

Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

FA 4.245

Forschungsstelle: Hochschule Biberach, Institut für Immobilienökonomie und Projektmanagement (Prof. Dr. G. Balensiefen)

Bearbeiter: Holldorb, C. / Uhlig, M. / Streich, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Mai 2014

1 Aufgabenstellung

Zur Erfassung von winterlichen Fahrbahn- und Witterungszuständen werden zurzeit vor allem an Bundesautobahnen Glättemeldeanlagen (GMA) eingesetzt, die dem Winterdienstverantwortlichen eine Beurteilung des Streckenzustands ermöglichen. Im nachgeordneten Straßennetz ist die Ausstattung mit GMA allerdings noch deutlich geringer als an den Bundesautobahnen und ermöglicht dadurch keine flächendeckende Aussage zum Straßenzustand.

Aufgrund der meist kleinräumigen Witterungsbedingungen können die vorhandenen Messstellen nur in wenigen Fällen Aussagen für das gesamte zu betreuende Streckennetz liefern. Daher ist eine wesentliche Verdichtung des Messstellennetzes anzustreben, wofür bei gleichbleibender Ausstattung erhebliche zusätzliche Aufwendungen erforderlich wären. Daher sind die Aufwendungen für GMA deutlich zu senken, wozu neben messtechnischen Vereinfachungen auch ein kostengünstiger Betrieb sowie günstige Datenübertragungswege und eine einfache, autarke Energieversorgung beitragen können. Um das Messstellennetz unter wirtschaftlich akzeptablen Bedingungen zu verdichten, sollen ausgehend von dem derzeitigen Erkenntnisstand die wesentlichen Anforderungen an die Sensorik definiert werden. Hierfür ist zu analysieren, welche Parameter für die Überwachung, Einsatzentscheidung und -steuerung im Wesentlichen relevant sind und somit vor Ort erfasst werden müssen.

Im Rahmen einer Analyse der Lebenszykluskosten bestehender Anlagen sind die wesentlichen Kostenkomponenten von GMA aufzuzeigen. Hierbei ist neben der Sensorik auch die weitere Ausstattung der GMA, insbesondere für eine autarke Energieversorgung, zu betrachten. Eine wesentliche Rolle spielt auch die Betriebsphase der GMA, die daher ebenfalls zu analysieren ist. Neben den Betriebs- und Folgekosten sind hierbei vor allem auch die Aspekte Wartung, Kalibrierung und Zuverlässigkeit der Anlagen und der erfassten Daten von Bedeutung.

2 Untersuchungsmethodik

Auf Basis einer umfassenden Literatur- und Grundlagenanalyse, für die auch zahlreiche Interviews mit Experten auf Seiten der Straßenbauverwaltung, Herstellern und weiteren Institutionen geführt wurden, wurden die zu untersuchenden Aspekte mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen analysiert.

Im Rahmen der Lebenszykluskostenanalyse wurden erfasste Kosten von insgesamt bestehenden 217 GMA in vier ausgewählten Straßenbauverwaltungen ausgewertet. In Anlehnung an die geltenden DIN-Normen für die Systematisierung der

Kosten wurde hierbei nach Investitions- und Folgekosten differenziert. Weiterhin wurde nach wesentlichen Kostenarten, wie Systemkosten, Anlagenkosten, Kosten der Messtechnik etc., unterschieden, sofern die vorliegenden Kostendaten der Straßenbauverwaltungen eine solche Differenzierung zuließen. Neben Mittelwerten wurde auch die Spannweite der Kostenkenngrößen betrachtet.

Zur Bewertung, welche Parameter für eine Einsatzentscheidung maßgebend sind, wurden in zwei Straßen- und einer Autobahnmeisterei die Einsatzentscheidungen während des Winters 2011/12 durch die Einsatzleiter protokolliert. Hierfür wurden je Meisterei in Abstimmung mit den Meistereileitern Erfassungsbögen entwickelt. Neben den vorhandenen GMA und den relevanten Parametern wurden hierbei auch weitere Informationsquellen, wie SWIS und allgemeine Wetterprognosen, erfasst. In einer Meisterei wurden neben den Einsatzentscheidungen auch Entscheidungen für "Nicht-Einsätze" protokolliert. Die im Winter 2011/12 vorherrschende Witterung wurde mithilfe langjähriger Klimadaten auf ihre Repräsentativität untersucht.

Zur Bewertung möglicher Formen der autarken Energieversorgung wurde an drei bestehenden GMA unterschiedlicher Ausstattung über einen 30-tägigen Messzeitraum der Stromverbrauch in fünfminütigen Intervallen erfasst, sodass neben dem Durchschnittsverbrauch auch Verbrauchsschwankungen erkennbar sind. In einem weiteren Schritt wurden für die möglichen Energieressourcen Photovoltaik, Windkraft und Brennstoffzelle die Komponenten dimensioniert, die zur Abdeckung des ermittelten Energieverbrauchs erforderlich sind. Für die vergleichende Bewertung der verschiedenen Systeme wurden neben einer Kostenschätzung auch betriebliche Aspekte einbezogen.

Um näher analysieren zu können, wie genau die erfassten GMA-Daten bei bestehenden Anlagen sind, wurden an ausgewählten GMA Vergleichsmessungen verschiedener atmosphärischer und fahrbahnbezogener Parameter durchgeführt. Hierfür wurden vor Ort mithilfe unterschiedlicher Messgeräte die Parameter gemessen und unmittelbar mit den im System und damit für den Einsatzleiter angezeigten Daten verglichen. Neben Messungenauigkeiten wurden hiermit auch systembedingte Verzögerungen in der Datenübertragung erfasst. Im Rahmen dieser Messungen wurden auch vereinfachte Messverfahren erprobt, die im Hinblick auf eine systematische Kontrolle von GMA vor Ort von Bedeutung sein können.

Zur Entwicklung einer systematischen Qualitätssicherung bei GMA wurden vier Straßenbauverwaltungen hinsichtlich des bestehenden Prozesses von der Ausschreibung bis zum Betrieb von GMA befragt. Hieraus wurden die wesentlichen Ansätze zur Qualitätssicherung in den unterschiedlichen Phasen der Beschaffung bis zum Betrieb abgeleitet.

3 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchung der LZK von GMA hat gezeigt, dass die Gesamtkosten einer GMA zu einem großen Teil von der Investition für die Messstelle abhängig sind, sie liegen bei durchschnittlich 38 300 €. Für die installierte Messtechnik fallen durchschnittlich 17 500 € an, wovon 60 % auf die Fahrbahn-

sensorik zurückzuführen sind. Deutlich höhere Investitionen sind für berührungslose Fahrbahnsensoren erforderlich, wobei diese Mehrkosten zum Teil durch geringere Installationskosten kompensiert wurden. Ebenfalls stark Kosten beeinflussend wirken sich aufwendige meteorologische Sensoren aus, zum Beispiel für die Sichtweitenmessung und Schneehöhenmessung. Der Einbau einer Kamera führt zu Mehrkosten von rund 3 600 €. Weiterer Kostentreiber innerhalb der Investitionskosten ist die autarke Stromversorgung der GMA. Aus den Daten konnten Mehrkosten von ca. 7 000 € für die autarke gegenüber der netzgebundenen Stromversorgung abgeleitet werden. Bei diesen Mehrkosten sind zum einen die Kosten für die autarke Energieversorgung, zum anderen die Einsparungen durch entfallende Tiefbauarbeiten berücksichtigt, da kein Netzanschluss erforderlich ist.

Aus der Analyse der Einsatzentscheidungen wird deutlich, dass GMA bei über 60 % aller Einsatzentscheidungen herangezogen werden und damit wichtigste Informationsquelle sind. Weitere Informationsquellen sind das SWIS des Deutschen Wetterdienstes sowie die Meldungen von Fahrern oder Dritten, wie der Polizei. Die ausschlaggebenden Parameter bei der Verwendung von GMA sind die Luft- und die Fahrbahnoberflächentemperatur. Darüber hinaus wurden in einer Meisterei noch das Kamerabild, das nur hier verfügbar ist, sowie der Fahrbahnzustand und die Windgeschwindigkeit bei der Einsatzentscheidung häufiger berücksichtigt. Allerdings werden eine Vielzahl von weiteren Parametern von GMA für eine Einschätzung der Situation beobachtet, führen dann jedoch nicht unmittelbar zur Einsatzentscheidung. Die ergänzenden Interviews haben gezeigt, dass die Taupunkttemperatur von den Einsatzleitern häufig nicht berücksichtigt wird, da das notwendige Wissen über die Interpretation und Aussagekraft dieses Parameters fehlt. Das Vertrauen in die Erfassung der Niederschlagsart durch die GMA ist sehr gering.

Die Messungen zum Energieverbrauch an drei bestehenden Anlagen lassen erkennen, dass die Leistungsaufnahme der drei GMA sehr unterschiedlich ist, was im Wesentlichen auf die eingesetzte Sensorik, Messzyklen, Datenübertragungseinheiten etc. zurückgeführt werden kann. Der Verbrauch der einen GMA betrug durchschnittlich 42,8 W und für eine andere GMA 77,2 W. Die Auswertung der dritten GMA erfolgte für die zwei Zeitbereiche von 17 Uhr bis 8 Uhr und von 8 Uhr bis 17 Uhr, da sich die Leistungsaufnahme aufgrund eines Infrarot-Scheinwerfers, der nur bei Dunkelheit zugeschaltet wird, für die beiden Zeitintervalle signifikant unterscheidet. Die Mittelwerte betragen hier 39,6 W (Nacht) und 25,5 W (Tag). Die Schwankungen des Energieverbrauchs sind ansonsten nur gering und können zum Teil auf unterschiedliche Witterungsverhältnisse zurückgeführt werden.

Die durchgeführten Untersuchungen zur Konzeptionierung einer autarken Stromversorgung mittels Sonnenenergie, Windenergie oder Brennstoffzelle für GMA haben gezeigt, dass bei Sonnen- oder Windenergie ähnlich hohe Investitionskosten zu erwarten sind. Es ist zu berücksichtigen, dass tendenziell die Energieeffizienz von Photovoltaikanlagen im Süden Deutschlands höher ist, während Windenergie eher im Norden zum Einsatz kommen kann. Für Brennstoffzellen sind zwar erheblich geringere Investitionen notwendig, aufgrund der Betriebskosten und der geringeren Lebensdauer fallen jedoch über einen Zeit-

raum von 10 Jahren höhere Kosten gegenüber der Photovoltaik oder der Windenergienutzung an. Die Kombination von Photovoltaik und Windenergie führt zu höheren Kosten, ohne dass die Ausfallwahrscheinlichkeit bedeutend gesenkt werden kann. Die Kombination mit einer Brennstoffzelle ist ebenfalls teurer; allerdings kann die Ausfallwahrscheinlichkeit minimiert werden.

Die durchgeführten Vergleichsmessungen an vorhandenen GMA haben gezeigt, dass alle untersuchten Parameter die in der DIN 15518-3 geforderten Fehlergrenzen überschreiten. Häufig liegen die Messergebnisse jedoch vor allem bei meteorologischen Parametern in der Nähe des zulässigen Bereichs und auch für die Fahrbahntemperatur sowie den Fahrbahnzustand wurden zu großen Teilen akzeptable Ergebnisse erreicht. Bei den Parametern Gefrierpunkt, Wasserfilmdicke und Salzkonzentration konnte eine solch gute Korrelation nicht nachgewiesen werden. Es wurde deutlich, dass eine aussagekräftige Bestimmung der Wasserfilmdicke in der Praxis nicht möglich ist. Es lässt sich eine Tendenz erkennen, dass die Genauigkeit von älteren Anlagen auch von der Durchführung regelmäßiger Wartungen und Kalibrierungen abhängig ist.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass nachgeordnete Systeme zur Datenübertragung, -verarbeitung und -anzeige zu Problemen und Missverständnissen bei der Nutzung der GMA führen. So traten an mehreren Anlagen Kommunikationsfehler über längere Zeiträume auf. An einer GMA betrug die Datenverfügbarkeit nur 56,4 %. Ebenfalls problematisch stellt sich die Zeitdifferenz zwischen der Messung an der GMA und der Anzeige im System dar; diese betrug in der Regel mehr als neun Minuten.

Ziel der Vergleichsmessungen war es auch, durch die Anwendung einer einfacheren und kostengünstigeren Messtechnik Erfahrungen in der Anwendung für die Konzeption eines Abnahmeprozesses zu bekommen. Generell hat sich gezeigt, dass für einen Abnahmeprozess und regelmäßige Kontrollmessungen zum Teil auch kostengünstigere Messtechnik eingesetzt werden kann, gegebenenfalls sind hierfür besondere Messbedingungen zu beachten.

Die durchgeführten Befragungen zur Qualitätssicherung zeigen, dass der Abnahmeprozess sowie die Kontrollen und Prüfungen von Bundesland zu Bundesland variieren. Dies gilt vor allem für die Tests der Sensoren. Des Weiteren zeigen die Auswertungen, dass zur Zeit keine Verfahren und Methoden (Messmethoden und Messequipment) vorhanden sind, mit deren Hilfe die Messwerte vor Ort über die Plausibilitätsprüfung der Anlage selbst sowie deren Plausibilisierung im nachgeordneten Netz überprüft werden kann. Dies gilt insbesondere für die fehlenden Testszenarien für den Sensortest der GMA vor Ort für Niederschlagsszenarien und die Beaufschlagung mit unterschiedlichen Salzkonzentrationen. Des Weiteren wurde bei der Befragung der Länder die Notwendigkeit einer Sensorzertifizierung betont.

4 Folgerungen für die Praxis

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen können folgende Empfehlungen abgeleitet werden, wie GMA zur Verbesserung des Winterdienstes beitragen können. Schwerpunkt hierbei ist der Einsatz von GMA im nachgeordneten Netz, wo-

bei zahlreiche Aspekte für den Einsatz an Bundesautobahnen gleichermaßen gelten.

- Der Einsatz von GMA im nachgeordneten Netz wie auch für die Autobahnen ist generell zu empfehlen, da GMA die wesentliche Informationsquelle für den Einsatzleiter bei der Organisation und Durchführung des Winterdienstes sind.
- Bei der Planung der GMA und ihrer Standorte im nachgeordneten Netz ist zu berücksichtigen, inwieweit sie im Rahmen eines Gesamtsystems repräsentativ für größere Netze oder Teilnetze sein können. Andererseits sind Standorte an exponierten Stellen sinnvoll, da nur dann auf gegebenenfalls aufwendige Kontrollfahrten verzichtet werden kann. Eine Standortoptimierung mit Thermal Mapping als standardisiertes Verfahren ist in der Regel nicht erforderlich. Werden Daten über Mobilfunk übertragen, sollte die Netzqualität der Mobilfunkanbieter am vorgesehenen Standort überprüft werden.
- Wichtig ist eine anwenderfreundliche Informationsaufbereitung, bei der die wesentlichen Informationen unmittelbar visualisiert werden. Spezifische Anpassungen der Visualisierung sind hierbei häufig sinnvoll, da die verschiedenen Einsatzleiter unterschiedliche Fähigkeiten und Erfahrungen in der Anwendung haben. Darüber hinaus ist eine verstärkte inhaltliche Schulung der Einsatzleiter zu den meteorologischen Zusammenhängen und in der Interpretation der GMA-Daten zu empfehlen, wofür einheitliche Schulungsunterlagen erstellt werden sollten.
- Aufgrund der stichprobenhaft durchgeführten Vergleichsmessungen wird empfohlen, die Qualität der gemessenen und angezeigten Daten umfassend bei der Abnahme und im Rahmen der Gewährleistung zu überprüfen. Sinnvoll sind darüber hinaus regelmäßige Kalibrierungen durch den Hersteller, zum Beispiel im Rahmen von Wartungsverträgen, sowie Kontrollprüfungen und fortlaufende automatisierte Plausibilitätsprüfungen der Messdaten durch die Straßenbauverwaltung oder unabhängige Prüfinstitutionen.
- Der Einsatz von Kameras an GMA ist in der Regel zu empfehlen. Es ist darauf zu achten, dass eine nachsichtfähige Kamera verwendet wird und dass Aufstellort und Bildausschnitt auch bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen die Fahrbahn gut erkennen lassen.
- Da für die atmosphärischen Parameter häufig sogenannte "All-in-one"-Sensoren angewendet werden, ist die obligatorische Messung von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte und Niederschlagsart und -intensität generell zu empfehlen. Weitere spezifische Sensoren sollten nur bei Bedarf implementiert werden. Windsensoren können in verwehungsgefährdeten Abschnitten wichtig sein. Für die Fahrbahn sollten neben der Oberflächentemperatur auch der Zustand erfasst werden. Auf die quantitative Bestimmung der Wasserfilmdicke sollte jedoch verzichtet werden, solange hierfür keine hinreichend genauen Messverfahren verfügbar sind. Für den Einsatz berührungsloser Fahrbahnsensorik sollten gegebenenfalls Wirtschaftlichkeitsvergleiche durchgeführt werden.
- Bei der Standortwahl sollte die Stromversorgung nicht primäres Entscheidungskriterium sein. Standorte mit unmittelbarem Stromanschluss sind am kostengünstigsten. Wenn diese nicht vorhanden ist, sind die Kosten für eine autarke Stromversorgung gegenüber den Kosten für die Herstellung eines Netzanschlusses abzuwägen. Für eine autarke Stromversorgung sind vor allem Photovoltaik und Windenergie sinnvoll. Der Einsatz energieoptimierter Sensoren und Komponenten in der GMA kann erhebliche Einsparungen bei der autarken Stromversorgung ermöglichen. Auch wird empfohlen, GMA bei autarker Stromversorgung mit einem "intelligenten" Energiemanagement auszurüsten.
- Es wird empfohlen, für GMA einen durchgehenden Qualitätssicherungsprozess durch die Straßenbauverwaltungen zu implementieren. Es sollten verbindliche Typprüfungen für alle Sensoren erfolgen, die die Eignung für den Einsatz in einer GMA nachweisen. Diese Typprüfungen können unter Laborbedingungen und in Testfeldern erfolgen. Umfassende Abnahmeprüfungen sollten für alle GMA vor Ort vorgesehen werden, bei denen neben den baulichen Kriterien vor allem auch die Qualität der Messdaten überprüft wird. Während des Betriebs sind regelmäßige Kontrollprüfungen sinnvoll. Für Abnahme- und Kontrollprüfungen sollte geschultes Fachpersonal der Straßenbauverwaltung oder von unabhängigen Dritten eingesetzt werden.
- Für ein Qualitätssicherungssystem, bestehend aus Typ-, Abnahme- und Kontrollprüfungen, sind praxisgerechte Prüfvorschriften auf Grundlage der bestehenden Regelungen wesentliche Voraussetzung, sodass hier vordringlicher Handlungsbedarf gesehen wird. Es wird empfohlen, diese im Rahmen eines FE-Vorhabens kurzfristig zu erarbeiten.