

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication / Office fédéral des routes

Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni / Ufficio federale delle strade

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

Zweckmässigkeits- und Auswahlkriterien für automatische Taumittelsprühanlagen

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, Professeur

D. Baumann, ing. dipl. EPF

Mandat de recherche 2001/602 sur proposition de l'Union suisse des professionnels de la route (VSS)

Février 2005

Table des matières

RESUME	III
ZUSAMMENFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
1 INTRODUCTION	1
1.1 Situation	1
1.2 Problématique	1
1.3 Objectifs de la recherche	2
2 DEMARCHE DE LA RECHERCHE	3
2.1 Etat des connaissances	3
2.2 Mode de fonctionnement et inventaire des IAD existantes.....	3
2.3 Evaluation de l'opportunité et de l'efficience de ces IAD	3
2.4 Elaboration d'une liste de critères jouant un rôle dans la justification de la mise en place d'une IAD	4
2.5 Proposition d'une méthode d'analyse.....	4
3 ETAT DES CONNAISSANCES	5
3.1 Service hivernal en général	5
3.2 Installations automatiques de déverglaçage	5
3.3 Méthodes de choix.....	7
4 DESCRIPTION D'UNE IAD	8
4.1 Fonctions principales	8
4.2 Composants	9
4.2.1 <i>Le système de détection de verglas</i>	9
4.2.2 <i>Le système d'opération électronique</i>	10
4.2.3 <i>Le système hydraulique</i>	11
4.2.4 <i>Evolution des unités de giclage</i>	12
4.2.5 <i>Exploitation</i>	13
5 INVENTAIRE DES INSTALLATIONS EXISTANTES	15
5.1 Liste d'installations par pays	15
5.2 Présentation de quelques installations caractéristiques	16
5.2.1 <i>Aigues-Vertes</i>	16
5.2.2 <i>Contournement de 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	EVALUATION DES INSTALLATIONS AUTOMATIQUES DE DEVERGLAÇAGE	20
6.1	Etudes de rentabilité	20
6.2	Justification de la rentabilité appliquée lors du projet	20
6.2.1	<i>Introduction</i>	20
6.2.2	<i>Exemples</i>	21
7	CRITERES POUR LA MISE EN PLACE D'UNE INSTALLATION AUTOMATIQUE DE DEVERGLAÇAGE.....	24
7.1	Introduction.....	24
7.2	Questionnaire	24
7.3	Inventaire des critères généralement retenus	25
7.3.1	<i>Critères économiques</i>	25
7.3.2	<i>Critères non-monétaires</i>	27
7.4	Critères NISTRA.....	28
7.4.1	<i>Les indicateurs dans le détail</i>	29
8	METHODE D'ANALYSE PROPOSEE	32
8.1	Présentation de la méthode d'analyse	32
8.2	Examen d'opportunité du projet	33
8.2.1	<i>Généralités</i>	33
8.2.2	<i>Critères d'opportunité proposés</i>	33
8.2.3	<i>Application de la méthode proposée</i>	45
8.2.4	<i>Propositions</i>	48
8.3	Choix de variantes	49
8.3.1	<i>Famille de critères</i>	50
8.3.2	<i>Critères de choix proposés</i>	51
8.3.3	<i>Pondération des critères</i>	57
8.3.4	<i>Exemple d'application – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projet)</i>	57
9	CONCLUSIONS	63
10	BIBLIOGRAPHIE.....	64
11	ANNEXES.....	66
11.1	Inventaire des installations existantes.....	66
11.2	Visite d'installations automatiques de déverglaçage en Allemagne.....	71
11.3	Questionnaire	76
11.3.1	<i>Questions</i>	76
11.3.2	<i>Réponses</i>	79
11.4	Critères NISTRA [16].....	80
11.4.1	<i>Dimension sociale</i>	80
11.4.2	<i>Dimension économique</i>	81
11.4.3	<i>Dimension environnementale</i>	82

Résumé

Depuis 25 ans environ, des installations automatiques de déverglaçage (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).

Zusammenfassung

Seit ungefähr 25 Jahren unterstützen automatische Taumittelsprühanlagen (TMS) 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, welche den Einbau einer TMS rechtfertigen, unter Einbezug der wichtigsten Aspekte.

Die vorgeschlagene Methode 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 berechtigt ist, wird eine **Variantenwahl** durchgeführt, welche mit Hilfe einer multikriteriellen 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 den verschiedenen involvierten Spezialisten gewichtet, um eine oder mehrere Bestvarianten zu bestimmen.

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 Introduction

1.1 Situation

Le service hivernal du réseau routier principal nécessite des moyens d'intervention importants et performants pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic. Pour certains points particuliers du réseau routier le service hivernal demeure problématique. C'est le cas pour certains ouvrages d'art, ainsi que pour les secteurs où l'on observe des changements rapides des conditions climatiques. C'est aussi le cas de tronçons fortement chargés en trafic, où toute modification de l'état de la chaussée accroît considérablement les risques d'accidents, rendant par la suite les interventions de service hivernal problématiques. La grande distance qui peut séparer un centre d'entretien d'une zone à traiter peut également s'avérer être un obstacle majeur à une maintenance rapide et efficace. Aujourd'hui, les installations automatiques de déverglage (IAD) permettent d'agir immédiatement en cas de verglas, sans intervention d'une épandeuse et d'une équipe.

1.2 Problématique

Les installations automatiques de déverglage (IAD) ont fait leur apparition dès la fin des années 70. Aujourd'hui encore, leur implantation est très limitée en Suisse et se confine à certains secteurs et ouvrages d'art confrontés à des problèmes de service hivernal. Souvent des conditions climatiques très particulières et des délais d'intervention par des moyens classiques inadaptés sont les arguments pour la mise en service de telles installations.

D'autre part, l'accroissement du trafic entraîne inexorablement une augmentation des zones où une saturation de l'infrastructure se manifeste fréquemment. Ceci est particulièrement le cas aux abords des grandes villes (routes d'accès principales, autoroutes de contournement). Lorsque les conditions hivernales apparaissent sur ces tronçons, il s'ensuit une congestion du trafic et l'impossibilité de traiter la chaussée avec une épandeuse.

Enfin, une installation automatique est un plus pour la sécurité des usagers de la route. Il s'avère en effet que les IAD permettent de traiter la chaussée au moment opportun, c'est-à-dire juste avant l'apparition des risques de perte d'adhérence du revêtement, ce que ne permet pas toujours le service hivernal par des moyens traditionnels. Pour limiter ce risque, l'épandage traditionnel nécessite des applications à titre préventif. Or celles-ci sont déconseillées, voire interdites, en raison de leur impact sur l'environnement.

L'utilisation d'IAD pour assurer le service hivernal de certains tronçons particulièrement problématiques s'avère judicieuse pour la sécurité des usagers, la garantie d'un niveau de service optimal pour le trafic, mais également en terme économique par la réduction des coûts liés aux accidents et par un épandage strictement limité aux besoins.

Comme le champ d'utilisation des IAD s'élargit, il apparaît nécessaire au vu du coût de telles installations, de définir les critères justifiant leur mise en place. Ainsi tout nouveau projet d'installation pourra se justifier sur des bases d'évaluation solides.

1.3 Objectifs de la recherche

L'objectif principal du présent travail de recherche consiste à définir les conditions qui justifient la mise en place d'une IAD sur un tronçon de chaussée, en considérant l'ensemble des aspects climatiques, topographiques, géométriques, écologiques, de rentabilité et de sécurité. Cette approche nouvelle est conforme aux objectifs d'évaluation des projets selon les principes du développement durable.

Cette étude doit permettre de fournir aux maîtres d'ouvrages (OFROU¹, bureaux des autoroutes, services cantonaux des routes) et aux bureaux d'études une méthode claire dont l'application aboutit à la justification ou non de l'implantation d'une IAD. Cette méthode s'adaptera au volume et à la pertinence des données qui pourront être réunies dans chaque cas.

¹ Office fédéral des routes, Berne

2 Démarche de la recherche

Le travail de recherche est divisé en plusieurs étapes, décrites ci-après.

2.1 Etat des connaissances

Dans cette première étape, décrite dans le chapitre 3, les principales études ayant été réalisées sur ce thème ont été inventoriées et leurs résultats ont été synthétisées. L'analyse d'ouvrages décrivant les règles d'application dans la pratique, au niveau national et international, a également été effectuée.

2.2 Mode de fonctionnement et inventaire des IAD existantes

Le chapitre 4 est consacré à la description du fonctionnement d'une IAD. Les composants principaux y sont décrits et les fonctions principales y figurent.

La plus grande expérience en la matière menée en Suisse a eu lieu sur l'autoroute de contournement de Lausanne, par la mise en place d'une IAD sur 8 kilomètres.

Plusieurs IAD sont actuellement en fonction en Suisse, en Europe, en Amérique du Nord ou encore en Asie. Un inventaire de la plupart d'entre elles est réalisé (Chapitre 5). Parmi ces installations ont surtout été analysées :

- Viaduc d'Aigues-Vertes (autoroute de contournement de Genève)
- Autoroute de contournement de Lausanne
- Viaduc autoroutier de Flamatt (canton de Fribourg)
- Montée de Lüdenscheid (autoroute A45, Allemagne)
- Montée du Bielefelder Berg (autoroute A2, Allemagne)
- Pont de la I-35W à Minneapolis (autoroute I-35W, Etats-Unis)

Ces descriptions portent notamment sur les objectifs qui sont à l'origine de l'implantation de ces IAD, leur mode de fonctionnement (commandes automatiques ou semi-automatiques, par exemple), la situation topographique et géométrique, les conditions météorologiques, le type de trafic, etc.

2.3 Evaluation de l'opportunité et de l'efficacité de ces IAD

Pour plusieurs des IAD citées plus hauts, leur évaluation a déjà fait l'objet d'une étude. Dans le chapitre 6, les résultats de ces études sont synthétisés et les paramètres les plus importants sont mis en évidence.

Des contacts ont été pris avec les utilisateurs d'IAD pour connaître leur opinion et leur position. Cette démarche a permis de tirer un bilan des IAD dont l'évaluation n'a pas été réalisée.

Durant cette phase, le LAVOC a pu mettre à profit ses nombreux contacts qu'il entretient dans le domaine depuis plusieurs années. Il s'est notamment entretenu avec les services des routes de Genève, Vaud et Fribourg ainsi qu'avec la société Boschung-Mecatronic SA, fournisseur d'IAD.

Un inventaire des critères utilisés lors de ces études se trouve au chapitre 7. Cette liste sert de base pour la proposition de critères pertinents lors de la procédure de justification.

2.4 Elaboration d'une liste de critères jouant un rôle dans la justification de la mise en place d'une IAD

Sur la base des deux premières étapes, une liste de critères a été établie. Ils sont regroupés selon différentes catégories dont les principales sont :

- Paramètres économiques
 - Investissement
 - Exploitation
- Accidents
- Conditions météorologiques
- Trafic
- Conditions du service hivernal actuel
- Fonction de la route
- Paramètres relatifs à l'environnement
- Protection des ouvrages d'art
- Paramètres relatifs à la route
 - Géométrie
 - Revêtement

2.5 Proposition d'une méthode d'analyse

Basée sur le principe d'une analyse multicritère, la méthode proposée au chapitre 8 permet de prendre en compte tous les paramètres qui ont été mis en évidence dans la phase précédente. La procédure de pondération est établie, des exemples sont donnés sur la base des évaluations des IAD déjà en fonction.

3 Etat des connaissances

3.1 Service hivernal en général

Le service hivernal a déjà fait l'objet de diverses études qui se focalisent sur la rentabilité du service hivernal et l'optimisation des coûts [1, 2]. Plusieurs études relèvent que l'épandage, surtout hors localité, apporte un certain bénéfice au niveau des coûts sociaux. Ceci est principalement dû aux coûts d'accidents et de pertes de temps, qui sont réduits de manière importante sur une route traitée par un agent de déverglçage.

Un travail de recherche en cours par RappTrans SA analyse la rentabilité du service hivernal en Suisse [3] en appliquant principalement la méthode décrite par Durth en Allemagne [2] et en observant de manière détaillée quelques points du réseau routier. Les premiers résultats montrent que la vitesse moyenne augmente après le traitement de la chaussée, ce qui entraîne une diminution de la perte de temps.

3.2 Installations automatiques de déverglçage

Les IAD constituent une innovation relativement récente et constitue un produit du commerce sur lequel peu de publications scientifiques sont disponibles.

Une des rares contributions qui traite en même temps de l'efficacité économique et technique des IAD a été établie par la BAST² [4]. Ce rapport décrit, à l'exemple d'une installation de 6 km sur la **A45 entre Francfort et Dortmund**, les impacts économiques de l'IAD, notamment en considérant le nombre d'accidents. Les expériences faites avec les différentes installations en service ne permettent pas une conclusion générale, tout dépend de l'objectif de l'installation et des souhaits de l'exploitant.

Le cas présenté a connu quelques difficultés techniques, liées à la taille de l'ouvrage et les connaissances encore limitées du fournisseur. En plus, des accidents ont souvent causé des dégâts importants au câblage de l'installation. Pourtant, une réduction d'environ 50 % du nombre d'accidents causé par des conditions hivernales a été constaté, malgré une augmentation importante du trafic de 44 % en 10 ans. Au niveau économique, on peut s'attendre à des résultats beaucoup moins spectaculaires, car une IAD n'a pas pour but de remplacer le service hivernal traditionnel, mais de le compléter. L'analyse économique effectuée n'est pas complète, car la durée de vie de l'ouvrage (15 ans) n'est pas encore atteinte. La difficulté de l'analyse coût/bénéfice réside en général du côté des bénéfices qui sont plus difficiles à chiffrer que les coûts. Les points suivants montrent pour quels domaines les IAD peuvent être bénéfiques :

² Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch-Gladbach (Allemagne)

- Sécurité routière : diminution des coûts d'accidents
- Exploitation : diminution de la congestion et ainsi des coûts d'exploitation et des temps de parcours
- Protection de l'environnement : diminution de la pollution, de la quantité de sel épandu et de l'utilisation de carburant
- Utilisateur : diminution des temps d'attente et du stress

En prenant les bénéfices des deux premières catégories, les seules qui ont été chiffrées, le rapport bénéfice/coût est d'environ 1,9.

Le rapport propose une série de mesures pour améliorer des systèmes futurs, ainsi que quelques critères pour l'application des IAD et des systèmes d'alerte de verglas.

En Suisse se trouve une des installations les plus importantes. L'autoroute de **contournement de Lausanne** est équipée d'une IAD sur une longueur de 8 km [5, 6]. La justification économique de cet ouvrage se base essentiellement sur les bénéfices attendus de la diminution de la quantité de sel épandu, à la diminution des accidents et du nombre de congestions. Ainsi, un rapport bénéfice/coût de 1,45 a été estimé comme probable. Le rapport de suivi de l'installation ne peut pas confirmer ce chiffre, car il n'est pas possible de déterminer de manière exacte ni la quantité exacte de sel épandu, ni le nombre de congestions imputables aux conditions hivernales. Seuls les accidents ont pu être analysés. Une diminution d'environ 50 % est constatée, mais le nombre d'accidents dus aux conditions hivernales est inférieur (d'environ 50 %) aux valeurs prévues dans l'étude économique.

D'autres gains plus pratiques, non chiffrables, sont pourtant mis en avant par l'exploitant du système. Un des plus important est l'accessibilité à l'autoroute en tout temps. Avant l'installation de l'IAD, les épanduses ne pouvaient souvent pas rentrer sur l'autoroute, car elles étaient gênées par des véhicules bloqués par le verglas. En plus, comme les ponts risquent de geler plus tôt que les tronçons sur terrain naturel, une intervention y est souvent nécessaire avant que cela soit le cas pour le reste de l'autoroute.

L'état de **Minnesota aux Etats-Unis** a commencé de mettre en place des systèmes semi-automatiques (commandés à distance) dans les années 90 [7-9]. Les expériences étant très positives, plusieurs ponts ont ensuite été équipés de systèmes automatiques. Une analyse coût-bénéfice a été effectuée sur la base des coûts d'investissement et d'exploitation d'un côté et les bénéfices dus aux accidents de l'autre. Des rapports bénéfices/coûts d'environ 3 sont trouvés pour plusieurs ouvrages.

Une étude plus récente analyse l'utilisation de différentes méthodes pour l'aide à la décision pour l'installation d'IAD, principalement pour les ponts [10]. Deux méthodes monocritère et deux méthodes multicritères sont utilisées pour décider de l'installation d'IAD sur plusieurs **ponts en Nebraska**. Les méthodes monocritère (rapport bénéfice/coût et efficacité des coûts) se basent uniquement sur les coûts de l'installation et des bénéfices issus par la diminution du nombre d'accidents et des congestions en résultant. Les méthodes multicritères ont l'avantage de réunir des critères supplémentaires et de leur donner différents poids de pondération dans l'équation. Parmi les critères retenus se trouvent les données sur les ouvrages considérés, le trafic, la météo, l'accessibilité et l'efficacité économique.

3.3 Méthodes de choix

Un certain nombre de travaux de recherche est consacré aux méthodes de choix. Un descriptif en est donné dans le travail de thèse de Tille [11], qui fait une synthèse des principaux procédés utilisés et qui contient une application pratique d'une méthode pour un projet routier dans sa phase de conception.

En Suisse, l'office fédéral des routes (OFROU) a élaboré un **instrument d'évaluation de projets d'infrastructure routière** qui prend en compte les objectifs du développement durable. Ce projet, nommé « NISTRA » [12], présente une série d'objectifs et d'indicateurs du développement durable, ainsi qu'une méthode d'agrégation, qui sont utilisés pour des projets d'infrastructure routière au niveau national à partir de 2003.

NISTRA reprend le canevas des **objectifs et des indicateurs de transports durables** existants du DETEC (« ZINV »), un système de 9 objectifs et 24 indicateurs pour les 3 domaines du développement durable. Une analyse coûts/avantages étendue est utilisée, c'est-à-dire que les critères non monétarisables sont ajoutés de manière qualitative après l'analyse coûts/avantage habituelle sous forme d'un système de points.

4 Description d'une IAD

4.1 Fonctions principales

L'objectif principal du service hivernal est d'assurer une viabilité hivernale suffisante d'une chaussée, afin de garantir la sécurité routière et un certain confort. Les IAD sont censées soutenir les services d'entretien en effectuant les deux tâches suivantes :

- Eviter la formation de verglas
- Maintenir la neige fraîchement tombée dans un état qui permet son évacuation facile par un chasse-neige.

Ses senseurs et détecteurs implantés dans la chaussée et les appareils météorologiques permettent une analyse du risque de formation de verglas sur la chaussée. Avec ces appareils, il est également possible de détecter des précipitations sous forme de neige. Sur la base de ces informations, une décision – soit automatique soit de la part d'un opérateur – peut être prise, afin d'intervenir d'une manière adaptée.

Une IAD permet une intervention rapide, peu après les premières indications de risque de verglas. Le schéma suivant (Figure 1) montre la différence que peut faire une intervention quasi instantanée d'une IAD par rapport à un épandage traditionnel par camion. Il est nécessaire de déterminer si ce gain en temps justifie l'investissement supplémentaire et les frais d'exploitation d'un tel système. Le but de ce travail de recherche est la proposition d'une méthode d'évaluation qui permet cette comparaison.

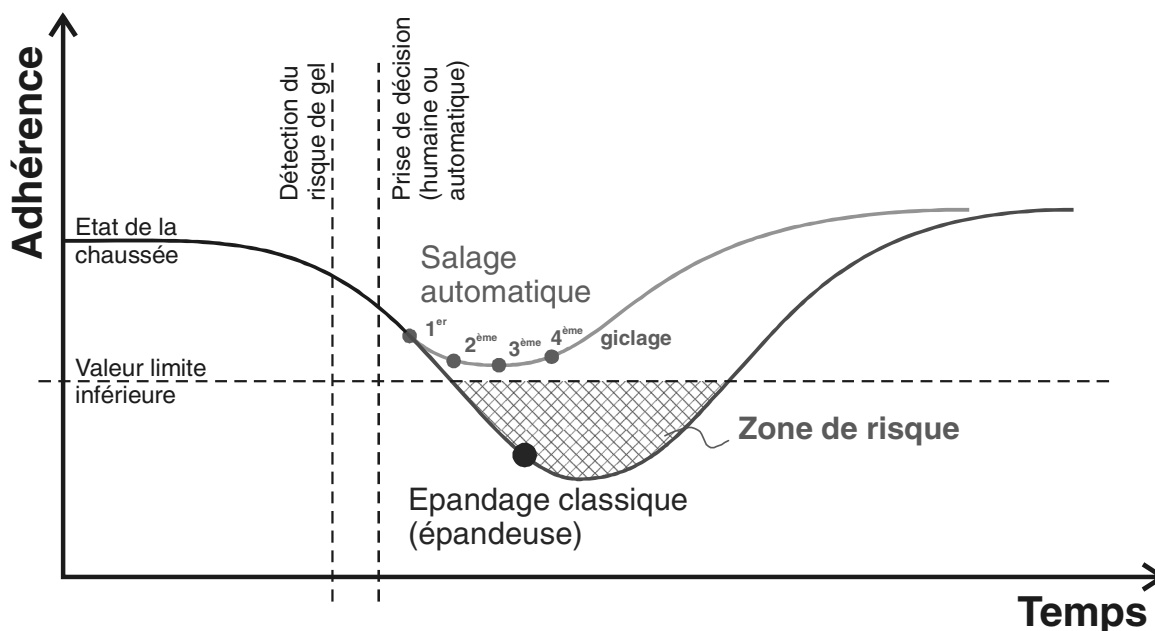


Figure 1 : Avantage d'une intervention rapide à l'aide d'une IAD

Un avantage supplémentaire est le dosage plus fin que permet une IAD et ainsi une intervention adaptée aux besoins. Si nécessaire, la chaussée est aspergée plusieurs fois en peu de temps, car un giclage n'émet qu'une quantité limitée de saumure (théorique 2-3 g/m²).

Il est, par contre, plus difficile de changer l'agent chimique, ce qui peut s'avérer nécessaire quand les températures descendent au-dessous de -8°C. C'est à cette température que l'efficacité de la chlorure de sodium diminue et qu'il est souhaitable d'intervenir avec de la chlorure de calcium [13]. Il n'est pas conseillé d'utiliser plusieurs agents de déverglçage pour une seule IAD, car ils doivent être stockés dans différents réservoirs et l'utilisation parallèle peut s'avérer problématique.

Une IAD peut également être avantageuse au début d'une chute de neige. En aspergeant rapidement la chaussée, la neige ne « colle » pas au revêtement et peut être dégagée plus facilement. Ceci est très intéressant pour des surfaces à forte porosité, comme un enrobé drainant. Néanmoins, cet effet est limité à quelques situations bien précises et il faut être conscient que les IAD ne peuvent en aucun cas remplacer le déneigement par des chasse-neige.

4.2 Composants

Ce chapitre présente les composants d'une installation automatique de déverglçage. Il est essentiellement inspiré par [14].

Une IAD se compose de trois éléments principaux :

- la détection de verglas
- le système d'opération
- la partie hydraulique

Une coordination parfaite entre ces différents composants est nécessaire pour un fonctionnement efficace, économique et écologique.

4.2.1 Le système de détection de verglas

Ce premier composant constitue la partie sensorielle de l'installation. Des détecteurs actifs ou passifs mesurent en tout temps les conditions au niveau de la chaussée. Leur emplacement doit être défini de manière judicieuse, en fonction de la sensibilité au gel du tronçon. Une thermographie, ainsi que l'expérience des services d'entretien aident à la décision de la répartition des détecteurs.

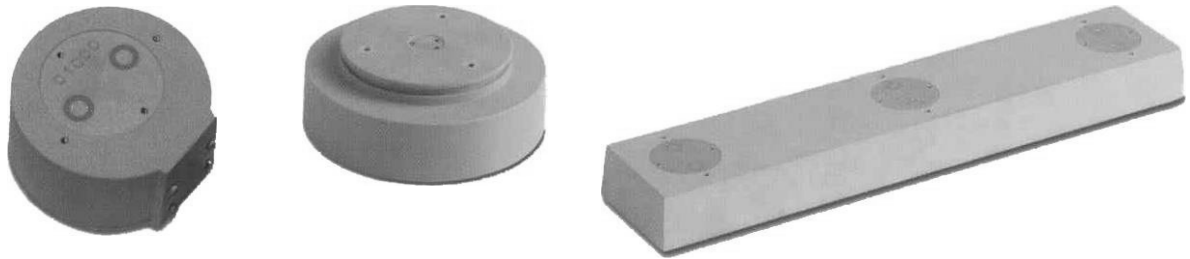


Figure 2 : Détecteurs de verglas : Modèle passif (à gauche) et modèles actifs (au milieu et à droite) (Source : Boschung Mecatronic SA)

Ce système de détection de verglas, à lui tout seul, est d'une grande utilité pour les services d'entretien, car il les soutient pour prendre des décisions d'intervention. Pour cette raison ces systèmes sont installés de plus en plus souvent sur le réseau entier, sans être cependant liés à une IAD.

4.2.2 Le système d'opération électronique

Le système d'opération est l'épine dorsale et le cerveau de l'IAD. A travers ce système traversent les informations (détection de verglas) et les commandes (giclage). Il est très important que l'ensemble de l'électronique (à l'extérieur en particulier) soit protégé des intempéries et des incidents potentiels.

Le logiciel de commande doit présenter différentes propriétés :

- Analyse des paramètres mesurés sur le terrain et prise de décision
- Commande automatique du giclage
- Possibilité d'une intervention manuelle en tout moment, ce qui peut s'avérer nécessaire lors de conditions météorologiques particulières ou pour l'entretien du système
- Possibilité de changer les critères d'intervention : Le réglage exact de l'installation est important, il faut trouver un équilibre entre une intervention presque sans effet et le gaspillage de saumure
- Surveillance automatique de l'état de fonctionnement du système, avec avertissement des personnes responsables en cas de dysfonctionnement
- Affichage des paramètres mesurés sur le terrain (température, point de rosée, humidité, précipitations, etc.)

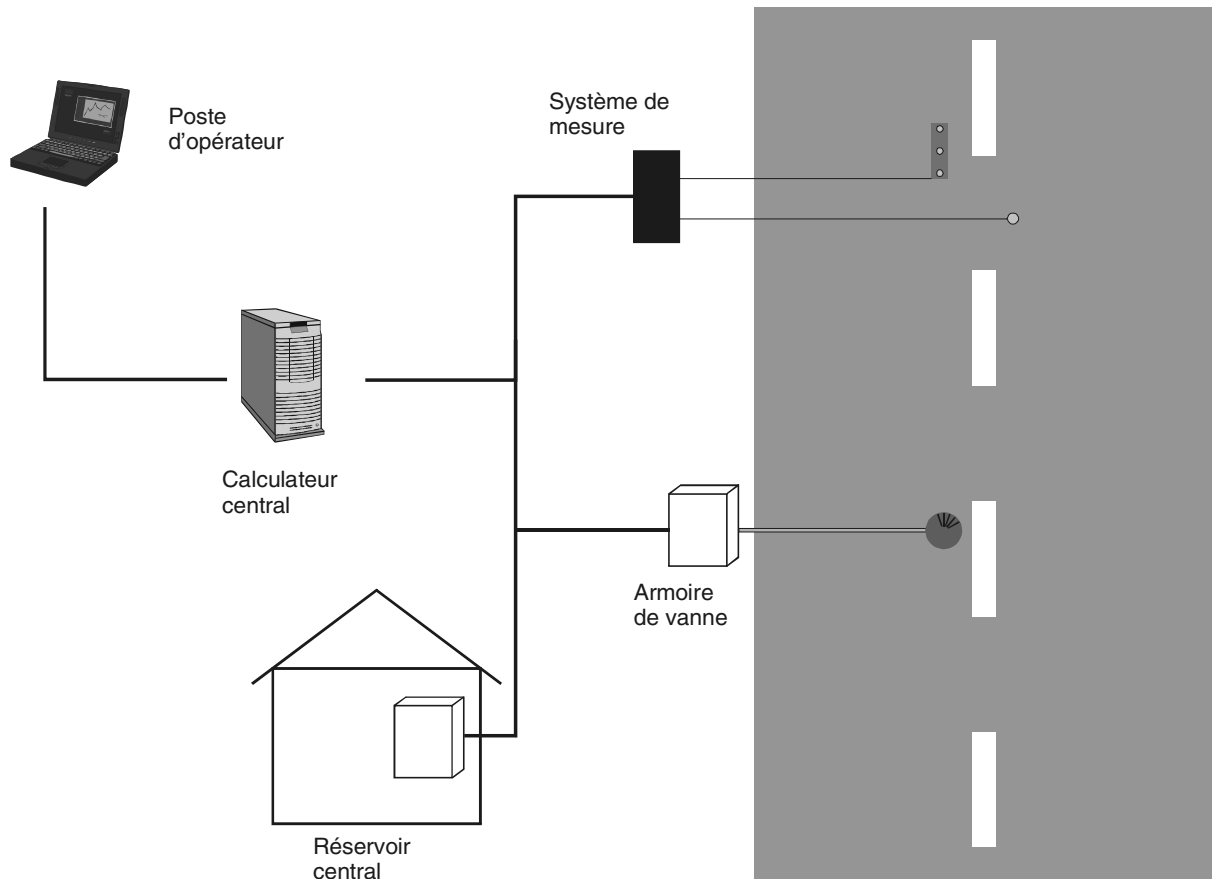


Figure 3 : Système d'opération électronique

4.2.3 Le système hydraulique

Les composants principaux du système hydraulique sont les suivants :

- Pompe et réservoir de saumure (éventuellement nécessité de sous-stations) : Servent à l'approvisionnement général du système. Sont placés dans un local spécifique
- Conduites pour le transport de la saumure jusqu'aux unités de giclage. Doivent être protégées contre les intempéries et des incidents et permettre l'inversion du flux (vidange, nettoyage,...). La résistance aux rongeurs est également à considérer
- Unités de giclage avec têtes d'aspersion placées au bord de la chaussée, dans le parapet latéral en béton ou implantées directement dans le revêtement (aussi appelées assiettes de giclage)

Les installations de nouvelle génération ne sont plus constamment sous pression. Des récipients locaux (unités de soupape) sont remplis avec la quantité nécessaire pour un giclage. Ainsi, le système peut toujours fonctionner au moins une fois, même en cas de rupture de la conduite principale (suite à un accident, par exemple).

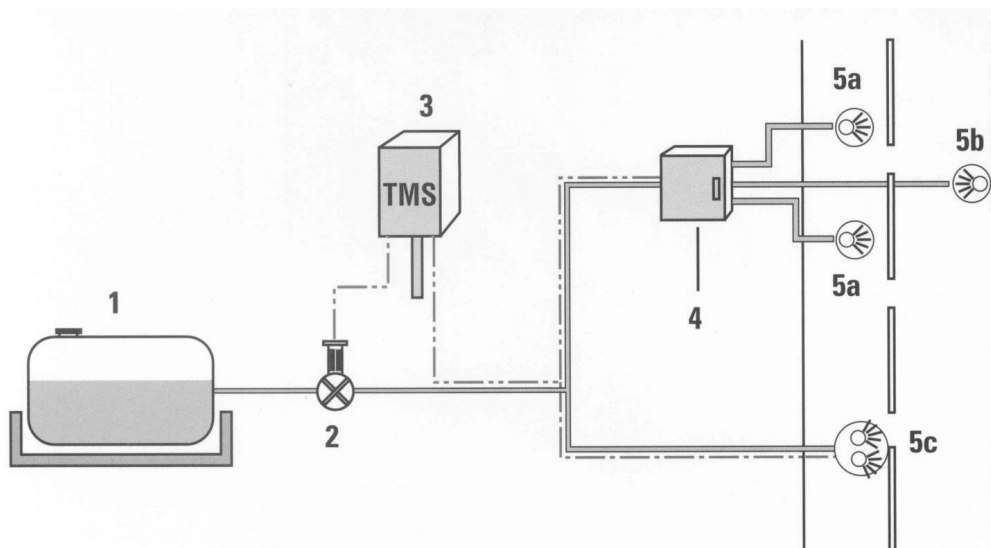


Figure 4 : Système hydraulique : 1 : Réservoir ; 2 : Pompe ; 3 : Commande électronique ; 4 : Armoire de vannes ; 5 : unités de giclage (Source : Boschung Mecatronic SA)

4.2.4 Evolution des unités de giclage

Depuis le début des IAD, le développement des composants s'est poursuivi avec une attention particulière donnée aux unités de giclage, qui doivent être performantes, sans trop gêner les conducteurs. On peut actuellement distinguer trois types d'unités de giclage :

La **tête de giclage** a été le premier type à être installé (Figure 5, à gauche). Elle est généralement placée sous la glissière ou dans le parapet latéral de la route. Le jet sort presque horizontalement et peut asperger deux voies sans problèmes. En présence d'une voie supplémentaire (ou de la bande d'arrêt d'urgence), l'utilisation de la tête de giclage n'est plus recommandée, sauf si les têtes sont installées des deux côtés de la chaussée.

La technologie de l'aspersion automatique étant également utilisée sur des surfaces importantes, comme des aéroports, les **assiettes de giclages** ont été développées (Figure 5, à droite). Cette assiette est complètement intégrée dans la chaussée et elles ne gênent ainsi pas le passage des véhicules. Le jet doit sortir avec un certain angle, afin de pouvoir asperger la route dans toute sa largeur. Ainsi, trois voies peuvent être traitées sans problèmes.

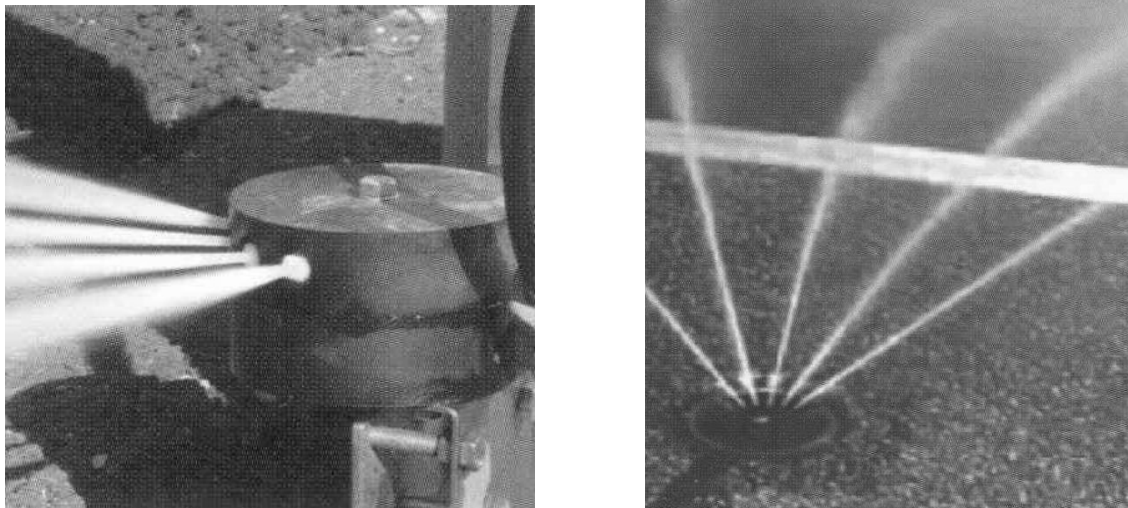


Figure 5 : Différentes unités de giclage actuellement utilisées : Tête (à gauche), assiette (à droite) (Source : Boschung Mecatronic SA)

Le dernier développement est une **tête à microjet**, qui – comme l'assiette de giclage – est intégrée dans la chaussée (Figure 6). Une unité de soupape peut alimenter jusqu'à 20 têtes, qui sont distancées de 5 m. Les microjets peuvent être orientés et aspergent jusqu'à deux voies. Pour une route à trois ou quatre voies, une deuxième unité parallèle est nécessaire le long de la route. Le jet étant plus fin, le temps d'aspersion est allongé.

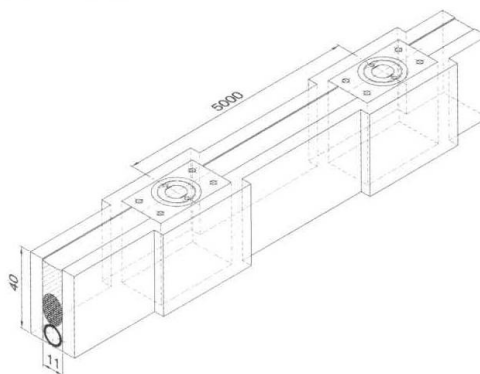
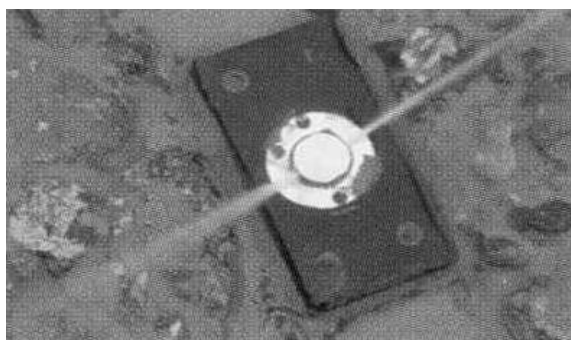


Figure 6 : Tête à microjet (Source : Boschung Mecatronic SA)

4.2.5 Exploitation

Pour des systèmes de longueur importante, une division de l'installation en plusieurs tronçons indépendants est nécessaire. Ces sous-systèmes d'une longueur d'environ 500 à 600 m disposent en général de leurs propres détecteurs de verglas et peuvent fonctionner indépendamment les uns des autres. Néanmoins, il convient d'éviter le « patchwork » en installant des IAD isolées sur des ponts proches les uns des autres.

Il est possible d'utiliser différents types d'agents chimiques pour asperger la chaussée. Les plus employés sont des solutions de chlorure de sodium (NaCl) et de chlorure de calcium (CaCl₂). Cette dernière est plus intéressante en cas de températures très basses (< -10°C), quand l'efficacité du NaCl diminue fortement. Par contre, dans des conditions

météorologiques particulières, des grandes quantités de cette solution (p.ex. après la rupture d'une conduite) peuvent diminuer de manière sensible l'adhérence de la chaussée.

Un entretien régulier du système est indispensable. Après chaque hiver, le système hydraulique est nettoyé et rempli d'eau pure. Il est conseillé d'activer le système de manière régulière pendant l'été, en aspergeant de l'eau sur la chaussée, de préférence la nuit et en cas de pluie, afin de déranger les usagers le moins possible.

5 Inventaire des installations existantes

L'inventaire se base essentiellement sur les informations reçues par les fabricants de ces systèmes.

Le principal fournisseur au monde est l'entreprise Boschung Mecatronic SA à Fribourg en Suisse, qui a déjà mis en place environ 80 installations (état 2003).

D'autres entreprises se trouvent essentiellement aux Etats-Unis :

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

Après une première installation sur le pont de Flamatt en Suisse en 1979, la technologie a rapidement été appliquée en Allemagne où quatre installations étaient mises en service au début des années 80.

5.1 Liste d'installations par pays

Une liste détaillée se trouve à l'annexe 1.

Pays	Nombre d'installations	Années d'expérience
Allemagne	24	21
Canada	3	3
Corée du Sud	3	4
Danemark	1	11
Espagne	3	2
Etats-Unis	13	5
France	8	9
Italie	2	6
Japon	1	1
Luxembourg	1	15
Pologne	2	4
Russie	3	5
Suisse	11	11
Tchéquie	6	8
Ukraine	1	7

Tableau 1 : Liste d'installation mises en place par Boschung Mecatronic SA (Etat début 2003)

5.2 Présentation de quelques installations caractéristiques

Dans la suite sont présentées quelques installations mises en place dans la période des 20 dernières années. Les principales caractéristiques, comme la longueur, le type de gicleurs, et les conditions particulières sont décrites, ainsi que quelques détails de l'exploitation.

5.2.1 Aigues-Vertes

L'IAD du pont d'autoroute des Aigues-Vertes a été mise en place lors de la construction de l'autoroute au-dessus du Rhône et entre les tunnels de Vernier et de Confignon. Dans ce cas l'épandage traditionnel du pont aurait été difficile à réaliser en raison de la présence des deux tunnels qui eux ne doivent pas l'être. Le bureau des autoroutes de Genève escomptait une réduction globale des coûts du service hivernal sur ce tronçon.

Les gicleurs sont installés dans le parapet du bord, le système hydraulique et les câbles électriques sont installés dans le caisson du pont. La première année déjà, un accident dans le système hydraulique a causé une fuite de saumure et des dégâts importants au pont. Une révision de toute l'infrastructure a été nécessaire.

Type de route	Autoroute 2x2 (pont)
Détails de l'IAD	50 têtes de giclage, intégrées dans le parapet Système électrique et hydraulique dans le caisson du pont
Longueur de l'installation	250 m
Année d'installation	1993
Altitude du site	390 m
Particularités	---

5.2.2 Contournement de Lausanne

L'autoroute de contournement a été équipée d'une IAD à l'occasion des grands travaux d'élargissement de deux à trois voies entre 1995 et 1997. Afin de répondre à des exigences au niveau du bruit, tout l'ouvrage a été réalisé avec une couche de roulement en enrobé drainant. La porosité de cet enrobé est un désavantage au niveau du risque de gel. En plus, les eaux évacuées de manière rapide emportent également l'agent de déverglage. Des essais préalables ont été effectués, afin de déterminer la distance idéale entre les assiettes de giclage.

Au total, l'ouvrage mesure plus de 8 km dans les deux directions. Les systèmes hydraulique et électrique sont placés en plein air dans le terre-plein central. Ce type de configuration pose des problèmes particuliers au niveau de la protection de ces systèmes. Ils sont bien protégés du trafic (accidents) par des parapets en béton de type New Jersey, mais les câbles et les conduites sont souvent attaqués par des rongeurs.

Type de route	Autoroute 2x3
Détails de l'IAD	1071 assiettes de giclage dans le revêtement Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	7'400 m
Année d'installation	1997
Altitude du site	500 - 700 m
Particularités	Revêtement drainant

5.2.3 Flamatt

Après l'accident majeur de la chute d'un poids lourd depuis le viaduc, le service d'entretien a cherché une solution pour rendre plus sûr cet ouvrage. La forte déclivité du viaduc, sa distance du centre d'entretien, ainsi qu'un différentiel de température parfois important ont toujours posé des problèmes au niveau du service hivernal. La maison Boschung Mécatronic SA, voisine du service d'entretien à Granges-Paccot et spécialiste dans le domaine du service hivernal, a été approchée par le bureau des autoroutes (BAR) du canton de Fribourg.

Le résultat de cette collaboration était la première IAD en Suisse. Les 90 gicleurs sont montés sous la glissière du terre-plein central à un intervalle de 16 m.

L'expérience faite avec l'IAD était assez positive et le BAR a décidé d'équiper également la bretelle de sortie de Flamatt, qui débute peu après le viaduc.

Type de route	Autoroute 2x2 (viaduc)
Détails de l'IAD	90 têtes de giclage, montées dans la glissière centrale Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	800 m
Année d'installation	1979
Altitude du site	540 - 580 m
Particularités	---

5.2.4 Lüdenscheid

Le tracé de l'autoroute A45 à travers le « Sauerland » (Allemagne) est sinueux et présente des déclivités parfois importantes, imposé par le terrain accidenté (voir en annexe 11.2 et [4]). Les autorités ont décidé d'équiper un tronçon particulièrement dangereux en 1986. Les poids lourds, en glissant sur le verglas, ont à de nombreuses reprises bloqué l'autoroute.

L'IAD de Lüdenscheid était la première installation continue de longueur importante (presque 7km). Elle a servi de laboratoire en vraie grandeur, car le système était encore perfectible. Les systèmes hydraulique et électrique sont installés à ciel ouvert le long des glissières. Plusieurs fois, lors d'un accident, les conduites d'alimentation se sont rompues et la saumure

s'est répandue dans le terrain et sur la chaussée. Depuis, un système de soupapes retient la saumure en cas de rupture.

Malgré les améliorations, la maintenance de cette IAD occupe un collaborateur à plein temps au sein du service d'entretien. Selon les dernières informations, le remplacement de tout le système est prévu au courant de l'année 2004.

Type de route	Autoroute 2x2
Détails de l'IAD	480 têtes de giclage dans la glissière extérieure Systèmes électrique et hydraulique à l'air libre dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	7'000 m
Année d'installation	1986
Altitude du site	280 - 410 m
Particularités	---

5.2.5 Bielefelder Berg

Sur l'autoroute A2, une des IAD les plus récentes a été installée au Bielefelder Berg. Elle est continue sur une longueur d'environ 4 km, afin de couvrir la montée et la descente dans les deux directions. Toutes les installations sont enterrées, afin de les protéger le mieux possible.

Les eaux de ruissellement sont emmenées dans une installation spéciale, dans laquelle l'eau est déchlorurée (après la séparation des huiles). Ceci réduit la quantité de sel émise dans les cours d'eau à la fois suite au déverglage.

Type de route	Autoroute 2x3 (pont)
Détails de l'IAD	460 assiettes de giclage dans le revêtement Systèmes électrique et hydraulique enterrés dans le terre-plein central
Longueur de l'installation	4'000 m
Année d'installation	1995
Altitude du site	300 - 350 m
Particularités	---

5.2.6 I-35W Minneapolis

Aux Etats-Unis, les ponts sont souvent construits de manière simple et leur inertie thermique est relativement plus faible. Ainsi, la formation de verglas (appelé « black ice ») est un phénomène courant et la lutte demande des moyens importants. C'est pour cette raison que de plus en plus de ponts critiques sont équipés d'IAD (« Fixed Automated Spray Technology (FAST) »). L'état de la Pennsylvanie compte le plus grand nombre d'installations de ce type.

L'ouvrage présenté ici se trouve à Minneapolis (Etat de Minnesota) et son impact sur la sécurité routière a été suivi et analysé [15]. L'IAD est installée sur une longueur d'environ 600 m. La plupart des 76 gicleurs sont des assiettes intégrées dans la chaussée, les autres

sont montés dans le parapet latéral. Une particularité de l'installation est sa largeur, car l'autoroute compte quatre voies par direction et les assiettes se trouvent à peu près au milieu de la chaussée. Les coûts d'investissement ont été d'environ USD 600'000.

Cette installation servait en tant que système test pour l'Etat du Minnesota. Elle a été évaluée pendant deux hivers après la mise en place. En conclusion, selon le rapport susmentionné, le système a fonctionné de manière satisfaisante et il a considérablement augmenté la sécurité routière (réduction des accidents en conditions hivernales de 68 %) et il constitue un outil performant pour la lutte contre le verglas.

Type de route	Autoroute 2x4 (pont)
Détails de l'IAD	68 assiettes dans le revêtement et 8 têtes de giclage à l'extérieur Systèmes électrique et hydraulique dans la structure du pont (treillis)
Longueur de l'installation	600 m
Année d'installation	1999
Altitude du site	250 m
Particularités	---

6 Evaluation des installations automatiques de déverglage

6.1 Etudes de rentabilité

La rentabilité du service hivernal par épandage d'un fondant chimique est démontrée par un travail de recherche par Ruess [1], qui compare l'épandage de sel à celui de gravier. Cette étude résume les résultats de plusieurs recherches étrangères et estime ainsi que le passage de 140 véhicules en toute sécurité suffit pour rembourser l'épandage d'un tronçon de route si l'on prend en compte les coûts sociaux, les coûts aux usagers et les coûts d'exploitation.

En général, une analyse de l'efficacité est effectuée avant l'installation du système, afin de justifier son financement et sa mise en place et se limite en général à une simple analyse bénéfice/coût. Les hypothèses retenues sont rarement reprises et vérifiées après la construction. Toutefois, il existe quelques cas, pour lesquels un suivi a eu lieu [4, 5, 15].

Un questionnaire, effectué dans le cadre de ce travail de recherche, a montré que différents critères sont utilisés par les exploitants d'autoroutes, mais la méthode d'analyse appliquée est en général du type monocritère. Les résultats détaillés de ce questionnaire se trouvent à l'annexe 3 et leur discussion figurera plus loin.

Une installation peut être financièrement rentable, si les coûts d'installation et d'exploitation sont inférieurs aux coûts du service hivernal traditionnel. Ceci est le cas, par exemple, dans des endroits, où une équipe d'intervention doit constamment être disponible, en attente sur le terrain.

6.2 Justification de la rentabilité appliquée lors du projet

6.2.1 Introduction

Dans ce chapitre sont présentées plusieurs méthodes d'évaluation. Il s'agit d'argumentations qui ont été établies pour justifier le financement de différentes installations. Les cas présentés correspondent aux exemples d'installations donnés dans le chapitre précédent (chapitre 5.2).

6.2.2 Exemples

6.2.2.1 Aigues-Vertes

Dans le cas de l'installation de Genève, la justification consistait en un descriptif de la situation particulière dans laquelle se trouve le pont d'Aigues-Vertes. En effet, l'ouvrage surplombe le Rhône, ce qui entraîne des conditions climatiques très spéciales par une humidité relative et des courants d'air. En plus de pont est délimité de chaque côté par un tunnel. La réduction des coûts du service hivernal était l'argument principal dans la justification.

Par le manque de données concernant un service hivernal traditionnel – l'IAD était intégrée lors de la construction du pont – une analyse comparative de l'état sans IAD n'est pas possible.

6.2.2.2 Contournement de Lausanne

La justification de l'installation sur le contournement de Lausanne consiste en une analyse bénéfice/coût en tenant compte des critères suivants :

6.2.2.2.1 Coûts

Coûts d'installation

- équipements
- construction

Coûts d'exploitation

- amortissement des coûts d'installation en 15 ans, des travaux de génie civil en 25 ans
- coûts d'énergie, d'agent de déverglage, de personnel et d'entretien

Les coûts d'installation sont intégrés, sous la forme de l'amortissement, dans les coûts annuels d'exploitation et seul ce dernier chiffre est utilisé pour le calcul par la suite.

6.2.2.2.2 Bénéfices

Accidents

- estimation du nombre d'accidents
- coûts d'accidents selon normes VSS

Coûts de congestion

- estimation du nombre et de l'importance des congestions

Interventions classiques

- estimation de la quantité de sel économisé, y compris frais d'épandage

Tous les coûts sont actualisés à l'année d'installation du système, soit 1997.

6.2.2.2.3 Rentabilité

Le facteur de rentabilité est calculé en divisant les coûts d'exploitation par les bénéfices. Il s'élève à 1,45 (1,98 sans intérêts) dans le cas présent.

6.2.2.3 Flamatt

La décision d'équiper ce pont avec la première IAD en Suisse a été prise à la suite d'un accident grave en 1977. Un camion et sa remorque ont glissé et sont tombés du pont dans la localité de Flamatt. Ce pont de 700 m présente une forte déclivité (3 à 4 %) et peut connaître des différences de température entre les deux extrémités de plusieurs degrés. En plus, la distance de 21 km jusqu'au centre d'entretien de Granges-Paccot (FR) rendait très difficile une intervention appropriée.

Le bureau des autoroutes a cherché une alternative au service hivernal traditionnel, ce qui a conduit au développement de cette première installation automatique de déverglage.

6.2.2.4 Nordrhein-Westfalen

Le Land de Nordrhein-Westfalen (NRW) a une grande expérience avec des IAD. La méthode d'évaluation utilisée est une analyse bénéfice/coût, selon des propositions de la BAST [4], élaborées en collaboration avec les autorités de NRW au début des années 90. Les critères considérés pour le calcul de la rentabilité sont :

6.2.2.4.1 Coûts

Coûts d'installation

- équipements
- construction

Coûts d'exploitation

- amortissement des coûts d'installation en 15 ans
- coûts d'énergie, d'agent de déverglage, de personnel et d'entretien

Les coûts d'installation étant intégrés, sous la forme de l'amortissement, dans les coûts annuels d'exploitation, seul ce dernier chiffre est utilisé pour le calcul par la suite.

6.2.2.4.2 Bénéfices

Accidents

- moyenne sur 10 ans des accidents dus au gel
- coûts d'accidents selon recommandations

Coût d'exploitation de l'utilisateur

- selon BAST
- se base sur les longueurs de congestions

Perte de temps de l'utilisateur

- se base sur la baisse de vitesse lors des congestions

Tous les coûts sont actualisés à l'année d'installation du système.

Il est conseillé de réduire les bénéfices de 50 % (accidents) ou de 30 % (coûts d'exploitation et de la perte de temps de l'utilisateur). Ceci est nécessaire, parce que l'IAD ne peut pas éviter la totalité de ces événements.

6.2.2.4.3 Rentabilité

Le facteur de rentabilité est calculé en divisant les coûts d'exploitation par les bénéfices minorés (voir ci-dessus). Une description détaillée de l'installation et des coûts de construction engendrés complètent le dossier de demande de financement.

Lorsque le facteur de rentabilité est supérieur à 1, l'installation est, en général, approuvée par le ministère de transport.

6.2.2.5 **Minneapolis**

La formation fréquente de verglas entraînant un nombre élevé d'accidents, ainsi que le trafic important d'environ 140'000 véh/j ont donné l'impulsion à la mise en place de ce système test. Contrairement à la procédure des pays européens, qui évaluent les coûts et les bénéfices, cette IAD a servi d'essai en vraie grandeur pour l'état du Minnesota, afin de vérifier l'efficacité et le bon fonctionnement d'une telle installation.

6.2.2.6 **Conclusions**

En général, un rapport bénéfice/coût est appliqué, afin d'estimer la rentabilité de l'ouvrage. Des critères non-monétaires ne sont pas pris en compte.

7 Critères pour la mise en place d'une installation automatique de déverglage

7.1 Introduction

Afin de pouvoir établir un inventaire des méthodes récemment appliquées pour juger de la rentabilité des IAD, il convient d'analyser les démarches et les critères actuellement retenus pour les installations existantes. Des informations ont été recueillies de différentes sources, dont un questionnaire qui a permis de compléter les méthodes présentées auparavant pour différents exemples.

7.2 Questionnaire

Dans le cadre de ce présent travail de recherche, un questionnaire a été envoyé aux spécialistes du service hivernal de l'AIPCR (Comité C17). Ce questionnaire est présenté de manière plus détaillée en annexe (chapitre 11.3). Le but principal de ce questionnaire est de recevoir des informations sur les méthodes d'analyse utilisées à l'étranger. Il est demandé de donner des informations sur la méthode d'évaluation appliquée dans le pays respectif. Ensuite est demandé l'avis sur un certain nombre de critères proposés doit être donné, avec la possibilité de pouvoir rajouter des critères.

Les pays suivants ont envoyé une réponse :

- Italie
- France
- Finlande
- Etats-Unis (plusieurs réponses, car le questionnaire a été distribué à un grand nombre de services locaux)

Ce questionnaire permet ainsi de connaître les tendances actuelles au niveau de l'estimation de l'efficacité.

Les résultats varient fortement d'un pays à l'autre. En Italie, les autorités se focalisent sur des ouvrages très isolés et pour lesquels l'accès est long depuis le centre d'entretien le plus près, les coûts n'intéressent que peu. Aux Etats-Unis, l'importance est accordée à la sécurité en tenant compte surtout des accidents et à la sensibilité du site au gel.

7.3 Inventaire des critères généralement retenus

Dans ce chapitre sont présentés les critères qui sont généralement retenus dans différents pays pour l'évaluation de la rentabilité (c.f. questionnaire et les différentes études [4, 6, 7, 10]). Au cas où un critère est analysé de manière différente d'un pays à l'autre, toutes les variations sont montrées.

7.3.1 Critères économiques

7.3.1.1 Coût d'investissement

Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> • Equipement technique • Coûts de construction
Unité	CHF
Evaluation / Calcul	Selon offres du fabricant et/ou de l'installateur
Valeurs par expérience	env. 500 CHF/m et par direction
Remarques	N'est utilisé que de manière indirecte en l'intégrant dans les coûts annuels. Les périodes d'amortissement sont en général différentes pour l'équipement de l'installation de déverglaçage et les œuvres de génie civil

7.3.1.2 Coût annuel d'exploitation et d'amortissement

Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> • Amortissement des coûts d'installation de l'équipement technique (Période : 15 ans) • Amortissement des coûts de génie civil (Période : 25 ans) • Coût de l'agent de déverglaçage (saumure) • Coût de l'énergie • Coût du personnel • Coût de maintenance
Unité	CHF / an
Evaluation / Calcul	Amortissement selon les coûts d'installation calculés auparavant.
Valeurs par expérience³	<ul style="list-style-type: none"> • Coût de l'agent de déverglaçage : 1.50 CHF/m • Coût de l'énergie : 0.30 CHF/m • Coût du personnel : 3.00 CHF/m • Coût de maintenance : 2.50 CHF/m

7.3.1.3 Coût annuel des accidents

Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'accidents sur le tronçon • Nombre d'accidents dans conditions hivernales
Unité	CHF / an

³ Source : données de l'entreprise Boschung Mecatronic SA (année : 1994)

Evaluation / Calcul Au coût des dommages matériels de chaque accident se rajoute, le cas échéant, celui des dommages corporels. La méthode de calcul est décrite dans SN 640 007.

Il est conseillé de minorer le résultat, afin de tenir compte du fait que l'IAD ne peut pas éviter tous les accidents, des valeurs entre 20 et 50 % sont conseillées.

Valeurs par expérience Aucune disponible

7.3.1.4 Coût annuel d'exploitation de l'usager dû aux congestions (méthode allemande)

- Données nécessaires**
- Valeur moyenne pour le coût d'exploitation horaire des véhicules (1)
 - Nombre total de congestions sur le tronçon concerné (2)
 - Nombre de congestions en conditions hivernales (3)
 - Durée moyenne des congestions (4)
 - Trafic journalier moyen dans les 2 directions (TJM) (4)

Unité CHF / an

- Evaluation / Calcul**
- Nombre de congestions évitées à l'aide de l'IAD = 70 % de (2) (5)
 - Trafic horaire moyen = 18 % de (4) (6)
 - Nombre de véhicules par heure et par direction = 50 % de (6) (7)
 - Coût horaire d'exploitation = (1) x (7) (8)
 - Coût d'exploitation par congestion = (8) x (3) (9)
 - Coût d'exploitation économisé = (5) x (9)

Valeurs par expérience Aucune disponible

Il est admis que l'IAD ne peut pas éviter toutes les congestions en conditions hivernales. C'est pour cela que seulement 70 % des congestions sont prises en compte (sous (5)).

7.3.1.5 Coût annuel de perte de temps de l'usager due aux congestions (méthode allemande)

- Données nécessaires**
- Valeur moyenne pour le coût horaire de perte de temps (10)
 - Nombre de véhicules par heure et par direction (11)
 - Nombre de véhicules par congestion (11)
 - Longueur moyenne des congestions (12)

Unité CHF / an

- Evaluation / Calcul**
- Temps de parcours (en min) à 90 km/h = (12) / 90km/h / 60min (13)
 - Temps de parcours (en min) à 5 km/h = (12) / 5km/h / 60min (14)
 - Perte de temps par véhicule = (14) – (13) (15)
 - Perte de temps par congestion = (11) x (15) (16)
 - Coût de perte de temps par congestion = (10) x (16) (17)
 - Coût annuel de perte de temps = (5) x (17) (18)

Valeurs par expérience Aucune disponible

7.3.1.6 Coût annuel dû aux congestions (méthode suisse)

Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none">• Nombre moyen de congestions par année• Durée moyenne des congestions
Unité	CHF / an
Evaluation / Calcul	---
Valeurs par expérience	<ul style="list-style-type: none">• CHF 100'000 à 150'000 par congestion [6]

7.3.1.7 Coût annuel de l'épandage de sel (service hivernal traditionnel)

Données nécessaires	<ul style="list-style-type: none">• Coût moyen pour l'épandage de sel• Quantité moyenne de sel épandu
Unité	CHF / an
Evaluation / Calcul	---
Valeurs par expérience⁴	<ul style="list-style-type: none">• Coût moyen pour l'épandage de sel : 300 CHF/t• Quantité moyenne de sel épandu : 0.0096 t/m

7.3.2 Critères non-monétaires

7.3.2.1 Conditions météorologiques locales

Données	<ul style="list-style-type: none">• Microclimat• Sources d'humidité (cours d'eau, générateur de vapeur, etc.)• Amoncellement de neige
Unité	---
Evaluation / Calcul	Evaluation qualitative
Valeurs par expérience	Aucune disponible

7.3.2.2 Autres critères parfois cités

- Type de revêtement
- Impact sur l'environnement
- Corrosion des véhicules
- Coûts sociaux en cas d'un service hivernal de moindre qualité
- Pertes de l'économie

⁴ Source : données de l'entreprise Boschung Mecatronic SA (année : 1994)

7.4 Critères NISTRA

La méthode d'évaluation NISTRA [12] a été développée par l'OFROU pour intégrer les critères relatifs au développement durable. La méthode se base sur une série d'objectifs et de critères et est prévue pour être utilisée dans le cadre de projets de route de grande envergure. La mise en place d'une IAD ne demande pas le même niveau d'analyse et certains critères peuvent donc être écartés.

Ce chapitre isole les critères NISTRA qui sont intéressants dans le cadre d'une IAD et du service hivernal. La liste complète des objectifs et des critères se trouve en annexe.

G21	Protéger la santé et le bien-être des êtres humains	G211	Accidents
		G212	Victimes d'accidents (blessées et décédées)
G25	Répartir équitablement les coûts et les avantages	G251	Coûts du point de vue du décideur
		G252	Utilité nette du point de vue du décideur
W11	Minimiser les coûts directs du projet (coûts annuels)	W111	Coûts annuels du capital
		W112	Frais d'exploitation
		W113	Frais d'entretien
W12	Maximiser les avantages directs du projet (avantages annuels)	W121	Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région
		W122	Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région
		W123	Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le transport de marchandises
		W124	Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises
		W125	Risques d'embouteillage / temps de réserve
U11	Réduire les polluants		Consommation en sel

7.4.1 Les indicateurs dans le détail

Dans la suite figure la description détaillée des critères NISTRA qui sont intéressants pour l'étude d'une IAD. Cette description, ainsi que les chiffres indiqués sont copiés du rapport principal [16].

7.4.1.1 G 211 : Accidents

Unité	Nombre / an
Valeurs par expérience	CHF 42'500 / accident

7.4.1.2 G 212 : Victimes d'accidents (blessées et décédées)

Unité	Personnes / an
Valeurs par expérience	CHF 342'000 / victime d'accident

7.4.1.3 G 251 : Coûts du point de vue du décideur

Cet indicateur n'apporte que peu au développement durable, car il s'agit simplement de déterminer la répartition des coûts entre différentes sources de financement. Pour le décideur, en général le canton, il peut être intéressant de connaître sa part de l'investissement.

Données	Répartition des coûts entre les différents acteurs (Confédération, canton, commune)
Unité	Pourcentage

7.4.1.4 G 252 : Utilité nette du point de vue du décideur

Comme pour le précédent, cet indicateur ne fait que répartir l'utilité nette entre les différents acteurs. Il n'est pas nécessaire pour l'évaluation d'un projet, mais il apporte au décideur une vue plus complète de la situation.

Données	Utilité nette du projet
Unité	Pourcentage
Evaluation / Calcul	Utilité nette = Somme des avantages – Coûts

7.4.1.5 W 111 : Coûts annuels du capital

Données	<ul style="list-style-type: none"> - Frais de construction - Période d'amortissement pour chaque domaine - Choix d'un taux d'escompte réel 	
Unité	CHF / an	
Valeurs par expérience	- Période d'amortissement :	10 à 25 ans
	- Taux d'escompte :	2,5 %

7.4.1.6 W 112 : Frais d'exploitation

Données	- Frais d'exploitation
Unité	CHF / an

7.4.1.7 W 113 : Frais d'entretien

Données	- Frais d'entretien
Unité	CHF / an

7.4.1.8 W 121 : Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région

Dans le cas présent des IAD, cet indicateur, comme les trois suivants, n'est applicable que lors d'un événement hivernal qui nécessite l'intervention du service d'entretien. Il faut donc déterminer le nombre d'heures par année qui présentent un risque de ce genre.

Données	- Nombre d'heures par année qui nécessitent une intervention - Trafic
Unité	Personnes-heures / an
Evaluation / Calcul	- Calcul de l'utilité pour le trafic existant (diminution des temps de parcours lors d'un événement hivernal) - Calcul de l'utilité pour le trafic induit (le cas échéant), car une route plus sûre peut attirer du trafic
Valeurs par expérience	- Trafic pendulaire : CHF 25 / pers.-h - Trafic pour les achats et les loisirs : CHF 10 / pers.-h - Trafic commercial : CHF 100 / pers.-h - Moyenne pondérée : CHF 27 / pers.-h

7.4.1.9 W 122 : Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8)

Données	- Nombre d'heures par année qui nécessitent une intervention - Trafic marchandises
Unité	Personnes-heures / an
Evaluation / Calcul	Similaire au cas précédent (7.4.1.8)
Valeurs par expérience	CHF 100 / pers.-h

7.4.1.10 W 123 : Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le transport de marchandises

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8). Un niveau de service plus élevé permet une meilleure gestion de flotte.

Données	- Heures économisées (7.4.1.8 et 7.4.1.9) - Taux d'occupation moyens
Unité	Heures d'engagement annuelles
Evaluation / Calcul	
Valeurs par expérience	- Trafic commercial : CHF 1.80 / véh.-h - Transport de marchandises : CHF 5.80 / camion-h

7.4.1.11 W 124 : Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises

Voir aussi les remarques ci-dessus (chap. 7.4.1.8).

Données

Unité Véhicules-kilomètres ou litres / an

Evaluation / Calcul

Valeurs par expérience

- Voitures (sans le carburant) : CHF 0.18 / véh.-km
- Transport de marchandises (s.c.) : CHF 0.41 / véh.-km
- Carburant (sans taxes ni impôts) : CHF 0.50 / litre

7.4.1.12 W 125 : Risques de congestion / temps de réserve

Le risque de congestion augmente en cas d'événement hivernal. Ce n'est donc uniquement pour ces cas que l'indicateur est valable.

Données

- Degré de qualité normal
- Degré de qualité en cas d'événement hivernal

Unité Coefficient

Evaluation / Calcul $\text{Points} = 0,5 \times (\text{part du degré D}) + 1,0 \times (\text{part du degré E}) + 1,5 \times (\text{part du degré F})$

7.4.1.13 Consommation de sel

Données - Consommation de sel

Unité Tonnes de sel / an

8 Méthode d'analyse proposée

Les expériences et méthodes décrites aux chapitres précédentes montrent qu'une méthode d'analyse spécifique aux IAD et adaptée au contexte suisse est encore à développer et proposer.

Dans ce chapitre sera présentée la méthode proposée pour l'évaluation de l'implantation d'un système automatique de déverglaçage, y compris la description des critères utilisés pour la comparaison.

8.1 Présentation de la méthode d'analyse

La méthode d'analyse est réalisée en deux étapes (Figure 7). D'abord, un examen d'opportunité est effectuée, qui vérifie la nécessité de rentrer en matière. Elle est suivie du choix de variantes, afin de déterminer le projet le mieux adapté à l'endroit en question. Ces deux étapes sont décrites de manière plus précise dans la suite.

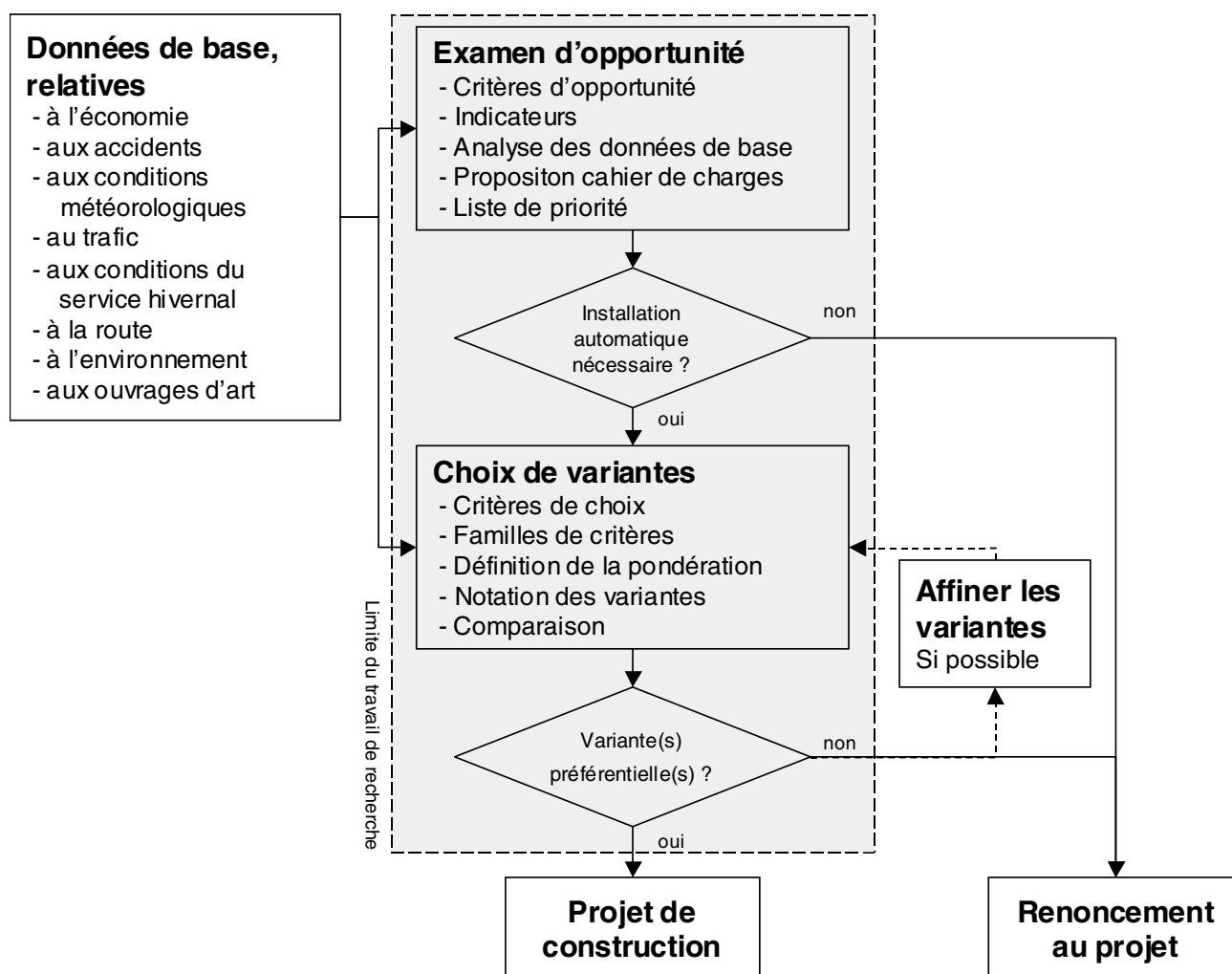


Figure 7 : Marche à suivre de la méthode proposée

8.2 Examen d'opportunité du projet

8.2.1 Généralités

Un examen d'opportunité du projet consiste à vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Le débat qui est ainsi ouvert a pour but de donner au décideur une vue d'ensemble des conséquences de la réalisation du projet. La faisabilité ou les aspects financiers du projet ne sont pas traités dans cette première étape car ils sont admis à ce stade comme n'étant pas déterminants [11].

Le résultat de cet examen d'opportunité est de savoir si une IAD est justifiée ou non sur la base d'un examen sommaire « non mathématique ». En même temps il est possible d'élaborer, sur la même base, le cahier des charges qui définit les objectifs et les contraintes du futur projet. En plus, il est possible d'établir une liste de priorité, si le maître d'ouvrage doit analyser différents projets potentiels.

Malgré la nature non mathématique de cette première étape, un certain nombre d'indicateurs d'opportunité sont évalués en francs suisses. Cette évaluation ne rentre pourtant pas dans une évaluation coût/bénéfice, mais sert plutôt à la comparaison à des valeurs moyennes pour d'autres tronçons soit en Suisse, dans un canton ou dans le voisinage du tronçon étudié.

Les mêmes critères doivent être applicables pour le cas d'une route existante comme pour une route projetée. Par contre, pour la dernière, il n'y a pas d'informations historiques à disposition et certains critères d'opportunité ne peuvent pas être évalués. Le Tableau 2 montre le cas d'application des critères.

8.2.2 Critères d'opportunité proposés

Le tableau suivant (Tableau 2) présente les critères d'opportunité proposés, ainsi que les indicateurs utilisés pour leur évaluation. Une description plus détaillée des indicateurs d'opportunité est donnée dans la suite de ce chapitre. Il est également indiqué si l'évaluation doit être effectuée pour une route nouvelle (N) ou bien une route existante (E). La procédure cherche à répondre à la question si – pour l'indicateur donné – une étude de mesures alternatives (la mise en place d'une IAD dans le cas présent) est superflue, à discuter ou nécessaire.

Concernant les sources d'informations potentielles pour des routes existantes, il est conseillé d'avoir recours à l'expérience des différents services qui travaillent tous les jours sur ces routes. Leur savoir-faire et les connaissances des caractéristiques de la région constituent un soutien important à l'élaboration de l'étude d'opportunité.

Critère d'opportunité	Indicateur	Cas d'application	
		N	E
Accidents en conditions de verglas	Fréquence		X
	Gravité		X
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale	X	X
	Conditions spécifiques	X	X
	Rapidité de modification des conditions	(X)	X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien	(X)	X
	Perturbation du service hivernal par le trafic		X
	Personnel et matériel d'entretien		X
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau	X	X
	Volume et structure du trafic	(X)	X
	Risque acceptable : fréquence et durée du risque de verglas	X	X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X	X
	Sensibilité pédologique	X	X
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel		X
	Dispersion du sel		X
Géométrie de la route	Sinuosité	X	X
	Déclivité	X	X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art	X	X
	Revêtement	X	X
Nouvelles technologies	Impulsion pour l'utilisation de nouvelles technologies	X	X

Tableau 2 : Liste des critères et indicateurs proposés pour l'examen d'opportunité

8.2.2.1 Fréquence des accidents en conditions de verglas

Explication	Chaque accident constitue une gêne pour le trafic. Le nombre d'accidents sur chaussée verglacée constitue donc un indicateur important. On ne tient compte que des accidents sur verglas, parce que les IAD sont précisément utiles dans ces conditions.
Unité	Accidents / (mio véh•km•an)
Données nécessaires	Nombre d'accidents à cause hivernale, trafic pendant la période étudiée
Sources potentielles	La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires. Le trafic est déterminé à partir de comptages ou de prévisions.

Evaluation / Calcul Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. En prenant les données de plusieurs années, une estimation du risque d'accident pendant les mois d'hiver peut être donnée. En plus, des endroits à haut risque de verglas peuvent être isolés.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La fréquence d'accidents ne nécessite pas un changement de stratégie du service hivernal	La fréquence d'accidents nécessite un changement de stratégie du service hivernal

Remarques La météo ne reste pas constante chaque hiver, des grandes différences peuvent apparaître lors de la comparaison. Une analyse météorologique (voir critère « Rudesse hivernale ») doit aider à comprendre ces écarts.

Les statistiques d'accident ne tiennent pas compte des cas dans lesquels la police n'intervient pas (p.ex. rapport préalable). Les assurances peuvent éventuellement donner des informations à ce sujet.

8.2.2.2 Coût social des accidents en conditions de verglas

Explication La gravité d'un accident dépend des blessures des personnes impliquées, souvent transformées en coût social.

Unité Coût social / an

Données nécessaires Structure des accidents à cause hivernale, coût social par type d'accident

Sources potentielles La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires. Les coûts sociaux par accident sont définis par la norme suisse [17].

Evaluation / Calcul Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. Ainsi, on peut isoler les endroits à risque élevé d'accident grave.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le niveau des coûts sociaux ne suggère pas un changement de stratégie du service hivernal	Le niveau des coûts sociaux suggère un changement de stratégie du service hivernal

Remarques En raison de la variabilité du climat hivernal, une correction est à effectuer par le biais d'une analyse météorologique (voir critère « rudesse hivernale »).

Des accidents graves étant en général très rares, on n'en trouve souvent qu'un très petit nombre sur un tronçon donné. Il est donc nécessaire d'analyser en détail ces données tout en gardant en mémoire la faible représentativité de ces statistiques.

8.2.2.3 Rudesse hivernale

Explication Il convient de décrire les conditions hivernales locales à l'aide d'un indicateur. Cet indicateur montre l'exposition du tronçon considéré aux conditions hivernales, mais il peut également servir d'élément de comparaison entre les différents hivers. En effet, les conditions météorologiques n'étant pas les mêmes chaque année, il peut avoir plus ou moins de risque de verglas et de chutes de neige d'une année à l'autre. Il est donc proposé d'utiliser un indicateur de « rudesse hivernale » qui quantifie les heures de risque avec possibilité de chute de neige ou de formation de verglas.

Unité Heures de risque / an

Données nécessaires Données météorologiques horaires :

- Température de l'air
- Précipitations (Pluie, neige)
- Humidité relative

Sources potentielles Le service MétéoSuisse dispose de plusieurs stations météo, dont les données peuvent être obtenues agrégées à l'heure. Souvent, les services d'entretien disposent également de quelques stations le long du réseau routier.

Evaluation / Calcul Une heure de mesure peut être considérée comme « heure à risque » si au moins une des deux conditions suivantes est applicable :

- La température de l'air est inférieure à 5°C et le niveau de précipitation n'est pas nul
- La température de l'air est inférieure à 5°C et l'humidité relative est supérieure à 75 %

La somme de ces heures à risque est qualifiée de « rudesse hivernale ».

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon étudié ne présente que très peu d'heures de risque	Le tronçon étudié se situe dans une zone avec beaucoup d'heures de risque

Remarques Ce paramètre n'a pas la prétention de prédire de manière précise le nombre d'heures par hiver où la chaussée du tronçon est soumise à un risque d'importante diminution d'adhérence, mais plutôt de fournir une valeur permettant de comparer les conditions météorologiques entre les périodes hivernales analysées et entre différentes régions. Il est parfois difficile de trouver une station météorologique adéquate à proximité immédiate.

Selon un travail de recherche récent [18], il est possible de trouver une corrélation entre certaines données météorologiques et les coûts du service hivernal pour une région donnée.

8.2.2.4 Conditions spécifiques

Explication L'humidité relative de l'air peut être fortement influencée par l'environnement local. Il peut exister des sources d'humidité, p.ex. de la végétation, un cours d'eau, une tour de refroidissement, etc., à proximité du tronçon routier étudié. Ces conditions particulières peuvent être prises en compte lors de l'étude d'implantation.

Unité Descriptif

Données nécessaires Présence d'une ou de plusieurs sources d'humidité

Sources potentielles La meilleure vision est probablement obtenue par une visite sur place. Les surfaces de forêt peuvent également être distinguées sur des plans et des cartes. Le cas échéant, des stations de mesure, placées à différentes distances de la source d'humidité possible, peuvent témoigner du niveau d'humidité relative.

Evaluation / Calcul Ce critère ne peut pas être calculé ou chiffré. Un descriptif de la situation ou des expériences faites dans la région est à établir.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Les conditions locales ne présentent aucun danger supplémentaire pour la formation de verglas	Les conditions locales présentent un danger supplémentaire considérable pour la formation de verglas

Remarques Ce critère peut également prendre en compte les zones de cumul de neige (créé de manière naturelle ou par le déneigement), de brouillard ou de forte différence de température, etc.

8.2.2.5 Rapidité de modification des conditions météorologiques

Explication L'usager de la route peut être surpris par un changement rapide des conditions météorologiques. Cet indicateur tient compte de la sensibilité à ces changements de la région étudiée.

Unité Descriptif

Données nécessaires Données météorologiques détaillées, le gradient de température est particulièrement intéressant

Sources potentielles Le service MétéoSuisse dispose de plusieurs stations météo, dont les données peuvent être obtenues agrégées à l'heure. Souvent, les services d'entretien disposent également de quelques stations le long du réseau routier. Dans le cas présent, il est éventuellement possible de profiter de l'expérience du personnel d'entretien.

Evaluation / Calcul Les données peuvent montrer des tendances de changement rapide des conditions météorologiques.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La rapidité des conditions ne présente aucun danger supplémentaire pour la formation de verglas	La rapidité des conditions présente un danger supplémentaire considérable pour la formation de verglas

8.2.2.6 Distance au centre d'entretien

Explication La rapidité de l'intervention est très important pour un service hivernal efficace. La distance du centre d'entretien au tronçon considéré est déterminante pour la rapidité d'intervention. La norme suisse [19] définit les temps d'intervention maximaux. Les conditions spécifiques d'un tronçon peuvent rendre impossible le respect de ces limites.

Unité Minutes

Données nécessaires Temps d'intervention

Sources potentielles Le service d'entretien dispose en général de ce genre d'information que ce soit par expérience ou par la planification théorique des itinéraires. Sinon, (pour une route nouvelle, p.ex.) une estimation du temps de parcours sous conditions hivernales doit être faite.

Evaluation / Calcul Le temps d'intervention peut être utilisé tel quel, un temps plus court étant évidemment plus avantageux.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le service hivernal est effectué de manière satisfaisante dans un délai convenable	Le service hivernal ne peut pas être effectué de manière satisfaisante dans un délai convenable

8.2.2.7 Perturbation du service hivernal par le trafic lors de l'évènement

Explication Le service hivernal est plus difficile en cas de volume de trafic élevé, car les véhicules du service d'entretien sont gênés par le trafic. En plus, les risques d'accident et de congestion lors d'un évènement hivernal (formation de verglas, chute de neige, neige fondante, etc.) augmentent proportionnellement avec le volume de trafic. Une IAD fonctionne indépendamment du volume du trafic, un giclage étant toujours possible, même en cas de congestion ou de trafic ralenti.

Unité Véhicules / heure

Données nécessaires Comptages de trafic ou prévisions

Sources potentielles L'OFROU dispose de compteurs automatiques sur le réseau routier suisse, certains cantons effectuent parfois des comptages supplémentaires automatiques ou manuels. Il peut être nécessaire d'effectuer des comptages spécifiques sur le tronçon étudié. Pour une route nouvelle, il faut prendre la charge de trafic planifiée.

Evaluation / Calcul Le volume de trafic est utilisé tel quel.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le service hivernal du tronçon n'est pas gêné par le trafic	Le service hivernal est fortement perturbé par le trafic, essentiellement en cas de verglas

8.2.2.8 Personnel et matériel d'entretien

Explication	Il est éventuellement possible de réduire (ou de ne pas être obligé d'augmenter) le nombre d'effectifs du service d'entretien. Souvent des entreprises privées sont mandatées pour effectuer le service hivernal sur des tronçons donnés avec leur propre matériel et personnel. Une moyenne des coûts élevée informe sur la nécessité d'un changement de stratégie de la maintenance.
Unité	CHF / an (et km)
Données nécessaires	Coût annuel du matériel et du personnel utilisé pour le service hivernal.
Sources potentielles	Le service d'entretien dispose des données détaillées et du savoir-faire pour pouvoir estimer les sommes investies dans le service hivernal.
Evaluation / Calcul	Il est important de connaître les coûts annuels du service hivernal. En les rapportant au nombre de kilomètres du réseau, il est possible de les comparer à d'autres tronçons routiers.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Les coûts annuels se trouvent en dessous de la moyenne suisse	Les coûts annuels sont importants

8.2.2.9 Position hiérarchique au sein du réseau

Explication	La norme suisse [19] définit différents degrés d'urgence pour la lutte contre le verglas et la neige selon l'importance de la route. Les routes à grand débit doivent être dégagées plus rapidement que des liaisons locales.
Unité	Niveau d'importance
Données nécessaires	Classement des routes
Sources potentielles	Chaque canton dispose d'une liste de ses routes, ainsi que de leur importance dans le réseau.
Evaluation / Calcul	Les routes à importance plus haute sont à traiter en priorité.

Evaluation :

superflue	nécessaire
L'importance faible de la route ne justifie pas une étude plus approfondie	L'importance de la route est telle qu'une étude approfondie doit être envisagée

8.2.2.10 Volume et structure du trafic

Explication	Le trafic décrit l'importance d'une route d'une autre manière, plutôt du point de vue de l'utilisateur. Un service hivernal efficace est indispensable pour une route à débit élevé.
Unité	Véhicules / heure
Données nécessaires	Comptages de trafic, prévisions
Sources potentielles	L'OFROU dispose de quelques compteurs automatiques sur le réseau routier suisse, certains cantons effectuent parfois des comptages supplémentaires automatiques ou à la main. Il peut être nécessaire d'effectuer des comptages spécifiques sur le tronçon étudié. Pour une route nouvelle, il faut prendre la charge de trafic planifiée.

Evaluation / Calcul

Le volume de trafic est utilisé tel quel, un volume élevé étant moins favorable au service hivernal traditionnel.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le trafic faible de la route ne justifie pas une étude plus approfondie	Le trafic important de la route est tel qu'une étude approfondie doit être envisagée

8.2.2.11 Risque acceptable : fréquence et durée du risque de verglas

Explication

Le risque zéro n'existe pas. Les autorités décident du risque « acceptable » au niveau de la fréquence et la durée des périodes de verglas.

Unité

Heures / an

Données nécessaires

Descriptif

Sources potentielles

Administration et autorités cantonales

Evaluation / Calcul

Evaluation :

superflue	nécessaire
On peut facilement admettre un certain nombre d'heures pendant lesquelles le risque de verglas est accepté	On ne peut pas admettre de risque de verglas sur le tronçon de route

8.2.2.12 Sensibilité hydrogéologique

Explication

Il est important de connaître la sensibilité aux agents de déverglage des zones aux alentours du tronçon de route étudié, particulièrement les nappes souterraines et les cours d'eau. La consommation de sel d'une IAD est en général inférieure à celle du service hivernal traditionnel.

Unité

Descriptif

Données nécessaires

Descriptif

Sources potentielles

Service spécialisé

Evaluation / Calcul

Evaluation :

superflue	nécessaire
La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite

8.2.2.13 Sensibilité pédologique

Explication

Il est important de connaître la sensibilité aux agents de déverglage des zones aux alentours du tronçon de route étudié. La consommation de sel d'une IAD est en général inférieure que celle du service hivernal traditionnel.

Unité

Descriptif

Données nécessaires	Descriptif				
Sources potentielles	Service spécialisé				
Evaluation / Calcul	Evaluation :				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">superflue</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">nécessaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage</td> <td>La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite</td> </tr> </tbody> </table>	superflue	nécessaire	La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite
superflue	nécessaire				
La zone dans laquelle se trouve la route est peu sensible à la pollution par les agents de déverglage	La zone est très sensible à la charge environnementale par les agents de déverglage, leur consommation doit être réduite				

8.2.2.14 Quantité de sel

Explication	L'application d'une quantité importante de sel peut être un indicateur de conditions hivernales difficiles.				
Unité	Tonnes / an				
Données nécessaires	Quantités de sel dispersées sur le tronçon étudié chaque année ou par période hivernale.				
Sources potentielles	Le service d'entretien conserve en général une liste détaillée des quantités de sel utilisées.				
Evaluation / Calcul	Si les quantités exactes du tronçon étudié ne sont pas connues, un calcul de prorata doit être effectué. Evaluation :				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">superflue</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">nécessaire</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>La consommation de sel est de loin inférieure que la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.</td> <td>La consommation dépasse largement la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.</td> </tr> </tbody> </table>	superflue	nécessaire	La consommation de sel est de loin inférieure que la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.	La consommation dépasse largement la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.
superflue	nécessaire				
La consommation de sel est de loin inférieure que la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.	La consommation dépasse largement la moyenne en Suisse ou celle des autres tronçons du réseau.				

8.2.2.15 Dispersion du sel

Explication	Les agents de déverglage peuvent être défavorables à la structure des ouvrages d'art. Il est important de répertorier les zones sensibles au sel.
Unité	Descriptif
Données nécessaires	Une liste des ouvrages d'art sur le tronçon étudié, y compris une description des risques de corrosion.
Sources potentielles	Les autorités disposent des plans d'exécution de la route et des ouvrages d'art, sur lesquels il est possible d'identifier l'emplacement et les risques de corrosion de chaque ouvrage. Le service d'entretien peut éventuellement témoigner d'accumulations d'eau ou de saumure sur les ouvrages en place.

Evaluation / Calcul Les modèles de dispersion de sel sont très rares et il s'agit souvent d'approximations simples. Il peut s'avérer nécessaire de demander conseil à des spécialistes, afin de pouvoir juger des risques de corrosion.

Evaluation :

superflue	nécessaire
La dispersion du sel est telle qu'elle ne pose pas de problème au niveau des ouvrages d'art	La dispersion du sel constitue un danger pour l'ouvrage en place

Remarques L'identification des endroits sensibles au gel peut conduire à un catalogue de mesures à prendre lors de l'installation d'une IAD ou, le cas échéant, lors d'une rénovation de l'ouvrage d'art.

8.2.2.16 Sinuosité de la route

Explication Tout changement de direction s'avère plus difficile sous conditions hivernales. La sinuosité de la route joue donc un rôle important dans la détermination du risque d'accident.

Unité Coefficient

Données nécessaires Le nombre de virages, leurs rayons de courbure et la longueur totale du tronçon.

Sources potentielles L'administration dispose des plans d'exécution, sur lesquels le tracé en plan et les informations relatives aux courbures sont indiquées.

Evaluation / Calcul Le coefficient de sinuosité se calcule de la manière suivante [20, 21]

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

avec : α_i : changement de direction dans un élément de tracé (pour une droite : $\alpha_i = 0$), exprimé en gon

L_i : longueur de l'élément de tracé en kilomètres

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route n'a que très peu de virages (coefficient de sinuosité faible)	Le tronçon de route étudié est très sinueux (coefficient de sinuosité élevé)

8.2.2.17 Déclivité de la route

Explication Les déclivités peuvent rendre plus difficile la conduite sous conditions hivernales. Les poids lourds sont particulièrement sensibles aux déclivités, que ce soit en rampe ou en pente.

Unité Coefficient

Données nécessaires Proportion et importance des déclivités, ainsi que la longueur totale du tronçon.

Sources potentielles L'administration dispose des plans d'exécution, sur lesquels le profil en long et les informations relatives aux déclivités sont indiquées.

Evaluation / Calcul Le coefficient de déclivité se calcule de la manière suivante [20, 22] :

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

avec : d_i : différence d'altitude entre deux sommets verticaux en mètres

L : longueur du tronçon en kilomètres

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route présente un coefficient de déclivité faible	Le tronçon de route a beaucoup et de longues déclivités

8.2.2.18 Proportion d'ouvrages d'art

Explication Les ouvrages d'art, les ponts en particulier, sont en général plus sensibles à la création du verglas due aux conditions hivernales. Leur inertie thermique est moins grande et l'apport thermique du sol est interrompu.

Il est utile de distinguer le type d'ouvrage : Les ponts caisson sont moins sensibles au froid que les ponts mixtes ou surtout que les ponts poutre.

Unité Pourcentage

Données nécessaires Longueur totale des ouvrages et du tronçon complet

Sources potentielles L'autorité cantonale dispose des données nécessaires au niveau du réseau routier.

Evaluation / Calcul Il s'agit d'établir le rapport entre la longueur totale des ouvrages d'art et la longueur du tronçon étudié.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le tronçon de route n'a pas ou que très peu d'ouvrages d'art	Le tronçon de route a plusieurs ponts, surtout du type de pont poutre

8.2.2.19 Type de revêtement

Explication Le type de revêtement peut influencer de manière importante le service hivernal. Un revêtement drainant, par exemple, nécessite un épandage plus important de par ses capacités d'évacuation de l'eau (et ainsi de la saumure ; 40 % de plus). En plus, l'état du revêtement détermine sa qualité antidérapante.

Unité Descriptif

Données nécessaires Type, structure et état du revêtement

Sources potentielles Le service des routes dispose des informations nécessaires au niveau du type, de la structure et de l'état du revêtement routier du tronçon étudié.

Evaluation / Calcul

Les capacités de drainage et de l'adhérence du revêtement sont décrites, afin de pouvoir définir le besoin en épandage.

Evaluation :

superflue	nécessaire
Le revêtement est incompatible avec une IAD et son remplacement n'est pas envisagé	Le type de revêtement est beaucoup plus facile à traiter avec une IAD qu'avec le service hivernal traditionnel

8.2.2.20 Impulsion pour l'utilisation de nouvelles technologies

Explication

L'administration routière souhaite s'adapter et utiliser les technologies nouvelles

Unité

Descriptif

Evaluation / Calcul

Evaluation :

superflue	nécessaire
La volonté d'innovation est très limitée au sein de l'administration	L'administration montre une grande volonté d'innovation

8.2.3 Application de la méthode proposée

Les exemples suivants montrent l'application de l'examen d'opportunité. Seul l'exemple de la A12 se base sur une étude plus approfondie des critères d'opportunité. Les autres constituent une estimation du LAVOC, basée sur la connaissance des lieux et des entretiens avec des spécialistes de la région concernée.

8.2.3.1 Aigues-Vertes

Ce premier exemple présente les résultats pour le pont d'Aigues-Vertes à Genève (voir description au chapitre 5.2.1). Il s'agit d'une route nouvelle, le tableau n'est donc pas complet.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
Accidents en conditions hivernales	Fréquence			
	Gravité			
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions			X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien	X		
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			
	Personnel et matériel			
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic		X	
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique			X
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel			
	Dispersion			
Géométrie	Sinuosité	X		
	Déclivité	X		
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art			X
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

Selon les informations à disposition, le service hivernal traditionnel peut s'avérer critique pour l'ouvrage en question. L'état de Genève a choisi d'équiper le pont avec une IAD, ce que nous jugeons judicieux en vue des conditions locales spécifiques et l'importance de la route.

8.2.3.2 Contournement de Lausanne

Le deuxième exemple montre celui de l'autoroute de contournement de Lausanne, comme décrit au chapitre 5.2.2.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
Accidents en conditions hivernales	Fréquence		X	
	Gravité		X	
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions		X	
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien	X		
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			X
	Personnel et matériel		X	
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic			X
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique		X	
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel	X		
	Dispersion	X		
Géométrie	Sinuosité		X	
	Déclivité			X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art	X		
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

Les problèmes à Lausanne se trouvent essentiellement au niveau de l'exploitation, car les congestions ont un effet néfaste sur la vie économique de l'agglomération (c.f. [5]). En plus, ces congestions empêchent le service d'entretien de travailler de manière efficace. Sur le contournement est installée une IAD continue de 8 km de long, qui à ce stade de l'évaluation apparaît comme nécessaire.

8.2.3.3 Flamatt

Un accident très grave, ainsi que des problèmes de verglas fréquents ont donné l'impulsion d'analyser le viaduc de Flamatt (description au chapitre 5.2.3).

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
Accidents en conditions hivernales	Fréquence		X	
	Gravité			X
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale		X	
	Conditions spécifiques			X
	Rapidité de modification des conditions			X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien			X
	Perturbation par le trafic lors de l'événement	X		
	Personnel et matériel	X		
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau		X	
	Volume et structure du trafic	X		
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel		X	
	Dispersion		X	
Géométrie	Sinuosité	X		
	Déclivité			X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art			X
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

Selon les informations à disposition, la mise en place de l'IAD est justifiée au niveau de la sécurité routière et des conditions particulières de l'ouvrage.

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

Le service des routes du canton de Vaud a fait analyser de façon plus précise le service hivernal sur le tronçon de la A12 entre Vevey et Châtel-St-Denis. Ce projet a servi d'exemple d'application pratique du présent travail de recherche et une description succincte figure plus loin (chapitre 8.3.4).

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
Accidents en conditions hivernales	Fréquence			X
	Gravité			X
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale			X
	Conditions spécifiques		X	
	Rapidité de modification des conditions			X
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien			X
	Perturbation par le trafic lors de l'événement		X	
	Personnel et matériel		X	
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic		X	
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement		X	
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel		X	
	Dispersion		X	
Géométrie	Sinuosité			X
	Déclivité			X
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art		X	
	Revêtement		X	
Nouvelles technologies	Impulsion			X

Le service hivernal traditionnel est visiblement inadapté sur le tronçon étudié. Par contre, la plupart des problèmes sont plutôt liés à la neige qu'au verglas (accidents, exploitation,...). Dans ce cas, une IAD sur tout le tronçon n'est pas forcément l'outil le mieux adapté. Une analyse plus profonde est nécessaire.

8.2.3.5 Traversée de Morges

Cet exemple montre un cas d'un tronçon où aucune IAD n'est construite, à titre de comparaison.

<i>Critère d'opportunité</i>	<i>Indicateur</i>	<i>Mesures alternatives</i>		
		<i>superflue</i>	<i>à discuter</i>	<i>nécessaire</i>
Accidents en conditions hivernales	Fréquence	X		
	Gravité		X	
Conditions météorologiques locales	Rudesse hivernale	X		
	Conditions spécifiques	X		
	Rapidité de modification des conditions	X		
Difficulté d'exploitation hivernale	Distance au centre d'entretien		X	
	Perturbation par le trafic lors de l'événement			X
	Personnel et matériel		X	
Fonction de la route	Position hiérarchique au sein du réseau			X
	Volume et structure du trafic			X
	Risque acceptable : fréquence et durée d'événement			X
Zone de sensibilité écologique	Sensibilité hydrogéologique	X		
	Sensibilité pédologique	X		
Protection des ouvrages d'art	Quantité de sel	X		
	Dispersion	X		
Géométrie	Sinuosité	X		
	Déclivité	X		
Environnement routier	Proportion d'ouvrages d'art		X	
	Revêtement	X		
Nouvelles technologies	Impulsion		X	

On peut rapidement remarquer que - selon les informations à disposition - un changement de stratégie de service hivernal n'est pas nécessaire. Le risque de perturbations et d'accidents lors d'un événement de verglas n'est que très faible. Ce tronçon ne nécessite pas actuellement d'être équipé d'une installation automatique de déverglaçage.

8.2.4 Propositions

L'examen d'opportunité est un instrument facile à utiliser. Elle peut être réalisée directement par les autorités concernées. Il est envisageable de mandater un bureau d'études pour les études de base nécessaires pour l'analyse des indicateurs. Ces études de base peuvent être reprises et développées pour la suite de l'évaluation, à savoir le choix de variantes.

8.3 Choix de variantes

Après l'examen d'opportunité, et si celui-ci est favorable, on procède à l'étude et au choix de variantes. En général, il n'y a que deux variantes de projet à distinguer, l'installation d'une IAD et le service hivernal traditionnel. Dans certains cas il est néanmoins possible d'analyser la possibilité d'équiper uniquement une partie du tronçon étudié, ce qui constitue des cas intermédiaires des deux cas standards.

Diverses solutions sont ainsi envisageables :

- Service hivernal traditionnel (état actuel pour une route existante)
- IAD seulement sur ouvrages d'art
- IAD aux endroits à fort taux d'accidents
- IAD aux endroits à salage fréquent
- IAD 100 %
- Etc.

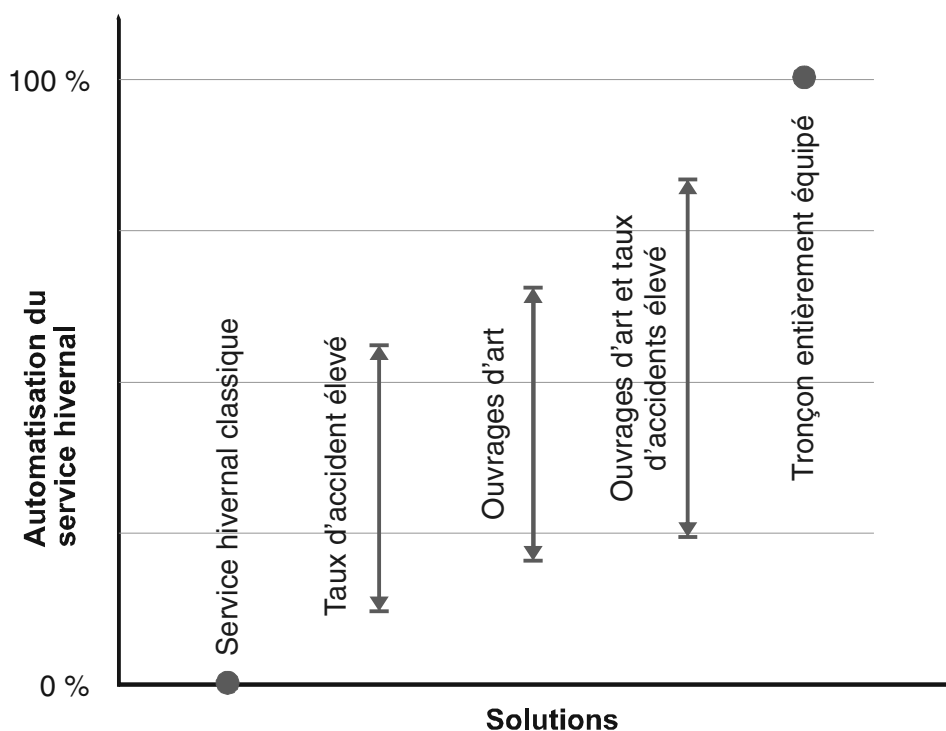


Figure 8 : Exemples de solutions envisageables

L'expérience a montré que, pour des raisons d'exploitation, il faut éviter des installations qui comportent trop de discontinuités disproportionnées (patchwork), car les tronçons intermédiaires doivent toujours être traités de manière traditionnelle, et le conducteur de l'épandeuse serait obligé d'interrompre et d'enclencher le traitement trop souvent.

Ensuite, le projeteur choisit la variante optimale sur la base d'une méthode d'aide multicritère à la décision. Plusieurs méthodes sont envisageables :

- Comparaison efficience – efficacité : monétarisation
- Méthode d'agrégation complète : indicateurs transformés en notes
- Méthode d'agrégation partielle : indicateurs avec leurs unités propres

Sur la base des avantages / inconvénients, nous proposons la méthode d'agrégation complète, qui présente les avantages suivants :

- Pas de monétarisation nécessaire pour certains critères
- Facilité de compréhension

8.3.1 Famille de critères

En présence de nombreux critères, comme c'est souvent le cas dans le domaine des infrastructures routières qui affectent de multiples domaines, il est nécessaire de procéder à une agrégation des critères en **famille de critères**. La pondération s'effectue ainsi en deux niveaux sur un nombre de critères qui idéalement ne devrait pas dépasser sept par catégorie. Cependant, on ne procède pas à deux niveaux d'application d'une méthode d'aide multicritère à la décision mais à un seul en attribuant une pondération croisée à chaque critère. Cette pondération croisée est obtenue en multipliant le poids du critère au sein de sa famille par le poids de sa famille.

Ainsi, l'ensemble des critères **C** comprend **m** critères **c_j** répartis en **f** familles de critères **F_i**. Le poids **P_j** d'un critère se détermine ainsi de la manière suivante :

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

Avec les éléments suivants :

- P_j poids du critère c_j relativement à l'ensemble des autres critères de l'ensemble C
- $P_{j,i}$ poids du critère c_j relativement à l'ensemble des autres critères de la famille de critères F_i à laquelle appartient le critère c_j
- P_i poids de la famille de critère F_i à laquelle appartient le critère c_j relativement à l'ensemble des autres familles de critères

On peut remarquer que pour t critères c_j ⁵ d'une famille de critères F_i définie, on a :

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

De même, pour l'ensemble des poids P_i des f familles de critères, on a :

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

⁵ On peut postuler que $t \ll j$ et que $t \leq 7$ et $f \leq 7$

8.3.2 Critères de choix proposés

Famille	Critère de choix	Unité
Economie	Amortissement	coût
	Coût d'exploitation	coût
	Coût de la maintenance routière	coût
Environnement	Utilisation de sel	quantité
	Consommation de carburant (congestion)	quantité
	Effet sur les ouvrages (corrosion, etc.)	
	Gêne des riverains (réduction du bruit et de la pollution)	qualité de vie
Trafic	Accidents sur verglas	gravité
	Congestion du trafic due au service hivernal	temps
	Congestion du trafic due aux accidents	temps
	Gêne aux autres usagers (piétons, cyclistes,...)	
Exploitation	Gestion des équipes	
	Rapidité d'intervention	temps
	Information pour l'exploitant et l'utilisateur	confort
	Faculté d'adaptation	

Les critères de choix retenus pour l'étude de variante sont très semblables aux indicateurs décrits précédemment pour l'examen d'opportunité. Une définition et évaluation plus approfondie sont cependant indispensables à ce stade de l'étude.

8.3.2.1 Amortissement du coût d'investissement

Explication	<p>Les coûts d'investissement sont constitués de deux parties distinctes :</p> <ul style="list-style-type: none">- Les coûts de l'équipement électromécanique peuvent être définis de manière assez aisée, car ils sont fonction du type de IAD et du matériel nécessaire- Les coûts de construction sont plus difficiles à déterminer, car ils peuvent varier selon le type d'exécution (installation en plein air, en souterrain, etc.) et la possibilité de profiter d'une (re)construction du revêtement. <p>En général, les coûts d'investissement sont amortis sur une durée déterminée par le maître d'ouvrage. Cette période peut être différente pour les coûts de l'équipement et pour les coûts de construction.</p> <p>Pour le cas du service hivernal traditionnel, l'investissement peut être nul, si aucun équipement supplémentaire est nécessaire (cas d'une route existante)</p>
Unité	CHF / an
Données nécessaires	Coûts d'investissement et période d'amortissement
Sources potentielles	Les coûts du matériel peuvent être estimés par le fournisseur du système. De par son expérience, il peut également donner une indication sur les coûts de construction, selon le type d'exécution choisi. Sinon, une offre peut être demandée d'un ou de plusieurs entrepreneurs.
Evaluation / Calcul	Les coûts d'investissement (selon une date de référence à choisir) sont répartis sur les périodes d'amortissement choisies. Pour la suite, seule la période d'amortissement de l'équipement est retenue pour les calculs de la rentabilité.

8.3.2.2 Coût d'exploitation

Explication	Les coûts d'exploitation sont fonction du standard souhaité et sont ainsi liés aux équipements utilisés et au personnel employé pour le service hivernal. Ils comprennent également les travaux de maintenance de l'IAD.
Unité	CHF / an
Données nécessaires	Coûts d'exploitation des équipes et des équipements, ainsi qu'une estimation des coûts de maintenance de l'IAD
Sources potentielles	Le service d'entretien tient des statistiques concernant l'utilisation du matériel, ainsi que des agents de déverglage, et il peut également fournir les coûts du personnel. En ce qui concerne la maintenance de l'IAD et la quantité de saumure nécessaire, le fournisseur du système peut donner des indications.
Evaluation / Calcul	Les différents coûts sont sommés sur une base annuelle et servent au calcul de la rentabilité.
Remarques	Si aucun changement au niveau du personnel ou des équipements n'est nécessaire, ces coûts peuvent être omis dans le calcul.

8.3.2.3 Coût de la maintenance routière

Explication	Les coûts de la maintenance routière comprennent tous les frais liés aux réparations de la structure routière et des ouvrages d'art. Pour cette étude, seule la part des dégradations dues à la maintenance hivernale sont à considérer.
Unité	CHF / an
Données nécessaires	Estimation des coûts de la maintenance, estimation de la part des dégradations dues au service hivernal.
Sources potentielles	Exploitant de la route
Evaluation / Calcul	Les coûts sont utilisés tels quels.

8.3.2.4 Utilisation de sel

Explication	La quantité de sel projeté sur la route est un facteur important au niveau économique, ainsi qu'au niveau environnemental. En effet, une économie en quantité de sel est proportionnellement liée à une économie des coûts d'exploitation (dont on tient compte déjà). En plus, les atteintes à l'environnement diminuent en parallèle.
Unité	Tonnes / an
Données nécessaires	Quantité de sel utilisé par année sur le tronçon étudié
Sources potentielles	Les statistiques du service d'entretien donnent des informations suffisantes sur le service hivernal traditionnel. En ce qui concerne les quantités de saumure utilisées par l'IAD, une estimation doit être faite, en profitant de l'expérience d'autres installations et/ou du fournisseur.
Evaluation / Calcul	La quantité de sel peut être prise telle quelle. Si de la saumure est utilisée, la quantité doit être calculée en tenant compte de la concentration du sel dans la saumure.

8.3.2.5 Consommation de carburant (congestion)

Explication	Une congestion n'est pas seulement une gêne du flux de trafic, mais elle est également la cause d'une pollution supplémentaire. La perte de temps entraînée par la congestion est déterminée par un autre critère.
Unité	Litres / an
Données nécessaires	Nombre d'heures de congestions dues aux conditions hivernales et le trafic pendant l'événement. Utilisation horaire moyenne de carburant d'un véhicule pris dans une congestion.
Sources potentielles	Pour les heures de congestion, la police tient parfois des statistiques. Sinon, une approximation peut être faite en profitant de l'expérience du service d'entretien. Les comptages donnent une idée des conditions du trafic pendant l'événement.
Evaluation / Calcul	Quantité = Heures * Véhicules * Consommation

8.3.2.6 Effet sur les ouvrages (corrosion)

Explication	La corrosion est un phénomène qui apparaît particulièrement sur des anciens ouvrages, construits avec des anciennes normes.
Unité	Qualité de recouvrement
Données nécessaires	Recouvrement des armatures, détails de construction
Sources potentielles	Plans d'exécution, relevés
Evaluation / Calcul	Descriptif de l'ouvrage

8.3.2.7 Qualité de vie des riverains (bruit, pollution)

Explication	A priori, les véhicules d'entretien sont plus bruyants que les IAD. A ceci se rajoute la pollution due à la congestion et à la circulation des épanduses
Unité	Descriptif, LeQ (bruit), quantité de polluants
Données nécessaires	Immissions, émissions
Sources potentielles	Mesures, estimation
Evaluation / Calcul	Descriptif des émissions

8.3.2.8 Gravité des accidents en conditions de verglas

Explication	Un des buts principaux d'une IAD est la diminution du nombre d'accidents. Il ne faut pourtant pas oublier que ces systèmes sont utilisés pour le service hivernal et qu'une réduction du nombre n'est uniquement possible pour les accidents qui ont une cause hivernale, particulièrement sur chaussée verglacée. Les effets des accidents de ce type constituent donc un indicateur important.
Unité	Coût social / an
Données nécessaires	Coût social des accidents en conditions de verglas
Sources potentielles	La police dispose de statistiques d'accidents détaillées. Depuis 1995, les fiches d'accident sont uniformisées de par l'Office fédéral de la statistique et la police peut fournir les détails nécessaires.
Evaluation / Calcul	Il est possible de classer les accidents selon l'état de la chaussée, décrit par la police sur le constat d'accident. Ainsi, on peut isoler les endroits avec un risque élevé de subir un accident grave. Ensuite, les coûts sociaux des accidents sont cumulés, afin de pouvoir les comparer.
Remarques	Or la météo ne reste pas constante chaque hiver, des grandes différences peuvent apparaître lors de la comparaison. Une analyse météorologique (voir indicateur « Rudesse hivernale ») peut aider à comprendre ces écarts. Des accidents graves étant en général très rares, on n'en trouve souvent un nombre très petit sur un tronçon donné. Ceci laisse des doutes de la validité statistique des données, un sujet à bien analyser. Les statistiques d'accident ne tiennent pas compte des cas dans lesquels la police n'intervient pas (p.ex. rapport préalable). Les assurances peuvent également donner des informations à ce sujet.

8.3.2.9 Congestion du trafic causée par le service hivernal (coût de l'usager)

Explication	Les véhicules du service d'entretien peuvent constituer une gêne de trafic, particulièrement lors du dégagement de la neige.
Unité	CHF / an
Données nécessaires	Nombre d'heures des congestions dues au service hivernal, le trafic pendant l'événement, ainsi que le coût moyen d'une heure de congestion par véhicule.
Sources potentielles	Les témoignages du service d'entretien sont les plus précieux pour estimer la gêne de trafic causée par ses véhicules. La police peut donner des informations complémentaires.
Evaluation / Calcul	Coût = Heures * Véhicules * Moyenne
Remarques	Une IAD ne peut pas remplacer le dégagement de la neige, cette opération sera toujours nécessaire. Lors d'un épandage, la gêne du véhicule d'entretien est en général moins grande, voire négligeable.

8.3.2.10 Congestion du trafic causée par un accident (coût de l'usager)

Explication	Un accident peut être la cause d'une congestion. On ne tient compte que des accidents dus aux conditions hivernales.
Unité	CHF / an
Données nécessaires	Nombre d'heures des congestions dues aux accidents sous conditions hivernales, le trafic pendant l'événement, ainsi que le coût moyen d'une heure de congestion par véhicule.
Sources potentielles	La police et le service d'entretien sont les meilleures sources pour cette information.
Evaluation / Calcul	Coût = Heures * Véhicules * Moyenne

8.3.2.11 Gêne aux autres usagers

Explication	Le service hivernal peut avoir une influence sur le confort des autres usagers de la route que les automobilistes.
Unité	Descriptif
Données nécessaires	Conditions locales, particularités pour le service hivernal
Sources potentielles	Service d'entretien, plans de situation, visite sur place
Evaluation / Calcul	Descriptif du niveau de gêne
Remarques	Si l'étude de l'IAD concerne une route à grand débit, sur laquelle ne se trouvent que des véhicules motorisés, ce critère peut être négligé.

8.3.2.12 Gestion des équipes et du matériel du service d'entretien

Explication	Une IAD peut permettre au service d'entretien d'agir de manière plus flexible sur le reste du réseau routier. Le responsable des équipes a la possibilité de mieux gérer les efforts des équipes. Ceci dépend fortement de l'emplacement et de la configuration du système automatique. Une réduction du travail de nuit et des permanences peut également être envisagée.
Unité	Descriptif
Données nécessaires	Estimation du temps économisé et des possibilités d'occupations alternatives pour les équipes.
Sources potentielles	Service d'entretien
Evaluation / Calcul	Descriptif du niveau de flexibilité de la gestion des équipes

8.3.2.13 Rapidité d'intervention

Explication	La rapidité de l'intervention est très important pour un service hivernal efficace et l'éloignement du centre d'entretien est primordial. La norme suisse ⁶ définit les temps d'intervention maximaux.
Unité	Minutes
Données nécessaires	Temps d'intervention
Sources potentielles	Le service d'entretien dispose en général de ce genre d'information que ça soit par expérience ou par la planification théorique des itinéraires. Sinon, (pour une route nouvelle, p.ex.) une estimation du temps de parcours sous conditions hivernales doit être faite.
Evaluation / Calcul	Le temps d'intervention peut être utilisé tel quel, un temps plus court étant évidemment plus avantageux.

8.3.2.14 Information pour l'exploitant et l'utilisateur

Explication	Un système de détection de verglas donne des informations importantes sur l'état de la chaussée. L'exploitant interprète ces données et décide des actions à prendre. Une IAD réunit une multitude de ces capteurs et peut réagir de manière automatique sur les alarmes de verglas. Il est également possible de transmettre une information sur le risque possible de verglas aux usagers.
Unité	Descriptif
Données nécessaires	Nombre et type des détecteurs de verglas, utilisation des données, transmission aux usagers
Sources potentielles	Service d'entretien
Evaluation / Calcul	Le service d'entretien décide de l'utilisation des données qui lui parviennent des stations de mesure. La variante est plus favorable au niveau de l'information sur l'état de la chaussée si ces données sont rendues publiques.

⁶ SN 640 756a : Service hivernal – Degré d'urgence

8.3.2.15 Faculté d'adaptation de la variante

Explication	Souplesse du système retenu : possibilités de modifications ultérieures, compatibilité avec d'autres systèmes, etc.
Unité	Descriptif
Données nécessaires	---
Sources potentielles	Fournisseurs
Evaluation / Calcul	Descriptif du niveau de compatibilité

8.3.3 Pondération des critères

Cette étape de pondération est réalisée en deux temps [11]:

- Tout d'abord, il s'agit d'identifier et de ranger les critères retenus pour l'analyse. Comme plusieurs critères sont présents pour la méthode proposée, un regroupement des critères par familles est réalisé. On doit ainsi procéder à une pondération par deux niveaux : familles puis critères au sein des familles. Cette étape est réalisée principalement par le projeteur.
- Dans une deuxième phase, les différents spécialistes établissent leur pondération, qui est la préférence relative accordée à un critère vis-à-vis des critères de sa propre catégorie, pour chacun des critères et des familles déterminées auparavant (pondération individuelle à double niveau). Le projeteur n'intervient pas ici.

La pondération d'un objectif par les spécialistes est organisée de la manière suivante :

- les poids sont attribués en %
- la somme des différentes pondérations au sein d'une catégorie donnée vaut 100 %
- le poids maximal pour un objectif est fixé à 50 %
- le poids minimal attribué à un objectif est de 10 %

8.3.4 Exemple d'application – A12 Vevey – Châtel-St-Denis (Projet)

Des travaux importants de remise en état de l'autoroute A12 (Vevey – Berne) aux alentours de la jonction de Châtel-St-Denis sont planifiés à partir de l'année 2005. Une installation automatique de déverglage (IAD) sur la partie supérieure du tracé est envisagée par le canton de Vaud.

Le LAVOC a été mandaté d'évaluer l'opportunité d'une telle installation. Cette étude externe a ainsi servi d'exemple d'application pratique pour le présent travail de recherche. Dans la suite sont résumés la démarche et les résultats du choix de variantes.

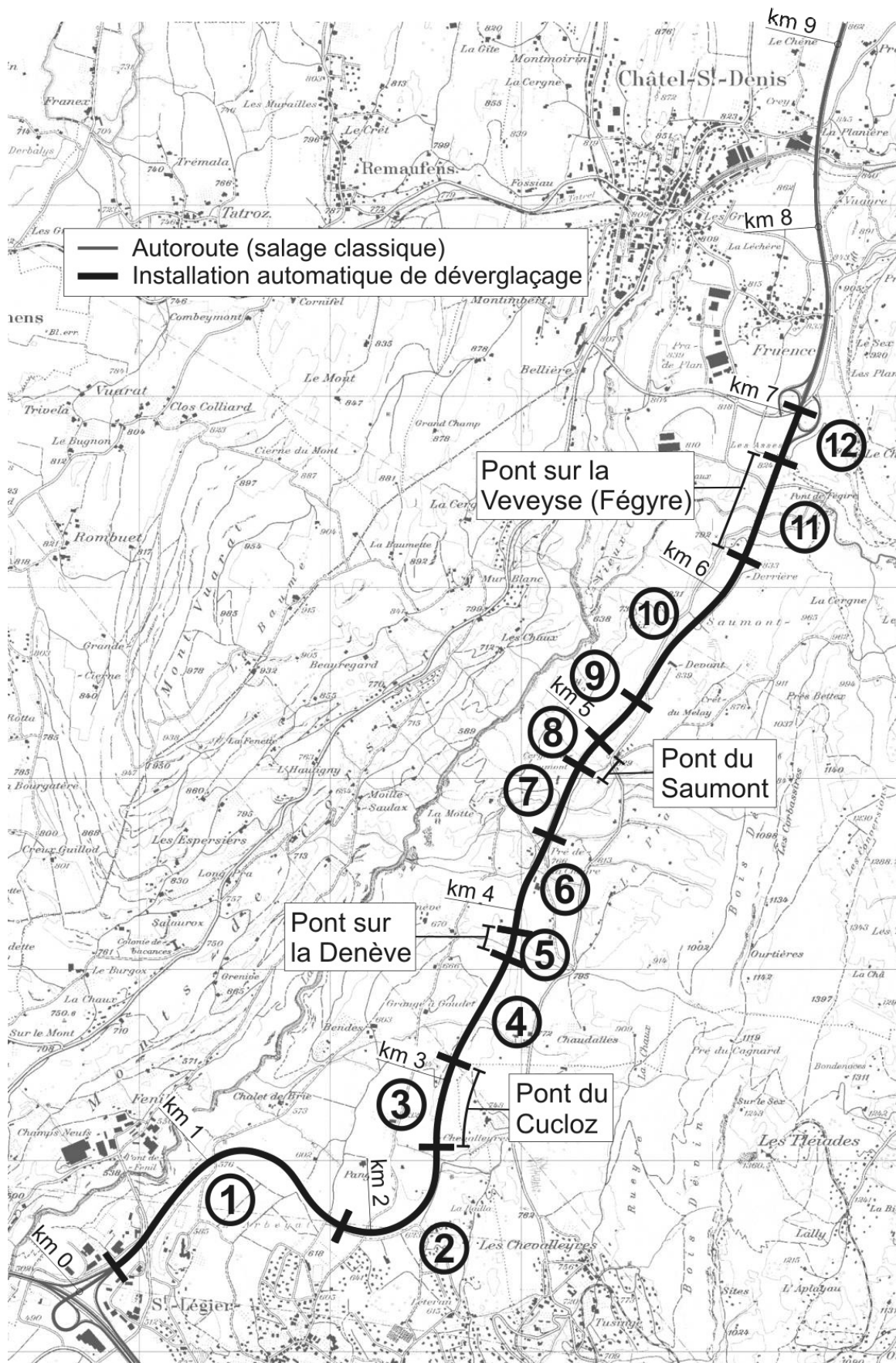


Figure 9 : Tronçon autoroutier étudié (A12) avec secteurs potentiels à équiper

8.3.4.1 Description des variantes

Tout d'abord, il convient de proposer les variantes envisageables dans le cadre de ce projet. A part le service hivernal traditionnel et la configuration de l'installation prévue par le service des routes, trois variantes supplémentaires sont proposées :

Variante	Description	Secteurs	Kilomètres total
0	Service hivernal traditionnel	---	0.0
1	IAD sur les ouvrages d'art	3, 5, 8, 11	1.3
2	IAD aux endroits d'accidents fréquents sur verglas	2, 3, 7 – 9, 11	2.5
3	IAD comme proposée par le service des routes	3, 5 – 12	3.9
4	IAD continue sur la totalité du tronçon	1 – 12	7.0

Tableau 3 : Variantes considérées

Pour des raisons de simplification, il est admis que l'autoroute sera équipée dans les deux directions sur les tronçons indiqués.

8.3.4.2 Notation

Chaque critère de choix a ensuite été évalué et noté sur une échelle de 0 à 3 avec des pas de 0.5. Le critère de gêne des autres usagers a été éliminé de l'évaluation, car sur l'autoroute, les autres usagers (piétons, cyclistes, etc.) ne sont pas présents et ainsi négligeables. Le tableau suivant montre le résultat de la notation des variantes :

Critère de choix	Variante				
	0	1	2	3	4
Amortissement de l'investissement	3.0	2.5	2.0	1.5	0
Coût d'exploitation	0	0	0.5	0.5	1.0
Coût de la maintenance routière	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Consommation de sel	0	0.5	0.5	1.0	1.5
Consommation de carburant	0	0	0	0	0
Effet sur les ouvrages	0	1.5	1.0	1.5	1.5
Gêne des riverains	0	0	0	0	0
Accidents sur verglas	0	0.5	3.0	2.0	3.0
Congestion du trafic due au service hivernal	0	0.5	1.0	1.5	3.0
Congestion du trafic due aux accidents	0	1.0	3.0	1.5	3.0
Gestion des équipes	0	1.0	2.0	2.0	3.0
Rapidité d'intervention	0	3.0	3.0	3.0	3.0
Information pour l'exploitant et l'utilisateur	0.5	1.5	3.0	2.5	3.0
Faculté d'adaptation	3.0	2.0	1.0	1.0	0

Tableau 4 : Tableau de notation des variantes

8.3.4.3 Pondération

Pour la pondération des critères, un certain nombre de spécialistes de différents domaines (Maîtres d'ouvrage, exploitants, utilisateurs, milieu académique) a été invité de donner leur avis. Les huit réponses ont permis de faire une analyse de sensibilité sur les résultats. La figure suivante montre une feuille de calcul type pour l'évaluation des variantes pour une pondération donnée :

Tableau de notation des variantes														
Famille	Critère	Poids	Contraintes		Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 0	
			Libellé	Poids	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
Economie		20	Amortissement	40	2.5	100	2	80	1.5	60	0	0	3	120
			Coût d'exploitation	40	0	0	0.5	20	0.5	20	1	40	0	0
			Coût de maintenance	20	1.5	30	1	20	1.5	30	1.5	30	0	0
			Valeur de l'objectif		$V_{1,1} = 130$		$V_{1,2} = 120$		$V_{1,3} = 110$		$V_{1,4} = 70$		$V_{1,5} = 120$	
			Note de l'objectif		$N_{1,1} = 1.3$		$N_{1,2} = 1.2$		$N_{1,3} = 1.1$		$N_{1,4} = 0.7$		$N_{1,5} = 0.9$	
Environnement		15	Quantité de sel	40	0.5	20	0.5	20	1	40	1.5	60	0	0
			Quantité de carburant	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Effet sur les ouvrages	25	1.5	37.5	1	25	1.5	37.5	1.5	37.5	0	0
			Gêne des riverains	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Valeur de l'objectif		$V_{2,1} = 57.5$		$V_{2,2} = 45$		$V_{2,3} = 77.5$		$V_{2,4} = 97.5$		$V_{2,5} = 0$	
			Note de l'objectif		$N_{2,1} = 0.6$		$N_{2,2} = 0.5$		$N_{2,3} = 0.8$		$N_{2,4} = 1.0$		$N_{2,5} = 0.0$	
Trafic		40	Gravité des accidents	50	0.5	25	3	150	2	100	3	150	0	0
			Congestion due à l'entretien	15	1	15	2	30	2	30	3	45	0	0
			Congestion due aux accidents	25	1	25	3	75	1.5	37.5	3	75	0	0
			Valeur de l'objectif		$V_{3,1} = 85$		$V_{3,2} = 255$		$V_{3,3} = 167.5$		$V_{3,4} = 270$		$V_{3,5} = 0$	
			Note de l'objectif		$N_{3,1} = 0.7$		$N_{3,2} = 2.8$		$N_{3,3} = 1.9$		$N_{3,4} = 3.0$		$N_{3,5} = 0.0$	
Exploitant		25	Gestion des équipes	20	1	20	2	40	2	40	3	60	0	0
			Rapidité d'intervention	50	3	150	3	150	3	150	3	150	0	0
			Information	15	1.5	22.5	3	45	2.5	37.5	3	45	0.5	7.5
			Adaptation	15	2	30	1	15	1	15	1	15	0	0
			Valeur de l'objectif		$V_{4,1} = 222.5$		$V_{4,2} = 250$		$V_{4,3} = 242.5$		$V_{4,4} = 255$		$V_{4,5} = 52.5$	
			Note de l'objectif		$N_{4,1} = 2.2$		$N_{4,2} = 2.5$		$N_{4,3} = 2.4$		$N_{4,4} = 2.6$		$N_{4,5} = 0.2$	

Tableau de classement des variantes												
Objectifs	Libellé	Poids	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 0	
			Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
Economie		20	1.3	26.0	1.2	24.0	1.1	22.0	0.7	14.0	0.9	24.0
Environnement		15	0.6	8.6	0.5	6.8	0.8	11.6	1.0	14.6	0.0	0.0
Trafic		40	0.7	28.9	2.8	113.3	1.9	74.4	3.0	120.0	0.0	0.0
Exploitant		25	2.2	55.6	2.5	62.5	2.4	60.6	2.6	63.8	0.2	13.1
Valeur globale de la variante				119.1		206.6		169.7		212.4		37.1
Classement				4		2		3		1		5

Figure 10 : Tableau d'évaluation des variantes pour une pondération donnée

Le tableau suivant résume les résultats des pondérations des différents spécialistes (rendus anonymes par les lettres A à H). Dans la colonne de gauche on trouve la note globale pondérée, dans la colonne de droite le rang du classement :

	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

Tableau 5 : Notes finales des variantes en fonction des pondérations

8.3.4.4 Conclusions

Selon l'étude, les variantes 2 (accidents fréquents) et 4 (installation complète) sont les plus avantageuses. Il est encore possible d'approfondir la variante 2 (p.ex. équipement différent à la montée par rapport à la descente).

Ne sont pas considérés par l'étude les détails de constructions annexes comme la position du réservoir central et l'organisation des communications jusqu'au centre de gestion.

Selon les informations du service des routes, les problèmes rencontrés par le service d'entretien sont plutôt liés à la neige qu'au verglas. Les statistiques d'accidents confirment cette tendance. Une réflexion sur la nécessité d'une installation qui lutte essentiellement contre le verglas est donc nécessaire.

9 Conclusions

Les installations automatiques de déverglaçage (IAD) constituent un outil performant pour compléter le service hivernal. La possibilité de pouvoir intervenir de manière instantanée lors d'un risque de verglas augmente considérablement la viabilité hivernale et la sécurité routière. Cependant l'investissement initial et les coûts d'entretien du système exigent que les autorités procèdent à un examen d'opportunité et à une étude de variantes avant de décider d'implanter une IAD.

Il n'existe pas en Suisse de procédure normalisée pour l'évaluation de la rentabilité de ces installations, mais la nécessité s'en fait sentir au vu des besoins exprimés récemment encore. Un inventaire des installations et des méthodes et critères d'évaluation appliqués couramment dans différents pays montre que finalement les choix restent partout très subjectifs et émotionnels.

La présente étude aboutit à une méthode d'évaluation basée sur des critères relativement faciles à appréhender et pouvant être appliquée par les autorités et les bureaux d'études. Elle doit également permettre une comparaison des projets au niveau national, importante surtout pour l'Office fédéral des routes, qui co-finance les IAD sur les routes nationales.

La méthode d'évaluation procède en deux étapes. La première étape est appelée **examen d'opportunité** et permet de vérifier si l'impulsion à l'élaboration du projet est fondée. Les critères d'opportunité sont analysés et jugés de manière qualitative, en se basant soit sur des informations statistiques pour une route existante, soit sur des prévisions pour un projet de route à construire. Cette étude d'opportunité peut être effectuée par l'autorité locale concernée.

Si la pertinence de la mise en place d'une IAD est démontrée le **choix de variantes** est alors entrepris pour sélectionner la configuration idéale pour le tronçon de route donné. Une méthode multicritère d'aide à la décision de type d'agrégation complète est proposée. Les critères de choix sont notés et pondérés, afin d'obtenir une ou plusieurs variantes préférentielles. La notation des critères est effectuée par le bureau d'étude chargé du projet, tandis que la pondération doit être réalisée par différents spécialistes des domaines concernés.

Les deux étapes étant menées, la décision de réaliser et exploiter une IAD peut être prise sereinement avec l'assurance d'avoir examiné chaque élément déterminant. Les exemples traités dans cette étude laissent entrevoir que les décisions prises jusqu'à ce jour se justifiaient et sont adaptées à leurs situations particulières.

Ce travail de recherche se veut indépendant du développement de la technologie et de l'évolution des prix. Les IAD évoluent, leur application devient plus accessible, leur mise en place plus simple et leur entretien meilleur marché. La méthode proposée demeure applicable dans ce cadre de cette évolution parce que les critères essentiels pour la justification et le choix ne changent pas.

10 Bibliographie

- [1] Ruess, B. (1998). ***Epannage de sel ou de gravier dans le service hivernal - Optimiser la relation coût/utilité en tenant compte des facteurs de l'environnement et de la sécurité***, 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. (Recherche en cours). ***Wirksamkeit des Strassenwinterdienstes***, Rapp Trans AG, Zürich. ?? p.
- [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***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [7] Keranen, P. (2000). ***Automated Bridge Deicers in Minnesota***. dans *Proceedings of the 5th International Symposium on Snow and Ice Control Technology*, Roanoke.
- [8] Keranen, P. (1998). ***Recherche en entretien - Une approche unique pour l'innovation de l'entretien hivernal des routes***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [9] Keranen, P. (1998). ***Dégivreurs de ponts automatisés pour une sécurité accrue et une diminution de l'utilisation du sel dans le Minnesota***. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [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: Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière***, Office fédéral des routes, Bern. 151 p.
- [13] SN 640 772b (2001). ***Service hivernal; Lutte contre la glissance hivernale au moyen de matériaux d'épandage***. Union des professionnels suisses de la route (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: Indicateurs du développement durable pour les projets d'infrastructure routière***, Office fédéral des routes, Bern. 143 p.
- [17] SN 640 009 (1998). ***Accidents de la circulation; Localisation et classement des accidents (points noirs)***. Union des professionnels suisses de la route (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). ***Service hivernal; Degrés d'urgence - Niveau du service hivernal - Plan et registre des itinéraires - Plan d'intervention***. Union des professionnels suisses de la route (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). ***Capacité, niveau de service, charges compatibles; Routes principales et routes de liaison***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.
- [22] SN 640 110 (1983). ***Tracé; Eléments du profil en long***. Union des professionnels suisses de la route (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich.

11 Annexes

11.1 Inventaire des installations existantes

La liste suivante répertorie les installations mises en place par l'entreprise Boschung Mecatronic SA. Les autres fabricants n'ont pas répondu à deux prises de contact.

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
CAN	Ontario	MTO, Canada 401/416		2000	2000 (+MTS)	10	150 m
CAN	Toronto Airport	Ontario Aéroport 502		2002	2000 (+MTS)	12	180 m
CAN	Toronto Airport	Ontario Aéroport 606		2002	2000 (+MTS)	17	255 m
CH	COOP Frick	COOP Center Frick, BL		1996	2000 (+MTS)	10	100 m
CH	Flamatt	Autoroute A12 Flamatt, FR	pont	1996	2000	91	800 m
CH	Flamatt	Autoroute A12 Sortie Flamatt, FR		1997	2000 (+MTS)	10	150 m
CH	Flihg Zürich	Flughafen Zürich Kloten Terminal Ramp		1992	2000	20	70 m
CH	Flihg Zürich RaA	Flughafen Zürich Kloten Parking A		1992	2000	12	200 m
CH	Flihg 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, Giratoire		1999	2000 (+MTS)	8	50 m
CH	Hergiswil	Autoroute A2 Hergiswil, NW		1994	2000 (+MTS)	20	300 m
CH	Lausanne	Autoroute 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	Prague, Pont de Barrandov	pont	1995	2000 (+MTS)	16	200 m
CZ	Bulhar	Prague, Pont de Bulhar	pont	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	Prague, Pont de Strahovski	pont	1997	2000	26	200 m
CZ	Vrsovice	Vrsovice		2001	2000	56	800 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
D	Bielefeld	Autoroute	A2 Herford	1995	2000	460	4'000 m
D	Donauwörth	Route	B25 Donauwörth	1982	1000/2000	60	300 m
D	Drakensteiner	Autoroute	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	Autoroute	A11 Bernau	1992	2000	10	100 m
D	Frankfurt	Autoroute	A3 - A5	2002	2000 (+MTS)	40	600 m
D	Haselholm	Route	B76 Schleswig Haselholm	1993	2000	50	400 m
D	Haseltal	Autoroute	A3 Haseltal	1995	2000	100	700 m
D	Hoyerswerda		Sachsen Center Hoyerswerda	1995	2000 (+MTS)	16	100 m
D	Kalteiche	Autoroute	A45 Freudenberg	1999	2000	316	3'000 m
D	Ladbergen	Autoroute	A1 Lengerich	1993/99	2000	12	100 m
D	Lüdenscheid	Autoroute	A45 Lüdenscheid	1986/94	1000/2000	480	7'000 m
D	München	Aéroport	München (Franz Josef Strauss)	1992	2000	70	2'400 m
D	Münster	Autoroute	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	Autoroute	A 30 Lengerich	1991	2000	22	100 m
D	Rosenheim	Autoroute	A8 Rosenheim	1983/91	1000/2000	44	200 m
D	Rosslau	Route	Elbebrücke Rosslau	1994	2000	28	300 m
D	Weitingen	Autoroute	A81 Weidinger Brücke	2000	2000	156	1'900 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
D	Zuffenhausen	Route	B10 Stuttgart Zuffenhausen	1994	2000	55	400 m
DK	Roskilde	Autoroute	Copenhagen - Holbaek	1992	2000	10	100 m
E	Cordoba		Cordoba	2002	2000 (+MTS)	24	360 m
E	Sommosierra		Tunnel de Sommosierra	2001	2000 (+MTS)	5	75 m
E	Sommosierra 2		Tunnel de Sommosierra	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	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	2000	2000 (+MTS)	20	400 m
I	Aosta	Autoroute	Buthier	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	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		Moscou, pont Chrypani	1998	2000	30	410 m
RUS	Kutusowskij		Moscou, Kutusowskij	2000	2000	210	1'600 m
RUS	Moskau Ring	Autoroute	Moscou, périphérique	1998	2000	104	320 m
UKR	Fligh Borispol		Kiev, Aéroport Borispol	1996	2000 (+MTS)	10	100 m

Pays	Nom	Type de route	Particularité	Année	Type TMS	Nb gicleurs	Longueur
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	pont	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 Visite d'installations automatiques de déverglaçage en Allemagne

Compte rendu de D. Baumann, LAVOC

5 – 7 mai 2003

Objectifs

Dans le cadre du travail de recherche, une visite auprès d'un exploitant de tels systèmes a été faite, afin d'avoir plus d'informations sur leur utilisation et les critères d'implantation pris en compte. Or la région de Westfalen-Lippe (Allemagne) possède six grandes installations, dont la première date de 1986, une visite du « Landesbetrieb Strassenbau NRW » semblait une bonne occasion pour profiter de leur expérience dans le domaine du service hivernal (Figure 11).

Le but principal de la visite était d'apprendre la démarche suivie avant la construction de l'IAD et d'en visiter deux installations, afin de mieux comprendre la situation et les conditions spécifiques de la région.



Figure 11 : Plan de la région (Bundesland de Nordrhein-Westfalen)

Lundi, 5 mai 2003

L'après-midi, visite de l'installation de Lüdenscheid sur l'A45, qui date de 1986, avec M. Schütz de l'entreprise Boschung Mechatronic SA. L'IAD est continue sur 6 km dans la direction de Francfort et asperge uniquement les ponts dans la direction de Dortmund. Les conduites et le câblage sont installés à ciel ouvert, le long des glissières métalliques, principalement sur le terre-plein central. Les têtes de giclage sont installées sur les montants des glissières, en alternance des deux côtés de la chaussée (Figure 12).



**Figure 12 : Tête de giclage (à gauche) et apport de saumure (à droite) de l'IAD de Lüdenscheid
(Photos : W. Bollinger)**

Au point de rendez-vous, l'aire de repos « Rölveder Mühle », l'installation est visible. Rencontre avec les MM. Breuker (ingénieur responsable du Landesbauamt), Albers (assistant technique et responsable de la centrale du service hivernal), Schneider (responsable du centre d'entretien de Lüdenscheid), Stabenow (employé technique du centre d'entretien de Lüdenscheid) et Jacobi (employé technique du centre d'entretien de Lüdenscheid).

La station de pompage et la centrale de commande secondaire se trouvent sur l'aire de repos. Nous avons donc l'occasion d'assister au fonctionnement de cette IAD « ancien style ». Les expériences faites avec cette installation sont très précieuses et les systèmes plus récents ont profités des améliorations effectuées sur cet ouvrage, surtout au niveau de la maintenance de l'installation et la minimisation de la perte de saumure après une interruption du système d'apport de saumure (suite à un accident, par exemple).

Nous nous sommes ensuite déplacés vers le centre d'entretien de Lüdenscheid, où une discussion intéressante sur la nécessité de tels systèmes à certains endroits particuliers a eu lieu. Les employés du centre d'entretien utilisent bien l'installation, qui permet une aspersion de la chaussée au bon moment, avant que le verglas puisse se former. L'âge de l'installation a pourtant pour effet de demander une maintenance plus élevée : Un employé du centre d'entretien s'occupe quasiment à plein temps du système, auquel se rajoutent les frais de matériel.

Mardi, 6 mai 2003

La matinée était consacrée à une discussion dans les locaux de la succursale du Landesbauamt à Hamm, en présence des MM. Schütz, Breuker, Albers et Henneken, l'ingénieur en chef de la division. Le sujet principal de cet entretien était la planification de l'IAD, avec toutes ses étapes.

En général, les centres d'entretien signalent des tronçons problématiques, que ce soient des ouvrages isolés (ponts) ou des tronçons continus avec une forte déclivité. Sur ces sections de route, on observe toujours une accumulation d'accidents et/ou une formation de congestion accrue, causée par des poids lourds sans équipement adéquat pour des conditions de verglas.

En fait, le verglas constitue le problème principal pour la région. La topographie est très marquée et ressemble par endroits aux Préalpes suisses. Les autoroutes ont été construites

avec beaucoup de virages, de nombreux ponts et des déclivités atteignant facilement 4 ou 5 %, afin d'éviter la construction de tunnels. Les centres d'entretien ont souvent des distances importantes à parcourir avant d'arriver à certains points critiques du réseau. Il y a facilement 50 km à faire, ce qui nécessite beaucoup de temps en conditions difficiles et, souvent, avec en plus de la congestion qui s'est formée.

Les chutes de neige sont plus rares, mais les IAD aident dans ce cas à éviter que cette neige puisse s'accrocher au revêtement et être compactée par les véhicules, ce qui aboutirait à du verglas également.

Dès qu'un endroit particulier est reconnu, une demande de financement du projet est présentée au ministère des transports. Cette demande contient en général une brève description du projet, ainsi qu'un calcul coût-bénéfice de l'ouvrage prévu. Les critères principaux pour ce calcul sont les coûts d'installation et d'exploitation du côté des coûts et la diminution des accidents, l'économie en heure de congestion et en coûts d'exploitation des véhicules pour l'utilisateur du côté des bénéficiaires.

La demande est traitée de manière assez rapide au ministère, car la volonté d'améliorer la sécurité routière est actuellement prioritaire. Evidemment, l'installation doit être bénéficiaire selon les critères mentionnés ci-dessus. Ceci est généralement le cas et même des exemples montrent que l'installation est amortie en quelques années en ne prenant en compte que les économies faites en n'étant pas obligé d'envoyer une équipe pour traiter certains tronçons isolés.

Dans la succursale de Hamm se trouve également le centre de gestion du service hivernal (Figure 13). A partir de cette centrale, les employés gèrent les interventions des différents centres d'entretien et ils sont en contact quasi constant avec la police et le service météorologique pour l'échange d'informations. En principe, les centres d'entretien peuvent décider de manière individuelle comment répondre aux demandes de la centrale. Cette dernière a pourtant la possibilité de commander les IAD (sauf celle de Lüdenscheid, qui a un module de commande spécifique).



Figure 13 : Centrale de gestion du service hivernal (Photos : W. Bollinger)

L'après-midi, une deuxième visite sur le terrain a été faite, cette fois une installation très récente (1995) au Bielefelder Berg (Figure 14). Cette installation est continue sur 4 km et dans les deux directions. Les progrès de la technologie sont évidentes et résultent principalement en un équipement moins volumineux dans la station de pompage et en l'installation de têtes de giclage dans la chaussée. Tout le système hydraulique a également été revu, pour mieux assurer le fonctionnement de l'installation, même en cas d'imprévus, comme lors d'accidents.

M. Krause, employé du centre d'entretien de Herford, nous montre la station de pompage et une autre particularité de cette installation, une station pour déchlorurer l'eau de ruissellement de l'autoroute. Cette dernière a été installée en raison de la proximité d'une zone de protection des eaux. Les eaux de ruissellement sont collectées dans un premier réservoir pour enlever les hydrocarbures. Dans un deuxième réservoir étanche, les eaux de l'autoroute sont mélangées avec de l'eau de pluie, afin de dissoudre le sel avant de renvoyer l'eau dans la nature. Des capteurs mesurent constamment la concentration en chlorures, afin d'assurer le non-dépassement des valeurs limites.



Figure 14 : Autoroute vers le « Bielefelder Berg » (Photo : W. Bollinger)



Figure 15 : Station pour déchlorurer l'eau avec les deux réservoirs (Photos : W. Bollinger)

11.3 Questionnaire

11.3.1 Questions

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 Réponses

Au total, 12 personnes de 4 pays (France, Italie, Finlande, Etats-Unis) ont rempli et renvoyé le questionnaire. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Question	N° de réponse											
	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	Seve ral	10	1	Seve ral	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	Accident s	--	--	L/H	H	VH	VH	H	H	VH	VH	VH
	Congesti on	--	--	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	Corrosio n 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 Critères NISTRA [16]

11.4.1 Dimension sociale

Objectifs principaux	Objectifs partiels	Indicateur(s)
G1 Assurer la desserte de base	G11 Garantir la desserte de base sur l'ensemble du territoire	G 111 Durée de trajet en voiture vers un centre régional pour les régions bénéficiant de la LIM, pondérée par le nombre d'habitants
	G12 Prendre en considération les personnes accédant difficilement aux transports et améliorer la situation des piétons et des cyclistes	G121 Attractivité pour les piétons
		G122 Attractivité pour les cyclistes
		G123 Attractivité des transports publics
G2 Encourager la solidarité sociale	G21 Protéger la santé et le bien-être des êtres humains	G211 Accidents
		G212 Victimes d'accidents (blessés et décédés)
	G22 Maintenir et encourager l'indépendance, l'individualité et la responsabilité personnelle	G221 Offre des transports publics
	G23 Comportement socialement acceptable des partenaires impliqués	G231 Conditions d'embauche dans le domaine des transports
	G24 Contribuer à l'encouragement du maintien et de la remise à neuf des centres urbains dans les zones urbaines et les centres au milieu rural	G241 Vhc-km dans le périmètre des villes
G242 Confort dans les centres régionaux en milieu rural		
G25 Répartir équitablement les coûts et les avantages		G251 Coûts du point de vue du décideur
		G252 Utilité nette du point de vue du décideur
G3 Garantir l'acceptation, la participation et la coordination	G31 Octroyer aux acteurs concernés des possibilités suffisantes de participation	G311 Attitude de la population respectivement des autorités
		G312 Aspects liés à la participation de la population
		G313 Degré de concordance avec les plans d'urbanisme

11.4.2 Dimension économique

Objectifs principaux	Objectifs partiels	Indicateur(s)	
W1 Créer un bon rapport entre les coûts directs et les avantages	W11 Minimiser les coûts directs du projet (coûts annuels)	W111 Coûts annuels du capital	
		W112 Frais d'exploitation	
		W113 Frais d'entretien	
	W12 Maximiser les avantages directs du projet (avantages annuels)	W121 Modification de la durée du trajet pour le transport de personnes dans la région	W122 Modification de la durée du trajet pour le transport de marchandises dans la région
			W123 Modification des coûts fixes liés aux véhicules pour le trafic commercial et le de marchandises
			W124 Modification des coûts variables liés aux véhicules pour le transport de personnes et de marchandises
			W125 Risques d'embouteillage / temps de réserve
			W126 Kilomètres parcourus, pondérés suivant le standard d'aménagement de la route/le confort des usagers
			W126 Kilomètres parcourus, pondérés suivant le standard d'aménagement de la route/le confort des usagers
	W13 Réaliser le projet de manière optimale	W131 Durée de réalisation	W132 Risque global du point de vue technique et économique
			W133 Réalisation par étapes
	W2 Optimiser les effets économiques indirects	W21 Améliorer l'accessibilité en tant que partie intégrante des avantages économiques liés à la situation géographique	W211 Degré d'attractivité sur la base des modifications de la durée du trajet
W22 Créer et maintenir des conditions territoriales pour l'économie (renforcer les villes et les agglomérations en tant que lieu de travail)		W221 Durée du trajet entre les villes principales, pondérée par le nombre d'habitants	
W23 Soutenir un développement économique équilibré sur le plan régional		W231 Avantages et inconvénients de l'amélioration de la desserte	
W24 Réaliser un gain de savoir-faire		W241 Effets de l'innovation dans la construction ou dans la gestion du trafic	
W3 Atteindre la rentabilité	W31 Atteindre la rentabilité	W311 Degré d'autofinancement sans les coûts externes	
		W312 Degré d'autofinancement, coûts externes compris	

11.4.3 Dimension environnementale

Objectifs principaux	Objectifs partiels	Indicateur(s)	
U1 Réduire à long terme les atteintes environnementales, sur le plan régional, local et transfrontalier, imputables aux transports	U11 Réduire les polluants atmosphériques	U111 Emissions de NOx U112 Emissions de PM10	
	U12 Réduire les nuisances sonores	U121 Personnes soumises au bruit excessif à leur domicile U122 Personnes soumises au bruit excessif dans les zones de protection et de détente	
	U13 Réduire l'utilisation du sol	U131 Utilisation du sol	
	U14 Réduire la dégradation du paysage et du cadre de vie	U141 Effets de la fragmentation hors des centres urbains	U142 Paysage et image du site
			U143 Capacité sollicitée en décharges
	U15 Réduire les effets préjudiciables sur les eaux	U151 Pollution des eaux	
U2 Réduire les polluants atmosphériques qui détériorent le climat	U21 Réduire l'impact sur le climat	U211 Emission de gaz	
	U22 Maintenir la couche d'ozone	<i>Pas d'indicateur</i>	
U3 Préserver les ressources	U31 Réduire la consommation d'énergie non-renouvelable	U311 Consommation d'énergie	
	U32 Limiter la consommation des ressources naturelles	U321 Consommation en gravier non concassé	

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)

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 Abwenden 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 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 Kosten-Nutzen-Faktor 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.

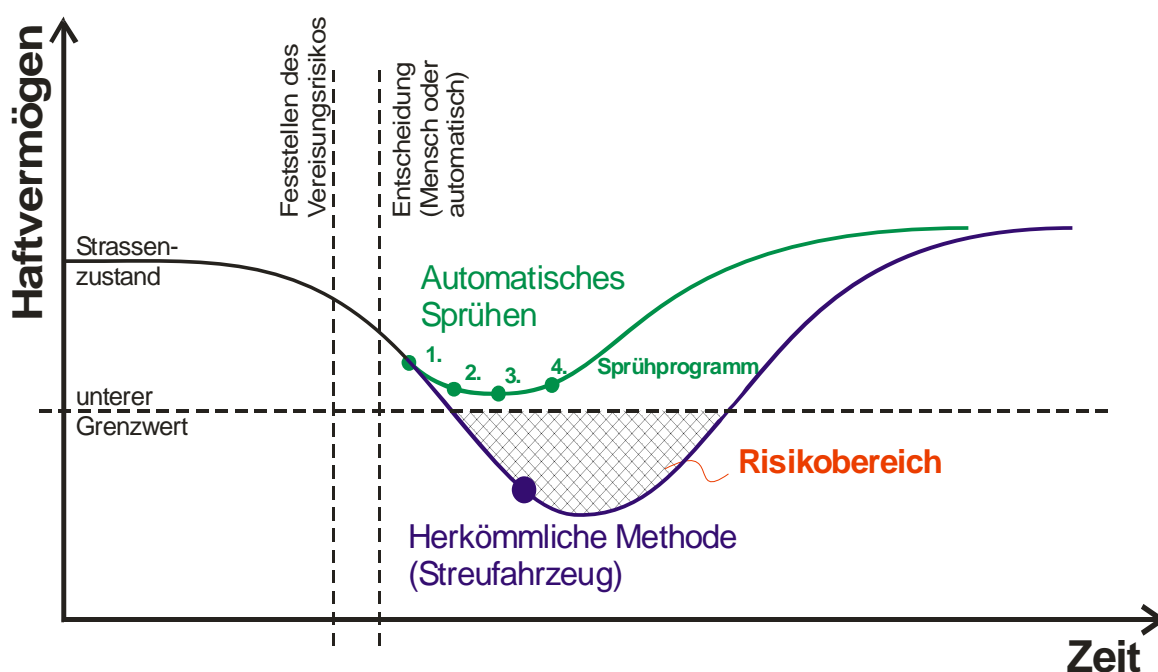


Abbildung 1: Vorteil des schnellen Eingriffs mit Hilfe einer TMS

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 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:

- Glatteiswarnsystem
- Betriebssystem
- Hydraulik-System

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

4.2.1 Das Glatteiswarnsystem

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 Unterhaltssdienstes, die Entscheidung über die Verteilung der Sensoren zu fällen.



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

Schon dieses Glatteiswarnsystem 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 (Glatteiswarnung), 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.)

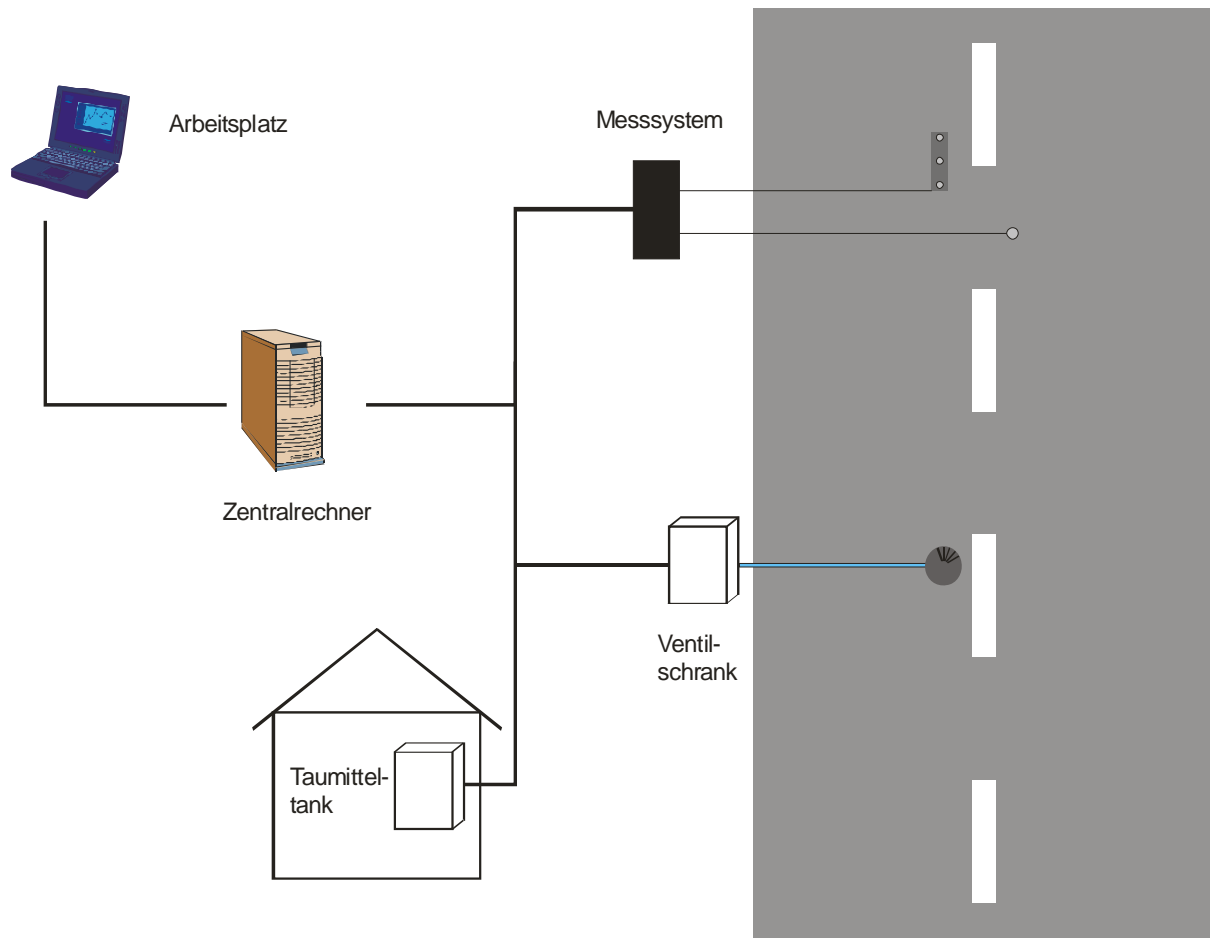


Abbildung 3: Schema des Betriebssystems

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
- Röhrensystem 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.

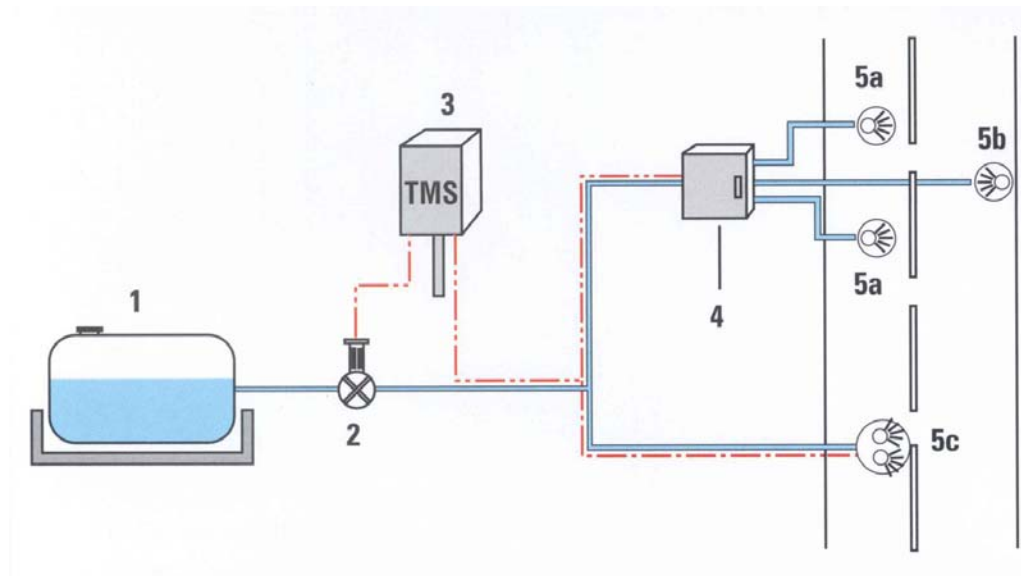


Abbildung 4: Hydraulik-System: 1: Taumitteltank; 2: Pumpe; 3: Elektrischer Verteiler; 4: Ventilkasten; 5: Sprüheinheiten (Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)

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 neueste 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.

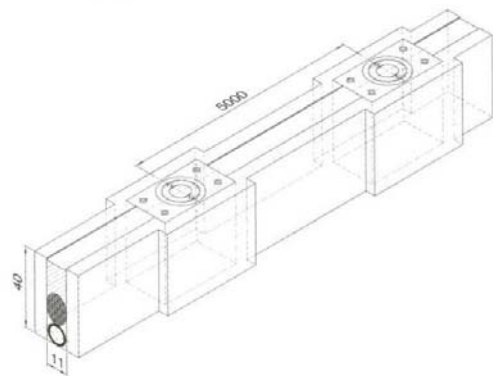


Abbildung 6: Mikro-Sprühkopf (Bildquelle: Boschung Mecatronic AG)

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 Unterhaltsdienst 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 Unterhaltsdienstes 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 die Kosten durch den Nutzen geteilt werden. 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 Beginn 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 werden die Betriebskosten mit dem reduzierten Nutzen (s. oben) 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 C3.4; 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.

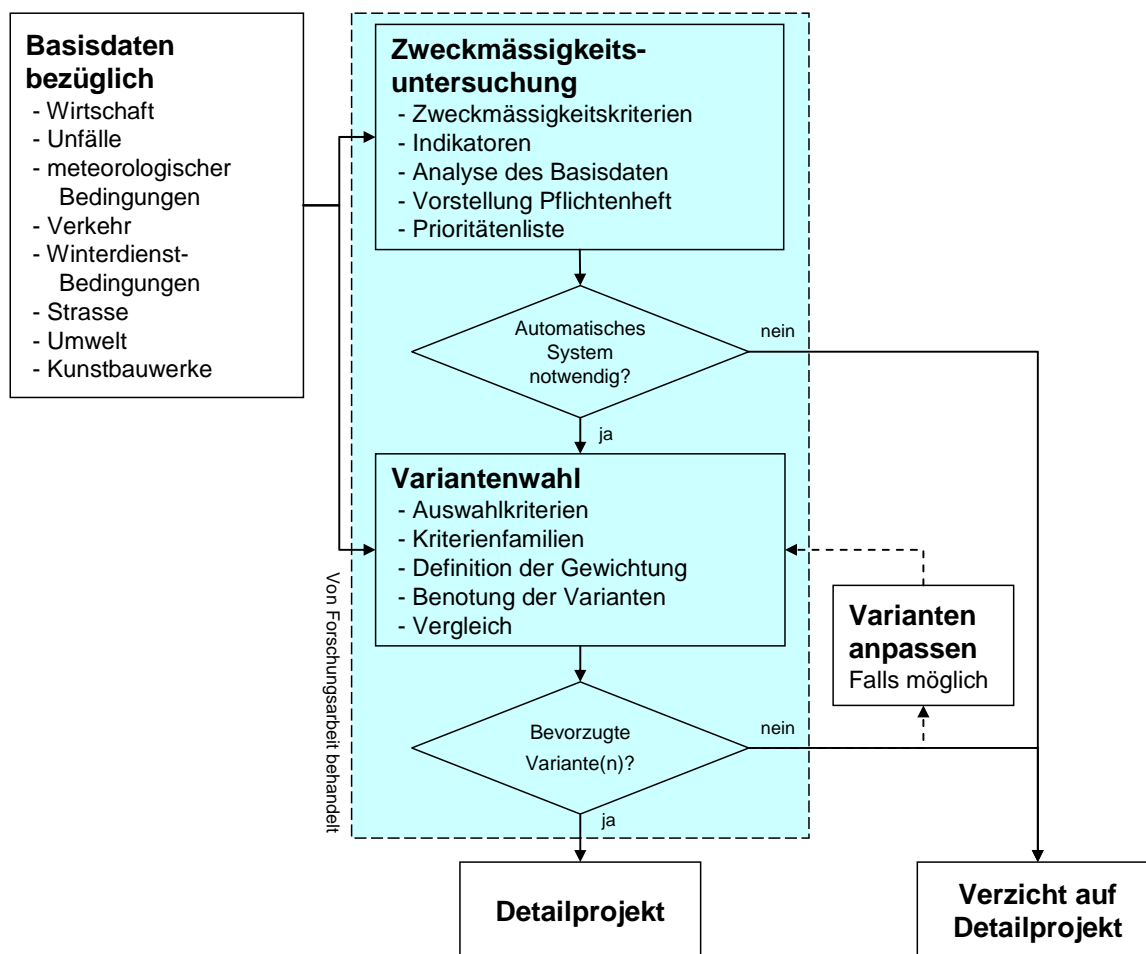


Abbildung 7: Vorgehen gemäss empfohlener Beurteilungsmethode

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 Unterhaltsdienst 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 Unterhaltsdienste 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 Wettwewechsel.

Bewertung :

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

8.2.2.6 Distanz zum Werkhof

Charakteristik Die Eingreifgeschwindigkeit ist für einen effizienten Winterdienst sehr wichtig. Die Distanz zum Werkhof ins 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 Spruhvorgang 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 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 Schneebekämpfung 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 Kustbauwerks 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 Proportion d'ouvrages d'art

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.

Zweckmässigkeitskriterium	Indikator	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.

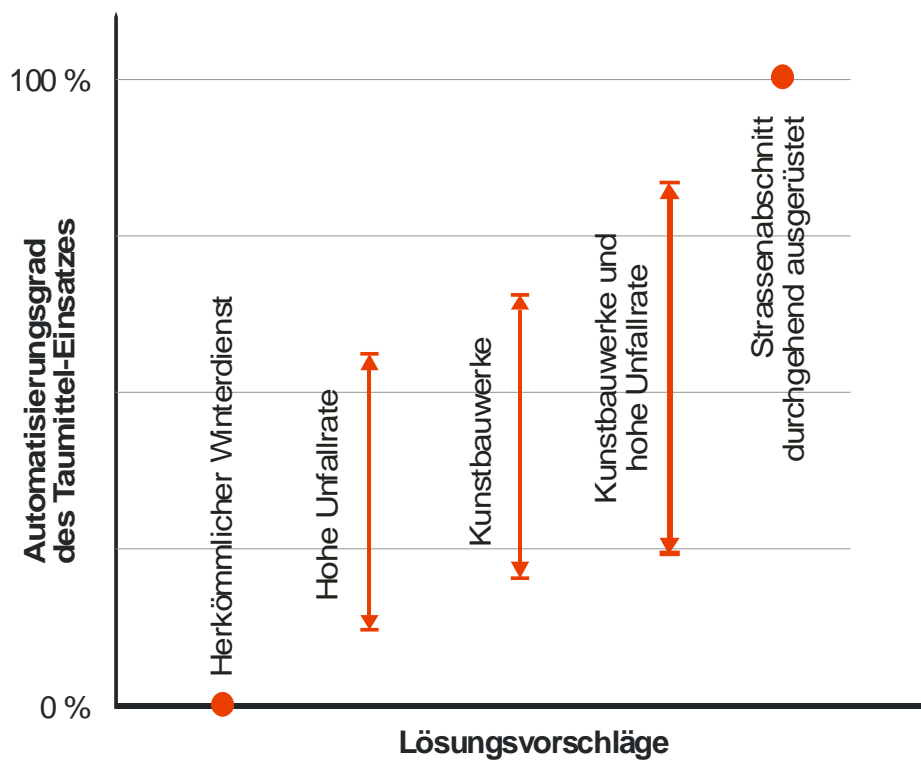


Abbildung 8: Beispiele von möglichen Varianten

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 einer 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 das 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 bemasst 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 finden sich meist 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 Unterhaltungsdienst 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	Unterhaltungsdienst
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 Unterhaltungsdienst 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	Unterhaltungsdienst
Bewertung / Berechnung	Der Unterhaltungsdienst 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.

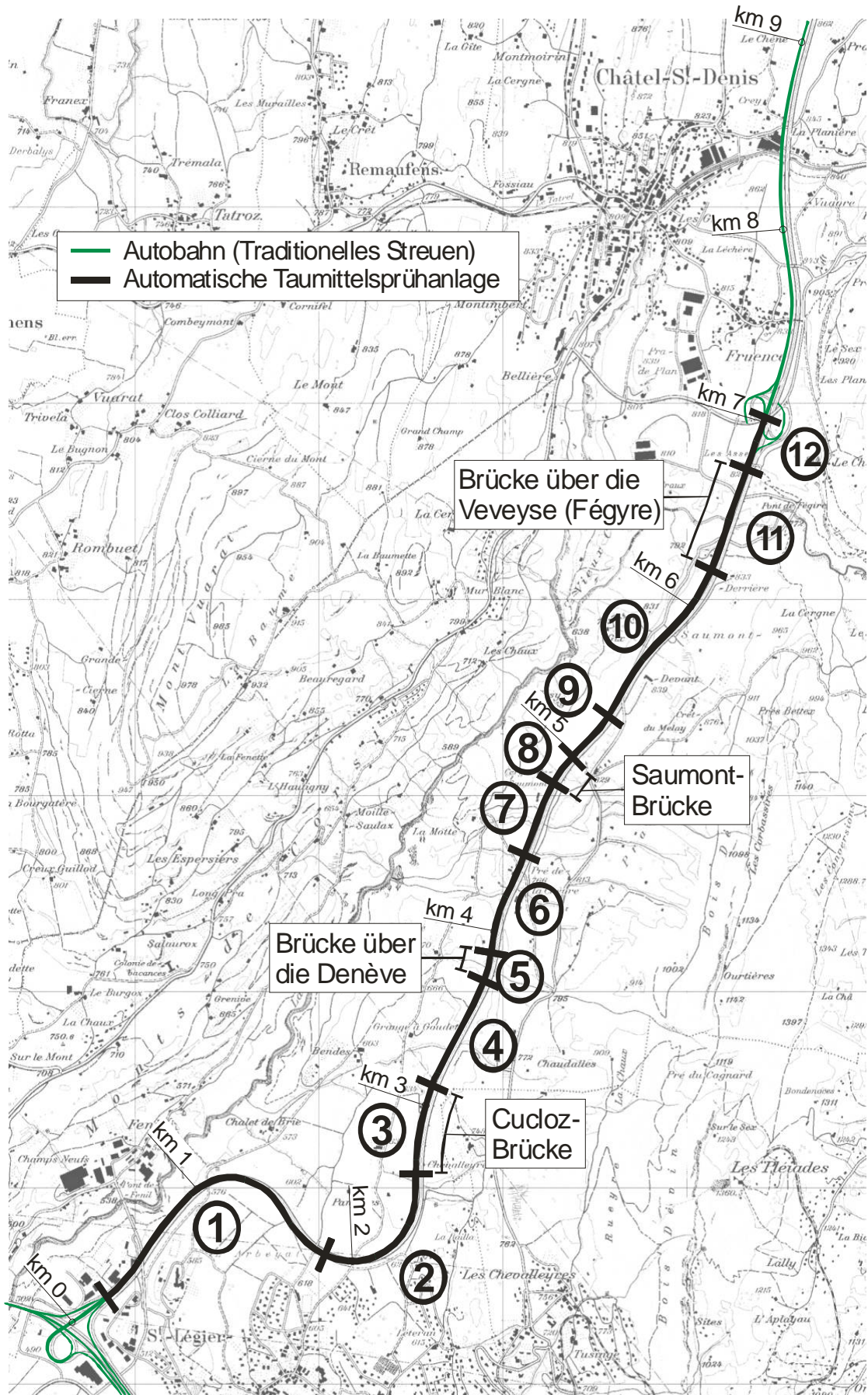


Abbildung 9: Untersucher Autobahnabschnitt (A12) mit möglichen Einbausektoren

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	0	0	3	120	
	Betriebskosten	40	0	0	0.5	20	0.5	20	1	40	0	0	1	40	0	0	
	Unterhaltskosten	20	1.5	30	1	20	1.5	30	1.5	30	1.5	30	1.5	30	0	0	
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{1,1} = 130$		120	$V_{2,1} = 130$		110	$V_{3,1} = 110$		70	$V_{4,1} = 120$		120	$V_{0,1} = 120$		120
	Note der Kriterienfamilie		$N_{1,1} = 1.3$		1.2	$N_{2,1} = 1.1$		1.1		0.7	$N_{3,1} = 0.9$		0.9	$N_{4,1} = 0.9$		0.9	
Umwelt	Taumittelverbrauch	40	0.5	20	0.5	20	1	40	1.5	60	0	0	1.5	60	0	0	
	Treibstoffverbrauch	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Auswirkung auf Kunstbauwerke	25	1.5	37.5	1	25	1.5	37.5	1.5	37.5	0	0	1.5	37.5	0	0	
	Lebensqualität der Anwohner	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{2,2} = 57.5$		46	$V_{3,2} = 77.5$		97.5	$V_{4,2} = 97.5$		97.5	$V_{0,2} = 0$		0		0	
	Note der Kriterienfamilie		$N_{2,2} = 0.6$		0.5	$N_{3,2} = 0.8$		1.0	$N_{4,2} = 1.0$		1.0	$N_{0,2} = 0.0$		0.0		0.0	
Verkehr	Schwere der Glätteis-Unfälle	60	0.5	25	3	150	2	100	2	100	3	150	3	150	0	0	
	Vom Winterdienst verursachte Staukosten	15	1	15	2	30	2	30	2	30	3	45	3	45	0	0	
	Von Unfällen verursachte Staukosten	25	1	25	3	75	1.5	37.5	1.5	37.5	3	75	3	75	0	0	
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{3,3} = 65$		255	$V_{4,3} = 167.5$		270	$V_{0,3} = 0$		0	$V_{4,3} = 270$		270	$V_{4,3} = 0$		0
	Note der Kriterienfamilie		$N_{3,3} = 0.7$		2.8	$N_{4,3} = 1.9$		3.0	$N_{0,3} = 0.0$		3.0	$N_{4,3} = 0.0$		0.0		0.0	
Betrieb	Einsatzmanagement der Unterhaltséquipen	20	1	20	2	40	2	40	2	40	3	60	3	60	0	0	
	Einsatzgeschwindigkeit	60	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180	0	0	
	Information für Betreiber und Benutzer	15	1.5	22.5	3	45	2.5	37.5	2.5	37.5	3	45	3	45	0.5	7.5	
	Anpassungs- und Ausbaufähigkeit	15	2	30	1	15	1	15	1	15	0	0	0	0	3	45	
	Endwert der Kriterienfamilie		$V_{4,4} = 222.5$		280	$V_{4,4} = 242.5$		242.5	$V_{4,4} = 242.5$		255	$V_{4,4} = 255$		255	$V_{4,4} = 52.5$		52.5
	Note der Kriterienfamilie		$N_{4,4} = 2.2$		2.5	$N_{4,4} = 2.4$		2.4	$N_{4,4} = 2.6$		2.6	$N_{4,4} = 0.2$		0.2	$N_{4,4} = 0.2$		0.2

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	0.7	14.0	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	1.0	14.6	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	3.0	120.0	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	2.6	63.8	0.2	5.0	
Bewertung der Variante			119.1		206.6		168.7		212.4		37.1		212.4		37.1	
Klassierung			4		2		3		1		5		1		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**. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [7] Keranen, P. (2000). **Automated Bridge Deicers in Minnesota**. dans *Proceedings of the 5th International Symposium on Snow and Ice Control Technology*, Roanoke.
- [8] Keranen, P. (1998). **Recherche en entretien - Une approche unique pour l'innovation de l'entretien hivernal des routes**. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [9] Keranen, P. (1998). **Dégivreurs de ponts automatisés pour une sécurité accrue et une diminution de l'utilisation du sel dans le Minnesota**. dans *Proceedings of the Xème Congrès International de la Viabilité Hivernale de l'AIPCR*, Lulea.
- [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, seines Zeichens 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 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	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	W13 Vorhaben optimal umsetzen	W131 Realisierungszeit
			W132 Risiko von Kostenüberschreitungen
			W133 Bautechnisches Risiko
			W134 Etappierbarkeit
W2 Indirekte wirtschaftliche Effekte optimieren	W21 Erreichbarkeit als Teil der Standortgunst verbessern	W211 Attraktivitätsmass basierend auf Reisezeitveränderungen	
	W22 Schaffung und Erhalt der räumlichen Voraussetzungen für die Wirtschaft (Städte und Agglomerationen als Arbeitsstandort stärken)	W221 Einwohnergewichtete Reisezeit zwischen Zentrumsstädten	
	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