="checkbox"/> Raincast Meteoradar <input type="checkbox"/> Risikoanalyse <input type="checkbox"/> ANETZ-Daten <input type="checkbox"/> Strassenwetterwarnungen <input type="checkbox"/> Meldung Controller <input type="checkbox"/> Meldung Fahrer <input type="checkbox"/> Meldung Polizei <input type="checkbox"/> Meldung _____ <input type="checkbox"/> _____	<b>bei Glättemeldeanlagen</b> Maßgebende Wetterstationen: 1. <u>4.8 Stänglematten</u> 2. _____ Maßgebende Parameter (Ist-Wert): 1. <u>Oberf. Temp. +0.4°</u> 2. _____	<b>Bei Lokale Risikoanalyse</b> Maßgebende Klimastationen im Raincast Meteoradar (Klimazone 1 - 9) 1. <u>3. Roggliswil</u> 2. <u>4. Buttisholz</u> 3. _____	
	<b>Vorhersage (Forecast) Klimastationen 1 - 9</b> Maßgebende Klimastationen <u>3.1/4.0/8.1</u> _____ Maßgebende Parameter: 1. _____ 2. _____ <input type="checkbox"/> Ist-Wert <input checked="" type="checkbox"/> Prognosewert	<b>Bei ANETZ-Daten</b> Maßgebende Stationen 1. <u>/</u> 2. <u>/</u> Maßgebende Parameter 1. <u>/</u> 2. <u>/</u>	
	<b>Verbale Beschreibung der Einsatzentscheidung und weitere Bemerkungen</b> (bei Bedarf bitte Rückseite oder weitere Blätter verwenden.) _____ _____		

**Anhang 4.2: Einsatzdaten in Listenform (Beispiel Werkhof Fribourg-Nord)**

**Einsatzliste**

Zeltrraum vom 30.11.2005 21:40:00 bis 01.03.2006 21:40:00

Anzahl Einsätze 88

Zentrum CE Fribourg-Nord

Fahrzeug

Startzeit	Endzeit	Fahrer	Einsatz			Fahrzeug			Lade frontale		Streifen									
			Dauer Einsatz	Std	Dist [m]	eff Std	Fahrzeit Std	Dist. [m]	Std	Dist. Salzstreuer [m]	Std Salzstreuer	Dauer S-Produkt [min]	Dist S-Produkt [m]	Dauer flüssiges S-Produkt [min]	Dist. flüssiges S-Produkt [m]	Menge flüssiges S-Produkt [l]	Menge S-Produkt [kg]	Menge flüssiges S-Produkt [l]	Fläche S-Produkt [m <sup>2</sup> ]	Fläche flüssiges S-Produkt [m <sup>2</sup> ]
08.12.2005 09:21:14	08.12.2005 10:28:21		1:07:07	1:07:07	46243	0:54:29	0:12:38													
12.12.2005 08:32:01	12.12.2005 10:05:31		0:33:30	0:33:30	10784	0:14:42	0:18:48													
14.12.2005 10:10:43	14.12.2005 10:20:51		0:10:08	0:10:08	5748	0:03:08	0:07:00													
16.12.2005 07:49:57	16.12.2005 07:52:39		0:02:42	0:02:42	1426	0:00:00	0:02:42													
16.12.2005 07:56:51	16.12.2005 08:18:58		1:22:07	1:22:07	47834	0:03:27	1:18:40													
16.12.2005 10:17:12	16.12.2005 11:30:00		1:12:48	1:12:48	53882	0:51:29	0:21:19													
16.12.2005 14:13:23	16.12.2005 14:17:20		0:03:57	0:03:57	195	0:00:00	0:03:57													
17.12.2005 03:20:10	17.12.2005 06:20:31		2:00:21	2:00:21	72100	1:24:39	0:36:42													
17.12.2005 12:26:17	17.12.2005 12:34:46		0:08:29	0:08:29	175	0:00:00	0:08:29													
17.12.2005 13:56:08	17.12.2005 16:40:03		1:43:55	1:43:55	70104	0:53:29	0:50:26													
17.12.2005 18:18:59	17.12.2005 19:24:17		1:05:18	1:05:18	54782	0:46:09	0:25:09													
18.12.2005 01:22:16	18.12.2005 03:22:01		1:59:45	1:59:45	70782	1:36:52	0:22:53													
18.12.2005 04:48:14	18.12.2005 06:21:41		1:33:27	1:33:27	64900	1:10:22	0:23:05													
18.12.2005 06:35:05	18.12.2005 08:46:51		1:11:46	1:11:46	41212	0:57:20	0:14:26													
18.12.2005 10:00:34	18.12.2005 11:03:36		1:03:02	1:03:02	40865	0:53:44	0:05:18													
18.12.2005 11:10:31	18.12.2005 11:15:12		0:04:41	0:04:41	14	0:00:00	0:04:41													
18.12.2005 13:51:54	18.12.2005 14:07:05		0:15:11	0:15:11	117	0:00:00	0:15:11													
18.12.2005 21:03:28	18.12.2005 22:21:57		1:18:29	1:18:29	65342	0:28:26	0:50:03													

### Anhang 4.3: Aggregierte Beschreibung von Witterung und Straßenzustand während des Einsatzes (Beispiel Werkhof Winterthur)

Forschungsprojekt VSS 2003/601

**Werkhof Winterthur GMA Auswertung November 2005**  
05-11-21 2130 Route 1

<b>Zeitpunkt Einsatzentscheid</b>	von 21:30	bis /
<b>maßgebende Einsatzzeit:</b>	21:50	23:15

#### Auswertung maßgebende GMA-Stationen (Ist-Daten)

Station	Oberflächentemperatur FBT1	Niederschlag NSA & NSI	Straßenzustand FBZ1 & WFH1	Streuzeitpunkt Veränderung CF1 & GP1
Nr. 54	1.8 bis 0.7 Maximum	kein NS 0.0	feuchtnass 0.2	22:05
Nr. 55	1.0 bis 0.0 Maximum dann fallend	kein NS 0.0	feuchtnass 0.2 bis 0.1	22:15
Nr. 56	1.6 bis 0.3 zunächst sehr konstant	kein NS 0.0	feuchtnass 0.2	22:15
Nr. 57	2.2 bis 0.8 zunächst gleichmäßig, dann fallend	kein NS 0.0	feuchtnass 0.2	22:21

#### Interpretation

Nr. 54: CF1 Wert steigt auf 16%

Nr. 55 CF zunächst nicht gemessen, dann von 39 % ansteigend

Nr. 56: zuvor war CF1 nicht gemessen worden, dann von 22 % ansteigend

Nr. 57: zuvor war CF1 nicht gemessen worden, dann von 6 % ansteigend

### Anhang 4.4: Erfassungsprotokoll zur Nutzung aufgezeichneter Einsatzdaten (Beispiel Werkhof Sprengi)

Forschungsprojekt VSS 2003/601

Kanton Luzern

#### Analyse der Nutzung von aufgezeichneten Einsatzdaten im Winterdienst

Bitte protokollieren Sie alle Auswertungen (Protokolle, Berichte, Statistiken, Nachweise etc.) zu Winterdienstseinsätzen, bei denen Einsätze auf Nationalstrassen berücksichtigt werden, möglichst unmittelbar während der Auswertung. Fügen Sie bitte exemplarisch für jede Art der Auswertung einen Ausdruck der Auswertung als Kopie bei. Alle Analysen dieser Protokolle erfolgen anonymisiert. Für Rückfragen wenden Sie sich bitte an Herrn Dr.-Ing. Christian Holdorb (Tel. +49 173 2407717, christian.holdorb@holdorb-consult.de).

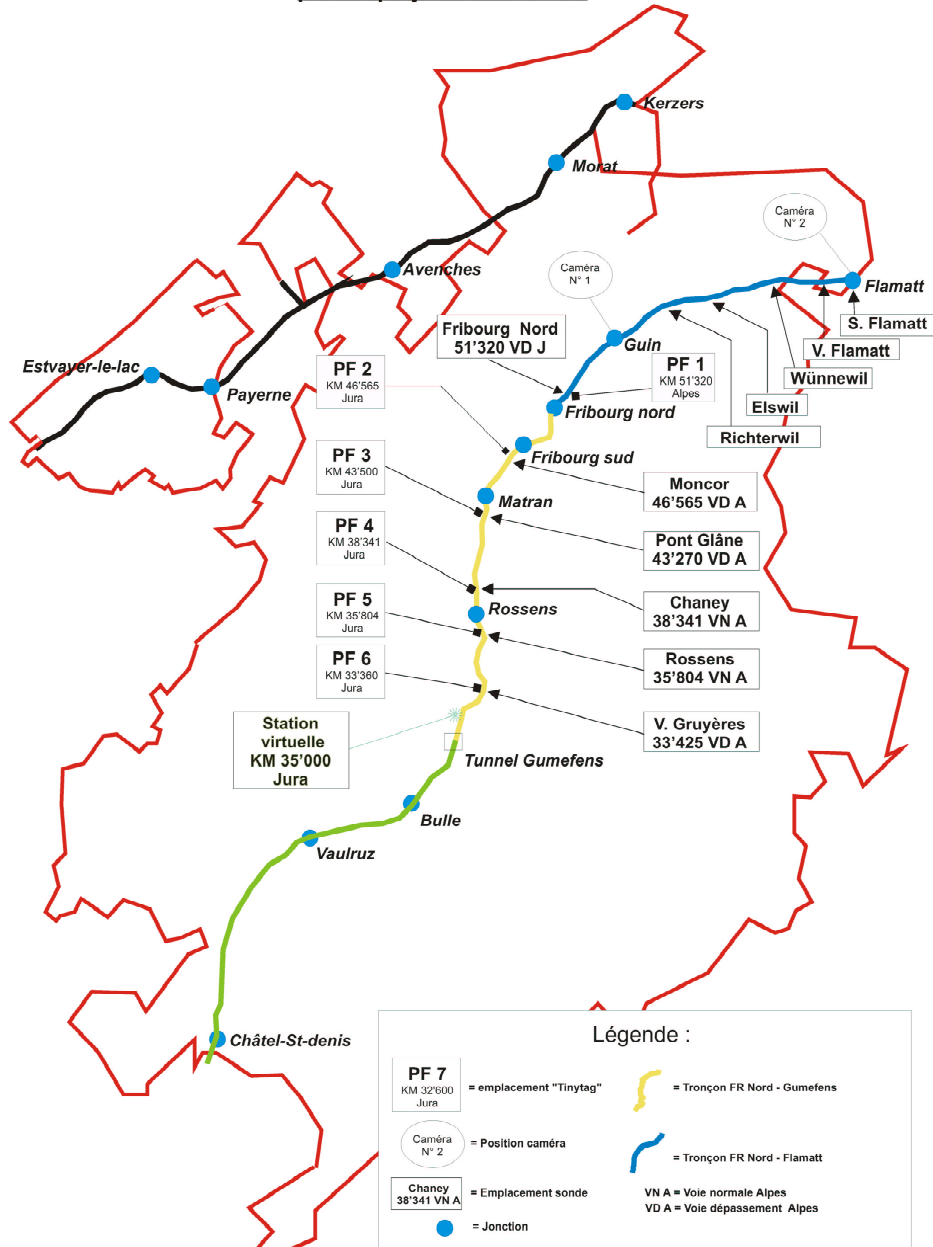
Nr.	Datum	Bezeichnung der Auswertung	Grund der Auswertung	Anzahl Einzelauswertungen	Ausgewerteter Zeitraum	Ausgewertete Teilmenge (z.B. Teilnetze, Fahrzeuge)	Datenquelle (Programmname, Protokollart etc.)	Methodik der Auswertung (ggf. nummerieren und sep. erläutern)	Zeitbedarf für die Auswertung [min]	Name des Auswerters

## Anhang 5.1: Lage der Messstationen für den Vergleich stationärer und mobiler Messungen der Fahrbahntemperatur

Service des ponts et chaussées  
 Section entretien des routes nationales et cantonales  
 Secteur entretien des routes nationales

Granges-Paccot, le 08.12.05

### Emplacement des sondes de mesure pour le projet VSS 2003/601

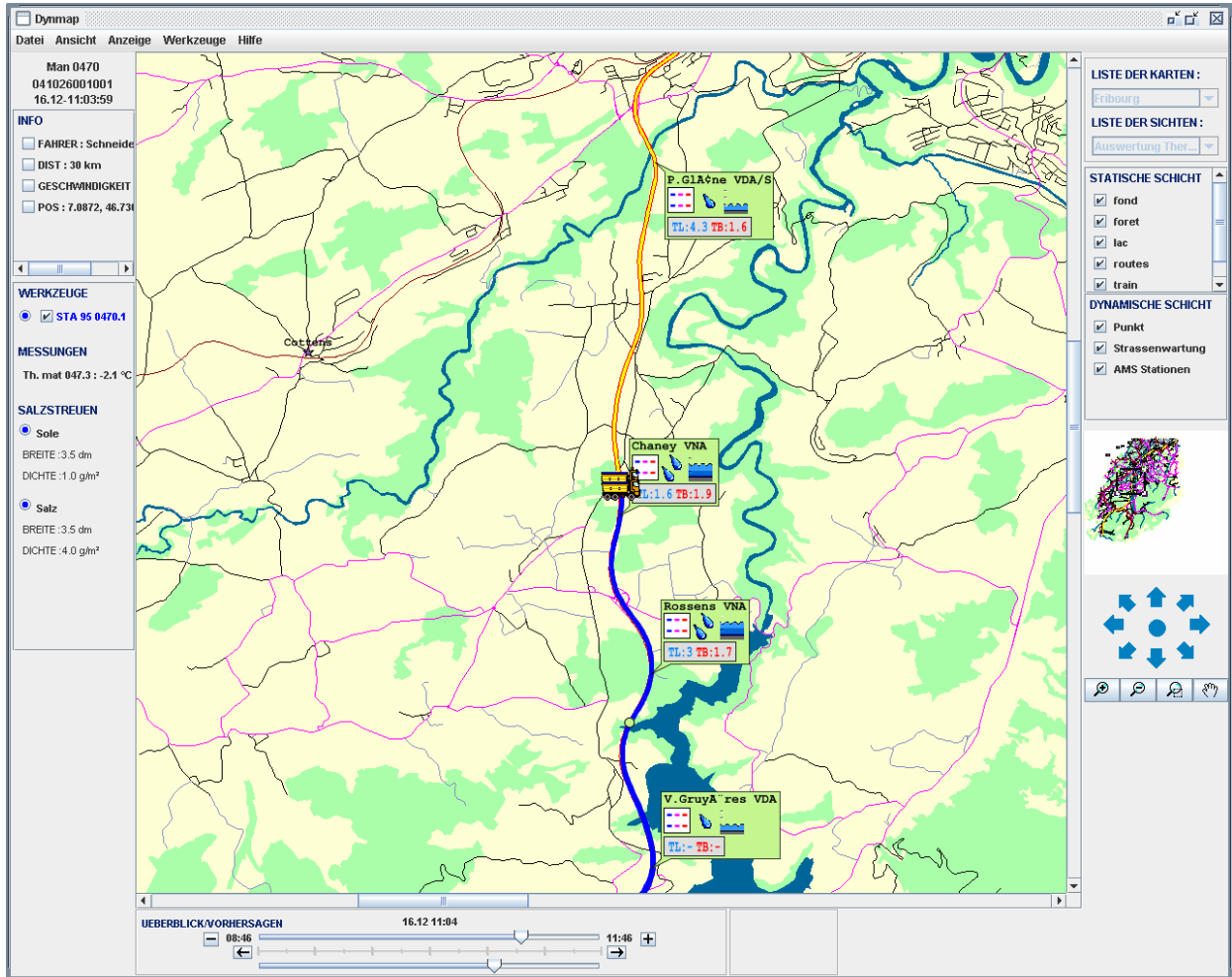


JPV /fz la 08.12.05

Emplacement sonde V01.cdr

PF 1 bis PF 6, weitere Messstationen, nicht untersuchungsrelevant

## Anhang 5.2: Visualisierung der Position der Einsatzfahrzeuge und der Daten der Messstationen in BORRMA-web

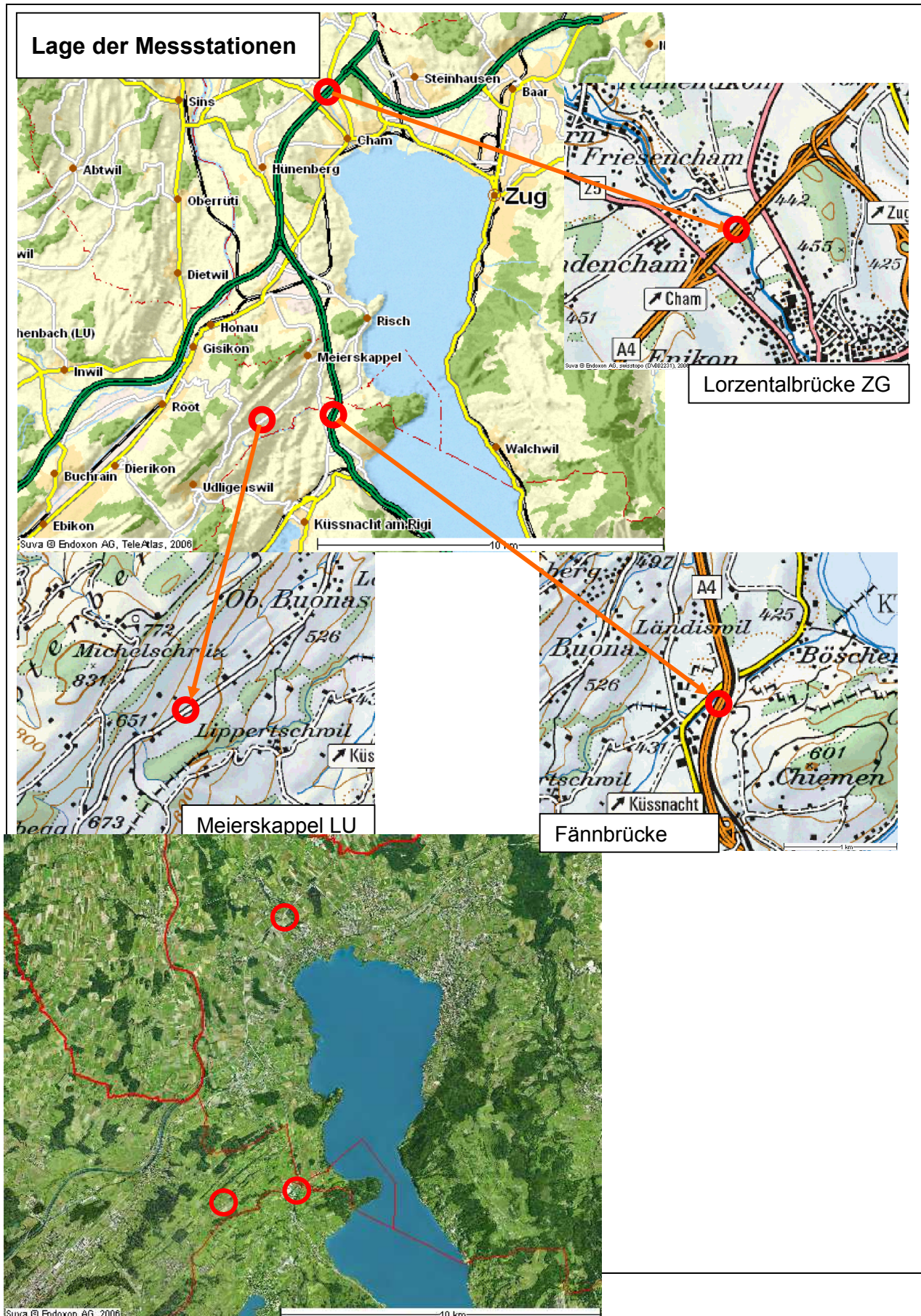


### Anhang 5.3: Detaillierte Einsatzliste mit Angabe der gemessenen Fahrbahntemperatur\* (Beispiel)

Ereignis	Status	Zeitpunkt	Dist. [m]	Strassenname	Strassentyp	Geschwindigkeit [km/h]	Richtung	Streudaten						
								Breite [m]	Dichte S-Produkt1 [g/m <sup>2</sup> ]	Dichte Flüssiges S-Produkt [g/m <sup>2</sup> ]	Dist. S-Produkt1 [m]	Dist. Flüssiges S-Produkt [m]	Menge S-Produkt1 [kg]	Menge Flüssiges S-Produkt [litres]
		01:47:55	2677		0	15	3	3.5	8.1	0.9	2202	2202	58.81	7.03
Th. mat 048.3	3.7	01:48:04	2845		0	49	3	3.5	8.1	0.9	2343	2343	62.80	7.43
Th. mat 048.3	1.7	01:48:15	2982		0	74	3	3.5	9	1	2494	2494	67.08	7.86
		01:48:16	2996		0	70	3	3.5	8.1	0.9	2494	2494	67.08	7.86
Th. mat 048.3	3.1	01:48:31	3175		0	35	3							
		01:48:59	3571		0	49	3	3.5	7.2	0.8	3086	3086	83.87	9.56
Th. mat 048.3	2.5	01:49:05	3683		0	61	3	3.5	8.1	0.9	3200	3200	86.74	9.85
		01:49:08	3740		0	32	3	3.5	8.1	0.9	3249	3249	88.15	9.99
		01:49:14	3797		0	41	3	3.5	8.1	0.9	3338	3338	90.67	10.24
Th. mat 048.3	3.5	01:49:57	4418		0	51	3	3.5	8.1	0.9	3944	3944	107.85	11.98
Th. mat 048.3	2.7	01:50:12	4689		0	65	3							
		01:50:31	4944		0	26	3	3.5	9	1	4478	4478	122.99	13.51
		01:50:32	4951		0	19	3	3.5	8.1	0.9	4478	4478	122.99	13.51
		01:50:39	4999		0	37	3	3.5	9	1	4588	4588	126.11	13.82
		01:50:43	5113		0	23	3	3.5	8.1	0.9	4652	4652	128.12	14.03
Th. mat 048.3	3.7	01:51:01	5378		0	50	3	3.5	8.1	0.9	4879	4879	134.56	14.68
		01:51:07	5465		0	44	3	3.5	9	1	4989	4989	137.68	14.99
Th. mat 048.3	2.9	01:51:12	5515		0	45	3	3.5	8.1	0.9	5049	5049	139.57	15.18
		01:51:35	5891		0	44	3	3.5	9	1	5412	5412	149.86	16.22
		01:51:39	5929		0	22	3	3.5	8.1	0.9	5453	5453	151.15	16.35
		01:51:43	5990		0	38	3	3.5	9	1	5549	5549	153.87	16.63
		01:51:45	6021		0	48	3	3.5	8.1	0.9	5584	5584	154.97	16.74
Th. mat 048.3	3.5	01:52:27	6690		0	50	3	3.5	8.1	0.9	6204	6204	172.55	18.52
		01:52:29	6717		0	8	3	3.5	8.1	0.9	6226	6226	173.17	18.58
Th. mat 048.3	1.9	01:52:37	6735		0	7	3	3.5	8.1	0.9	6338	6338	176.35	18.90
		01:52:38	6739		0	7	3	3.5	7.2	0.8	6345	6345	176.55	18.92
		01:52:39	6739		0	7	3	3.5	8.1	0.9	6358	6358	176.87	18.95

\* Temperaturangabe in der 2. Spalte „Status“, Messwertangabe nur bei Änderung des Messwertes um mehr als 0,5 °C

### Anhang 6.1: Lage der Messstationen in Zug und Luzern



**Anhang 8.1: Unfallzahlen****Polizeilich registrierte Unfälle in den Monaten Jan-April., Nov, Dez. nach Unfalljahr und Witterung**

		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
FR, A1	Eis	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Schnee/Pflotsch	0	0	1	0	0	1	2	0	0	1	1	1	8
FR, A12	Eis	4	4	14	12	10	10	11	7	8	2	0	8	10
	Schnee/Pflotsch	22	31	41	22	12	23	21	17	13	4	5	22	25
LU, A2	Eis	9	0	0	7	4	2	4	2	14	3	0	1	3
	Schnee/Pflotsch	19	0	0	16	6	6	10	4	16	2	9	6	26
LU, A14	Eis	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schnee/Pflotsch	0	0	0	0	2	2	7	0	4	0	2	3	5
ZH, A1	Eis	38	26	30	43	5	18	41	28	26	5	10	28	17
	Schnee/Pflotsch	28	29	46	48	14	32	63	16	27	18	22	25	92
ZH, A4	Eis	0	0	0	0	1	2	0	0	1	4	0	0	0
	Schnee/Pflotsch	0	0	0	0	0	1	1	0	3	0	0	1	1
ZH, A7	Eis	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schnee/Pflotsch	2	3	2	1	0	0	0	0	2	0	0	3	1

**Unfälle 1985-1997, Angaben Werhof Sprengi Monaten Jan-April, Nov, Dez.**

		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
LU, A2/A14	Eis	10	19	14	15	5	14	11	11	11	3	8	7	10
	Schnee	47	42	34	31	6	27	19	5	19	14	28	19	9
		57	61	48	46	11	41	30	16	30	17	36	26	19

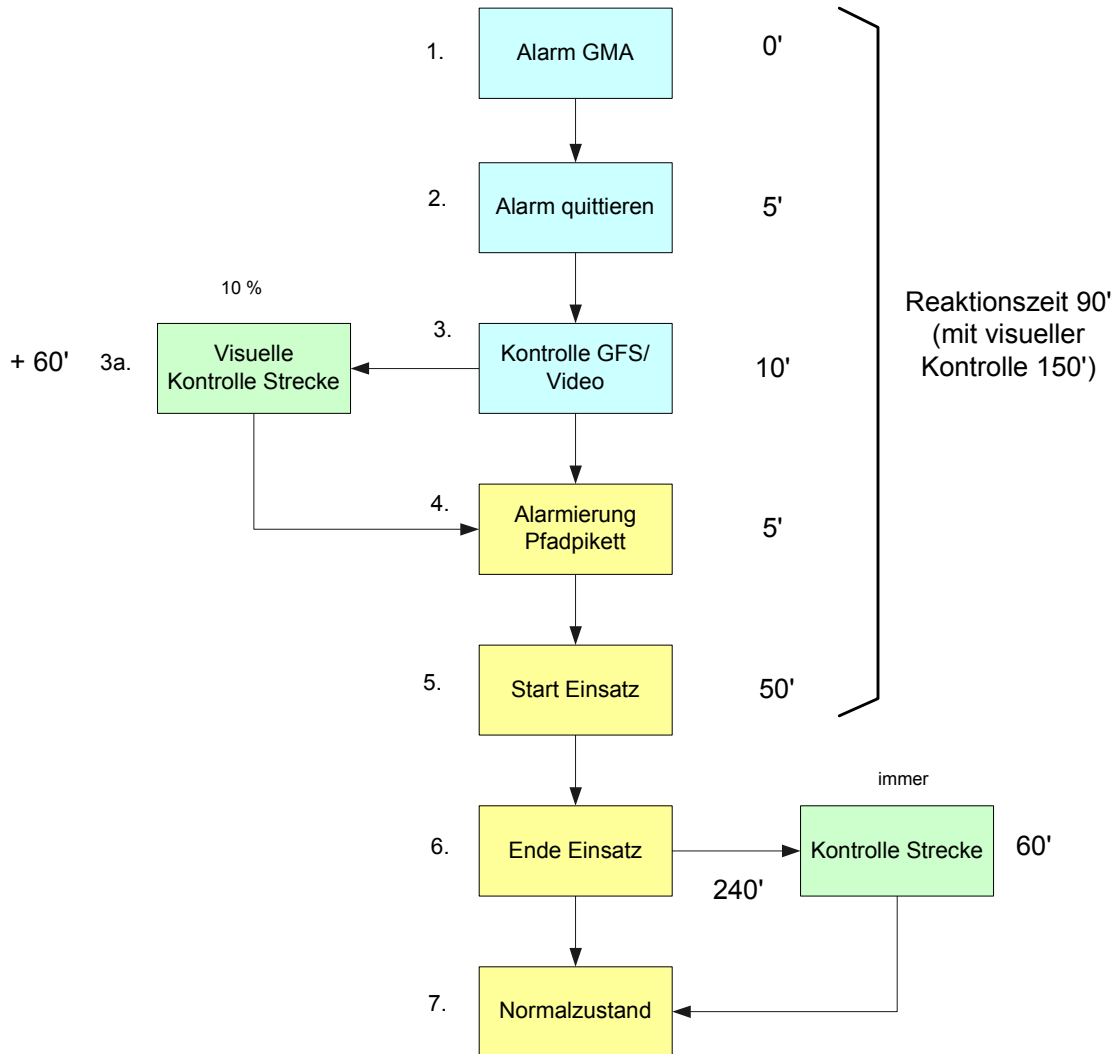
**Unfälle 1998-2005, Angaben Werhof Sprengi Monaten Jan-April, Nov, Dez.**

		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
LU, A2/A14	Eis	2	4	2	14	3	0	3	3
	Schnee	9	17	4	21	2	11	8	15
		11	21	6	35	5	11	11	18

**Anhang 8-2: Winterdienst-Prozess Winterthur, Schneeglätte**

# Winterthur Winterdienst-Prozess: Schneeglätte

Volleinsatz



390 min  
EL - 5 MA / 5 Fz  
+ Kontrollfahrt

Kritische Glättezeit:  
Reakt.zeit + (0.5 x Einsatzzeit):  
Tag: 150' + 0.5 x 240 = 270'

330 min  
EL - 5 MA /  
5 Fz

Kritische Glättezeit:  
Reakt.zeit + (0.5 x Einsatzzeit):  
Tag: 90' + 0.5 x 240 = 210'

330 min  
+ 60' Stv. EL

**Anhang 8-3: Winterdienst-Prozess Fribourg Nord, Schneeglätte**

# Fribourg Winterdienst-Prozess: Schneeglätte

Volleinsatz (Überwachung ganzer Kanton, Nacht)

