

Zweckmässigkeits- und Auswahlkriterien für automatische Taumittelsprühanlagen

Critères d'opportunité et de choix des installations automatiques de déverglaçage

Opportunity and choice criteria for automatic thawing agent spraying systems

**École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)**

A.-G. Dumont, Professor
D. Baumann, dipl. Ing. ETH

Forschungsauftrag 2001/602 auf Antrag des
Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Februar 2005

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	III
RÉSUMÉ	III
ABSTRACT	IV
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Ziel des Forschungsauftrags	2
2 VORGEHEN	3
2.1 Heutiger Kenntnisstand	3
2.2 Funktionsweise der bestehenden ATMS	3
2.3 Einschätzung der Zweckmässigkeit und der Leistungsfähigkeit von ATMS	3
2.4 Auflistung von Kriterien, die bei der Begründung des ATMS-Einbaus eine Rolle spielen	4
2.5 Empfehlung einer Beurteilungsmethode	4
3 HEUTIGER KENNTNISSTAND	5
3.1 Winterdienst im Allgemeinen	5
3.2 Automatische Taumittelsprühanlagen	5
3.3 Auswahlmethoden	7
4 BESCHREIBUNG EINER ATMS	8
4.1 Wichtigste Funktionen	8
4.2 Systemkomponenten	9
4.2.1 <i>Das Glatteiswarnsystem</i>	9
4.2.2 <i>Das Betriebssystem</i>	10
4.2.3 <i>Das Hydraulik-System</i>	11
4.2.4 <i>Entwicklung der Sprüheinheiten</i>	12
4.2.5 <i>Betrieb</i>	13
5 INVENTAR VON BESTEHENDEN ANLAGEN	15
5.1 Liste nach Ländern	15
5.2 Porträts einiger charakteristischen ATMS	16
5.2.1 <i>Aigues-Vertes</i>	16
5.2.2 <i>Umfahrung Lausanne</i>	16
5.2.3 <i>Flamatt</i>	17
5.2.4 <i>Lüdenscheid</i>	17
5.2.5 <i>Bielefelder Berg</i>	18
5.2.6 <i>I-35W Minneapolis</i>	18
6 BEURTEILUNG VON AUTOMATISCHEN TAUMITTELSPRÜHANLAGEN	20
6.1 Eigenwirtschaftlichkeitsuntersuchungen	20

6.2	Nachweis der Eigenwirtschaftlichkeit auf Projektebene	20
6.2.1	<i>Einführung</i>	20
6.2.2	<i>Beispiele</i>	21
7	KRITERIEN FÜR DEN EINBAU EINER AUTOMATISCHEN TAUMITTELSPRÜHANLAGE.....	24
7.1	Einführung	24
7.2	Umfrage	24
7.3	Beschreibung häufig benutzter Kriterien.....	25
7.3.1	<i>Wirtschaftliche Kriterien</i>	25
7.3.2	<i>Nicht monetarisierbare Kriterien</i>	27
7.4	NISTRA-Kriterien	28
7.4.1	<i>Die Indikatoren im Detail</i>	29
8	ERARBEITUNG DER BEURTEILUNGSMETHODE	32
8.1	Beschreibung der Beurteilungsmethode.....	32
8.2	Zweckmässigkeitsuntersuchung	33
8.2.1	<i>Allgemeines</i>	33
8.2.2	<i>Vorgeschlagene Zweckmässigkeitskriterien</i>	33
8.2.3	<i>Anwendung der empfohlenen Methode</i>	45
8.2.4	<i>Empfehlung</i>	48
8.3	Variantenwahl.....	49
8.3.1	<i>Kriterienfamilien</i>	50
8.3.2	<i>Empfohlene Auswahlkriterien</i>	51
8.3.3	<i>Gewichtung der Kriterien</i>	57
8.3.4	<i>Anwendungsbeispiel – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projekt)</i>	57
9	SCHLUSSFOLGERUNGEN	63
10	LITERATURVERZEICHNIS.....	64
11	ANHANG	66
11.1	Liste bestehender TMS.....	66
11.2	Besichtigung einiger automatischen Taumittelsprühanlagen in Deutschland.....	71
11.3	Umfrage	76
11.3.1	<i>Fragen</i>	76
11.3.2	<i>Antworten</i>	79
11.4	NISTRA-Kriterien [16].....	80
11.4.1	<i>Bereich Gesellschaft</i>	80
11.4.2	<i>Bereich Wirtschaft</i>	81
11.4.3	<i>Bereich Umwelt</i>	82

Zusammenfassung

Seit ungefähr 25 Jahren unterstützen automatische Taumittelsprühanlagen (ATMS) den Winterdienst. Diese Systeme sind sofort einsetzbar sobald ein Vereisungsrisiko besteht und sprühen eine Salzlösung auf die Fahrbahn. Das Hauptziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Bereitstellung einer Beurteilungsmethode, die den Einbau einer TMS rechtfertigt, unter Einbezug verschiedener wichtiger Aspekte.

Die empfohlene Beurteilungsmethode wird in zwei Schritten durchgeführt. Zuerst erlaubt eine **Zweckmässigkeitsuntersuchung** herauszufinden, ob und wo die Erarbeitung eines detaillierten Projekts berechtigt ist. Eine Reihe von Zweckmässigkeitskriterien wird analysiert und qualitativ bewertet, basierend auf statistischen Informationen und, im Falle von geplanten Streckenabschnitten, auf Prognosen. Diese Zweckmässigkeitskriterien behandeln Aspekte wie die Sicherheit, den Betrieb, die Funktion und die Situation des Strassenabschnitts, sowie das Klima.

Falls ein detailliertes Projekt für den Einbau einer TMS gerechtfertigt ist, wird eine **Variantenwahl** durchgeführt, welche mit Hilfe einer Multikriterien-Analyse die ideale Konfiguration für den entsprechenden Abschnitt bestimmen soll. Die in vier Familien aufgeteilten Auswahlkriterien (Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Verkehr, Betrieb) werden vom Projektverfasser benotet und von verschiedenen zu befragenden Experten gewichtet, um eine oder mehrere Bestvarianten zu bestimmen.

Résumé

Depuis 25 ans environ, des installations automatiques de déverglçage (IAD) sont utilisées pour soutenir le service hivernal. Ces systèmes peuvent intervenir de manière instantanée lorsqu'un risque de formation de verglas apparaît en projetant sur la chaussée de la saumure. L'objectif de ce travail de recherche consiste à fournir une méthode d'évaluation qui justifie la mise en place d'une IAD, en considérant les aspects pertinents.

La méthode procède en deux étapes. Tout d'abord, un **examen d'opportunité** permet de vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Une série de critères d'opportunité est analysée et jugée de manière qualitative, en se basant soit sur des informations statistiques, soit sur des prévisions pour un projet de route à construire. Ces critères d'opportunité sont relatifs à la sécurité, à l'exploitation, à la fonction et à la situation de la route et au climat.

Si l'opportunité de la mise en place d'une IAD est vérifiée, le **choix de variantes** permet de déterminer la configuration idéale pour le tronçon de route étudié à l'aide d'une méthode multicritère d'aide à la décision de type agrégation complète. Les critères de choix sont notés par le projeteur et pondérés par des spécialistes, afin de mettre en évidence une ou plusieurs variante(s) adaptée(s). Les critères de choix sont répartis dans 4 familles (Economie, environnement, trafic, exploitation).

Abstract

For about 25 years already, automatic thaw agent spraying systems have been a contribution to the task of winter maintenance. These systems allow a quick intervention as soon as a risk of icing of the roadway appears by spraying a liquid thaw agent. The main goal of this research is to supply an evaluation method that can justify the implementation of an automatic thaw agent spraying system, considering all important aspects.

The evaluation is carried out in two steps. First, an **opportunity examination** allows verifying whether a detailed project for a spraying system is justified. Several opportunity criteria are analysed and judged in a qualitative manner, using statistical or projected data, for existing or planned roads respectively. These opportunity criteria are treating road safety, operations, road function and situation, as well as the climate.

If the detailed project is judged necessary, the **choice of equipment alternatives** helps finding the ideal configuration for the examined road stretch using a multicriteria analysis. The choice criteria are marked by the projector and weighed by a group of involved specialists, in order to determine the most adapted equipment alternative. The choice criteria are divided into four categories: economy, environment, traffic and operations

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Der Winterdienst auf einem Strassennetz verlangt nach aufwändigen und wirkungsvollen Einsatzmitteln, um die Sicherheit und den reibungslosen Ablauf des Verkehrs sicherzustellen. An einigen Stellen des Strassennetzes stösst der konventionelle Winterdienst an seine Grenzen, wie zum Beispiel auf Kunstbauwerken, oder an Stellen, wo die klimatischen Verhältnisse rasch wechseln. Auch auf vom Verkehr stark belasteten Abschnitten ist dies der Fall, wo auch nur geringe Verschlechterungen des Strassenzustands das Unfallrisiko stark erhöhen, was schlussendlich den Einsatz des Winterdienstes stark erschwert. Eine grosse Distanz, welche vom Werkhof aus bis zur zu behandelnden Stelle zurückgelegt werden muss, kann für einen raschen und effizienten Einsatz ebenfalls ein Hindernis sein. Heutzutage erlauben automatische Taumittelsprühanlagen (ATMS) einen unmittelbaren Einsatz bei Glatteisgefahr, ohne dass ein Streufahrzeug ausrücken muss.

1.2 Problemstellung

Automatische Taumittelsprühanlagen (ATMS) wurden erstmals Ende der 70er Jahre eingebaut. Noch heute ist ihre Verbreitung in der Schweiz allerdings sehr gering und beschränkt sich auf ein paar Kunstbauwerke und Autobahnabschnitte, welche beim Winterdienst jeweils Probleme boten. Oft waren spezielle klimatische Verhältnisse und unbefriedigende Einsatzzeiten mit herkömmlichen Mitteln Gründe für den Einbau einer solchen Anlage.

Ausserdem verursacht der allgemeine Verkehrszuwachs eine Zunahme an Strassenabschnitten, wo sich Verkehrsüberlastungen häufen. Dies ist vermehrt in den Agglomerationen von Grossstädten zu beobachten (Hauptachsen, Umfahrungsautobahnen). Sobald sich winterliche Verhältnisse auf diesen Strassenabschnitten manifestieren, haben diese sogleich oft Staubildung zur Folge, was die Durchfahrt der Streufahrzeuge erschwert oder verunmöglicht.

Schlussendlich bedeutet eine automatische Anlage ein Plus für die Verkehrssicherheit. Es hat sich gezeigt, dass eine ATMS problematische Strassenabschnitte im richtigen Moment behandeln kann, das heisst kurz bevor ein zu grosser Verlust des Haftvermögens riskiert wird. Dies ist mit traditionellen Mitteln des Winterdienstes nicht immer möglich, da, um das Risiko einzuschränken, präventiv gestreut werden müsste, was aber aus Gründen des Umweltschutzes nicht ratsam, bzw. teilweise sogar verboten ist.

Kurz gesagt zeigt sich, dass der Einbau einer ATMS auf gewissen problematischen Streckenabschnitten förderlich ist für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer, die Bereitstellung einer optimalen Betriebsstufe für den Verkehr, aber auch wirtschaftliche Vorteile hat durch das Verhindern von Unfällen und einen minimalen Streumittel-Einsatz.

Da der Gebrauch von ATMS verbreiteter wird, scheint es notwendig, allein der hohen Investitionskosten wegen, Kriterien für die Begründung des Einbaus festzulegen. So kann sich jedes neue Projekt auf eine solide Entscheidungsbasis stützen.

1.3 Ziel des Forschungsauftrags

Das Hauptziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Definition von Bedingungen, die den Einbau einer ATMS auf einem bestimmten Strassenabschnitt rechtfertigen, wobei verschiedene klimatische, topographische, geometrische, ökologische, wirtschaftliche und sicherheitsbezogene Aspekte in Betracht gezogen werden. Dieser neue Ansatz entspricht der Projektbewertung gemäss dem Prinzip der nachhaltigen Entwicklung.

Die vorliegende Arbeit soll den potentiellen Bauherren (ASTRA¹, Autobahnbehörden, kantonale und kommunale Strassenbaubehörden) und den Planungsbüros eine nachvollziehbare Methode bieten, deren Anwendung zu einer positiven oder negativen Entscheidung über den Einbau einer ATMS führt. Die Methode passt sich der Datenmenge und -qualität an, die in den einzelnen Fällen zur Verfügung steht.

¹ Bundesamt für Strassen, Bern

2 Vorgehen

Die Forschungsarbeit wurde in die nachstehend beschriebenen Arbeitsschritte aufgeteilt.

2.1 Heutiger Kenntnisstand

In diesem ersten, in Kapitel 3 beschriebenen Schritt geht es darum, bestehende Studien zum Thema zu sichten und die daraus folgenden Erkenntnisse zusammenzufassen. Eine Beschreibung der in der nationalen und internationalen Praxis angewendeten Regeln findet sich dort ebenfalls anhand einiger Beispiele.

2.2 Funktionsweise der bestehenden ATMS

Kapitel 4 widmet sich der Beschreibung der Funktionsweise einer ATMS. Die Hauptkomponenten und -funktionen werden dort aufgezeigt.

Die bisher grösste solche Anlage in der Schweiz wurde auf der Umfahrung Lausanne (Autobahn A9) auf einer Länge von 8 km eingebaut.

Mehrere TMS sind heute sowohl in der Schweiz als auch in Europa, Nordamerika und Asien in Betrieb. Die Auflistung mehrerer bekannter Anlagen findet sich in Kapitel 5. Folgende ATMS wurden dabei näher betrachtet:

- Viadukt „Aigues-Vertes“ (Umfahrungsbahn Genf)
- Umfahrungsbahn Lausanne (Kanton Waadt)
- Autobahnviadukt Flamatt (Kanton Freiburg)
- Lüdenscheid (Autobahn A45, Deutschland)
- Bielefelder Berg (Autobahn A2, Deutschland)
- Brücke der I-35W in Minneapolis (Vereinigte Staaten)

Die Beschreibung dieser Anlagen konzentriert sich hauptsächlich auf die beabsichtigten Ziele des Einbaus, ihre Funktionsweise (z.B. automatisch oder halbautomatisch), die topographische Lage, Strassengeometrie, lokales Klima, Verkehr, etc.

2.3 Einschätzung der Zweckmässigkeit und der Leistungsfähigkeit von ATMS

Für einige der oben beschriebenen ATMS gibt es Leistungsfähigkeitsstudien, deren Erkenntnisse in Kapitel 6 beschrieben und zusammengefasst werden. Die wichtigsten Parameter werden dabei hervorgehoben.

Der Kontakt mit Betreibern von ATMS wurde gesucht, um ihre Meinung und ihren Standpunkt zu diesen Anlagen zu erfahren. Dies hat es ermöglicht, auch weniger gut dokumentierte ATMS zu beurteilen.

Während dieser Phase konnte das LAVOC von vielen guten Kontakten profitieren, die es auf diesem Gebiet seit einigen Jahren pflegt. Besonders hervorzuheben sind die Treffen mit den Strassenbaubehörden der Kantone Genf, Waadt, Freiburg und des deutschen Bundeslandes Nordrhein-Westfalen, wie auch mit dem Unternehmen Boschung Mecatronic AG, Hersteller von ATMS.

Eine Auflistung von in der Praxis benutzten Kriterien wird in Kapitel 7 gemacht. Die Liste dient als Basis für die Empfehlung von einschlägigen Kriterien zur Begründung des Einbaus einer ATMS.

2.4 Auflistung von Kriterien, die bei der Begründung des ATMS-Einbaus eine Rolle spielen

Basierend auf den Ergebnissen der beiden ersten Arbeitsschritte wird anschliessend eine Liste mit den relevanten Kriterien erstellt, aufgeteilt in die folgenden Kategorien:

- Wirtschaftliche Aspekte
 - Investitionskosten
 - Betriebskosten
- Unfälle
- Meteorologische Verhältnisse
- Verkehr
- Bedingungen für den Winterdienst
- Strassenfunktion
- Ökologische Aspekte
- Schutz der Kunstbauwerke
- Strassentechnische Aspekte
 - Geometrie
 - Strassenbelag

2.5 Empfehlung einer Beurteilungsmethode

Die in Kapitel 8 empfohlene Beurteilungsmethode basiert auf einer Multikriterien-Analyse, die alle im vorangehenden Kapitel vorgestellten Parameter einschliesst. Das Vorgehen der Gewichtung und Anwendungsbeispiele anhand von in Betrieb stehenden ATMS werden ebenfalls gezeigt.

3 Heutiger Kenntnisstand

3.1 Winterdienst im Allgemeinen

Über den Winterdienst im Allgemeinen gibt es mehrere Studien, die sich auf die Eigenwirtschaftlichkeit des Winterdienstes und auf die Kostenoptimierung konzentrieren [1, 2]. Mehrere Studien zeigen, dass die Taumittel-Streuung, vor allem ausserorts, einen gewissen Gewinn bei den externen Kosten des Verkehrs bringt. Dies zeigt sich vor allem bei den Unfallkosten und den Verlustzeiten, die auf einer mit Taumittel behandelten Strasse reduziert werden.

Eine laufende Forschungsarbeit der RappTrans AG untersucht die Eigenwirtschaftlichkeit des Winterdienstes in der Schweiz [3], wobei hauptsächlich die von Durth beschriebene deutsche Methode [2] auf verschiedenen Abschnitten des schweizerischen Strassennetzes angewendet wird. Die ersten provisorischen Ergebnisse zeigen, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit nach der Taumittel-Streuung ansteigt, was eine Abnahme der Verlustzeiten zur Folge hat.

3.2 Automatische Taumittelsprühanlagen

Die ATMS sind eine relativ neue Erfindung und bis jetzt sind nur wenige wissenschaftliche Abhandlungen über diese kommerziellen Produkte vorhanden.

Eine der wenigen Arbeiten, die zugleich die wirtschaftliche und technische Wirksamkeit von ATMS untersucht, stammt von der deutschen BASt² [4]. Der Bericht beschreibt anhand des Beispiels einer 6 km langen Anlage auf der **A45 zwischen Frankfurt und Dortmund** die wirtschaftlichen Vorteile der ATMS, vor allem mit Hilfe der Unfallzahlen. Die Erkenntnisse von verschiedenen in Betrieb stehenden Anlagen erlauben aber keine allgemeine Schlussfolgerungen, denn viel hängt von den ursprünglichen Zielen und Wünschen der Betreiber ab.

Der vorgestellte Fall bot mehrere technische Schwierigkeiten, aufgrund der Grösse der Anlage und der noch begrenzten Kenntnisse des Herstellers. Zudem wurden häufig bei Unfällen einzelne Teile des Systems stark beschädigt. Trotzdem konnte eine Abnahme der Anzahl Unfälle bei winterlichen Verhältnissen von 50% verzeichnet werden, obwohl die Verkehrsbelastung im gleichen Zeitraum von 10 Jahren um 44% zugenommen hat. Auf betriebswirtschaftlichem Niveau darf man keine so hohen Gewinne erwarten, denn eine ATMS kann den traditionellen Winterdienst nicht ersetzen, sondern bloss ergänzen. Die wirtschaftliche Analyse ist nicht vollständig, denn die geplante Betriebsdauer von 15 Jahren ist noch nicht erreicht. Der Nachteil bei der Kosten-Nutzen-Analyse liegt grundsätzlich darin, dass die Gewinne schwieriger zu quantifizieren sind als die Kosten. ATMS können in folgenden Bereichen gewinnbringend sein:

² Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch-Gladbach (Deutschland)

- Verkehrssicherheit: Senkung der Unfallkosten
- Betrieb: Verminderung der Staubildung und damit der Betriebskosten und der Reisezeiten
- Umweltschutz: Reduktion des Schadstoffausstosses, der Taumittelmenge und des Treibstoffverbrauchs
- Verkehrsteilnehmer: Verkürzung der Wartezeiten und Stressreduktion

Die Kosten-Nutzen-Analyse mit den Gewinnen der beiden ersten Kategorien, den einzigen quantifizierbaren, ergibt einen Faktor Gewinn/Kosten von 1,9.

Der Bericht schlägt sowohl mehrere Massnahmen für die Verbesserung zukünftiger Anlagen, als auch einige Kriterien für die Planung von ATMS und Glatteiswarnsystemen vor.

Eine der grössten Anlagen überhaupt befindet sich in der Schweiz. Auf der **Umfahrung Lausanne** (Autobahn A9) wurde eine ATMS von 8,5 km Länge eingebaut [5, 6]. Der wirtschaftliche Nachweis dieser Anlage basiert hauptsächlich auf den erwarteten Taumittleinsparungen, der Abnahme der Unfälle und der Vermeidung von Stausituationen. Aufgrunddessen wurde ein Faktor Gewinn/Kosten von 1,45 berechnet. Diese Zahl kann vom Untersuchungsbericht [5] nicht abschliessend bestätigt werden, da es weder möglich war, die effektiv verbrauchte Taumittelmenge, noch die durch winterliche Verhältnisse ausgelösten Stausituationen zu bestimmen. Lediglich die Unfälle konnten untersucht werden, wobei zwar eine Abnahme von etwa 50% festgestellt werden konnte, aber auch, dass die eigentliche Anzahl Unfälle bei winterlichen Verhältnissen 50% tiefer waren als in der Kosten-Nutzen-Analyse ursprünglich angenommen.

Immerhin wurden vom Betreiber der Anlage noch weitere, nicht monetarisierbare Vorteile genannt. Der wichtigste darunter ist die freie Zufahrt zur Autobahn, denn vor dem Einbau der ATMS versperrten oft durch das Glatteis blockierte Fahrzeuge den Streufahrzeugen die Zufahrt zur Autobahn. Dazu kommt, dass häufig Brücken, auf denen sich Glatteis bekanntlich schneller bilden kann als auf den „normalen“ Strecken, einzeln behandelt werden müssen, lange bevor sich das Glatteisrisiko auf der gesamten Autobahn manifestiert.

Der Staat **Minnesota in den USA** hatte bereits in den 90er Jahren begonnen, halbautomatische Anlagen (von einer Zentrale aus bedient) einzubauen [7-9]. Da die Erfahrungen sehr gut waren, wurden weitere Brücken mit solchen Anlagen ausgerüstet. Eine Kosten-Nutzen-Analyse basierend auf den Investitions- und Betriebskosten einerseits und den Unfallkosten andererseits wurde durchgeführt, wobei für mehrere Bauwerke ein Faktor von etwa 3 berechnet wurde.

Eine neuere Studie untersucht den Einsatz von verschiedenen Methoden zur Entscheidungshilfe für den Einbau von ATMS, hauptsächlich auf Brücken [10]. Zwei Monokriterien- und zwei Multikriterien-Analysen wurden benutzt, um über den Einbau auf mehreren **Brücken in Nebraska (USA)** zu entscheiden. Die Monokriterien-Analysen (Kosten-Nutzen-Faktor und Kostenwirksamkeit) stützen sich lediglich auf die Einbaukosten und die eingesparten Unfall- und Staukosten. Die Multikriterien-Analysen haben den Vorteil, dass sie zusätzliche Kriterien hinzuziehen und diese differenziert gewichten können. Unter den benutzten Kriterien finden sich die Bauwerk-Daten, die Verkehrslast, das Klima, die Erreichbarkeit und die wirtschaftliche Wirksamkeit.

3.3 Auswahlmethoden

Eine grosse Anzahl Forschungsarbeiten behandelt verschiedene Auswahlmethoden. Eine Zusammenstellung findet sich in der Doktorarbeit von Tille [11], der die wichtigsten Ansätze analysiert und auch eine praktische Anwendung einer Methode für ein Strassenbauprojekt in der Planungsphase vorstellt.

In der Schweiz hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA) ein **Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten** unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele erarbeitet. Dieses Projekt, genannt „NISTRA“ [12], stellt eine Reihe von Zielen und Indikatoren der nachhaltigen Entwicklung vor, inklusive einer Aggregationsmethode, die ab 2003 für Strasseninfrastrukturprojekte auf nationaler Ebene angewendet werden muss.

NISTRA übernimmt zu einem grossen Teil das bestehende **Ziel- und Indikatorensystem nachhaltiger Verkehr** des UVEK („ZINV“), ein System von 9 Zielen und 24 Indikatoren für die 3 Bereiche der nachhaltigen Entwicklung. Eine ausgedehnte Kosten-Nutzen-Analyse wird verwendet, das heisst dass die nicht monetarisierbaren Kriterien nach der traditionellen Kosten-Nutzen-Analyse qualitativ mit Hilfe eines Punktesystems hinzugefügt werden.

4 Beschreibung einer ATMS

4.1 Wichtigste Funktionen

Das Hauptziel des Winterdienstes ist das Bereitstellen eines minimalen Betriebsniveaus der Strasse, um die Verkehrssicherheit und einen gewissen Komfort sicherzustellen. ATMS sollen den Winterdienst unterstützen, indem sie die folgenden zwei Aufgaben übernehmen:

- Verhinderung von Glatteisbildung
- Erhalten des frisch gefallener Schnees in einem Zustand, der die Räumung mit Hilfe von Räumfahrzeugen erleichtert

Die in die Strasse eingelassenen Sensoren und Detektoren erlauben, zusammen mit Wetterstationsdaten, eine Analyse des Glatteisbildungsrisikos. Dieselben Geräte können auch Niederschlag in Form von Schneefall anzeigen. Gestützt auf diese Informationen kann – entweder automatisch oder durch einen Einsatzleiter – eine Entscheidung über den angemessenen Winterdiensteinsatz gefällt werden.

Eine ATMS erlaubt ein rasches Eingreifen, kurz nachdem die ersten Hinweise auf Glatteisbildung auftreten. Abbildung 1 zeigt den Unterschied zwischen dem sofortigen Eingreifen einer ATMS und einem traditionellen Einsatz mit einem Streufahrzeug. Es muss nun bestimmt werden, ob dieser Zeitgewinn die zusätzliche Investition und die Betriebskosten einer solchen Anlage rechtfertigen. Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Erarbeitung einer Beurteilungsmethode, die eben diesen Vergleich ermöglicht.

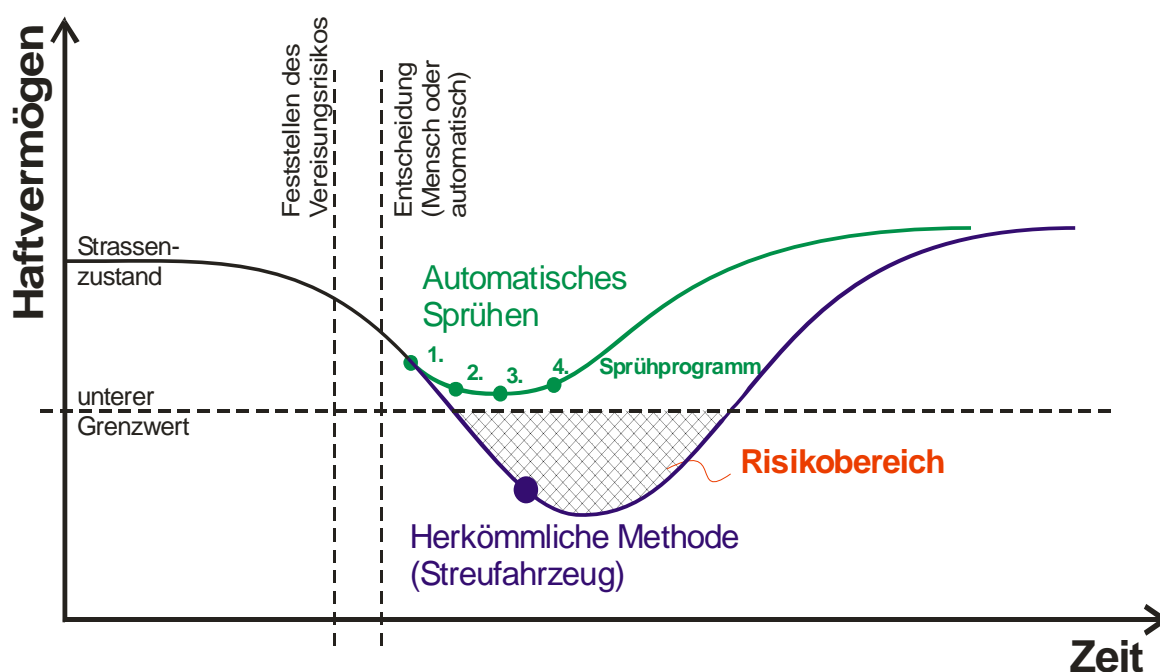


Abbildung 1: Vorteil des schnellen Eingriffs mit Hilfe einer TMS

Ein weiterer Vorteil ist die Dosierungsmöglichkeit, denn man kann mit einer ATMS das Taumittel genau nach Bedarf einsetzen. Falls nötig, wird die Strasse innerhalb kurzer Zeit mehrere Male besprüht, denn ein einzelner Sprühvorgang setzt nur eine geringe Menge Taumittel frei (etwa 2-3 g/m²).

Es ist hingegen unweit schwieriger, in einer ATMS das Taumittel auszutauschen. Dies kann nötig sein, wenn die Lufttemperatur unter -8 C fällt, denn dann verliert das Natriumchlorid langsam seine Wirkung und der Einsatz von Kalziumchlorid ist vorzuziehen [13]. Es ist nicht ratsam, in einer ATMS verschiedene Taumittel zu verwenden, denn diese müssten in eigenen Tanks gelagert werden und vor jedem Wechsel des Taumittels müsste das gesamte System jeweils gereinigt werden.

Eine ATMS kann sich auch bei einsetzendem Schneefall als vorteilhaft erweisen. Wenn die Strasse rasch besprüht wird „klebt“ der Schnee nicht auf dem Strassenbelag fest und kann einfacher geräumt werden. Dies ist vor allem bei sehr porösen Oberflächen interessant, wie z.B. einem Drainasphalt. Trotz allem kann von diesem Effekt aber nur in relativ wenigen Situationen profitiert werden und man darf dabei nicht vergessen, dass eine ATMS die Schneeräumung mit Räumfahrzeugen nicht ersetzen kann.

4.2 Systemkomponenten

Dieses Kapitel stellt die einzelnen Systemkomponenten einer automatischen Taumittelsprühanlage vor. Die Inhalte stammen mehrheitlich aus [14].

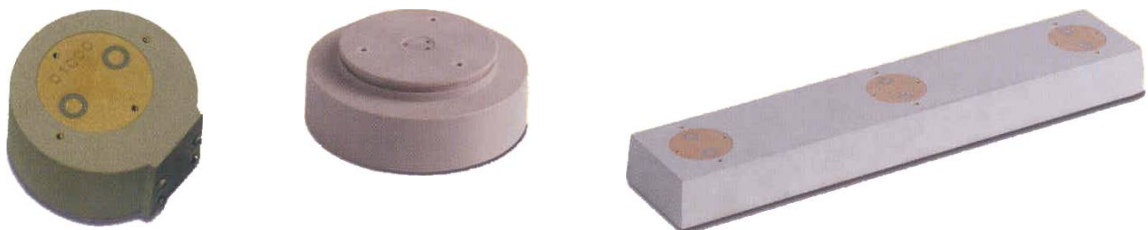
Eine ATMS besteht aus drei Hauptelementen:

- Glätteiswarnsystem
- Betriebssystem
- Hydraulik-System

Eine perfekte Koordination zwischen diesen einzelnen Komponenten ist für einen wirksamen, wirtschaftlichen und ökologischen Betrieb unerlässlich.

4.2.1 Das Glätteiswarnsystem

Diese erste Komponente ist der sensorische Teil der gesamten Anlage. Die aktiven oder passiven Sonden messen ständig den Zustand der Strassenoberfläche. Ihre Platzierung muss sehr sorgfältig vorgenommen werden, je nach Frostanfälligkeit des Strassenabschnitts. Eine Thermographie hilft, zusammen mit der Erfahrung des Unterhaltsdienstes, die Entscheidung über die Verteilung der Sensoren zu fällen.



**Abbildung 2 : Glätteis-Melder: Passive Sonde (links) und aktive Sonden (Mitte und rechts)
(Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)**

Schon dieses Glätteiswarnsystem alleine ist dem Unterhaltsdienst eine grosse Hilfe, denn es kann bei Einsatz-Entscheidungen zu Rate gezogen werden. Deshalb werden auch vermehrt solche Systeme auf dem Strassennetz eingebaut, ohne dass sie dabei unbedingt mit einer ATMS gekoppelt sind.

4.2.2 Das Betriebssystem

Das Betriebssystem ist das Gehirn und das Nervensystem der ATMS. Über dieses System laufen alle Informationen (Glätteiswarnung), wie auch die Befehle zur Sprühung. Es ist sehr wichtig, dass die gesamte Elektronik möglichst vor Witterungseinflüssen und Unfällen geschützt wird.

Die Betriebssoftware muss verschiedene Eigenschaften aufweisen:

- Analyse der in Situ gemessenen Parameter und Entscheidungsnahme
- Automatischer Befehl zum Sprühen
- Jederzeitige Möglichkeit eines manuellen Einsatzes, was bei speziellen meteorologischen Bedingungen oder beim Anlagenunterhalt nötig sein kann
- Möglichkeit, die Einsatzkriterien zu ändern: die genaue Justierung der Anlage ist wichtig, es muss ein gutes Mittelmass zwischen einem fast wirkungslosen Einsatz und Taumittel-Verschwendung gefunden werden
- Automatische Überwachung des Anlagenzustandes, mit Warnung des zuständigen Einsatzleiters bei Störungsfällen
- Anzeige der in Situ gemessenen Parameter (Temperatur, Taupunkt, relative Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, etc.)

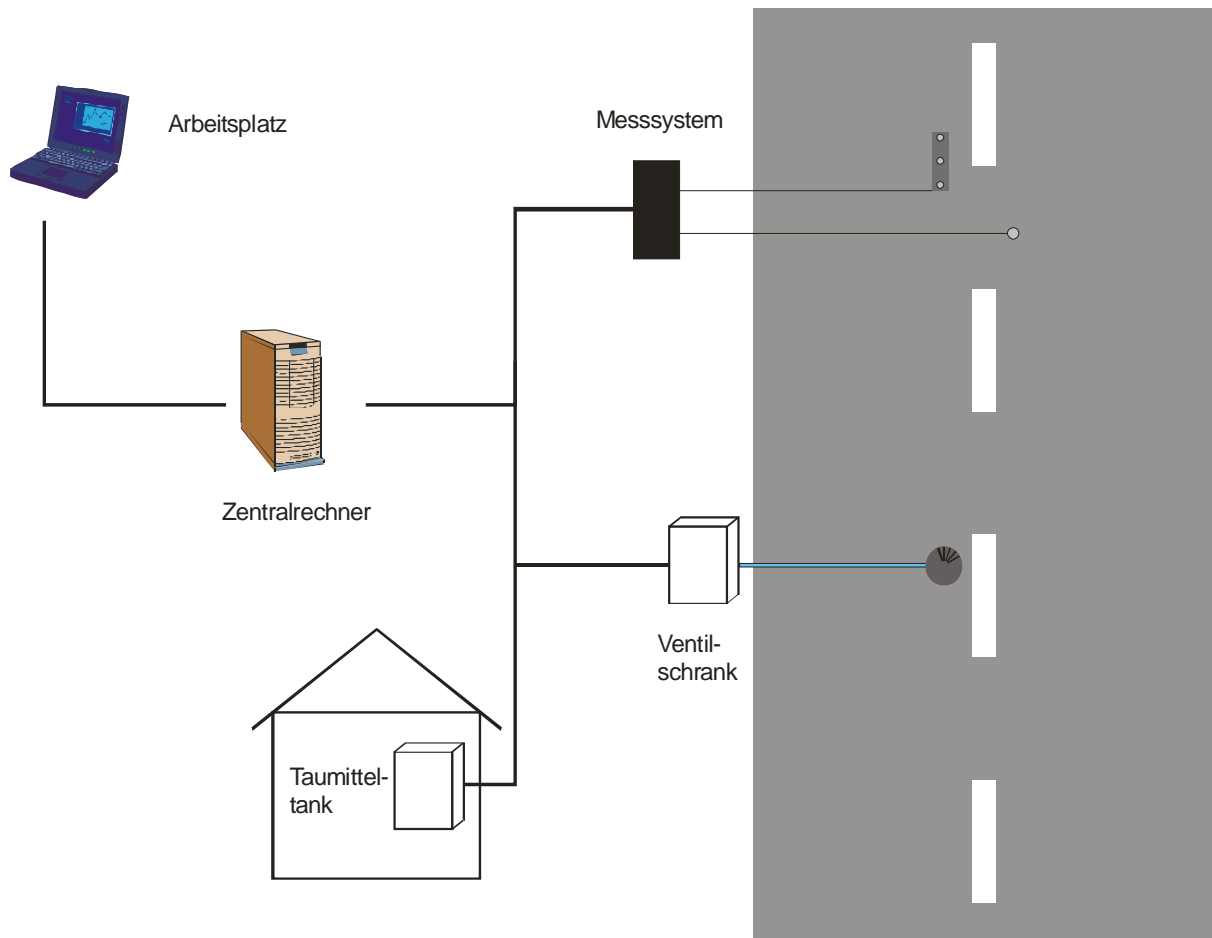


Abbildung 3: Schema des Betriebssystems

4.2.3 Das Hydraulik-System

Die Hauptkomponenten des Hydraulik-Systems sind die folgenden:

- Taumittel-tank und Pumpe (eventuell sind Unterstationen nötig): stellen die allgemeine Versorgung der Anlage sicher; sind in einem eigenen Raum untergebracht
- Rohrleitungssystem für den Transport des Taumittels zu den Sprüheinheiten: muss vor Witterungseinflüssen und Unfällen geschützt werden und erlaubt die Umkehrung des Taumittelflusses (Leerung, Reinigung,...). Der Schutz vor Nagetieren muss ebenfalls sichergestellt werden
- Sprüheinheiten, entweder als am Strassenrand platzierte Sprühköpfe, oder direkt in die Fahrbahn eingelassen (Sprühteller, etc.)

Die modernen Anlagen stehen nicht mehr ständig unter Druck. Lokale Behälter (Ventileinheiten), an die eine limitierte Anzahl Sprüheinheiten (normalerweise zwei) angeschlossen sind, werden immer nur mit der für eine Sprüfung benötigten Menge gefüllt. So kann die Anlage immer mindestens einmal sprühen, auch wenn die Hauptleitung, z.B. nach einem Unfall, beschädigt sein sollte.

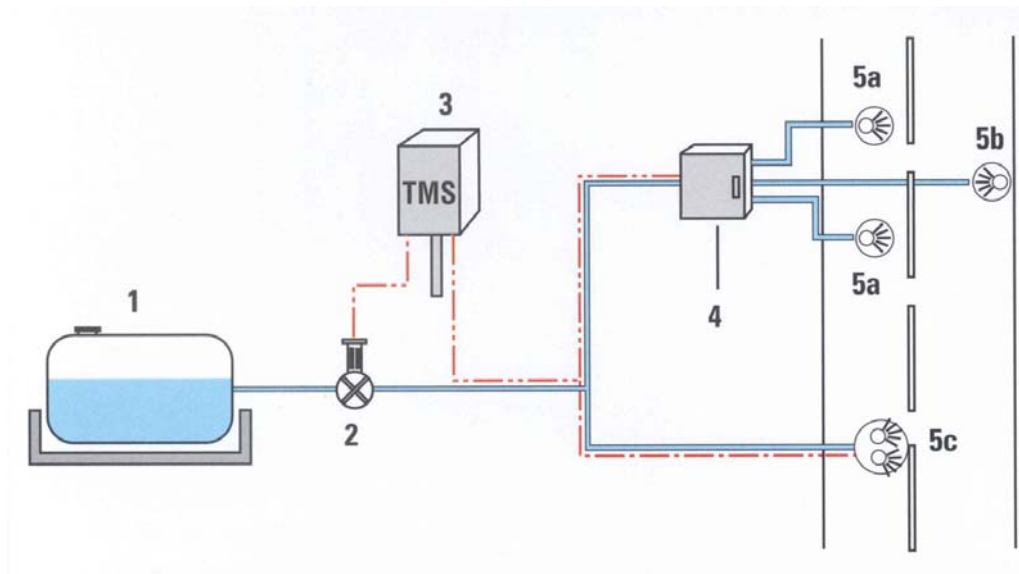


Abbildung 4: Hydraulik-System: 1: Taumitteltank; 2: Pumpe; 3: Elektrischer Verteiler; 4: Ventilkasten; 5: Sprüheinheiten (Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)

4.2.4 Entwicklung der Sprüheinheiten

Von Anfang an wurde bei der Entwicklung der Komponenten ein besonderes Augenmerk auf die Sprüheinheiten gerichtet, die effizient sein müssen, ohne dabei die Verkehrsteilnehmer zu stören. Zurzeit gibt es drei Typen von Sprüheinheiten:

Der **Sprühkopf** war der erste Typ, der in Betrieb genommen wurde (Abbildung 5, links). Er wird meist unter der Leitplanke oder in der seitlichen Leitmauer platziert. Der Strahl verlässt den Sprühkopf horizontal und reicht ohne weiteres für zwei Spurbreiten. Bei einem zusätzlichen Fahrstreifen (oder Pannenstreifen) ist die Anwendung von Sprühköpfen nicht mehr empfohlen, ausser sie werden beidseits der Fahrbahn montiert, bzw. bei Autobahnen auf der Seite der Überholspur.

Da die automatische Sprühtechnologie auch für grosse Flächen eingesetzt wird, wie z.B. auf Flughäfen, wurden die sogenannten **Sprühteller** entwickelt (Abbildung 5, rechts). Diese Teller werden vollständig in die Fahrbahn eingelassen und stören so den Verkehr grundsätzlich nicht. Der Strahl muss den Sprühteller mit einem gewissen Winkel verlassen, um die gesamte Strassenbreite erreichen zu können. So können auch drei Fahrstreifen problemlos besprüht werden.

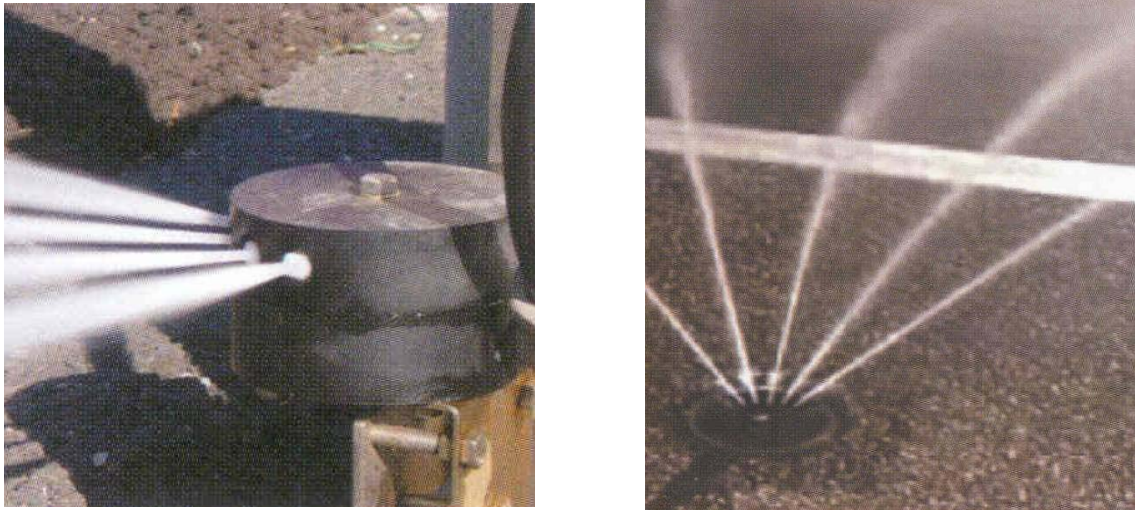


Abbildung 5: Verschiedene derzeit angewendete Sprüheinheiten: Sprühkopf (links), Sprühteller (rechts) (Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)

Die neuste Entwicklung ist der Mikro-Sprühkopf, der – wie der Sprühteller – in die Fahrbahn eingelassen wird (Abbildung 6). Eine Ventileinheit kann bis zu 20 dieser Mikro-Sprühköpfe speisen, die einen Abstand von 5 m haben. Die Mikro-Sprühköpfe können nach Bedarf ausgerichtet werden und sind für bis zu zwei Spuren geeignet. Bei mehrspurigen Strassen wird parallel eine zweite Einheit eingebaut. Da der Strahl sehr dünn ist, kann die Sprühzeit verlängert werden.

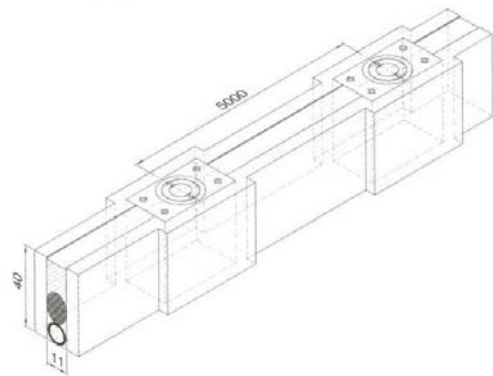


Abbildung 6: Mikro-Sprühkopf (Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)

4.2.5 Betrieb

Bei Anlagen ab einer bestimmten Länge drängt sich eine Unterteilung in mehrere unabhängige Abschnitte auf. Diese Untersysteme von etwa 500 bis 600 m Länge haben jeweils eigene Glatteismelder und können so unabhängig voneinander betrieben werden. Man sollte es unbedingt vermeiden, ein „Patchwork“-System einzurichten, indem z.B. nur einige, nahe beieinanderliegende Brücken einzeln ohne die dazwischenliegenden Abschnitte ausgerüstet werden.

Es ist möglich, verschiedene Typen von Taumitteln zu verwenden. Die am häufigsten gebrauchten sind das Natriumchlorid (NaCl), sowie das Kalziumchlorid (CaCl_2). Letzteres ist

vor allem bei tiefen Temperaturen interessant ($< -10^{\circ}\text{C}$), wenn der Wirkungsgrad des NaCl nachlässt. Allerdings können grosse Mengen CaCl_2 (z.B. nach einem Leitungsbruch) bei bestimmten meteorologischen Verhältnissen das Haftvermögen der Fahrbahn stark reduzieren.

Ein regelmässiger Anlagenunterhalt ist unerlässlich. Nach jedem Winter muss das Hydraulik-System gereinigt und mit reinem Wasser gefüllt werden. Es wird empfohlen, im Sommer regelmässig Sprühvorgänge mit Wasser auszulösen, idealerweise nachts und bei Regen, damit die Verkehrsteilnehmer möglichst wenig gestört werden.

5 Inventar von bestehenden Anlagen

Das Inventar bestehender Anlagen beruht hauptsächlich auf den von Herstellern von ATMS erhaltenen Informationen.

Der wichtigste Anbieter der Welt ist wohl die Boschung Mecatronic AG in Freiburg (Schweiz), welche bereits über 80 solcher Anlagen gebaut hat (Stand 2003)

Weitere Unternehmen gibt es vor allem in den USA:

- Odin Systems, Georgia
- Energy Absorption Systems Inc, Illinois
- Raven Industries, South Dakota

Nach einer ersten Testanlage auf dem Viadukt bei Flamatt in der Schweiz im Jahre 1979 hat sich die Technologie rasch nach Deutschland ausgebreitet, wo anfang der 80er Jahre vier Anlagen in Betrieb genommen wurden.

5.1 Liste nach Ländern

Eine detaillierte Liste der Anlagen befindet sich im Anhang 11.1.

Land	Anzahl Anlagen	Jahre Erfahrung
Dänemark	1	11
Deutschland	24	21
Frankreich	8	9
Italien	2	6
Japan	1	1
Kanada	3	3
Luxemburg	1	15
Polen	2	4
Russland	3	5
Schweiz	11	11
Spanien	3	2
Südkorea	3	4
Tschechien	6	8
Ukraine	1	7
Vereinigte Staaten	13	5

**Tabelle 1: Liste der von der Firma Boschung Mecatronic AG gebauten ATMS
(Stand Anfang 2003)**

5.2 Porträts einiger charakteristischen ATMS

Nachfolgend werden einige charakteristischen Anlagen vorgestellt, die in den letzten gut 20 Jahren gebaut wurden. Die wichtigsten Eigenschaften wie Länge, Sprüheinheit-Typ, spezielle Verhältnisse und, falls vorhanden, einige Betriebsdetails werden beschrieben

5.2.1 Aigues-Vertes

Die ATMS auf der Rhonebrücke „Aigues-Vertes“, zwischen den Tunneln von Vernier und Confignon, wurde bereits beim Bau der Autobahn installiert. In diesem Fall wurde das traditionelle Streuen als schwierig erachtet, da beidseits die beiden Tunnel prinzipiell nicht behandelt werden müssen. Die zuständigen Behörden des Kantons Genf errechneten dadurch allgemeine Einsparungen im Winterdienst auf dieser Strecke.

Die Sprühköpfe sind in den seitlichen Leitmauern angebracht, das Hydraulik-System und die elektrischen Kabel sind im Brückenkörper untergebracht. Bereits im ersten Betriebsjahr lief nach einem Zwischenfall im Hydraulik-System eine grössere Menge Taumittel aus und verursachte grosse Schäden an der Brücke. Das gesamte Bauwerk musste überholt werden.

Strassentyp	Autobahn 2x2 (Brücke)
Details der ATMS	50 Sprühköpfe, in die seitlichen Leitmauern integriert Kabel und Hydraulik-System im Brückenkörper
Länge der Anlage	250 m
Baujahr	1993
Meereshöhe	390 m
Spezielle Bedingungen	---

5.2.2 Umfahrung Lausanne

Die Umfahrung Lausanne wurde zwischen 1995 und 1997 anlässlich der Umbau- und Verbreiterungsarbeiten von 2 auf 3 Spuren mit einer ATMS ausgerüstet. Um den Lärmvorschriften gerecht zu werden wurde auf der ganzen Länge ein Drainasphalt-Belag eingebaut. Die Durchlässigkeit dieses Belags wirkt sich negativ auf das Glatteisrisiko aus. Hinzu kommt, dass zusammen mit dem Wasser natürlich auch das Taumittel schneller abfließt. Es wurden vorgängig Tests durchgeführt, um den idealen Abstand der Sprühteller zu bestimmen.

Insgesamt weist die Anlage pro Richtung eine Länge von ca. 8 km auf. Das Hydraulik-System und die Kabel verlaufen offen im Mittelstreifen. Dies birgt gewisse Probleme beim Schutz der offen liegenden Teile. New-Jersey Profile schützen zwar vor dem Verkehr, bzw. Unfällen, aber die Kabel und Leitungen werden häufig von Nagetieren angegriffen.

Strassentyp	Autobahn 2x3
Details der ATMS	1071 Sprühteller in der Fahrbahn eingelassen Kabel und Leitungen offen im Mittelstreifen
Länge der Anlage	7'400 m + eine Brücke (Chandelard)
Baujahr	1997
Meereshöhe	500 - 700 m
Spezielle Bedingungen	Drainasphalt

5.2.3 Flamatt

Nach einem schweren Unfall, bei dem ein Lastwagen vom Viadukt stürzte, suchte der Unterhaltungsdienst nach einer Lösung um das Bauwerk sicherer zu gestalten. Die starke Steigung des Viadukts bot dem Winterdienst schon jeher ein Problem. Die zuständige Behörde des Kantons Freiburg bat das für Winterdienstgeräte spezialisierte Unternehmen Boschung Mecatronic AG, direkter Nachbar des Unterhaltungsdienstes in Granges-Paccot, um Hilfe.

Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit ist die wohl erste ATMS der Schweiz. Die 90 Sprüheinheiten sind im Abstand von 16 m unter den Leitplanken des Mittelstreifens angebracht.

Da die Erfahrungen mit dieser Anlage gut waren, wurde auch gleich die Autobahnausfahrt Flamatt ausgerüstet, welche sich, von Freiburg her kommend, gleich hinter der Brücke befindet.

Strassentyp	Autobahn 2x2 (Viadukt)
Details der ATMS	90 Sprühköpfe, an der Mittelleitplanke befestigt Kabel und Leitungen offen im Mittelstreifen geführt
Länge der Anlage	800 m
Baujahr	1979
Meereshöhe	540 - 580 m
Spezielle Bedingungen	---

5.2.4 Lüdenscheid

Die Linienführung der Autobahn A45 durch das deutsche Sauerland ist kurvenreich und beinhaltet mehrere steile Steigungen, bedingt durch die hügelige Landschaft (vgl. Anhang 11.2 und [4]). Die Behörden haben sich 1986 entschlossen, einen speziell gefährlichen Abschnitt mit einer ATMS auszurüsten, nachdem wiederholt Lastwagen wegen Glatteis steckengeblieben waren.

Die ATMS von Lüdenscheid war die erste durchgehende Anlage von mehreren Kilometern Länge (knapp 7 km). Sie diente zugleich als Versuchslabor, da das System noch grosses Entwicklungspotenzial bot. Leitungen und Kabel sind offen an den Leitplanken verlegt. Mehrere Male hatten Unfälle einen Leitungsbruch zur Folge und das gesamte Taumittel

versickerte im Boden oder lief über die Autobahn. Seither schützt ein Ventilsystem vor dem Auslaufen grösserer Mengen Taumittel.

Trotz der Verbesserungen bedeutet der Unterhalt dieser ATMS immer noch einen Vollzeitjob. Nach letzten Informationen soll das gesamte System im Jahre 2004 ausgetauscht werden.

Strassentyp	Autobahn 2x2
Details der ATMS	480 Sprühköpfe in den Leitplanken Kabel und Leitungen offen entlang der Leitplanken
Länge der Anlage	7'000 m
Baujahr	1986
Meereshöhe	280 - 410 m
Spezielle Bedingungen	---

5.2.5 Bielefelder Berg

Auf der deutschen Autobahn A2 befindet sich beim Bielefelder Berg eine der neusten Anlagen mit einer durchgehenden Länge von etwa 4 km. Es werden damit die Steigungen auf beiden Seiten des Bielefelder Bergs abgedeckt. Sämtliche Teile der Anlage sind im Boden untergebracht, um sie möglichst gut schützen zu können.

Das Schmutzwasser wird in einer speziellen Anlage nach Abschöpfen des Öls verdünnt. Dies reduziert die in die umliegenden Wasserläufe abgegebene Salzmenge nach einem Einsatz erheblich (s. auch Anhang 11.2).

Strassentyp	Autobahn 2x3
Details der ATMS	460 Sprühteller in die Fahrbahn eingelassen Kabel und Leitungen im Boden des Mittelstreifens versenkt
Länge der Anlage	4'000 m
Baujahr	1995
Meereshöhe	300 - 350 m
Spezielle Bedingungen	---

5.2.6 I-35W Minneapolis

In den Vereinigten Staaten werden Brücken häufig auf einfache Art gebaut, mit geringer thermischer Trägheit. Somit ist die Bildung von Glatteis (genannt „black ice“) ein häufiges Phänomen und verlangt nach aufwändigem Winterdienst-Einsatz. Daher wurden einige kritische Brücken mit ATMS (bzw. „Fixed Automated Spray Technology (FAST)“) ausgerüstet. Der Staat Pennsylvania besitzt die meisten solcher Anlagen.

Die hier vorgestellte Anlage befindet sich in Minneapolis (Staat Minnesota) und ihre Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit wurde in [15] untersucht. Die ATMS ist auf einer Länge von etwa 600 m eingebaut, die meisten der 76 Sprüheinheiten sind als Teller in die Fahrbahn eingelassen, die restlichen als Sprühköpfe in den seitlichen Leitmauern. Speziell

ist hier die zu behandelnde Breite, denn die Autobahn verfügt über vier Fahrspuren pro Richtung. Die Sprühteller der etwa USD 600'000 teuren Anlage sind jeweils ungefähr in der Mitte eingelassen.

Es handelt sich hier um eine Testanlage des Staates Minnesota. Daher wurde nach Einbau das Verkehrsgeschehen während zwei Wintern untersucht. Gemäss Schlussbericht habe die Anlage gut funktioniert und die Verkehrssicherheit stark erhöht (Abnahme der Anzahl Unfälle bei winterlichen Verhältnissen von 68%). Sie ist somit ein geeignetes Werkzeug für die Glatteisbekämpfung.

Strasstyp	Autobahn 2x4 (Brücke)
Details der ATMS	68 Sprühteller in der Fahrbahn und 8 Sprühköpfe in den seitlichen Leitmauern Kabel und Leitungen in der Brückenstruktur (Fachwerk)
Länge der Anlage	600 m
Baujahr	1999
Meereshöhe	250 m
Spezielle Bedingungen	---

6 Beurteilung von automatischen Taumittelsprühanlagen

6.1 Eigenwirtschaftlichkeitsuntersuchungen

Die Eigenwirtschaftlichkeit des Winterdienstes mit Salzeinsatz wird in einer Forschungsarbeit von Ruess gezeigt [1], in der Salzen mit Streuen von Splitt verglichen wird. Es werden auch die Ergebnisse mehrerer ausländischer Studien zusammengefasst. Die Autorin kommt zum Schluss, dass die sichere Durchfahrt von 140 Fahrzeugen reicht, um den Aufwand des Taumittel-Einsatzes zu amortisieren, wenn sämtliche externen Kosten, Benutzer- und Betriebskosten in die Rechnung mit einbezogen werden.

Grundsätzlich wird bei der Planung einer Anlage eine Wirksamkeitsanalyse durchgeführt, um den Kostenaufwand des Einbaus zu rechtfertigen. Meist wird eine einfache Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt und die getroffenen Annahmen werden im Nachhinein nur sehr selten überprüft. Es gibt jedoch einige wenige Fälle, wo dies der Fall war [4, 5, 15].

Eine Umfrage, die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass Strassenbetreiber zwar verschiedenste Kriterien anwenden, aber häufig nur eine Monokriterien-Analyse zur Anwendung kommt. Die detaillierten Ergebnisse der Umfrage befinden sich im Anhang 11.3 und werden weiter unten diskutiert.

Eine Anlage kann eigenwirtschaftlich sein, wenn die Kosten für Einbau, Betrieb und Unterhalt tiefer sind als diejenigen des herkömmlichen Winterdienstes. Dies ist zum Beispiel dort der Fall, wo jeweils eine Einsatzgruppe durchgehend bei einem einzelnen Objekt vor Ort auf einen Einsatz warten muss.

6.2 Nachweis der Eigenwirtschaftlichkeit auf Projektebene

6.2.1 Einführung

In diesem Abschnitt werden verschiedene Beurteilungsmethoden gezeigt. Es handelt sich dabei um Begründungen, die den finanziellen Aufwand verschiedener Anlagen rechtfertigen sollen. Die vorgestellten Fälle behandeln die im vorherigen Kapitel (Abschnitt 5.2) vorgestellten Anlagenbeispiele.

6.2.2 Beispiele

6.2.2.1 Aigues-Vertes

Im Fall der Genfer Anlage bestand der Nachweis aus einer Beschreibung der speziellen Situation, in der sich die Aigues-Vertes-Brücke befindet. Sie überquert die Rhone, wo bezüglich relativer Luftfeuchtigkeit und Windverhältnissen ein spezielles Mikroklima herrscht. Zudem befinden sich beidseits der Brücke längere Tunnel, in denen ein Streueinsatz nicht notwendig ist. Das Senken der Winterdienstkosten war das Hauptargument der Begründung.

Ein Vergleich der ATMS mit dem traditionellen Winterdienst ist nicht möglich, da die ATMS auf einem Neubau installiert wurde und damit natürlich keine „Vorher-Daten“ vorhanden sind.

6.2.2.2 Umfahrung Lausanne

Der Eigenwirtschaftlichkeitsnachweis der Anlage auf der Umfahrung Lausanne beruht auf einer Kosten-Nutzen-Analyse, welche folgende Kriterien einbezieht:

6.2.2.2.1 Kosten

Einbaukosten

- Anlage (Material)
- Baukosten

Betriebskosten

- Abschreibung der Anlagekosten in 15 Jahren, diejenige der Baukosten in 25 Jahren
- Energie-, Taumittel-, Personal- und Unterhaltskosten

Die Einbaukosten wurden als Abschreibung in die jährlichen Betriebskosten integriert, um letztere als einzigen Kostenfaktor für die Berechnung weiter zu verwenden.

6.2.2.2.2 Nutzen

Unfälle

- Schätzung der Anzahl Unfälle
- Unfallkosten gemäss VSS-Norm

Staukosten

- Schätzung der Stauanzahl und -ausprägung

Herkömmliche Einsätze

- Schätzung der eingesparten Taumittelmenge, inkl. Streukosten

Sämtliche Kosten wurden auf das Einbaujahr 1997 abgezinst.

6.2.2.2.3 Eigenwirtschaftlichkeit

Der Eigenwirtschaftlichkeitsfaktor wird berechnet, indem der Nutzen durch die Kosten geteilt wird. Er beträgt in diesem Fall 1,45 (bzw. 1,98 ohne Zinsen).

6.2.2.3 Flamatt

Die Entscheidung, diese Brücke mit der ersten ATMS der Schweiz auszurüsten, wurde nach einem schweren Unfall im Jahre 1977 getroffen. Ein Lastwagen mit Anhänger war bei Glatteis über den Brückenrand hinaus gerutscht und in die Tiefe gestürzt. Die 700 m lange Brücke besitzt eine relativ starke Steigung (3 bis 4%) und kennt Temperaturunterschiede von mehreren Grad an den gegenüberliegenden Enden. Dazu kommt, dass der zuständige Werkhof Granges-Paccot 21 km weit entfernt ist, was einen raschen Einsatz erschwert.

Die Autobahnbehörde suchte eine Alternative zum herkömmlichen Winterdienst, was zur Entwicklung dieser ersten automatischen Taumittelsprühanlage geführt hat.

6.2.2.4 Nordrhein-Westfalen

Das Bundesland Nordrhein-Westfalen (NRW) hat eine grosse Erfahrung mit ATMS gesammelt. Die benutzte Beurteilungsmethode, eine Kosten-Nutzen-Analyse [4], stammt aus einer Zusammenarbeit der Behörden aus NRW mit der BAST zu Beginne der 90er Jahre. Die benutzten Kriterien für die Eigenwirtschaftlichkeit sind:

6.2.2.4.1 Kosten

Einbaukosten

- Anlagekosten
- Baukosten

Betriebskosten

- Abschreibung der Anlage in 15 Jahren
- Energie-, Taumittel-, Personal- und Unterhaltskosten

Die Einbaukosten wurden als Abschreibung in die jährlichen Betriebskosten integriert, um letztere als einzigen Kostenfaktor für die Berechnung weiter zu verwenden.

6.2.2.4.2 Nutzen

Unfälle

- Unfälle auf Glatteis, Mittelwert über 10 Jahre
- Unfallkosten gemäss Empfehlungen

Betriebskosten des Verkehrsteilnehmers

- gemäss BAST
- basiert auf Staulängen

Zeitverlust des Verkehrsteilnehmers

- basiert auf der Geschwindigkeitseinbusse im Stau

Sämtliche Kosten werden auf das Einbaujahr abgezinst.

Es wird empfohlen, den Nutzen um 50% (Unfälle) bzw. 30% (Betriebskosten und Zeitverlust des Verkehrsteilnehmers) zu senken. Dies, weil die ATMS nicht alle auftretenden Fälle verhindern kann.

6.2.2.4.3 Eigenwirtschaftlichkeit

Für den Eigenwirtschaftlichkeitsfaktor wird der reduzierte Nutzen mit den Betriebskosten dividiert. Eine detaillierte Beschreibung der Anlage und der entsprechenden Einbaukosten vervollständigen die Unterlagen für den Finanzierungsantrag.

Wenn der Eigenwirtschaftlichkeitsfaktor grösser ist als 1, wird die entsprechende Anlage in der Regel vom Verkehrsministerium genehmigt.

6.2.2.5 **Minneapolis**

Das häufige Auftreten von Eisglätte verursacht eine grosse Anzahl Unfälle, was bei einem Verkehrsaufkommen von 140'000 Fz/Tag Anlass genug war, diese Testanlage einzurichten. Im Gegensatz zum europäischen Vorgehen, bei dem Nutzen und Kosten einander gegenübergestellt werden, hat diese ATMS dem Staat Minnesota als Versuchsanlage gedient, um die einwandfreie Funktion eines solchen Systems zu überprüfen.

6.2.2.6 **Fazit**

In den meisten Fällen wird eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellt, um die Eigenwirtschaftlichkeit des Systems abzuschätzen. Nicht monetarisierbare Kriterien werden nicht in Betracht gezogen.

7 Kriterien für den Einbau einer automatischen Taumittelsprühanlage

7.1 Einführung

Um die häufig verwendeten Methoden für die Beurteilung der Eigenwirtschaftlichkeit von ATMS auflisten zu können, müssen dafür Methodik und Kriterien von in Betrieb stehenden Anlagen untersucht werden. Die Informationen wurden über verschiedene Kanäle gesammelt, u.a. einer Umfrage, welche die vorgängig an Beispielen vorgestellten Methoden ergänzt.

7.2 Umfrage

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein Fragebogen an die Winterdienst-Experten des Weltstrassenverbandes AIPCR / PIARC (Komitee TC3.4; früher C17) geschickt. Die Umfrage ist im Anhang 11.3 beschrieben. Das Hauptziel dieser Umfrage war das Sammeln von Informationen über die im Ausland angewendeten Beurteilungsmethoden. Die Personen wurden gebeten, Auskünfte über die in ihrem Land benutzten Beurteilungsverfahren zu geben. Danach wurde ihre Meinung zu einzelnen vorgeschlagenen Kriterien gefordert, mit der Möglichkeit, eigene Kriterien aufzulisten, die als wichtig erachtet werden.

Aus folgenden Ländern wurde eine Antwort zugeschickt:

- Italien
- Frankreich
- Finnland
- Vereinigte Staaten (mehrere Antworten, da der Fragebogen an lokale Behörden weitergegeben wurde)

Die Umfrage gibt somit eine kleine Übersicht über die aktuellen Tendenzen im Bereich der Eigenwirtschaftlichkeitsprüfung.

Die Ergebnisse variieren von Land zu Land. In Italien konzentrieren sich die Behörden auf einzelne Brückenbauwerke, die weit vom nächsten Werkhof entfernt liegen; die Kosten werden dabei kaum beachtet. In den Vereinigten Staaten wird das Gewicht auf die Verkehrssicherheit gelegt, in dem vor allem die Unfälle betrachtet werden, aber auch die Vereisungs-Empfindlichkeit der untersuchten Stelle.

7.3 Beschreibung häufig benutzter Kriterien

In diesem Kapitel werden diejenigen Kriterien vorgestellt, die häufig für die Eigenwirtschaftlichkeitsbeurteilung beigezogen werden (vgl. Umfrage und die verschiedenen Studien [4, 6, 7, 10]). Bei Kriterien, die in verschiedenen Ländern anders beurteilt werden, werden sämtliche Variationen gezeigt.

7.3.1 Wirtschaftliche Kriterien

7.3.1.1 Investitionskosten

Notwendige Daten	- Kosten für technische Ausrüstung - Baukosten
Einheit	CHF
Bewertung / Berechnung	Gemäss Offerte von Hersteller und/oder Installateur
Erfahrungswerte	ca. 500 CHF/m und pro Richtung
Bemerkungen	Wird nur indirekt benutzt, integriert in die jährlichen Kosten. Die Abschreibungsdauer für die technische Ausrüstung unterscheidet sich dabei meistens von derjenigen der Einbaukosten

7.3.1.2 Jährliche Betriebskosten und Abschreibung

Notwendige Daten	- Abschreibung der Kosten der technischen Ausrüstung (Dauer: 15 Jahre) - Abschreibung der Baukosten (Dauer: 25 Jahre) - Taumittelkosten - Energiekosten - Personalkosten - Unterhaltskosten
Einheit	CHF / Jahr
Bewertung / Berechnung	Abschreibung gemäss zuvor berechneten Investitionskosten
Erfahrungswerte	- Taumittelkosten: 1.50 CHF/m - Energiekosten: 0.30 CHF/m - Personalkosten: 3.00 CHF/m - Unterhaltskosten: 2.50 CHF/m
Bemerkungen	---

7.3.1.3 Jährliche Kosten durch Unfälle

Notwendige Daten	- Anzahl Unfälle auf dem Strassenabschnitt - Anzahl Unfälle bei winterlichen Verhältnissen
Einheit	CHF / Jahr
Bewertung / Berechnung	Zu den materiellen Unfallkosten addieren sich gegebenenfalls die sozialen Unfallkosten eines Verunfallten. Die Berechnungsmethode wird in der Norm SN 640 007 beschrieben Es ist ratsam, das Resultat zu verringern, da die ATMS nicht alle Unfälle verhindern kann, wobei Werte von 20 bis 50% empfohlen werden.

Erfahrungswerte Keine vorhanden

Bemerkungen ---

7.3.1.4 Jährliche staubedingte Betriebskosten der Verkehrsteilnehmer (deutsche Methode)

- Notwendige Daten**
- Durchschnittswert für die stündlichen Betriebskosten des Fahrzeugs (1)
 - Totale Anzahl Staus auf dem untersuchten Abschnitt
 - Anzahl Staus bedingt durch winterliche Verhältnisse (2)
 - Durchschnittliche Staudauer (3)
 - Verkehrslast in beide Richtungen (DTV) (4)

Einheit CHF / Jahr

- Bewertung / Berechnung**
- Anzahl mit ATMS veränderter Staus = 70% von (2) (5)
 - Durchschnittlicher Stundenverkehr = 18% von (4) (6)
 - Anzahl Fahrzeuge pro Stunde und Richtung = 50% von (6) (7)
 - Stündliche Betriebskosten = (1) x (7) (8)
 - Betriebskosten pro Stau = (8) x (3) (9)
 - Eingesparte Betriebskosten = (5) x (9)

Erfahrungswerte Keine vorhanden

Bemerkungen ---

Es wird davon ausgegangen, dass die ATMS nicht sämtliche Unfälle bei winterlichen Verhältnissen verhindern kann. Daher werden unter (5) nur 70% der Staus verwendet.

7.3.1.5 Jährliche staubedingte Zeitverlustkosten der Verkehrsteilnehmer (deutsche Methode)

- Notwendige Daten**
- Durchschnittswert für die stündlichen Zeitverlustkosten (10)
 - Anzahl Fahrzeuge pro Stunde und Richtung
 - Anzahl Fahrzeuge pro Stau (11)
 - Durchschnittliche Länge der Staus (12)

Einheit CHF / Jahr

- Bewertung / Berechnung**
- Reisezeit (in min) bei 90 km/h = (12) / 90 km/h / 60 min (13)
 - Reisezeit (in min) bei 5 km/h = (12) / 5 km/h / 60 min (14)
 - Zeitverlust pro Fahrzeug = (14) – (13) (15)
 - Zeitverlust pro Stau = (11) x (15) (16)
 - Zeitverlustkosten pro Stau = (10) x (16) (17)
 - Jährliche Zeitverlustkosten = (5) x (17) (18)

Erfahrungswerte Keine vorhanden

Bemerkungen

7.3.1.6 Jährliche Staukosten (schweizer Methode)

- Notwendige Daten**
- Durchschnittliche jährliche Stauanzahl
 - Durchschnittliche Staudauer

Einheit	CHF / Jahr
Bewertung / Berechnung	---
Erfahrungswerte	CHF 100'000 bis 150'000 pro Stau [6]
Bemerkungen	---

7.3.1.7 Jährliche Streukosten (konventioneller Winterdienst)

Notwendige Daten	- Durchschnittliche Streukosten - Durchschnittliche gestreute Taumittelmenge
Einheit	CHF / Jahr
Bewertung / Berechnung	---
Erfahrungswerte	- Durchschnittliche Streukosten: 300 CHF/t - Durchschnittliche Taumittelmenge: 0.0096 t/m
Bemerkungen	---

7.3.2 Nicht monetarisierbare Kriterien

7.3.2.1 Lokale meteorologische Bedingungen

Notwendige Daten	- Mikroklima - Feuchtigkeitsquellen (Wasserläufe, Dampferzeuger, etc.) - Schneeverwehungen
Einheit	---
Bewertung / Berechnung	Qualitative Beschreibung
Erfahrungswerte	Keine vorhanden
Bemerkungen	---

7.3.2.2 Weitere verwendete Kriterien

- Belagstyp
- Auswirkungen auf die Umwelt
- Korrosion bei Fahrzeugen
- Soziale Kosten bei Winterdienst minderer Qualität
- Verluste für die Wirtschaft

7.4 NISTRA-Kriterien

Die Beurteilungsmethode NISTRA [12] ist vom ASTRA entwickelt worden, um der Nachhaltigkeit mit einschlägigen Kriterien Rechnung zu tragen. Die Methode basiert auf einer Reihe von Zielen und Kriterien und wird im Rahmen von Strassengrossprojekten angewendet. Der Einbau einer ATMS verlangt nicht das gleiche Analyseniveau und einige Kriterien können von vornherein ausgeschlossen werden.

Dieses Kapitel zeigt diejenigen NISTRA-Kriterien, die im Rahmen des ATMS-Einbaus und des Winterdienstes interessieren. Die komplette Liste mit Zielen und Kriterien befindet sich im Anhang 11.4.

G21	Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen schützen	G211	Unfälle
		G212	Verunfallte (Verletzte und Getötete)
G25	Kosten und Nutzen fair verteilen	G251	Räumliche Verteilungseffekte
W11	Direkte Kosten des Vorhabens minimieren (Jahreskosten)	W111	Durchschnittliche jährliche Kapitalkosten
		W112	Betriebskosten
		W113	Unterhaltskosten
W12	Direkte Nutzen des Vorhabens maximieren (Jahresnutzen)	W121	Veränderung der Reisezeit im Einzugsgebiet für den Personenverkehr
		W122	Veränderung der Fahrzeit im Einzugsgebiet für den Güterverkehr
		W123	Veränderung der fixen Fahrzeugkosten für den Güter- und Geschäftsverkehr
		W124	Veränderung der variablen Fahrzeugkosten für den Personen- und Güterverkehr
		W125	Staurisiko / Reservezeit
U1x	Schadstoffe senken		Taumittel-Verbrauch

7.4.1 Die Indikatoren im Detail

Nachstehend die detaillierte Beschreibung derjenigen NISTRA-Kriterien, die im Rahmen einer ATMS-Beurteilung interessieren. Die Beschreibung, wie auch die Nummerierung stammen aus dem Methodenbericht [16].

7.4.1.1 G211: Unfälle

Einheit	Anzahl / Jahr
Erfahrungswerte	CHF 42'500 / Unfall

7.4.1.2 G212: Verunfallte (Verletzte und Getötete)

Einheit	Personen / Jahr
Erfahrungswerte	CHF 342'000 / Verunfallter

7.4.1.3 G251: Räumliche Verteilungseffekte

Dieser Indikator trägt nur wenig zur nachhaltigen Entwicklung bei, da es hauptsächlich darum geht, die Kosten und Nutzen fair zu verteilen.

Daten	Verteilung der Kosten und Nutzen zwischen den verschiedenen Akteuren (Bund, Kanton, Gemeinde)
Einheit	Qualitativ beschreibend

7.4.1.4 W111: Durchschnittliche jährliche Kapitalkosten

Daten	- Baukosten - Abschreibungszeitraum für die einzelnen Bauteile - Wahl einer realistischen Diskontrate
Einheit	CHF / Jahr
Erfahrungswerte	- Abschreibungszeitraum: 10 à 25 ans - Diskontrate: 2,5 %

7.4.1.5 W112: Betriebskosten

Daten	- Betriebskosten
Einheit	CHF / Jahr

7.4.1.6 W113: Unterhaltskosten

Daten	- Unterhaltskosten
Einheit	CHF / Jahr

7.4.1.7 W121: Veränderung der Reisezeit im Einzugsgebiet für den Personenverkehr

Im vorliegenden Fall einer ATMS, ist dieser Indikator, wie die drei darauf folgenden ebenfalls, nur bei winterlichen Ereignissen anwendbar, bei denen ein Winterdiensteinsatz notwendig wird. Zuerst muss also die Anzahl Stunden bestimmt werden, während derer ein solches Risiko besteht.

Daten	- Anzahl Stunden pro Jahr, an denen ein Winterdiensteinsatz notwendig ist - Verkehrslast
Einheit	Personenstunden / Jahr
Bewertung / Berechnung	- Berechnung des Nutzens für den bisherigen Verkehr (Reisezeitverkürzung während eines Winter-Ereignisses) - Berechnung des Nutzens für den neu induzierten Verkehr (falls vorhanden), denn eine sicherere Strasse kann Verkehr anziehen
Erfahrungswerte	- Pendlerverkehr: CHF 25 / Personenstunde - Einkaufs- und Freizeitverkehr: CHF 10 / Personenstunde - Geschäftsverkehr: CHF 100 / Personenstunde - Gewichteter Durchschnitt: CHF 27 / Personenstunde

7.4.1.8 W122: Veränderung der Fahrzeit im Einzugsgebiet für den Güterverkehr

Man beachte die Bemerkungen im vorangehenden Abschnitt (7.4.1.7).

Daten	- Anzahl Stunden pro Jahr, an denen ein Winterdiensteinsatz notwendig ist - Güterverkehr
Einheit	Personenstunden / Jahr
Bewertung / Berechnung	Wie im vorangehenden Abschnitt (7.4.1.7)
Erfahrungswerte	CHF 100 / Personenstunde

7.4.1.9 W123: Veränderung der fixen Fahrzeugkosten für den Güter- und Geschäftsverkehr

Man beachte die Bemerkungen im früheren Abschnitt (7.4.1.7). Ein höherer Service-Level erlaubt ein besseres Flottenmanagement.

Daten	- Eingesparte Stunden (7.4.1.7 et 7.4.1.8) - Durchschnittlicher Besetzungsgrad
Einheit	Einsatzstunden / Jahr
Erfahrungswerte	- Geschäftsverkehr: CHF 1.80 / Fahrzeugstunde - Güterverkehr: CHF 5.80 / Lastwagenstunde

7.4.1.10 W124: Veränderung der variablen Fahrzeugkosten für den Personen- und Güterverkehr

Man beachte die Bemerkungen im früheren Abschnitt (7.4.1.7)

Einheit	Fahrzeugkilometer oder Liter / Jahr	
Erfahrungswerte	- PW (ohne Treibstoff):	CHF 0.18 / Fz-km
	- Güterverkehr (ohne Treibstoff):	CHF 0.41 / Fz-km
	- Treibstoff (ohne Steuern):	CHF 0.50 / Liter

7.4.1.11 W125: Staurisiko / Reservezeit

Das Staurisiko steigt bei einem Winterereignis. Dieser Indikator ist nur in einem solchen Fall anwendbar.

Daten	- Staurisiko im Referenzfall
	- Staurisiko bei Winterereignis
Einheit	Fahrzeugkilometer / Jahr

7.4.1.12 Taumittel-Verbrauch

Daten	- Taumittel-Verbrauch
Einheit	Tonnen Taumittel / Jahr

8 Erarbeitung der Beurteilungsmethode

Die in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Erfahrungen und Methoden zeigen, dass eine Beurteilungsmethode für ATMS im schweizerischen Kontext noch zu entwickeln und empfehlen ist.

In diesem Kapitel wird die empfohlene Methode für die Beurteilung des Einbaus einer automatischen Sprühanlage vorgestellt, inklusive der Beschreibung der für den Vergleich zu benutzenden Kriterien.

8.1 Beschreibung der Beurteilungsmethode

Die Beurteilungsmethode wird in zwei Schritten abgewickelt (Abbildung 7). Zuerst wird eine Zweckmässigkeitsuntersuchung durchgeführt, die feststellen soll, an welchen Stellen ein Detailprojekt notwendig scheint. Danach folgt die Variantenwahl, um die jeweilige Bestvariante für die untersuchten Stellen zu finden. Diese beiden Etappen werden nachstehend im Detail beschrieben.

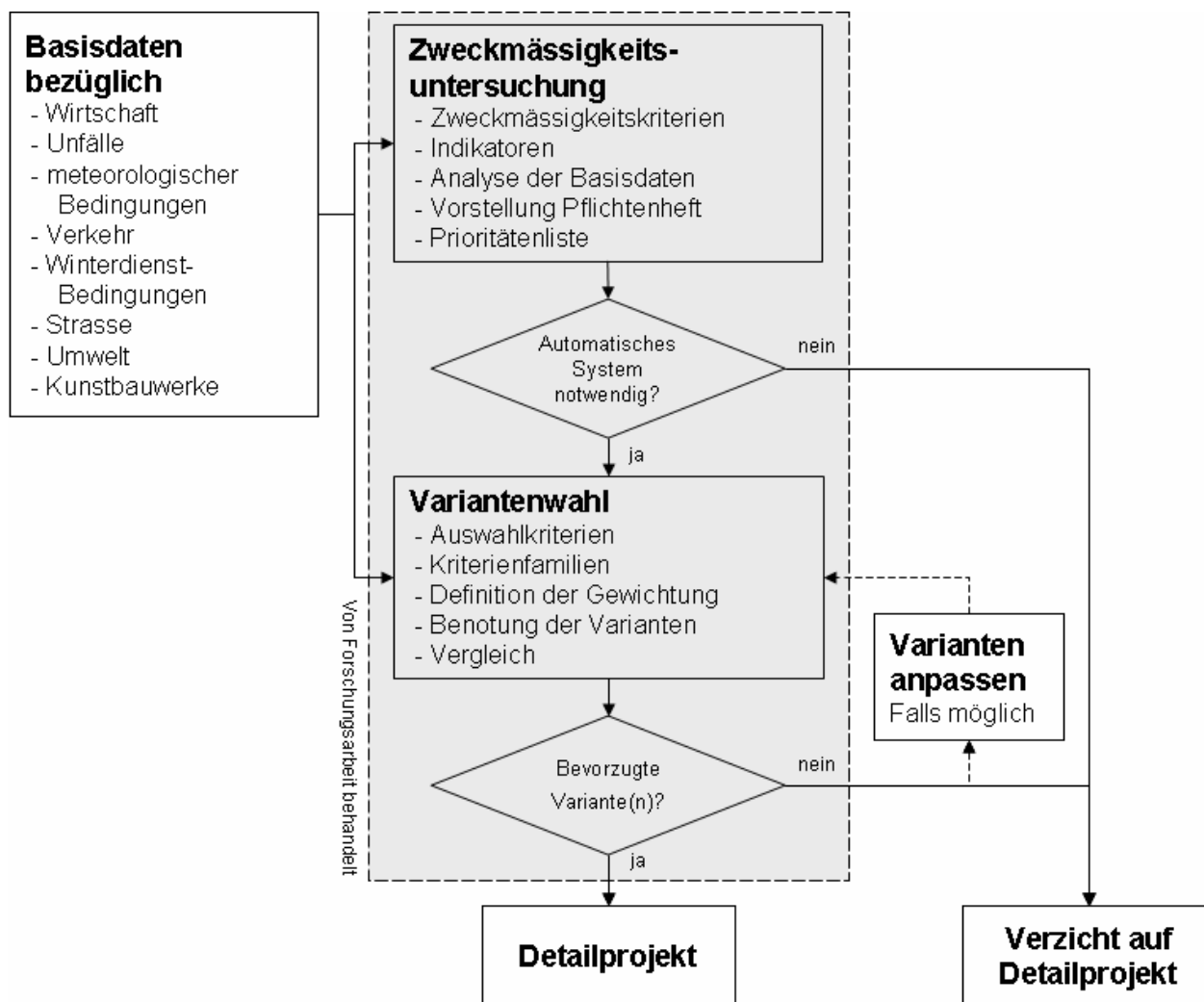


Abbildung 7: Vorgehen gemäss empfohlener Beurteilungsmethode

8.2 Zweckmässigkeitsuntersuchung

8.2.1 Allgemeines

Die Zweckmässigkeitsuntersuchung soll zeigen, ob eine nähere Untersuchung des Winterdienstes notwendig ist. Die damit eröffnete Diskussion hat zum Ziel, den Entscheidungsträgern einen Überblick über die möglichen Konsequenzen eines ATMS-Einbaus zu geben. Die Machbarkeit oder die finanziellen Aspekte werden in dieser ersten Phase nicht betrachtet, da sie hier nicht als ausschlaggebend gelten [11].

Das Ergebnis dieser Zweckmässigkeitsuntersuchung ist es, herauszufinden, ob eine ATMS aufgrund eines „nicht mathematischen“ Vergleichs begründet wäre. Gleichzeitig ist mit dieser Grundlage die Erarbeitung eines provisorischen Pflichtenhefts möglich, das Ziele und potentielle Konflikte des zukünftigen Projekts zeigt. Zudem kann eine Prioritätenliste erstellt werden, falls der Bauherr gleichzeitig mehrere Problemzonen untersuchen möchte.

Trotz der nicht rechnerischen Natur dieser ersten Etappe werden einige der Indikatoren in Schweizer Franken ausgedrückt. Diese Bewertung wird aber nicht für eine Kosten-Nutzen-Analyse verwendet, sondern dient als Vergleichsgrundlage mit bekannten Werten von anderen Strassenabschnitten in der Schweiz, im Kanton oder in der Umgebung des untersuchten Teilstücks.

Dieselben Kriterien müssen sowohl für bestehende Strassen als auch für Bauprojekte anwendbar sein. Für letztere sind ja keine statistischen Daten vorhanden und gewisse Zweckmässigkeitsindikatoren können nicht bewertet werden. Die Tabelle 2 zeigt die Kriterien und Indikatoren, sowie deren Anwendungsbereich.

8.2.2 Vorgeschlagene Zweckmässigkeitskriterien

Wie erwähnt zeigt die folgende Tabelle 2 die Zweckmässigkeitskriterien und deren Indikatoren für die Bewertung. Eine detaillierte Beschreibung der Zweckmässigkeitsindikatoren folgt weiter unten in diesem Kapitel. Zudem wird erwähnt, ob die Bewertung für ein Strassenprojekt (N) oder eine bestehende Strasse (E) durchgeführt werden muss. Dabei muss die Frage beantwortet werden, ob gemäss des jeweiligen Indikators weitere Massnahmen unbedingt untersucht werden müssen (in diesem Fall den Einbau einer ATMS), zu diskutieren, oder gar überflüssig seien.

Bezüglich der möglichen Informationsquellen für bestehende Strassen ist es ratsam, von der reichen Erfahrung der auf dem Streckenabschnitt tätigen Unterhaltsdienste zu profitieren. Ihr Fachwissen und die Kenntnisse der regionalen Eigenheiten sind eine wichtige Hilfe in der Erarbeitung der Zweckmässigkeitsuntersuchung.

Zweckmässigkeitskriterien	Zweckmässigkeitsindikatoren	Anwendung	
		N	E
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit		X
	Schwere		X
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte	X	X
	Spezielle Verhältnisse	X	X
	Schnelle Witterungswechsel	(X)	X
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof	(X)	X
	Behinderung durch den Verkehr		X
	Personal und Material		X
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz	X	X
	Verkehrsvolumen und -struktur	(X)	X
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr	X	X
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität	X	X
	Sensibilität des Bodens	X	X
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge		X
	Taumittel-Streuung		X
Strassengeometrie	Kurvigkeit	X	X
	Steigung	X	X
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil	X	X
	Strassenbelag	X	X
Antrieb zur Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien	X	X

Tabelle 2: Liste der Kriterien und Indikatoren der empfohlenen Zweckmässigkeitsuntersuchung

8.2.2.1 Häufigkeit der Glatteis-Unfälle

Charakteristik	Jeder Unfall bedeutet eine Behinderung des Verkehrs. Die Anzahl Unfälle auf vereister Fahrbahn ist daher ein wichtiger Indikator. Es werden nur Unfälle auf Glatteis betrachtet, weil eine TMS hauptsächlich unter diesen Verhältnissen ihre Anwendung findet.
Einheit	Unfälle / (mio. Fz•km•Jahr)
Benötigte Daten	Anzahl Unfälle, hauptsächlich auf vereister Fahrbahn; Verkehrsbelastung während des untersuchten Zeitraums
Mögliche Quellen	Die Polizei verfügt über detaillierte Unfallstatistiken. Seit 1995 sind die Unfallrapporte vom Bundesamt für Statistik standardisiert und die Polizei kann die notwendigen Detailinformationen liefern. Die Verkehrsbelastung kann aus Zählungen hergeleitet werden.

Bewertung / Berechnung Es ist möglich, Unfälle nach dem Strassenzustand zu ordnen, der im Polizeirapport aufgeführt ist. Die Analyse von Daten über mehrere Jahre erlaubt eine Abschätzung des Unfallrisikos während des Winters, bzw. auf vereister Fahrbahn. Zudem können Unfallschwerpunkte bei Glatteis identifiziert werden.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die Unfallhäufigkeit ist tief und verlangt keinen Wechsel der Winterdienststrategie	Die Unfallhäufigkeit ist hoch und verlangt daher einen Wechsel der Winterdienststrategie

Bemerkungen

Die klimatischen Verhältnisse sind nicht jeden Winter die gleichen, grosse Unterschiede sind festzustellen. Eine Analyse der meteorologischen Daten (s. Indikator „Winterliche Härte“) soll helfen, diese Unterschiede sichtbar zu machen.

In den offiziellen Unfallstatistiken finden sich nur die der Polizei gemeldeten Fälle (ohne Fahrerflucht, direkte Einigung, etc.). Die Versicherungen können ebenfalls Informationen zu den Unfällen liefern.

8.2.2.2 Soziale Kosten der Unfälle auf vereister Fahrbahn

Charakteristik Die Unfallschwere wird aufgrund des Verletzungsgrads der beteiligten Personen bestimmt. Sie wird häufig in sozialen Kosten ausgedrückt.

Einheit Soziale Kosten / Jahr

Benötigte Daten Detaillierte Unfalldaten, hauptsächlich auf vereister Fahrbahn; soziale Kosten pro Unfalltyp, bzw. verletzter Person

Mögliche Quellen Die Polizei verfügt über detaillierte Unfallstatistiken. Seit 1995 sind die Unfallrapporte vom Bundesamt für Statistik standardisiert und die Polizei kann die notwendigen Detailinformationen liefern. Die sozialen Kosten pro Unfall oder verletzter Person sind in der Schweizer Norm definiert [17].

Bewertung / Berechnung Es ist möglich, Unfälle nach dem Strassenzustand zu ordnen, der im Polizeirapport aufgeführt ist. Damit können Unfallschwerpunkte bei Glatteis identifiziert werden.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die sozialen Kosten sind tief und verlangen keinen Wechsel der Winterdienststrategie	Die sozialen Kosten sind hoch und verlangen daher einen Wechsel der Winterdienststrategie

Bemerkungen

Die Variabilität des Winterklimas kann mit Hilfe einer Analyse der meteorologischen Verhältnisse (s. Indikator „Winterliche Härte“) ausgedrückt werden.

Schwere Unfälle sind eher rar, es finden sich in der Regel nur wenige auf einem untersuchten Teilstück. Man muss sich bei der detaillierten statistischen Analyse der Unfalldaten diesem schwachen repräsentativen Charakter stets bewusst sein.

8.2.2.3 Winterliche Härte

Charakteristik Es ist hilfreich, die lokalen winterlichen Verhältnisse mit Hilfe eines Indikators zu beschreiben. Er zeigt das Expositionsrisiko bezüglich winterlichen Verhältnissen des untersuchten Strassenabschnitts, kann aber auch dem Vergleich verschiedener Winter dienen. Die meteorologischen Verhältnisse sind nicht jedes Jahr dieselben, das Glatteisrisiko und die Schneefälle ändern sich von Jahr zu Jahr. Es wird empfohlen, einen Indikator zu benutzen, der die „winterliche Härte“ mit Hilfe der Summe der Risikostunden für mögliche Glatteisbildung oder Schneefall ausdrückt.

Einheit Risikostunden / Jahr

Benötigte Daten Meteorologische Stundendaten:

- Lufttemperatur
- Niederschlag (Regen, Schnee)
- Relative Luftfeuchtigkeit

Mögliche Quellen MeteoSchweiz verfügt über mehrere Wetterstationen, deren Stundendaten erhältlich sind. Oft verfügen Unterhaltsdienste ebenfalls über einige Wetterstationen entlang des Strassennetzes.

Bewertung / Berechnung Eine Messstunde wird als „Risikostunde“ bezeichnet, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die Lufttemperatur ist tiefer als 5°C und es wird Niederschlag gemessen
- Die Lufttemperatur ist tiefer als 5°C und die relative Luftfeuchtigkeit ist höher als 75%

Die Summe dieser Risikostunden ergibt den Faktor für die „winterliche Härte“.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der untersuchte Strassenabschnitt weist nur wenige Risikostunden auf	Der untersuchte Strassenabschnitt liegt in einem Gebiet mit vielen Risikostunden

Bemerkungen Dieser Parameter stellt nicht den Anspruch, die präzise Anzahl Risikostunden eines Winters vorauszusagen, an denen das Haftvermögen eines Streckenabschnitts reduziert ist. Vielmehr soll er einen Vergleichswert bieten, um die winterlichen Verhältnisse verschiedener Jahre oder Gebiete miteinander vergleichen zu können. Es ist nicht immer einfach, eine aussagekräftige Wetterstation in unmittelbarer Nähe zu finden.

Gemäss einer neueren Forschungsarbeit [18] ist es möglich, für ein gegebenes Gebiet eine Korrelation zwischen gewissen Wetterdaten und den Winterdienstkosten zu finden.

8.2.2.4 Spezielle Verhältnisse

Charakteristik Die relative Luftfeuchtigkeit kann stark von lokalen Gegebenheiten beeinflusst werden. In der Nähe des untersuchten Strassenabschnitts können Feuchtigkeitsquellen vorhanden sein, wie z.B. dichte Vegetation, Wasserläufe, Kühltürme, etc. Diese speziellen Verhältnisse sollten beim Detailprojekt in Betracht gezogen werden.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Existenz einer oder mehrerer Feuchtigkeitsquellen

Mögliche Quellen Den besten Überblick erhält man bei einer Begehung vor Ort. Waldgebiete können auch auf Plänen erkannt werden. Gegebenenfalls können in verschiedenen Abständen von der Quelle aufgestellte Messstationen deren Einfluss auf die Luftfeuchtigkeit festhalten

Bewertung / Berechnung Dieser Indikator kann nicht berechnet oder beziffert werden. Eine Beschreibung der Situation oder der vom Unterhaltungsdienst gesammelten Erfahrungen sollte erstellt werden.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die speziellen Verhältnisse bieten keine zusätzliche Gefahr zur Glatteisbildung	Die speziellen Verhältnisse bieten eine erhebliche zusätzliche Gefahr zur Glatteisbildung

Bemerkungen Anhäufungen von Schnee (natürlich oder durch Räumen), Nebel, starke Temperaturunterschiede, etc. können ebenfalls mit diesem Indikator beschrieben werden.

8.2.2.5 Schnelle Witterungswechsel

Charakteristik Der Verkehrsteilnehmer kann von schnellen Witterungswechseln überrascht werden. Dieser Indikator trägt der Sensibilität für solche Wechsel der untersuchten Gegend Rechnung.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Detaillierte Wetterdaten; der Temperaturgradient ist besonders interessant.

Mögliche Quellen MeteoSchweiz verfügt über mehrere Wetterstationen, deren Stundendaten erhältlich sind. Oft verfügen Unterhaltungsdienste ebenfalls über einige Wetterstationen entlang des Strassennetzes. Hier kann auch von der Erfahrung des Unterhaltspersonals profitiert werden.

Bewertung / Berechnung Die Daten zeigen eine Tendenz bezüglich der Schnelligkeit der Wetterwechsel.

Bewertung :

unnötig	notwendig
Die Verhältnisse wechseln relativ langsam und tragen nicht zum Glatteisrisiko bei	Die Verhältnisse wechseln sehr schnell und erhöhen das Glatteisrisiko erheblich

8.2.2.6 Distanz zum Werkhof

Charakteristik Die Eingreifgeschwindigkeit ist für einen effizienten Winterdienst sehr wichtig. Die Distanz zum Werkhof ist dabei entscheidend. Die Schweizer Norm [19] schreibt den maximal möglichen Eingreifszeitpunkt vor. Spezielle Verhältnisse können die Einhaltung dieser Grenzen verunmöglichen.

Einheit Minuten

Benötigte Daten Eingreifzeiten, bzw. Salzrouten

Mögliche Quellen Der Unterhaltsdienst verfügt in der Regel über diese Informationen oder mindestens eine theoretische Planung des Winterdienstes. Falls nicht (z.B. bei geplanten Strassen), müssen die Einsatzzeiten unter winterlichen Verhältnissen geschätzt werden.

Bewertung / Berechnung Die Eingreifzeit kann direkt verwendet werden, wobei natürlich eine möglichst kurze Einsatzzeit vorzuziehen ist.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Winterdienst kann innerhalb nützlicher Zeit zufriedenstellend ausgeführt werden	Der Winterdienst kann nicht innerhalb nützlicher Zeit oder nur unzufriedenstellend ausgeführt werden

8.2.2.7 Behinderung des Winterdienstes durch den Verkehr

Charakteristik Die Durchführung des Winterdienstes wird bei zunehmendem Verkehr schwieriger, denn die Unterhaltsfahrzeuge werden vom Verkehr behindert. Zudem steigt das Staurisiko beim Eintreffen winterlicher Verhältnisse (Glatteisbildung, Schneefall, Schneeschmelze, etc.) proportional zum Verkehrsvolumen. Eine ATMS funktioniert unabhängig vom Verkehr, denn der Sprühvorgang ist jederzeit möglich, auch bei Stau oder stockendem Verkehr.

Einheit Fahrzeuge / Stunde

Benötigte Daten Verkehrszählungen oder Planungsdaten

Mögliche Quellen Das ASTRA verfügt über einige automatische Verkehrszählstellen auf dem Strassennetz, die von kantonalen Zählstellen oder manuellen Zählungen ergänzt werden. Beim Fehlen dieser Zahlen wird empfohlen, auf dem untersuchten Strassenabschnitt Zählungen durchzuführen. Für ein Strassenprojekt müssen die Planungswerte benutzt werden.

Bewertung / Berechnung Das Verkehrsvolumen wird direkt übernommen.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Winterdienst wird nicht durch den Verkehr behindert	Der Winterdienst wird durch den Verkehr stark behindert, vor allem bei Glatteis

8.2.2.8 Unterhaltungspersonal und -material

Charakteristik Es ist eventuell möglich, dass Unterhaltungspersonal oder -material abgebaut werden kann (oder wenigstens nicht erhöht werden muss). Oft führen private Unternehmer im Auftrag des Strassenbesitzers den Winterdienst auf gewissen Abschnitten mit eigenem Personal und Material aus. Hohe durchschnittliche Unterhaltskosten sind ein Indiz für die Notwendigkeit eines Strategiewechsels.

Einheit CHF / Jahr (und km)

Benötigte Daten Jährliche Personal- und Materialkosten für den Winterdienst

Mögliche Quellen Der Unterhaltsdiest verfügt über detaillierte Daten und Erfahrung, um die im Winterdienst eingesetzten finanziellen Mittel abschätzen zu können.

Bewertung / Berechnung Die Kenntnis der jährlichen Kosten des Winterdienstes ist wichtig. Als Kilometerkosten ausgedrückt können sie dem Vergleich mit anderen Strassenabschnitten dienen.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die jährlichen Kosten liegen unter dem schweizerischen Durchschnitt	Die jährlichen Kosten sind überdurchschnittlich hoch

8.2.2.9 Hierarchische Stellung im Strassennetz

Charakteristik Die Schweizer Norm [19] definiert Dringlichkeitsstufen für die Glatteis- und Schneeabkämpfung gemäss Wichtigkeit der Strasse. Die Hochleistungsstrassen müssen schneller behandelt werden als lokale Verbindungsstrassen.

Einheit Hierarchiestufe

Benötigte Daten Klassierung des Strassennetzes

Mögliche Quellen Jeder Kanton verfügt über eine Liste der Strassen in seinem Zuständigkeitsbereich, und ihre hierarchische Stellung im Strassennetz.

Bewertung / Berechnung Wichtigere Strassen sind prioritär zu behandeln.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die tiefe Hierarchiestufe vermag eine weiterführende Studie nicht zu begründen	Die Wichtigkeit der Strasse verlangt nach einer weiterführenden Studie

8.2.2.10 Verkehrsvolumen und -struktur

Charakteristik Der Verkehr zeugt in einer anderen Weise von der Wichtigkeit der Strasse, eher aus der Sicht des Verkehrsteilnehmers. Ein wirksamer Winterdienst ist auf einer Hochleistungsstrasse mit viel Verkehr unerlässlich.

Einheit Fahrzeuge / Stunde

Benötigte Daten Verkehrszählungen, Planungsdaten

Mögliche Quellen Das ASTRA verfügt über einige automatische Verkehrszählstellen auf dem Strassennetz, die von kantonalen Zählstellen oder manuellen Zählungen ergänzt werden. Beim Fehlen dieser Zahlen wird empfohlen, auf dem untersuchten Strassenabschnitt Zählungen durchzuführen. Für ein Strassenprojekt müssen die Planungswerte benutzt werden.

Bewertung / Berechnung Das Verkehrsvolumen wird direkt verwendet; ein hohes Volumen ist für den Winterdienst ein Nachteil.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Ein mässiges Verkehrsaufkommen rechtfertigt keine weiterführende Untersuchung	Ein hohes Verkehrsaufkommen verlangt nach einer weiterführenden Studie

8.2.2.11 Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr

Charakteristik Es gibt kein Nullrisiko. Es ist an den Behörden, ein „akzeptiertes“ Risiko (Häufigkeit und Dauer) für die Vereisungsgefahr festzulegen.

Einheit Stunden / Jahr

Benötigte Daten Beschreibung

Mögliche Quellen Verwaltung und kantonale Behörden

Bewertung / Berechnung Bewertung:

unnötig	notwendig
Ein Glatteisrisiko kann ohne weiteres während mehrerer Stunden pro Jahr akzeptiert werden	Ein Glatteisrisiko kann auf dem untersuchten Strassenabschnitt nicht toleriert werden

8.2.2.12 Hydrogeologische Sensibilität

Charakteristik Die Kenntnis der Sensibilität auf Taumittel der Umgebung des untersuchten Strassenabschnitts ist wichtig, vor allem von Grundwasser und Wasserläufen. Der Taumittelverbrauch einer ATMS ist in der Regel tiefer als derjenige des traditionellen Winterdienstes.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Beschreibung

Mögliche Quellen Fachstelle

Bewertung / Berechnung Bewertung:

unnötig	notwendig
Die Umgebung der Strasse reagiert nicht sensibel auf die Taumittelleinwirkung	Die Umgebung reagiert sehr sensibel auf den Umwelteinfluss des Taumittels, dessen Verbrauch muss eingeschränkt werden

8.2.2.13 Sensibilität des Bodens

Charakteristik Die Kenntnis der Sensibilität des Bodens auf Taumittel im Bereich des untersuchten Strassenabschnitts ist wichtig. Der Taumittelverbrauch einer ATMS ist in der Regel tiefer als derjenige des traditionellen Winterdienstes.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Beschreibung

Mögliche Quellen Fachstelle

Bewertung / Berechnung Bewertung :

unnötig	notwendig
Das Gebiet, in dem sich die Strasse befindet, reagiert nicht sensibel auf die Taumittelleinwirkung	Das Gebiet reagiert sehr sensibel auf den Umwelteinfluss des Taumittels, dessen Verbrauch muss eingeschränkt werden

8.2.2.14 Taumittelmenge

Charakteristik Die Anwendung einer grossen Menge Taumittel kann Indikator sein für schwierige winterliche Verhältnisse.

Einheit Tonnen / Jahr

Benötigte Daten Jährliche oder pro Winter verwendete Taumittelmenge auf dem untersuchten Strassenabschnitt.

Mögliche Quellen Der Unterhaltungsdienst verfügt in der Regel über detaillierte Statistiken über den Taumittelverbrauch.

Bewertung / Berechnung Falls die genauen Mengen für den untersuchten Abschnitt nicht bekannt sind, muss eine Pro-rata Berechnung gemacht werden.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Taumittelverbrauch liegt tiefer als der schweizerische Durchschnitt oder derjenige vergleichbarer Strassenabschnitte	Der Taumittelverbrauch liegt weit höher als der schweizerische Durchschnitt oder derjenige vergleichbarer Strassenabschnitte

8.2.2.15 Taumittel-Streuung

Charakteristik Taumittel können für die Kunstbauwerke schädlich sein. Es ist wichtig, die anfälligen Bauwerke der Strasse aufzulisten.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Eine Liste der Kunstbauwerke auf dem untersuchten Strassenabschnitt, inklusive der Beschreibung des Korrosionsrisikos.

Mögliche Quellen Die Behörden verfügen über Baupläne der Strasse und der Kunstbauwerke, anhand derer es möglich ist, mögliche Korrosionsrisiken und -stellen zu lokalisieren. Der Unterhaltungsdienst kann eventuell von Wasser- oder Salzwasseransammlungen auf bestehenden Bauwerken berichten.

Bewertung / Berechnung Es gibt nicht viele Taumittel-Streuungsmodelle, oft geben sie nur Annäherungen wieder. Es kann nötig sein, Spezialisten mit der Untersuchung und Beurteilung des Korrosionsrisikos zu beauftragen.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Die Taumittel-Streuung bietet keine Gefahren für die Kunstbauwerke	Die Taumittel-Streuung gefährdet die Kunstbauwerke

Bemerkungen Die Identifizierung von auf Eisbildung sensiblen Stellen kann zu einem Massnahmenkatalog führen, der beim Einbau einer ATMS, oder sogar beim Um- und Neubau eines Kunstbauwerks angewendet werden kann.

8.2.2.16 Kurvigkeit

Charakteristik Jeder Richtungswechsel kann sich bei winterlichen Verhältnissen als schwierig erweisen. Die Kurvigkeit der Strasse kann demnach beim Bestimmen der Unfallgefahr eine wichtige Rolle spielen.

Einheit Faktor

Benötigte Daten Anzahl Kurven, deren Richtungswechsel (Winkel) und die Gesamtlänge des Strassenabschnitts.

Mögliche Quellen Die Verwaltung verfügt über Baupläne, auf denen die Linienführung und die notwendigen Informationen über Kurvenradien vorhanden sind.

Bewertung / Berechnung Der Kurvigkeitsfaktor wird folgendermassen berechnet [20, 21]:

$$C_S = \sum \frac{|\alpha_i|}{L_i}$$

wobei: α_i : Richtungswechsel eines Streckenelements, ausgedrückt in Gon (für eine Gerade gilt: $\alpha_i = 0$)

L_i : Länge des Strassenelements, ausgedrückt in Kilometern

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Strassenabschnitt besitzt nur wenige Kurven (tiefer Kurvigkeitsfaktor)	Der Strassenabschnitt ist sehr kurvenreich (hoher Kurvigkeitsfaktor)

8.2.2.17 Steigung

Charakteristik Die Steigungen können das Fahren bei winterlichen Verhältnissen erschweren. Vor allem Lastwagen reagieren sensibel auf Steigungen, sowohl bergauf als auch bergab.

Einheit Faktor

Benötigte Daten Proportion und Winkel der Steigungen, Gesamtlänge des Strassenabschnitts.

Mögliche Quellen Die Verwaltung verfügt über Baupläne, auf denen das Längenprofil und die notwendigen Informationen über Steigungen ablesbar sind.

Bewertung / Berechnung Der Steigungsfaktor wird folgendermassen berechnet [20, 22]:

$$C_R = \frac{\sum |d_i|}{L}$$

wobei: d_i : Höhenunterschied zwischen zwei Scheitelpunkten, ausgedrückt in Metern

L : Länge des Strassenabschnitts, ausgedrückt in Kilometern

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Strassenabschnitt hat einen kleinen Steigungsfaktor	Der Strassenabschnitt hat einen grossen Steigungsfaktor

8.2.2.18 Anteil von Kunstbauwerken

Charakteristik Die Kunstbauwerke, insbesondere Brücken, sind in der Regel anfälliger auf Glatteisbildung bei winterlichen Verhältnissen. Ihre thermische Trägheit ist geringer und es gibt keine Wärmezufuhr aus dem Boden. Es können verschiedene Bauarten unterschieden werden: Hohlkastenbrücken sind weniger kälteanfällig als Verbundbrücken oder vor allem Balkenbrücken.

Einheit Anteil

Benötigte Daten Länge der einzelnen Bauwerke und des gesamten Strassenabschnitts

Mögliche Quellen Die kantonalen Behörden verfügen über die notwendigen Daten des Strassennetzes.

Bewertung / Berechnung Es wird der prozentuale Anteil der Länge der Kunstbauwerke an der Gesamtlänge des Strassenabschnitts berechnet.

Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Strassenabschnitt hat keine oder wenig Kunstbauwerke	Der Strassenabschnitt hat mehrere Brücken, vor allem Balkenbrücken

8.2.2.19 Strassenbelag

Charakteristik Der Belagstyp kann den Winterdienst merklich beeinflussen. Ein Drainasphalt, zum Beispiel, verlangt wegen seiner besseren Entwässerung nach einem grösseren Streuaufwand (bis zu 40% mehr Taumittel). Der Zustand des Strassenbelags bestimmt zudem sein Haftvermögen.

Einheit Beschreibung

Benötigte Daten Belagstyp, -aufbau und -zustand

Mögliche Quellen Die Strassenbehörde verfügt über die notwendigen Informationen über die auf dem untersuchten Strassenabschnitt eingebauten Beläge, bzw. deren Typ, Aufbau und Zustand.

Bewertung / Berechnung Die Entwässerungskapazität und das Haftvermögen werden beschrieben, um die notwendige Taumittelstreuung zu bestimmen.
Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Strassenbelag ist mit einer ATMS nicht kompatibel und ein Auswechseln ist nicht geplant	Der Belagstyp ist mit einer ATMS einfacher zu behandeln als mit herkömmlichen Mitteln

8.2.2.20 Antrieb zur Nutzung neuer Technologien

Charakteristik Die Strassenbehörden zeigen den Willen, sich anzupassen und neue Technologien zu benutzen.

Einheit Beschreibung

Bewertung / Berechnung Bewertung:

unnötig	notwendig
Der Innovationswille der Behörde ist begrenzt	Die Behörde zeigt einen grossen Innovationswillen

8.2.3 Anwendung der empfohlenen Methode

Die folgenden Beispiele zeigen die praktische Anwendung der Zweckmässigkeitsuntersuchung. Einzig das Beispiel der A12 beruht auf einer genaueren Analyse der Zweckmässigkeitskriterien. Die anderen basieren auf Schätzungen des LAVOC, welche anhand der Ortskenntnisse und Gesprächen mit Fachleuten der entsprechenden Region erstellt wurden.

8.2.3.1 Aigues-Vertes

Dieses erste Beispiel zeigt das Ergebnis für die Aigues-Vertes-Brücke in Genf (vgl. Beschreibung im Abschnitt 5.2.1). Es handelte sich um ein Strassenprojekt, die Tabelle ist daher nicht vollständig ausgefüllt.

<i>Zweckmässigkeitskriterium</i>	<i>Indikator</i>	alternative Massnahmen		
		unnötig	zu diskutieren	notwendig
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit			
	Schwere			
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte		X	
	Spezielle Verhältnisse			X
	Schnelle Witterungswechsel			X
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof	X		
	Behinderung durch den Verkehr			
	Personal und Material			
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz			X
	Verkehrsvolumen und -struktur		X	
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr			X
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität			X
	Sensibilität des Bodens	X		
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge			
	Taumittel-Streuung			
Strassengeometrie	Kurvigkeit	X		
	Steigung	X		
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil			X
	Strassenbelag	X		
Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien		X	

Gemäss den vorhandenen Informationen kann der traditionelle Winterdienst auf dem untersuchten Bauwerk kritisch sein. Der Kanton Genf hat sich entschieden, die Brücke mit einer ATMS auszurüsten, was wir angesichts der lokalen Verhältnisse und der Wichtigkeit der Strasse als angemessen betrachten.

8.2.3.2 Umfahrung Lausanne

Das zweite Beispiel zeigt die Autobahnumfahrung Lausanne, wie sie in Abschnitt 5.2.2 beschrieben wurde.

Zweckmässigkeitskriterium	Indikator	alternative Massnahmen		
		unnötig	zu diskutieren	notwendig
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit		X	
	Schwere		X	
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte		X	
	Spezielle Verhältnisse			X
	Schnelle Witterungswechsel		X	
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof	X		
	Behinderung durch den Verkehr			X
	Personal und Material		X	
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz			X
	Verkehrsvolumen und -struktur			X
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr			X
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität		X	
	Sensibilität des Bodens	X		
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge	X		
	Taumittel-Streuung	X		
Strassengeometrie	Kurvigkeit		X	
	Steigung			X
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil	X		
	Strassenbelag	X		
Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien		X	

Die Schwierigkeiten in Lausanne finden sich hauptsächlich auf Betriebsniveau, denn die Staus haben einen negativen Einfluss auf die regionale Wirtschaft (vgl. [5]). Zudem wird der Unterhaltungsdienst durch die Staus an der effizienten Arbeit gehindert. Auf der Umfahrung Lausanne ist eine 8 km lange ATMS eingebaut, was in dieser Untersuchungsphase auch notwendig erscheint.

8.2.3.3 Flamatt

Ein schwerer Unfall, sowie häufige Glatteisbildung haben zur Analyse der Verhältnisse im Bereich des Viadukts in Flamatt geführt (vgl. Beschreibung im Abschnitt 5.2.3).

Zweckmässigkeitskriterium	Indikator	alternative Massnahmen		
		unnötig	zu diskutieren	notwendig
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit		X	
	Schwere			X
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte		X	
	Spezielle Verhältnisse			X
	Schnelle Witterungswechsel			X
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof			X
	Behinderung durch den Verkehr	X		
	Personal und Material	X		
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz		X	
	Verkehrsvolumen und -struktur	X		
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr			X
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität	X		
	Sensibilität des Bodens	X		
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge		X	
	Taumittel-Streuung		X	
Strassengeometrie	Kurvigkeit	X		
	Steigung			X
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil			X
	Strassenbelag	X		
Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien		X	

Gemäss den vorliegenden Informationen ist der Einbau aufgrund der Verkehrssicherheit und der speziellen Verhältnisse gerechtfertigt.

8.2.3.4 A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projekt)

Die Strassenbehörde des Kantons Waadt hat den Winterdienst auf dem Abschnitt der A12 zwischen Vevey und Châtel-St-Denis genauer untersuchen lassen. Dieses Projekt hat als praktisches Anwendungsbeispiel der vorliegenden Forschungsarbeit gedient und eine genauere Kurzbeschreibung folgt weiter unten (Abschnitt 8.3.4).

Zweckmässigkeitskriterium	Indikator	alternative Massnahmen		
		unnötig	zu diskutieren	notwendig
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit			X
	Schwere			X
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte			X
	Spezielle Verhältnisse		X	
	Schnelle Witterungswechsel			X
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof			X
	Behinderung durch den Verkehr		X	
	Personal und Material		X	
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz			X
	Verkehrsvolumen und -struktur		X	
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr		X	
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität	X		
	Sensibilität des Bodens	X		
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge		X	
	Taumittel-Streuung		X	
Strassengeometrie	Kurvigkeit			X
	Steigung			X
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil		X	
	Strassenbelag		X	
Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien			X

Der traditionelle Winterdienst ist auf diesem Abschnitt offensichtlich überlastet. Allerdings entstehen die Probleme eher in Verbindung mit Schneefall als mit Glatteis (Unfälle, Betrieb,...). In diesem Fall ist eine ATMS auf dem gesamten Abschnitt nicht unbedingt das beste Mittel. Eine genauere Analyse ist hier nötig.

8.2.3.5 Morges

Dieses Beispiel zeigt, als Vergleich, einen Strassenabschnitt, auf dem keine ATMS eingebaut ist.

Zweckmässigkeitskriterium	Indikator	alternative Massnahmen		
		unnötig	zu diskutieren	notwendig
Glatteis-Unfälle	Häufigkeit	X		
	Schwere		X	
Lokale meteorologische Verhältnisse	Winterliche Härte	X		
	Spezielle Verhältnisse	X		
	Schnelle Witterungswechsel	X		
Winterdienstbezogene Verhältnisse	Distanz zum Werkhof		X	
	Behinderung durch den Verkehr			X
	Personal und Material		X	
Strassenfunktion	Hierarchische Stellung im Strassennetz			X
	Verkehrsvolumen und -struktur			X
	Akzeptierbares Risiko: Häufigkeit und Dauer der Vereisungsgefahr			X
Ökologisch sensibles Gebiet	Hydrogeologische Sensibilität	X		
	Sensibilität des Bodens	X		
Schutz der Kunstbauwerke	Taumittelmenge	X		
	Taumittel-Streuung	X		
Strassengeometrie	Kurvigkeit	X		
	Steigung	X		
Strassenumfeld	Kunstbauwerk-Anteil		X	
	Strassenbelag	X		
Nutzung neuer Technologien	Politischer Wille zur Nutzung neuer Technologien		X	

Man kann rasch feststellen, dass gemäss den zur Verfügung stehenden Informationen eine Änderung der Winterdienststrategie nicht notwendig ist. Das Risiko von Störungen und Unfällen bei Glatteis ist nur gering. Dieser Strassenabschnitt benötigt zurzeit keinen Einbau einer ATMS.

8.2.4 Empfehlung

Die Zweckmässigkeitsuntersuchung ist ein einfach zu handhabendes Instrument. Sie kann direkt von den jeweiligen Strassenbehörden durchgeführt werden. Ein Planungsbüro kann die Verarbeitung der für die Bewertung der Indikatoren notwendigen Basisdaten gegebenenfalls übernehmen. Die Studie der Basisdaten kann in der zweiten Phase, der Variantenwahl, übernommen und weiter verarbeitet werden.

8.3 Variantenwahl

Wenn die Zweckmässigkeituntersuchung mit entsprechendem Ergebnis abgeschlossen wurde (Detailstudie notwendig), folgt nun das Studium und die Auswahl der Varianten. In der Regel sind mindestens zwei Varianten zu unterscheiden, der Einbau einer ATMS auf der ganzen Länge und der traditionelle Winterdienst. In einigen Fällen kann es aber möglich sein, verschiedene Ausbauvarianten zu untersuchen, welche Zwischenlösungen der beiden Basisfälle darstellen:

- Traditioneller Winterdienst (Ist-Zustand für bestehende Strassen)
- ATMS nur auf Kunstbauwerken
- ATMS bei Unfallschwerpunkten
- ATMS auf häufig gestreuten Stellen
- ATMS 100%
- Etc.

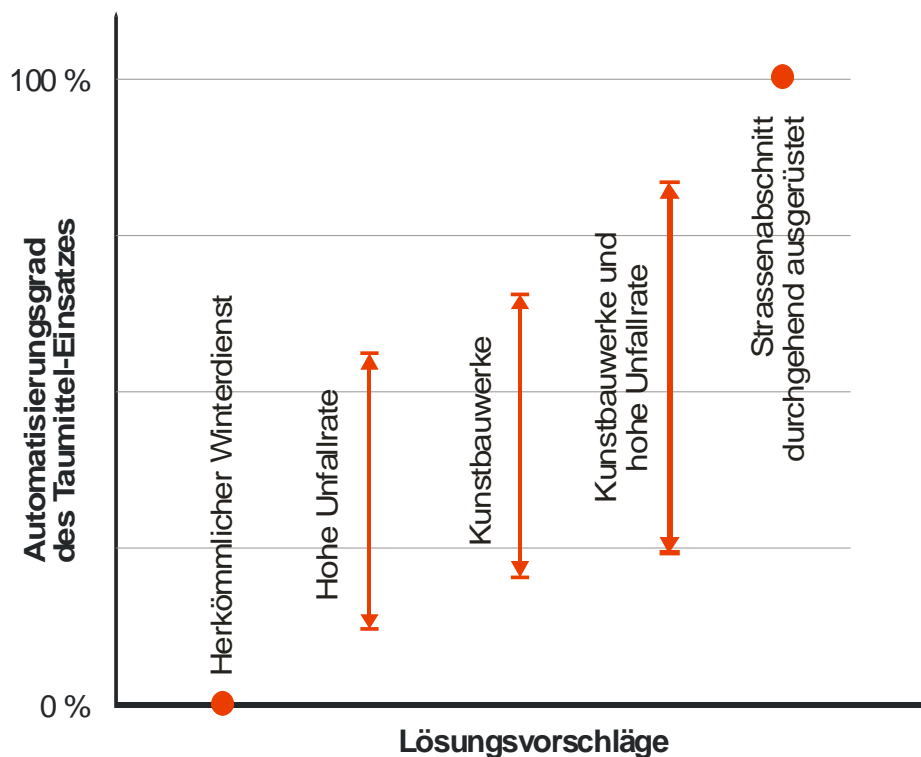


Abbildung 8: Beispiele von möglichen Varianten

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es aus betrieblichen Gründen vorteilhaft ist, auf Anlagen mit kleinen Abschnitten unterschiedlicher Länge (Patchwork) zu verzichten, denn die dazwischen liegenden Strassenabschnitte müssen dann immer noch auf traditionelle Weise gestreut werden und der Fahrer des Streufahrzeugs muss den Streuvorgang zu häufig ein- und wieder ausschalten.

Anschliessend bestimmt der Entscheidungsträger die Bestvariante mit Hilfe einer Multikriterien-Analyse. Verschiedene Methoden sind dafür möglich:

- Vergleich Wirksamkeit/Leistungsfähigkeit: Monetarisierung
- Komplettaggregation: Indikatoren werden benotet
- Teilaggregation: Indikatoren behalten ihre Messeinheiten

Aufgrund der Vor- und Nachteile empfehlen wir, eine Komplettaggregation zu verwenden. Sie hat folgende Vorteile:

- Für gewisse Kriterien ist keine Monetarisierung nötig
- Einfach zu verstehen und anzuwenden

8.3.1 Kriterienfamilien

Da wie im Bereich der Strasseninfrastruktur üblich eine grössere Anzahl Kriterien benutzt wird, ist deren Zusammenfassung in einzelne Themenbereiche empfohlen, im weiteren **Kriterienfamilien** genannt. Die Gewichtung der Kriterien - es sollten nicht mehr als sieben pro Familie sein - wird so auf zwei Ebenen durchgeführt. Es ist aber nicht so, dass die Multikriterien-Analyse auf beiden Ebenen einzeln gemacht wird, sondern dass die Gewichtungen in einer einzelnen Analyse zusammengefasst werden. Dies wird gemacht, indem die Gewichtung jedes Kriteriums mit der Gewichtung seiner Familie multipliziert wird.

Somit enthält die Menge **C** insgesamt **m** Kriterien **c_j**, aufgeteilt in **f** Kriterienfamilien **F_i**. Die Gewichtung **P_j** eines Kriteriums wird folgendermassen bestimmt:

$$P_j = P_{ji} \cdot P_i$$

Wobei:

- P_j Gewichtung des Kriteriums c_j im Vergleich zu den anderen Kriterien der Gesamtmenge C
- P_{ji} Gewichtung des Kriteriums c_j im Vergleich zu den anderen Kriterien der Familie F_i der das Kriterium c_j angehört
- P_i Gewichtung der Kriterienfamilie F_i , der dem Kriterium c_j angehört im Vergleich zu den anderen Kriterienfamilien

Es gilt die Regel, dass für t Kriterien c_j ³ einer gegebenen Kriterienfamilie F_i die Summe der Gewichtungen 100% ergibt:

$$\sum_{j=1}^{j=t} P_{ji} = 100 \%$$

Dasselbe gilt für die Summe der Gewichtungen P_i der f Kriterienfamilien:

³ Es kann davon ausgegangen werden, dass $t \ll j$ und dass $t \leq 7$ und $f \leq 7$

$$\sum_{i=1}^{i=f} P_i = 100 \%$$

8.3.2 Empfohlene Auswahlkriterien

Familie	Auswahlkriterium	Messgrösse
Wirtschaft	Abschreibung (Investitionskosten)	Kosten
	Betriebskosten	Kosten
	Strassenunterhaltskosten	Kosten
Umwelt	Taumittelverbrauch	Menge
	Treibstoffverbrauch (Stau)	Menge
	Auswirkung auf die Kunstbauwerke (Korrosion, etc.)	
	Lebensqualität der Anwohner (Lärm, Luftbelastung)	Lebensqualität
Verkehr	Glatteis-Unfälle	Schwere
	Vom Winterdienst verursachte Staukosten	Zeit
	Von Unfällen verursachte Staukosten	Zeit
	Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer (Fussgänger, Radfahrer,...)	
Betrieb	Einsatzmanagement der Unterhaltsequipen	
	Einsatz-Geschwindigkeit	Zeit
	Information für Betreiber und Verkehrsteilnehmer	Komfort
	Ausbaufähigkeit	

Tabelle 3: Liste der empfohlenen Auswahlkriterien

Die hier aufgeführten Auswahlkriterien decken sich teilweise mit den weiter oben beschriebenen Indikatoren der Zweckmässigkeitsuntersuchung. In dieser zweiten Phase wird es aber unerlässlich sein, die Beurteilung zu vertiefen.

8.3.2.1 Abschreibung der Investitionskosten

Charakteristik	<p>Die Investitionskosten bestehen aus zwei unterschiedlichen Teilen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Die Materialkosten der Anlage können relativ genau bestimmt werden, denn sie sind abhängig vom ATMS-Typ und der notwendigen Ausrüstung- Die Baukosten sind schwieriger einzuschätzen, denn sie können je nach Ausführungsart (Anlagen in Boden versenkt oder unter freiem Himmel, etc.) und der Möglichkeit, von einer Belagserneuerung bzw. -neueinbaus zu profitieren, variieren <p>In der Regel werden die Investitionskosten während einer bestimmten, vom Bauherrn bestimmten Zeitdauer abgeschrieben (amortisiert). Die Abschreibungsdauer kann für die Material- und Baukosten eine andere sein.</p> <p>Im Fall des traditionellen Winterdienstes können die Investitionskosten null sein, wenn keine zusätzlichen Hilfsmittel benötigt werden (z.B. bei einer bestehenden Strasse).</p>
Messgrösse	CHF / Jahr
Benötigte Daten	Investitionskosten und Abschreibungsdauer
Mögliche Quellen	Die Materialkosten können vom Hersteller geschätzt werden. Seine Erfahrung kann auch für die Bestimmung der Baukosten hilfreich sein, je nach gewählter Ausführung. Anderenfalls kann von einem oder mehreren Unternehmern ein Kostenvoranschlag eingeholt werden.
Bewertung / Berechnung	Die Investitionskosten (gemäss Referenzdatum) werden auf die gewählte Abschreibungsdauer verteilt. In der Folge werden nur die jährlichen Abschreibungskosten der Anlage weiter verwendet.

8.3.2.2 Betriebskosten

Charakteristik	Die Betriebskosten sind vom gewünschten Betriebsniveau abhängig und sind eng mit Winterdienstausrüstung und -personal verbunden. Sie beinhalten auch die Instandhaltungsarbeiten der ATMS.
Messgrösse	CHF / Jahr
Benötigte Daten	Betriebskosten der Mannschaften und der Winterdienstausrüstung, wie auch eine Schätzung der Instandhaltungskosten der ATMS.
Mögliche Quellen	Der Unterhaltsdienst verfügt über Statistiken bezüglich benutzter Ausrüstung und verbrauchtem Taumittel und kann Auskünfte über Personalkosten geben. Was die Instandhaltungskosten und den Taumittelverbrauch der ATMS angeht, so kann der Anlagehersteller Hinweise geben.
Bewertung / Berechnung	Die verschiedenen Kosten werden als jährliche Kosten ausgedrückt und können in eine Berechnung der Eigenwirtschaftlichkeit einfließen.
Bemerkungen	Falls keine Änderungen im Bereich des Personals oder der Ausrüstung vorgenommen werden, können deren Kosten weggelassen werden.

8.3.2.3 Strassenunterhaltskosten

Charakteristik	Die Strassenunterhaltskosten beinhalten alle Ausgaben, die im Rahmen von Reparaturarbeiten am Strassenkörper oder an Kunstbauwerken anfallen. Für die vorliegende Studie werden nur die vornehmlich vom Winterdienst verursachten Schäden betrachtet.
-----------------------	---

Messgrösse	CHF / Jahr
Benötigte Daten	Schätzung der Unterhaltskosten, sowie des Anteils der durch den Winterdienst verursachten Schäden.
Mögliche Quellen	Strassenbetreiber
Bewertung / Berechnung	Die Kosten werden direkt übernommen.

8.3.2.4 Taumittelverbrauch

Charakteristik	Die auf der Strasse verteilte Menge Taumittel ist ein wirtschaftlich und ökologisch wichtiger Faktor. Eine Reduktion des Taumittelverbrauchs ist proportional verbunden mit einer Senkung der Betriebskosten (die weiter oben betrachtet werden). Zugleich nimmt auch die Umweltbelastung ab.
Messgrösse	Tonnen / Jahr
Benötigte Daten	Jährlicher Taumittelverbrauch auf dem untersuchten Abschnitt
Mögliche Quellen	Die detaillierten Winterdienststatistiken der Kantone geben ausreichend Auskunft über den herkömmlichen Winterdienst. Was den Verbrauch einer ATMS betrifft, muss eine Schätzung aufgrund der Erfahrungen anderer Betreiber oder des Herstellers gemacht werden.
Bewertung / Berechnung	Der Taumittelverbrauch kann direkt verwendet werden. Falls das Taumittel in flüssiger Form gebraucht wird, muss der Salzanteil aufgrund der Konzentration berechnet werden.

8.3.2.5 Treibstoffverbrauch (Stau)

Charakteristik	Ein Stau bedeutet nicht nur eine Verkehrsbehinderung, sondern auch eine zusätzliche Umweltbelastung in Form von Abgasen. Der durch den Stau erlittene Zeitverlust wird in einem anderen Kriterium betrachtet.
Messgrösse	Litres / Jahr
Benötigte Daten	Anzahl durch winterliche Verhältnisse verschuldete Staustunden, die Verkehrsbelastung während dieser Ereignisse und der durchschnittliche stündliche Treibstoffverbrauch der im Stau stehenden Fahrzeuge.
Mögliche Quellen	Einige Kantonspolizeien erstellen Staustatistiken. Falls nicht vorhanden, muss eine Schätzung aufgrund der Erfahrung von Polizei und Unterhaltsdienst gemacht werden. Verkehrszählungen geben Auskunft über die Verkehrsbelastung während der Staus.
Bewertung / Berechnung	Menge = Stunden * Fahrzeuge * Verbrauch

8.3.2.6 Auswirkung auf die Kunstbauwerke (Korrosion)

Charakteristik	Korrosion ist ein Phänomen, das vor allem an älteren Kunstbauwerken beobachtet werden kann, die noch anhand älterer Normen bemessen wurden.
Messgrösse	Qualität der Überdeckung
Benötigte Daten	Überdeckung der Armierung, Konstruktionsdetails
Mögliche Quellen	Baupläne, Zustandserfassung
Bewertung / Berechnung	Beschreibung des Kunstbauwerks

8.3.2.7 Lebensqualität der Anwohner (Lärm, Luftbelastung)

Charakteristik	Grundsätzlich bedeuten die Winterdienstfahrzeuge eine höhere Belastung als ATMS. Dazu kommt die höhere Luftbelastung durch Stau (anderes Kriterium) und durch die Streufahrzeuge.
Messgrösse	Beschreibung, LeQ (Lärm), Abgasmenge
Benötigte Daten	Emissionen (Lärm, Abgase)
Mögliche Quellen	Messungen, Schätzungen
Bewertung / Berechnung	Beschreibung der Lebensqualität

8.3.2.8 Glatteis-Unfälle

Charakteristik	Eines der Hauptziele einer ATMS ist die Reduktion von Unfällen. Dabei darf nicht vergessen werden, dass diese Anlagen nur für den Winterdienst benutzt werden und dass nur eine Reduktion der Unfälle bei winterlichen Verhältnissen möglich ist, vor allem natürlich auf Glatteis. Die Auswirkungen dieser Art Unfälle sind daher ein wichtiger Beurteilungsfaktor.
Messgrösse	Soziale Unfallkosten / Jahr
Benötigte Daten	Soziale Kosten der Glatteis-Unfälle
Mögliche Quellen	Die Polizei verfügt über detaillierte Unfallstatistiken. Seit 1995 sind die Unfallrapporte vom Bundesamt für Statistik vereinheitlicht und die Polizei liefert die entsprechenden notwendigen Daten.
Bewertung / Berechnung	Die Unfälle können nach dem von der Polizei festgestellten Strassenzustand geordnet werden. So können Stellen mit erhöhtem Unfallrisiko auf Glatteis erkannt werden. Anschliessend werden die sozialen Kosten der Unfälle summiert, um sie vergleichen zu können.
Bemerkungen	Die klimatischen Verhältnisse sind nicht jeden Winter gleich, grosse Unterschiede sind festzustellen. Eine Analyse der meteorologischen Daten (s. Indikator „winterliche Härte“) soll helfen, diese Unterschiede sichtbar zu machen. Schwere Unfälle auf Glatteis sind eher rar, es sind meistens nur wenige auf einem Abschnitt. Dies mindert die statistische Genauigkeit, ein Problem das noch ungelöst bleibt. In den offiziellen Unfallstatistiken finden sich nur die der Polizei gemeldeten Fälle (ohne Fahrerflucht, direkte Einigung, etc.). Die Versicherungen können ebenfalls Informationen zu den Unfällen liefern.

8.3.2.9 Vom Winterdienst verursachte Staukosten (Benutzerkosten)

Charakteristik	Die Winterdienstfahrzeuge können ihrerseits eine Verkehrsbehinderung darstellen, vor allem beim Räumen.
Messgrösse	CHF / Jahr
Benötigte Daten	Anzahl der vom Winterdienst verursachten Staustunden, die Verkehrsbelastung während dieser Ereignisse und die durchschnittlichen Staukosten pro Fahrzeug.
Mögliche Quellen	Hier sind die Aussagen des Unterhaltsdienstes sehr wichtig, darüber wie sehr der Verkehr von seinen Fahrzeugen behindert wird. Die Polizei kann zusätzliche Angaben machen.
Bewertung / Berechnung	Kosten = Stunden * Fahrzeuge * durchschnittliche Staukosten
Bemerkungen	Eine ATMS kann die Schneeräumung nicht ersetzen, diese wird auch weiterhin notwendig sein. Bei einer Taumittel-Streuung ist die Verkehrsbehinderung in der Regel geringer, oder gar vernachlässigbar.

8.3.2.10 Von Unfällen verursachte Staukosten (Benutzerkosten)

Charakteristik	Ein Unfall kann einen Stau verursachen. Hier werden nur die Unfälle unter winterlichen Verhältnissen in Betracht gezogen.
Messgrösse	CHF / Jahr
Benötigte Daten	Anzahl der von Unfällen unter winterlichen Verhältnissen verursachten Staustunden, die Verkehrsbelastung während dieser Ereignisse und die durchschnittlichen Staukosten pro Fahrzeug.
Mögliche Quellen	Die Polizei und der Unterhaltsdienst sind für diese Informationen die verlässlichsten Quellen.
Bewertung / Berechnung	Kosten = Stunden * Fahrzeuge * durchschnittliche Staukosten

8.3.2.11 Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer

Charakteristik	Der Winterdienst kann einen Einfluss auf den Komfort der anderen Verkehrsteilnehmer (neben den Automobilisten) haben.
Messgrösse	Beschreibung
Benötigte Daten	Lokale Verhältnisse, Besonderheiten für den Winterdienst
Mögliche Quellen	Unterhaltsdienst, Situationspläne, Ortsbegehungen
Bewertung / Berechnung	Beschreibung des Behinderungsniveaus
Bemerkungen	Falls die ATMS-Studie eine Hochleistungsstrasse betrifft, auf der ausschliesslich Motorfahrzeuge verkehren, kann dieses Kriterium weggelassen werden.

8.3.2.12 Einsatzmanagement der Unterhaltsequipen

Charakteristik	Eine ATMS kann es dem Unterhaltsdienst erlauben, sich flexibler um das restliche Strassennetz zu kümmern. Die Einsatzleiter können ihr Personal besser einteilen, falls dies die Platzierung und die Konfiguration der automatischen Anlage erlaubt. Eine Reduktion der Nacharbeit kann ebenfalls eine Folge davon sein.
Messgrösse	Beschreibung
Benötigte Daten	Schätzung des Zeitgewinns und der alternativen Einsatzmöglichkeiten des Personals.
Mögliche Quellen	Unterhaltsdienst
Bewertung / Berechnung	Beschreibung der Flexibilität beim Einsatzmanagement der Equipen.

8.3.2.13 Einsatz-Geschwindigkeit

Charakteristik	Die Einsatz-Geschwindigkeit ist für einen wirksamen Winterdienst eine Voraussetzung, die Nähe zum Werkhof ist daher sehr wichtig. Die Schweizer Norm ⁴ regelt die maximalen Einsatzzeiten.
Messgrösse	Minuten
Benötigte Daten	Einsatzzeit
Mögliche Quellen	Der Unterhaltsdienst verfügt in der Regel über diese Informationen, sei es aus Erfahrung oder anhand der theoretischen Planung der Streurouten. Falls nicht (z.B. für eine neue Strasse), muss eine Schätzung der Einsatzzeit bei winterlichen Verhältnissen vorgenommen werden.
Bewertung / Berechnung	Die Einsatzzeit kann direkt verwendet werden, wobei eine kürzere Einsatzzeit natürlich vorteilhaft ist.

8.3.2.14 Information für Betreiber und Verkehrsteilnehmer

Charakteristik	Wetterstationen und Glatteis-Melder geben wichtige Informationen über den Strassenzustand. Der Betreiber interpretiert diese Daten und entscheidet über zu treffende Massnahmen. Eine ATMS verfügt über mehrere solcher Sensoren und kann automatisch auf eine Glatteiswarnung reagieren. Natürlich kann die Information über das mögliche Glatteisrisiko auch an die Verkehrsteilnehmer weiter gegeben werden.
Messgrösse	Beschreibung
Benötigte Daten	Nutzung der Meteo-Daten, Weitergabe an Verkehrsteilnehmer
Mögliche Quellen	Unterhaltsdienst
Bewertung / Berechnung	Der Unterhaltsdienst entscheidet über die Nutzung der Daten, die seine Messstellen liefern. Hinsichtlich der Information über den Strassenzustand ist eine Variante vorteilhafter, wenn die Daten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

⁴ SN 640 756a: Winterdienst – Dringlichkeitsstufen

8.3.2.15 Ausbaufähigkeit der Variante

Charakteristik	Flexibilität des Systems: Möglichkeit, nachträglich Änderungen vorzunehmen, Kompatibilität mit anderen Systemen, etc.
Messgrösse	Beschreibung
Benötigte Daten	---
Mögliche Quellen	Hersteller
Bewertung / Berechnung	Beschreibung der Ausbaufähigkeit

8.3.3 Gewichtung der Kriterien

Dieser Schritt wird in zwei Etappen durchgeführt [11]:

- Zuerst müssen die für die Beurteilung benutzten Kriterien identifiziert und geordnet werden.

Da bei der empfohlenen Methode mehrere Kriterien verwendet werden, werden sie in Familien eingeteilt (s. oben). Somit wird die Gewichtung auf zwei Stufen vorgenommen: Auf Stufe Familie und auf Stufe Kriterien innerhalb einer Familie.

Diese Etappe wird in der Regel vom Projektverfasser durchgeführt.

- Für die zweite Etappe werden die Vorschläge von verschiedenen Experten für die Gewichtung eingeholt. Dies für beide Stufen, Familien und Kriterien innerhalb der Familien (individuelle Gewichtung auf zwei Stufen).

Der Projektverfasser tritt in dieser Etappe nicht in Aktion.

Die Gewichtung der Objekte (Familien und Kriterien) untersteht folgenden Regeln:

- Die Gewichtung wird in % angegeben
- Die Summe der verschiedenen Gewichtungen innerhalb einer jeden Kategorie ergibt 100%
- Die maximale Gewichtung eines Objekts beträgt 50%
- Die minimale Gewichtung eines Objekts beträgt 10%

8.3.4 Anwendungsbeispiel – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projekt)

Auf der Autobahn A12 (Vevey – Bern) sind ab 2005 im Bereich des Anschlusses Châtel-St-Denis bedeutende Umbauarbeiten geplant. Auf dem waadtländer Abschnitt wird von den kantonalen Behörden der Einbau einer automatischen Taumittelsprühanlage in Betracht gezogen.

Das LAVOC wurde beauftragt, die Variantenwahl für eine solche Anlage durchzuführen. Dieser Auftrag wurde sogleich als Anwendungsbeispiel der vorliegenden Forschungsarbeit verwendet. Nachfolgend werden das Vorgehen und die Ergebnisse der Variantenwahl zusammengefasst.

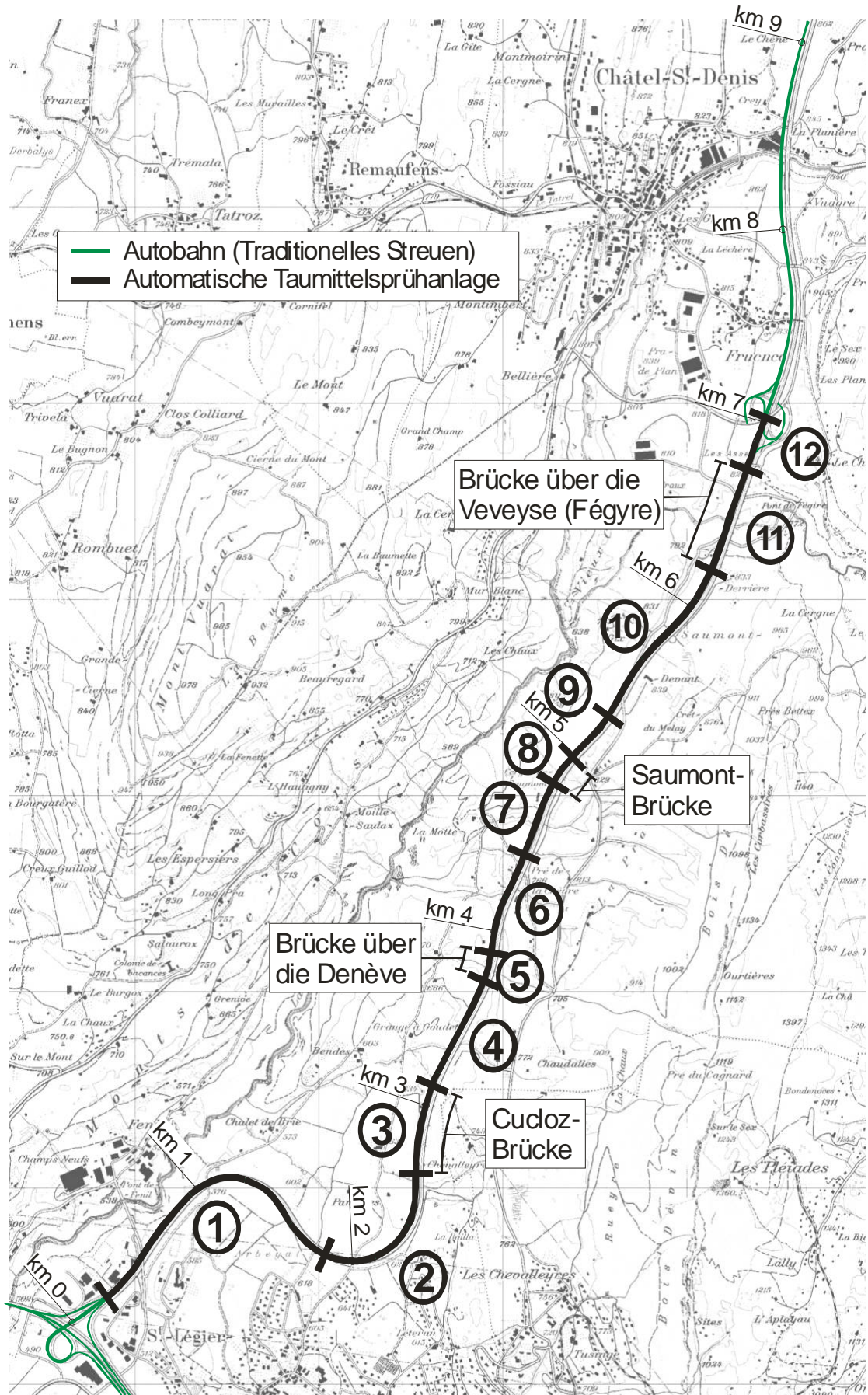


Abbildung 9: Untersucher Autobahnabschnitt (A12) mit möglichen Einbausektoren

8.3.4.1 Beschreibung der Varianten

Zuerst werden für dieses Projekt mögliche Varianten erarbeitet und vorgestellt. Neben dem traditionellen Winterdienst und der von der Strassenbehörde vorgeschlagenen Konfiguration werden drei zusätzliche Varianten vorgeschlagen:

Variante	Beschreibung	Sektoren	Auszurüstende Kilometer
0	Traditioneller Winterdienst	---	0.0
1	ATMS auf den Brücken	3, 5, 8, 11	1.3
2	ATMS an unfallträchtigen Stellen (bei winterlichen Verhältnissen)	2, 3, 7 – 9, 11	2.5
3	ATMS wie von der Behörde vorgeschlagen	3, 5 – 12	3.9
4	ATMS auf dem gesamten Abschnitt	1 – 12	7.0

Tabelle 4: Varianten-Vorschlag

Zur Vereinfachung wird davon ausgegangen, dass die Autobahn auf den angegebenen Sektoren in beiden Richtungen ausgerüstet wird.

8.3.4.2 Benotung

Jedes Auswahlkriterium wird anschliessend beurteilt und auf einer Skala von 0 bis 3 (in Schritten von 0.5) benotet. Das Kriterium der Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer (Fussgänger, Radfahrer, etc.) ist von der Beurteilung ausgeschlossen worden, da auf der Autobahn keine solchen zu finden sind. Folgende Tabelle zeigt die Benotung der Varianten:

Auswahlkriterium	Variante				
	0	1	2	3	4
Abschreibung der Investitionskosten	3.0	2.5	2.0	1.5	0
Betriebskosten	0	0	0.5	0.5	1.0
Strassenunterhaltskosten	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Taumittelverbrauch	0	0.5	0.5	1.0	1.5
Treibstoffverbrauch	0	0	0	0	0
Auswirkungen auf die Kunstbauwerke	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Lebensqualität der Anwohner	0	0	0	0	0
Glatteis-Unfälle	0	0.5	3.0	2.0	3.0
Vom Winterdienst verursachte Staukosten	0	0.5	1.0	1.5	3.0
Von Unfällen verursachte Staukosten	0	1.0	3.0	1.5	3.0
Einsatzmanagement der Unterhaltsequipen	0	1.0	2.0	2.0	3.0
Einsatz-Geschwindigkeit	0	3.0	3.0	3.0	3.0
Information für Betreiber und Verkehrsteilnehmer	0.5	1.5	3.0	2.5	3.0
Ausbaufähigkeit	3.0	2.0	1.0	1.0	0

Tabelle 5: Benotung der Varianten

8.3.4.3 Gewichtung

Für die Gewichtung der Kriterien waren verschiedene Experten aus unterschiedlichen Fachgebieten (Bauherr, Betreiber, Verkehrsteilnehmer, Wissenschaft) eingeladen worden, um ihre Meinung abzugeben. Die acht Antworten haben zusätzlich auch zu einer Sensitivitätsanalyse der Ergebnisse geführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Berechnungsblatt der Varianten-Beurteilung für eine der acht abgegebenen Gewichtungen:

Benotungstabelle der Varianten																	
Familie	Kriterien	Gewicht	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4			Variante 0		
			Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note
Wirtschaft	Abschreibung (Investitionskosten)	40	2.5	100	2	80	1.5	60	0	0	3	120					
	Betriebskosten	40	0	0	0.5	20	0.5	20	1.5	30	0	0					
	Unterhaltskosten	20	1.5	30	1	20	1.5	30	0	0	1.5	40					
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{1,1} = 130$		120	$V_{2,2} = 120$		110	$V_{3,3} = 110$		70						
	Note der Kriterienfamilie		$N_{1,1} = 1.3$		1.2		1.1			0.7							
Umwelt	Taumittelverbrauch	40	0.5	20	0.5	20	1	40	1.5	60	0	0					
	Treibstoffverbrauch	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	Auswirkung auf Kunstbauwerke	25	1.5	37.5	1	25	1.5	37.5	0	0	1.5	37.5					
	Lebensqualität der Anwohner	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{2,1} = 57.5$		46	$V_{2,2} = 46$		77.5	$V_{2,3} = 77.5$		97.5						
	Note der Kriterienfamilie		$N_{2,1} = 0.6$		0.5		0.8			1.0							
Verkehr	Schwere der Glätteis-Unfälle	60	0.5	26	3	160	2	100	3	160	0	0					
	Vom Winterdienst verursachte Staukosten	15	1	15	2	30	2	30	3	45	0	0					
	Von Unfällen verursachte Staukosten	25	1	25	3	75	1.5	37.5	3	75	0	0					
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{3,1} = 66$		266	$V_{3,2} = 266$		167.5	$V_{3,3} = 167.5$		270						
	Note der Kriterienfamilie		$N_{3,1} = 0.7$		2.8		1.9			3.0							
Betrieb	Einsatzmanagement der Unterhaltséquipen	20	1	20	2	40	2	40	3	60	0	0					
	Einsatz-Geschwindigkeit	60	3	180	3	160	3	160	3	160	0	0					
	Information für Betreiber und Benutzer	15	1.5	22.5	3	45	2.5	37.5	3	45	0.5	7.5					
	Anpassungs- und Ausbaufähigkeit	15	2	30	1	15	1	15	1	15	0	0					
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{4,1} = 222.5$		260	$V_{4,2} = 260$		242.5	$V_{4,3} = 242.5$		266						
	Note der Kriterienfamilie		$N_{4,1} = 2.2$		2.5		2.4			2.6							

Klassierungstabelle der Varianten																	
Familie	Gewicht	Variante 1			Variante 2			Variante 3			Variante 4			Variante 0			
		Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note	Note	gewichtete Note		
Wirtschaft	20	1.3	26.0	1.2	24.0	1.1	22.0	0.7	14.0	0.9	18.0	0.9	18.0	0.9	18.0	0.9	18.0
Umwelt	15	0.6	9.0	0.5	7.5	0.8	11.6	1.0	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Verkehr	40	0.7	28.0	2.8	113.3	1.9	74.4	3.0	120.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Betrieb	25	2.2	55.0	2.5	62.5	2.4	60.0	2.6	63.8	0.2	5.0	0.2	5.0	0.2	5.0	0.2	5.0
	Bewertung der Variante		119.1		206.6		168.7		212.4		37.1		37.1		37.1		37.1
	Klassierung		4		2		3		1		5		5		5		5

Abbildung 10: Tabelle der Varianten-Beurteilung für eine gegebene Gewichtung

Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Gewichtung der verschiedenen Experten zusammen (anonym, bezeichnet mit den Buchstaben A bis H). In der linken Kolonne befindet sich jeweils die gewichtete Endnote, in der rechten Kolonne die Klassierung:

	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang	Note	Rang
Variante 0	0.4	5	0.3	5	0.7	5	0.3	5	0.2	5	0.3	5	0.4	5	0.3	5
Variante 1	1.4	4	1.1	4	1.4	4	1.0	4	1.0	4	1.1	4	1.2	4	1.4	4
Variante 2	2.1	2	1.8	2	2.0	1	2.1	2	1.8	2	2.0	2	2.1	1	2.1	2
Variante 3	1.8	3	1.6	3	1.7	3	1.6	3	1.5	3	1.6	3	1.7	3	1.8	3
Variante 4	2.3	1	2.0	1	1.9	2	2.2	1	2.2	1	2.1	1	2.1	1	2.3	1

Tabelle 6: Beurteilung der Varianten, abhängig der Gewichtung (A bis H)

8.3.4.4 Fazit

Gemäss der Untersuchung sind die Varianten 2 (Unfallschwerpunkte) und 4 (durchgehende Anlage) die vorteilhaftesten. Es besteht noch die Möglichkeit, die Variante 2 zu verfeinern (z.B. unterschiedliche Ausrüstung berg- und talwärts)

Die Details der zusätzlichen Einrichtungen, wie z.B. der Standort des Taumittel tanks und die Datenübertragung zur Einsatzzentrale, werden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Gemäss Aussagen der Strassenbehörde liegen die Hauptprobleme der Einsatzdienste allerdings eher beim Schneefall als bei der Glatteisbildung. Die Unfallstatistiken bestätigen diese Tendenz. Eine zusätzliche Überlegung bezüglich der Notwendigkeit einer hauptsächlich das Glatteis bekämpfende Anlage ist hier nötig.

9 Schlussfolgerungen

Die automatischen Taumittelsprühanlagen (ATMS) sind ein nützliches Werkzeug, um den Winterdienst zu ergänzen. Die Möglichkeit, bei einem Vereisungsrisiko direkt eingreifen zu können, erhöhen die Befahrbarkeit und die Verkehrssicherheit im Winter erheblich. Dessen ungeachtet verlangen die Investitions- und die Betriebskosten der Anlage, dass die Behörden eine Zweckmässigkeitsuntersuchung und ein Variantenstudium vornehmen, bevor sie eine ATMS einbauen.

In der Schweiz gibt es kein standardisiertes Verfahren, um die Eigenwirtschaftlichkeit dieser Anlagen zu untersuchen, aber dessen Notwendigkeit kommt immer wieder zum Ausdruck. Eine Auflistung mehrerer Anlagen und häufig benutzter Beurteilungsmethoden und -kriterien verschiedener Länder hat gezeigt, dass das Auswahlverfahren letztendlich überall eher subjektiv und emotional bleibt.

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine auf relativ einfach anzuwendenden Kriterien aufgebauten Beurteilungsmethode, die von Behörden und Planungsbüros angewendet werden kann. Sie erlaubt auch einen Vergleich verschiedener Projekte, der vor allem das Bundesamt für Strassen interessiert, welches ATMS auf Nationalstrassen mitfinanziert.

Die Beurteilungsmethode besteht aus zwei Etappen. Die erste wird **Zweckmässigkeitsuntersuchung** genannt und zeigt, ob die Ausarbeitung eines Detailprojekts gerechtfertigt ist. Die Zweckmässigkeitskriterien werden qualitativ analysiert und bewertet, basierend auf statistischen Daten bei bestehenden Strassen, oder Prognosen bei geplanten Strassen. Diese Zweckmässigkeitsuntersuchung kann von der zuständigen lokalen Strassenbaubehörde durchgeführt werden.

Falls der Einbau einer ATMS gerechtfertigt ist, wird eine **Variantenwahl** durchgeführt, um die ideale System-Zusammenstellung für den gegebenen Strassenabschnitt zu finden. Eine Entscheidungshilfe des Typs Multikriterien-Analyse mit Komplettaggregation wird vorgeschlagen. Die Auswahlkriterien werden benotet und gewichtet, um eine oder mehrere Bestvarianten zu erhalten. Die Benotung der Kriterien wird vom beauftragten Planungsbüro vorgenommen, die Gewichtung sollte von Experten verschiedener Fachstellen durchgeführt werden.

Nach Abschluss der beiden Etappen kann die Entscheidung, eine ATMS einzubauen und zu betreiben, bedenkenlos getroffen werden, mit der Gewissheit, alle wichtigen Einflussgrößen untersucht zu haben. Die in dieser Studie betrachteten Beispiele zeigen, dass die bis heute getroffenen Entscheidungen gerechtfertigt und ihrer speziellen Situation angepasst sind.

Diese Forschungsarbeit soll unabhängig der technischen und der preislichen Entwicklung sein. Die ATMS entwickeln sich weiter, ihre Anwendung wird erschwinglicher, der Einbau einfacher und der Unterhalt günstiger. Die empfohlene Methode bleibt trotz dieser Entwicklungen anwendbar, denn die einschlägigen Einflussgrößen der Zweckmässigkeitsuntersuchung und der Variantenwahl ändern sich nicht.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Ruess, B. (1998). **Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst; Optimierung der Kosten/Nutzen-Verhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und sicherheitsrelevanten Faktoren**, RUS AG, Baden. 397. 83 p.
- [2] Durth, W., Hanke, H. et Levin, C. (1987). **Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes auf die Verkehrssicherheit und die Wirtschaftlichkeit des Verkehrsablaufs**, *Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, 550: p.
- [3] Abay, G. (2005). **Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes**, Rapp Trans AG, Zürich.
- [4] Wirtz, H. et Moritz, K. (1993). **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen**, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach. 36 p.
- [5] Torday, A. et Baumann, D. (2003). **Suivi des installations automatiques de déverglaçage - Contournement de Lausanne**, EPFL - LAVOC, Lausanne. 51 p.
- [6] Zambelli, M. (1998). **Implantation d'une installation fixe d'aspersion automatique de fondant chimique sur l'autoroute de contournement de Lausanne**. in *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [7] Keranen, P. (2000). **Automated Bridge Deicers in Minnesota**. in *Proceedings of the 5th International Symposium on Snow and Ice Control Technology*, Roanoke.
- [8] Keranen, P. (1998). **Maintenance Research - a unique approach to innovation in Winter Maintenance**. *Proceedings Xth PIARC International Winter Road Congress, Vol.2, pp.79-89*, Lulea, Sweden, March 1998.
- [9] Keranen, P. (1998). **Automated Bridge Deicers for Increased Safety and Decreased Salt Use in Minnesota**. *Proceedings Xth PIARC International Winter Road Congress, Vol.2, pp.487-497*, Lulea, Sweden, March 1998.
- [10] Pesti, G., Khattak, A., Kannan, V. et McCoy, P. (2003). **Decision Aid for Prioritizing Bridge Deck Anti-Icing System Installations**. dans *Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- [11] Tille, M. (2000). **Choix de variantes d'infrastructures routières : méthodes multicritères**, Département de génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne. 388 p.
- [12] (2002). **NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte**, Bundesamt für Strassen, Bern. 151 p.
- [13] SN 640 772b (2001). **Winterdienst; Bekämpfung der Winterglätte mit Streumitteln**. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, Zürich.
- [14] (1994). **Planung, Bau und Betrieb von Taumittel-Sprühanlagen (TMS)**, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 13 p.

- [15] Johnson, C. (2001). ***I-35W & Mississippi River Bridge Anti-Icing Project***, Minnesota Department of Transportation, 30 p.
- [16] (2003). ***NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte***, Bundesamt für Strassen, Bern. 143 p.
- [17] SN 640 009 (1998). ***Strassenverkehrsunfälle; Lokalisierung und Rangierung von Unfallschwerpunkten***. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [18] Ruess, B. (2004). ***Indikator der Winterlichkeit - Berücksichtigung der verschiedenen Klimaregionen der Schweiz***, RUS AG, Baden. 46 p.
- [19] SN 640 756a (1991). ***Winterdienst; Dringlichkeitsstufen, Winterdienst - Standard, Routenplan, Routenverzeichnisse und Einsatzplan***. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [20] Dumont, A.-G. (2000). ***Conception des voies de circulation - Cours destiné aux étudiants Génie Civil***, Lausanne. 179 p.
- [21] SN 640 020 (1999). ***Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen***. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [22] SN 640 110 (1983). ***Linienführung; Elemente der vertikalen Linienführung***. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.

11 Anhang

11.1 Liste bestehender TMS

Folgende Liste zeigt die von der Firma Boschung Mecatronic AG eingebauten Anlagen. Die anderen Hersteller hatten trotz zwei Anfragen nicht reagiert.

Land	Name	Strasstyp	Spezielles	Jahr	Typ	Sprüheinheiten	Länge
CA	Ontario	MTO, Canada 401/416		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
CA	Toronto Airport	Ontario Airport 502		2002	2000 (+MTS)	12	180 m
CA	Toronto Airport	Ontario Airport 606		2002	2000 (+MTS)	17	255 m
CH	COOP Frick	COOP Center Frick, BL		1996	2000 (+MTS)	10	100 m
CH	Flamatt	Autobahn A12 Flamatt, FR	Brücke	1996	2000	91	800 m
CH	Flamatt	Autobahn A12 Ausfahrt Flamatt, FR		1997	2000 (+MTS)	10	150 m
CH	Fligh Zürich	Flughafen Zürich Kloten Terminal Ramp		1992	2000	20	70 m
CH	Fligh Zürich RaA	Flughafen Zürich Kloten Parking A		1992	2000	12	200 m
CH	Fligh Zürich RaB	Flughafen Zürich Kloten Parking B		1992	2000	12	200 m
CH	Genf	Genève, Pont "Aigues-Vertes"		1993	2000	50	1'000 m
CH	Gir. Granges-Paccot	Granges-Paccot, Kreisverkehr		1999	2000 (+MTS)	8	50 m
CH	Hergiswil	Autobahn A2 Hergiswil, NW		1994	2000 (+MTS)	20	300 m
CH	Lausanne	Autobahn Contournement de Lausanne, VD		1997/98	2000	1071	7'400 m
CH	Route d'Englisberg	Granges-Paccot, Route d'Englisberg		1999	2000	34	500 m
COR	Daekuanroung	Daekuanroung		2001	2000 (+MTS)	32	710 m
COR	Jinboo	Jinboo		1999	2000 (+MTS)	20	180 m
COR	Sabuk	Sabuk Small Casino		2000	2000	53	750 m
CZ	Barrandov	Prag, Barrandov-Brücke	Brücke	1995	2000 (+MTS)	16	200 m
CZ	Bulhar	Prague, Bulhar-Brücke	Brücke	1998	2000	92	700 m
CZ	Estakada Prosek	Estakada Prosek		2002	2000	18	250 m
CZ	Hrebec	Hrebec		2001	2000	42	630 m
CZ	Strahovski	Prag, Strahovski-Brücke	Brücke	1997	2000	26	200 m
CZ	Vrsovice	Vrsovice		2001	2000	56	800 m

Land	Name	Strasstentyp	Spezielles	Jahr	Typ	Sprüheinheiten	Länge
D	Bielefeld	Autobahn	A2 Herford	1995	2000	460	4'000 m
D	Donauwörth		B25 Donauwörth	1982	1000/2000	60	300 m
D	Drakensteiner	Autobahn	A8 Drakensteiner Hang	1983/92	1000/2000	144	1'800 m
D	Düsseldorf		Rampe Winterdienst Düsseldorf Flughafen	1996	2000 (+MTS)	10	150 m
D	EKZ Eiche			1996	2000 (+MTS)	6	90 m
D	EKZ Grossbeeren		Einkaufszentrum Grossbeerenstrasse Potsdam	1997	2000 (+MTS)	6	75 m
D	EKZ Nürnberg		Franken Center Nürnberg	1991	2000 (+MTS)	47	160 m
D	EKZ Olympia		Olympia Center München	1989	2000 (+MTS)	44	320 m
D	Finowfurt	Autobahn	A11 Bernau	1992	2000	10	100 m
D	Frankfurt	Autobahn	A3 - A5	2002	2000 (+MTS)	40	600 m
D	Haselholm		B76 Schleswig Haselholm	1993	2000	50	400 m
D	Haseltal	Autobahn	A3 Haseltal	1995	2000	100	700 m
D	Hoyerswerda		Sachsen Center Hoyerswerda	1995	2000 (+MTS)	16	100 m
D	Kalteiche	Autobahn	A45 Freudenberg	1999	2000	316	3'000 m
D	Ladbergen	Autobahn	A1 Lengerich	1993/99	2000	12	100 m
D	Lüdenscheid	Autobahn	A45 Lüdenscheid	1986/94	1000/2000	480	7'000 m
D	München	Flughafen	München (Franz Josef Strauss)	1992	2000	70	2'400 m
D	Münster	Autobahn	A1 Münster	1983/92	1000/2000	24	100 m
D	P4 Düsseldorf	Parking	Düsseldorf Parking P4	1995	2000 (+MTS)	20	1'000 m
D	Rheine	Autobahn	A 30 Lengerich	1991	2000	22	100 m
D	Rosenheim	Autobahn	A8 Rosenheim	1983/91	1000/2000	44	200 m
D	Rosslau		Elbebrücke Rosslau	1994	2000	28	300 m
D	Weitingen	Autobahn	A81 Weidinger Brücke	2000	2000	156	1'900 m

Land	Name	Strassentyp	Spezielles	Jahr	Typ	Sprüheinheiten	Länge
D	Zuffenhausen	B10 Stuttgart Zuffenhausen		1994	2000	55	400 m
DK	Roskilde	Autobahn	Brücke	1992	2000	10	100 m
E	Cordoba	Cordoba		2002	2000 (+MTS)	24	360 m
E	Sommosierra	Tunnel de Somosierra	Tunnel	2001	2000 (+MTS)	5	75 m
E	Sommosierra 2	Tunnel de Sommosierra	Tunnel	2002	2000 (+MTS)	5	75 m
F	Haudiomont	PR264		2001	2000	44	690 m
F	PR107	PR107		2002	2000	38	600 m
F	PR108	PR108		2002	2000	44	690 m
F	Puymorens	ASF, Tunnel Puymorens	Tunnel	1994	2000 (+MTS)	10	150 m
F	Rimsdorf	SANEF, Phalsbourg		1998/2002	2000 (+MTS)	32	500 m
F	Sommedieu	PR257		2001	2000	82	1'300 m
F	Tramery	PR123		2002	2000	82	1'300 m
F	Viaduc de Chèvres	SFTRF, La Maurienne, Viaduc des Chèvres	Brücke	2000	2000 (+MTS)	20	400 m
I	Aosta	Autobahn	Brücke	1997	2000	58	460 m
I	Gardena	Gardena		2002	2000 (+MTS)	14	210 m
J	Nichijo	Nichijo		2002	2000 (+MTS)	6	90 m
LUX	St-Esprit	Luxembourg, Tunnel St-Esprit	Tunnel	1988	1000	19	200 m
PL	Warschau	Warsaw airport, drive-in terminal 1		1999	2000 (+MTS)	10	110 m
PL	Wilostrada	Wilostrada		2002	2000 (+MTS)	44	660 m
RUS	Chrypani	Moskau, pont Chrypani	Brücke	1998	2000	30	410 m
RUS	Kutusowskij	Moskau, Kutusowskij		2000	2000	210	1'600 m
RUS	Moskau Ring	Moskau, périphérique		1998	2000	104	320 m
UKR	Flugh Borispol	Kiew, Aéroport Borispol		1996	2000 (+MTS)	10	100 m

Land	Name	Strassentyp	Spezielles	Jahr	Typ	Sprüheinheiten	Länge
USA	Allegheny	Allegheny, PA		1998	2000	17	150 m
USA	Allegheny Extension	Allegheny, PA		1999	2000	20	300 m
USA	Chicago O'Hare	Chicago, O'Hare, IL		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
USA	Clearfield	Clearfield, PA		2001	2000	28	420 m
USA	Erie E79	Erie E79, PA		2000	2000	70	490 m
USA	Erie SR79	Erie SR79, PA		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
USA	Lucerne County	Lucerne County, PA		2000	2000 (+MTS)	16	240 m
USA	Minneapolis	Minneapolis, Mississippi Bridge, MN	Brücke	1999	2000	76	600 m
USA	Nebraska I-80	Nebraska I-80		2001	2000	32	480 m
USA	Utah Cottonwood 1	Salt Lake City, Cottonwood, UT		2000	2000 (+MTS)	9	135 m
USA	Utah Cottonwood 2	Salt Lake City, Cottonwood, UT		2000	2000 (+MTS)	9	135 m
USA	Warren	Warren, PA		1998	2000	12	80 m
USA	Westmoreland	Westmoreland, PA		1998	2000	16	200 m

11.2 Besichtigung einiger automatischen Taumittelsprühanlagen in Deutschland

Bericht von D. Baumann, LAVOC

5. – 7. Mai 2003

Ziele

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurde einem Betreiber von ATMS ein Besuch abgestattet, um Informationen über Benutzung und verwendeter Einbaukriterien solcher Anlagen zu erfahren. Da die Region Westfalen-Lippe (Deutschland) sechs grössere Anlagen besitzt, von denen die erste aus dem Jahre 1986 stammt, schien der Besuch des Landesbetriebs Strassenbau NRW eine gute Gelegenheit, um vom grossen Erfahrungsschatz des dortigen Winterdienstes zu profitieren (Abbildung 11).

Hauptziel des Besuchs war es, mehr über das administrative Verfahren vor dem Einbau einer ATMS zu erfahren, sowie zwei Anlagen zu besuchen, um besser über die örtlichen Verhältnisse (Streckenführung, Klima, etc.) Bescheid zu wissen.



Abbildung 11: Situationsplan der Region (Bundesland Nordrhein-Westfalen)

Montag, 5. Mai 2003

Am Nachmittag wurde in Begleitung von Hr. Schütz, zuständiger Vertreter der Boschung Mecatronic AG, die im Jahr 1986 eingebaute Anlage auf der A45 bei Lüdenscheid besucht. Die ATMS ist in Fahrtrichtung Frankfurt durchgehend auf 6 km Länge, in Fahrtrichtung Dortmund nur auf den Brücken eingebaut. Die Leitungen und Kabel sind offen entlang der Leitplanken verlegt, hauptsächlich im Mittelstreifen. Die Sprühköpfe sind an den Stützen der Leitplanken montiert, abwechselnd auf beiden Fahrbahnseiten (Abbildung 12).



**Abbildung 12: Sprühköpfe (links) und Taumittel-Leitungen (rechts) der TMS Lüdenscheid
(Fotos: W. Bollinger)**

Am Treffpunkt, der Raststätte „Rölveder Mühle“, wo der Anfang der Anlage und die technischen Einrichtungen zu sehen sind, warteten bereits die Herren Breuker (zuständiger Ingenieur beim Landesbauamt), Albers (technischer Assistent und Leiter der Winterdienst-Einsatzzentrale), Schneider (Leiter des Werkhofs Lüdenscheid), Stabenow (Techniker des Werkhofs Lüdenscheid) und Jacobi (Techniker des Werkhofs Lüdenscheid).

Die Pumpstation und die Steuerungszentrale befinden sich auf dem Gebiet der Raststätte. So konnten wir uns von der Funktionsweise dieser Anlage älteren Datums vor Ort überzeugen. Die mit dieser Anlage gesammelten Erfahrungen sind sehr wertvoll und die neueren ATMS konnten von Verbesserungen dieser Anlage profitieren, vor allem beim Unterhalt und bei der Minimierung des Taumittel-Verlusts nach Leitungsbrüchen (z.B. nach Unfällen).

Wir fahren anschliessend zum Werkhof Lüdenscheid, wo eine interessante Diskussion über die Notwendigkeit dieser Anlagen an einigen speziellen Stellen geführt wurde. Die Angestellten des Werkhofs benutzen die Anlage rege, da sie den Autobahnabschnitt mit Taumittel besprüht, bevor sich Eisglätte bilden kann. Das Alter der Anlage verlangt allerdings nach grosser Aufmerksamkeit im Unterhalt: Ein Angestellter des Werkhofs beschäftigt sich quasi vollzeit mit der Anlage, dazu kommen noch die Materialkosten.

Dienstag, 6. Mai 2003

Der Morgen wurde für eine Diskussion in der Niederlassung Hamm des Landesbetriebs Strassenbau genutzt, an der die Herren Schütz, Breuker, Albers und Henneken, Leiter der Niederlassung Hamm, teilnahmen. Das Hauptthema war die Planung von ATMS, mit sämtlichen dazu gehörenden Etappen.

Im Allgemeinen melden die Werkhöfe problematische Streckenabschnitte, ob das nun einzelne Bauwerke (Brücken) oder durchgehende Strecken mit oft steilen Rampen sind. Auf solchen Abschnitten gibt es oft eine Häufung von Unfällen und/oder starke Staubbildung, hervorgerufen von Lastwagen ohne passende Ausrüstung bei Eisglätte.

Tatsächlich ist Eisglätte das Hauptproblem in dieser Region. Die Topographie ist sehr ausgeprägt und ähnelt den Schweizer Voralpen. Um den Bau von Tunnel zu umgehen weisen die Autobahnen viele Kurven, zahlreiche Brücken und Steigungen auf, die oft 4 oder

5%, aufweisen. Die Werkhöfe sind oft weit entfernt und müssen grosse Distanzen hinter sich bringen, um einige kritische Stellen im Strassennetz zu behandeln. 50 km sind keine Seltenheit, was bei schwierigen Verhältnissen und mit zunehmender Staubildung oft viel Zeit in Anspruch nimmt.

Schneefälle sind seltener, aber die ATMS helfen mit, dass der Schnee nicht von den Fahrzeugen festgefahren wird und auf dem Belag festfriert, was ebenfalls zur Bildung von Eisglätte führen kann.

Sobald ein problematischer Abschnitt gefunden ist, wird beim Bundesministerium für Verkehr ein Finanzierungsgesuch gestellt. Diese Anfrage beinhaltet im Allgemeinen einen kurzen Projektbeschrieb, sowie eine Kosten-Nutzen-Rechnung der geplanten Anlage. Die Hauptkriterien für die Analyse sind die Installations- und Betriebskosten auf der Kostenseite, sowie die Reduktion von Unfällen, Staustunden und Betriebskosten der Fahrzeuge der Verkehrsteilnehmer auf der Nutzenseite.

Der Antrag wird beim Ministerium relativ rasch behandelt, denn es besteht derzeit ein grosser Wille, die Verkehrssicherheit zu verbessern. Natürlich muss die Anlage gemäss der erwähnten Kriterien einen positiven Nutzwert aufweisen. Dies ist normalerweise der Fall und Beispiele zeigen, dass Anlagen häufig nach einigen Jahren amortisiert sind, nur schon mit Hilfe der Einsparung derjenigen Kosten die anfallen, wenn eine Equipe für die Behandlung einzelner isolierter Stellen ausrücken muss.

In Hamm befindet sich auch die Winterdienst-Einsatzzentrale (Abbildung 13). Von dieser Zentrale aus dirigieren die Einsatzleiter, die rund um die Uhr mit Polizei und Wetterdienst verbunden sind, die Einsätze der verschiedenen Werkhöfe. Grundsätzlich können die Werkhöfe selber darüber entscheiden, wie sie die Aufträge der Zentrale ausführen. Letztere kann aber sämtliche ATMS der Region steuern (mit Ausnahme der Anlage Lüdenscheid, die über eine spezielle Steuerung verfügt).



Abbildung 13: Winterdienst-Einsatzzentrale (Fotos : W. Bollinger)

Am Nachmittag fand eine zweite Begehung vor Ort statt, dieses Mal für eine neuere Anlage (1995) am Bielefelder Berg (Abbildung 14). Diese Anlage ist in beiden Richtungen durchgehend auf einer Länge von 4 km eingebaut. Die technischen Entwicklungen sind augenfällig und resultieren in einem platzsparenden technischen Aufwand in der Pumpstation und bei den Sprüheinheiten, die im Belag eingelassen sind. Das ganze Hydraulik-System war überarbeitet worden, damit die Anlage auch bei unvorhergesehenen Zwischenfällen (z.B. Unfällen) funktionieren kann.



Abbildung 14: Autobahn A2 in Richtung Bielefelder Berg (Foto : W. Bollinger)

Herr Krause, Angestellter des Werkhofs Herford, zeigt die Pumpstation, sowie auch eine zusätzliche Eigenheit dieser ATMS, eine Entsalzungsanlage für das Schmutzwasser der Autobahn. Dieses war wegen einer Gewässerschutzzone in der Nähe gebaut worden. In einem ersten Becken werden Öl und Benzin vom Schmutzwasser getrennt. In einem zweiten Becken wird das Restwasser mit Regenwasser vermischt, um das Taumittel zu verdünnen. Danach kann das Wasser in die Natur ablaufen. Sensoren messen ständig die Salzkonzentration, um die Verletzung von Grenzwerten zu verhindern.



Abbildung 15: Entsalzungsanlage mit seinen zwei Becken (Fotos : W. Bollinger)

11.3 Umfrage

11.3.1 Fragen

QUESTIONNAIRE

Automatic anti-icing systems – AIPCR C17

The laboratory of traffic facilities (LAVOC) at the Swiss Federal Institute of Technology (EPFL) is currently doing research on project evaluation criteria for automatic anti-icing systems. We would very much appreciate if you could spare a few minutes of your precious time in order to complete this questionnaire.

Thank you for handing it in to Mr. Ulrich Schlup, representative of Switzerland, at the end of today's session.

Name: _____ Country: _____

I Situation in your country

1. Does your country use automatic anti-icing systems?

- Yes
- No

a) If yes, how many installations? _____

b) Are they used mainly on bridges or on continuous road stretches?

- Bridges
- Continuous
- Both

2. Was a decision aid method used before installing the system(s) in order to assure its efficiency or in order to establish a priority list for different projects?

- Yes
- No

a) If yes, what kind:

- Single-criterion (benefit-cost ratio, cost – effectiveness, etc.)

Which one? _____

- Multi-objective analysis (utility index, etc.)

Which one? _____

Other _____

b) Are you satisfied with the chosen decision aid method?

Why/Why not? _____

II Opinion about decision aid methods

3. Which are, in your opinion, useful criteria for the decision aid? Please indicate your priority (L = low, H = high, VH = very high)

		L	H	VH
a) Cost:	Installation cost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Annual maintenance cost	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Other: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Benefits:	Less accidents	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Less congestion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Better use of thaw agent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Lower operation cost (reduced team and equipment)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Other: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Misc.:	Accessibility problems (distance to next maintenance yard)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Environmental issues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Local weather	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Situation (geometry, altitude, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Traffic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Other: _____

4. Can you think of other criteria that might be useful for a decision aid method?

If yes, which ones _____

May we contact you for further information about the use of automatic anti-icing systems in your country?

- Yes (e-mail address? _____)
- No

Thank you very much for your participation.

For additional comments and/or further information about the research project, please contact the research engineer in charge, Mr. Daniel Baumann:

Address: EPFL – LAVOC
Bat. GCB
1015 Lausanne
Switzerland

Phone: ++41 21 693 2419
Fax: ++41 21 693 6349
e-mail: daniel.baumann@epfl.ch

11.3.2 Antworten

Insgesamt haben 12 Personen aus 4 Ländern (Frankreich, Italien, Finnland, Vereinigte Staaten) geantwortet und den Fragebogen zurückgeschickt. Die Antworten sind in der unten stehenden Tabelle zusammengefasst:

Question	Antwort-Nr.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
1a	Several	10	1	Several	2	4	1	3	1	2	--	1
1b	Bridg	Both	Bridg	Bridg	Both	Bridg	Bridg	Bridg	Bridg	Both	--	Bridg
2	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	Yes		Yes
2a	C-E	--	B-C	Other	B-C	Multi	--	--	--	B-C	--	--
2b	--	--	--	--	Yes	Yes	No	--	--	Yes	--	No
3a	Inst. cost	--	--	H	L	H	VH	H	L	H	H	H
	Maint. Cost	--	--	H	L	VH	H	H	H	L	H	VH
other	Efficiency on site	H	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Reliability	--	--	--	--	H	--	--	--	--	--	--
	Protect. of struct.	--	--	--	--	--	--	--	H	--	--	--
3b	Accidents	--	--	L/H	H	VH	VH	H	H	VH	VH	VH
	Congestion	--	--	H	H	H	L	H	L	VH	L	H
	Thaw Agent	--	--	VH	H	VH	L	H	H	H	L	L
	Op. cost	H	--	VH	L	VH	L	H	VH	--	H	H
other	Corrosion control	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	VH
3c	Access.	--	--	VH	L	VH	L	H	H	--	L	L
	Environm	--	--	L/H	H	VH	L	H	L	--	H	H
	Local weather	--	--	VH	H	VH	L	H	L	VH	H	VH
	Situation	H	--	H	H	VH	VH	H	H	VH	H	H
	Traffic	--	--	--	H	VH	VH	VH	H	VH	H	VH
	Other :											
other	Choice of thaw agent	--	--	VH	--							
4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

11.4 NISTRA-Kriterien [16]

11.4.1 Bereich Gesellschaft

Oberziel	Teilziel	Indikator
G1 Grundversorgung sicherstellen	G11 Landesweite Grundversorgung sicherstellen	G 111 Einwohnergewichtete Fahrdauer zum Regionalzentrum für IHG-Regionen
	G12 Rücksicht auf Menschen mit einem erschwerten Zugang zum Verkehr nehmen und Situation der Fussgänger und Velofahrenden verbessern	G121 Attraktivität des Fussverkehrs
		G122 Attraktivität des Veloverkehrs
		G123 Attraktivität des öffentlichen Verkehrs
		G124 Angebotene Fahrzeugkilometer in behindertengerechten Fahrzeugen des öV
G2 Gesellschaftliche Solidarität fördern	G21 Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen schützen	G211 Unfälle
		G212 Verunfallte (Verletzte und Getötete)
	G22 Unabhängigkeit, Individualität, Selbstverantwortung erhalten und fördern	G221 Angebot des öffentlichen Verkehrs
	G23 Sozialverträgliches Verhalten der beteiligten Partner	G231 Anstellungsbedingungen im Verkehrsbereich
	G24 Beitrag zur Förderung des Erhalts und der Erneuerung wohnlicher Siedlungen in den urbanen Räumen und Zentren des ländlichen Raums	G241 Wohnlichkeit in den urbanen Räumen und Zentren des ländlichen Raums
G25 Kosten und Nutzen fair verteilen	G251 Räumliche Verteilungseffekte	
G3 Akzeptanz, Partizipation und Koordination sicherstellen	G31 Den betroffenen Akteuren ausreichende Mitwirkungsmöglichkeiten gewähren	G311 Gestaltung der Partizipation der Bevölkerung
		G312 Grad der Abstimmung mit der Siedlungsplanung

11.4.2 Bereich Wirtschaft

Oberziel	Zeilziel	Indikator	
W1 Gutes Verhältnis von direkten Kosten und Nutzen schaffen	W11 Direkte Kosten des Vorhabens minimieren (Jahreskosten)	W111 Durchschnittliche jährliche Kapitalkosten	
		W112 Betriebskosten	
		W113 Unterhaltskosten	
	W12 Direkte Nutzen des Vorhabens maximieren (Jahresnutzen)	W121 Veränderung der Reisezeit im Einzugsgebiet für den Personenverkehr	W122 Veränderung der Fahrzeit im Einzugsgebiet für den Güterverkehr
			W123 Veränderung der fixen Fahrzeugkosten für den Güter- und Geschäftsverkehr
		W124 Veränderung der variablen Fahrzeugkosten für den Personen- und Güterverkehr	
		W125 Staurisiko / Reservezeit	
		W126 Ausbaustandard / Fahrkomfort	
		W13 Vorhaben optimal umsetzen	W131 Realisierungszeit
	W132 Risiko von Kostenüberschreitungen		
	W133 Bautechnisches Risiko		
	W2 Indirekte wirtschaftliche Effekte optimieren	W21 Erreichbarkeit als Teil der Standortgunst verbessern	W211 Attraktivitätsmass basierend auf Reisezeitveränderungen
			W221 Einwohnergewichtete Reisezeit zwischen Zentrumsstädten
		W22 Schaffung und Erhalt der räumlichen Voraussetzungen für die Wirtschaft (Städte und Agglomerationen als Arbeitsstandort stärken)	
W23 Unterstützung einer regional ausgeglichenen wirtschaftlichen Entwicklung		W231 Vor- und Nachteile aus der verbesserten Erschliessung	
W24 Know-How Gewinn realisieren		W241 Innovationseffekte in der Bauwirtschaft bzw. im Verkehrsbereich	
W3 Eigenwirtschaftlichkeit erreichen	W31 Eigenwirtschaftlichkeit erreichen	W311 Selbstfinanzierungsgrad ohne externe Kosten	
		W312 Selbstfinanzierungsgrad inkl. externe Kosten	

11.4.3 Bereich Umwelt

Oberziel	Teilziel	Indikator
U1 Lokale, nationale und grenzüberschreitende Umweltbelastungen auf ein langfristig unbedenkliches Niveau senken	U11 Luftschadstoffe senken	U111 NOx-Emissionen U112 PM10-Emissionen
	U 12 Lärmbelastung senken	U121 Übermässig lärmbelastete Personen am Wohnort
		U122 Übermässig lärmbelastete Flächen in Schutz- und Erholungsgebieten
	U13 Bodenversiegelung reduzieren	U131 Bodenversiegelung
	U14 Belastung von Landschaften und Lebensräumen senken	U141 Zerschneidungseffekte ausserhalb des Siedlungsgebietes
U142 Landschafts- und Ortsbild		
U15 Einwirkungen auf Gewässer senken	U151 Beeinträchtigung von Gewässern	
U2 Atmosphärische Umweltbelastungen senken	U21 Beeinträchtigung des Klimas senken	U211 Treibhausgas-Emissionen
	U22 Ozonschicht erhalten	<i>Kein Indikator</i>
U3 Ressourcen schonen	U31 Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieträger senken	U311 Energieverbrauch
	U32 Abbau natürlicher Ressourcen vermeiden	U321 Verbrauch von Rundkies