

Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 258

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page, partially overlapping a vertical white line that runs down the right edge of the cover.

Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

von

Christian Holldorb
Markus Streich
Melina Uhlig

Institut für Immobilienökonomie, Infrastrukturplanung
und Projektmanagement (IIP) der Hochschule Biberach

Immanuel Schäufele

Institut für Angewandte Forschung (IAF)
der Hochschule Karlsruhe

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 258

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 04.245/2011/KRB
Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Fachbetreuung:
Horst Badelt

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-178-3

Bergisch Gladbach, Juni 2015

Kurzfassung – Abstract

Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten

Die Dichte des Netzes an Glättemeldeanlagen (GMA) an Bundesautobahnen ist wesentlich höher als im nachgeordneten Netz. Eine Verdichtung des Messstellennetzes analog zu Bundesautobahnen ist jedoch aus finanziellen und organisatorischen Gründen nicht realisierbar. Ziel der Forschungsvorhaben ist daher die vereinfachte Erfassung von winterlichen Fahrbahn- und Witterungszuständen, um eine wesentliche Verdichtung des Messstellennetzes unter wirtschaftlich akzeptablen Bedingungen zu ermöglichen. Hierdurch soll den Winterdienstverantwortlichen eine netzweite Beurteilung des Streckenzustandes ermöglicht werden, um die Winterdiensteinsätze anforderungsgerechter und wirtschaftlicher durchführen zu können.

Im Rahmen einer Lebenszykluskostenanalyse wurden Investitions- und Betriebskostendaten von über 200 GMA ausgewertet. Die Analyse ergab durchschnittliche Investitionskosten von 38.300 € je Messstelle. Diese Kosten werden hauptsächlich durch die Art der Stromversorgung (netzgebunden/autark) sowie den Umfang und die Art der Sensorik beeinflusst. Die bei Energieverbrauchsmessungen an bestehenden GMA erfassten Daten zeigen, dass GMA teils stark unterschiedliche Leistungsverbräuche besitzen, eine energieoptimierte Ausstattung jedoch eine wirtschaftlich akzeptable autarke Energieversorgung ermöglicht.

Im Winter 2011/2012 wurden in drei Meistereien Einsatzentscheidungen untersucht. GMA sind hierbei die wichtigste Informationsquelle; sie werden in über 60 % aller Entscheidungen herangezogen. Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur sind die wichtigsten Parameter. Große Bedeutung für die Nutzer hat vielfach auch ein Kamerabild.

Wesentlich für einen wirtschaftlichen Betrieb von GMA und einen gleichbleibenden Nutzen für die Anwender ist eine hohe Zuverlässigkeit in die angezeigten Messdaten. Daher sollte die Qualitätssicherung bei Installation und laufendem Betrieb größere Bedeutung gewinnen, indem durch die Straßenbauverwaltungen neben der regelmäßigen Wartung und Kalibrierung standardisierte Abnahme- und regelmäßige Kontrollprüfungen auf Grundlage der geltenden technischen Normen vorgesehen werden.

Regionalised compilation of road weather data

The density of the network of road ice warning systems (RWIS) on federal motorways is higher by far than in the subordinate network. A densification of the monitoring network analogous to federal motorways is, however, not realisable due to financial and organisational reasons. The target of the planned research therefore is the simplified capture of data on wintery road and weather conditions, in order to enable a considerable densification of the monitoring network under conditions which are economically acceptable. This would enable the winter service to evaluate the road conditions across the network, in order to meet requirements and carry out winter service operations in a more economic way.

In the framework of a life-cycle cost analysis, the investment and operating cost data of more than 200 RWIS were evaluated. The analysis amounted to average investment costs of 38,300€ per measuring point. These costs are mainly influenced by the type of electricity supply (on-grid/self-sufficient), as well as the scope and type of sensors. The data gathered during energy metering on existing RWIS show that RWIS have in part extremely differing power consumptions. However, energy-optimised equipment enables economically acceptable, self-sufficient energy supply.

In the winter of 2011/2012 operational decisions in three maintenance centres were examined. This study revealed that RWIS are the most important source of information as they are consulted for more than 60% of all decisions. Air and road surface temperature are the most important parameters. Camera pictures are often also very important for users.

Essential for the economic operation of RWIS and a continuous benefit for the users is a high reliability of the measurement data displayed. Therefore, quality management during installation and operation should gain greater emphasis. To achieve this, the Road Administrations should plan standardised acceptance tests and regular check tests on the basis of the valid technical standards, in combination with routine maintenance and calibration.

Inhalt

Abkürzungen	7	2.8 Masten für Glättemeldeanlagen	24
1 Einleitung	9	2.9 Modularer Aufbau von Glättemeldeanlagen	25
2 Stand des Wissens	10	2.10 Zusammenfassung des vorliegenden Kenntnisstandes	26
2.1 Einflussfaktoren auf die Glättebildung und deren Erfassung	10	3 Lebenszykluskosten für Glättemeldeanlagen	27
2.2 Technisches Regelwerk für Glättemeldeanlagen	11	3.1 Methodischer Ansatz und Grundlagen	27
2.2.1 DIN EN 15518 „Winterdienst-ausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme“	11	3.2 Berücksichtigte GMA-Systeme	29
2.2.2 Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen	13	3.2.1 Landkreis Ravensburg – Straßenmeisterei Wangen i. A.	29
2.2.3 Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS)	13	3.2.2 Staatliche Bauämter Bayern	29
2.2.4 Ausgewählte internationale Richtlinien	13	3.2.3 Autobahndirektion Nordbayern	30
2.3 Erfassung atmosphärischer Parameter	14	3.2.4 Nordrhein-Westfalen – Straßen. NRW/Unterzentrale Werl	30
2.4 Erfassung fahrbahnbezogener Parameter	15	3.3 Ergebnisse der LZK-Analyse	30
2.4.1 Zu erfassende Parameter	15	3.3.1 Investitionskosten	31
2.4.2 Erfassung der Wasserfilmdicke	16	3.3.2 Jährliche Folgekosten	33
2.4.3 Erfassung der Gefrierpunkttemperatur	17	3.3.3 Jahreskosten (Annuitäten)	34
2.4.4 Berührungslose Sensoren zur Ermittlung der fahrbahnbezogenen Parameter	18	3.4 Zusammenfassende Bewertung	34
2.5 Einsatz von Kameras an Glättemeldeanlagen	18	4 Analyse von Einsatzentscheidungen im Winterdienst	35
2.6 Kosten für Glättemeldeanlagen	19	4.1 Ausgewählte Meistereien	35
2.7 Autarke Stromversorgung für Glättemeldeanlagen	20	4.1.1 Straßenmeisterei Wangen i. A.	35
2.7.1 Energiebedarf	20	4.1.2 Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf. ...	36
2.7.2 Speichermedium	20	4.1.3 Autobahnmeisterei München-Nord.	38
2.7.3 Photovoltaik	21	4.2 Methodik	39
2.7.4 Windgeneratoren	21	4.3 Ergebnisse Straßenmeisterei Wangen i. A.	40
2.7.5 Brennstoffzellen	22	4.3.1 Allgemeine Einsatzinformationen	40
		4.3.2 Informationsquellen für Einsatzentscheidungen	40
		4.3.3 Informationsquelle Glättemeldeanlagen	42
		4.3.4 Bedeutung der eigenen Wahrnehmung des Einsatzleiters	44

4.3.5	Repräsentativität der Ergebnisse	45	6.4	Bewertung der Referenz- Messtechnik	69
4.4	Ergebnisse Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf.	46	6.5	Empfehlungen	70
4.4.1	Allgemeine Einsatzinformationen	46	7	Ansätze zur Qualitätssicherung bei der Installation von GMA	73
4.4.2	Informationsquellen für Einsatz- entscheidungen	46	7.1	Derzeitiger Prozess von der Ausschreibung bis zum Betrieb von GMA	73
4.4.3	Informationsquelle Glättemelde- anlagen	48	7.2	Abgeleitete Ansätze zur Qualitätssicherung	77
4.4.4	Repräsentativität der Ergebnisse	49	8	Zusammenfassende Empfehlungen	77
4.5	Ergebnisse Autobahnmeisterei München-Nord.	50	9	Literatur	80
4.6	Gesamtbewertung	50	Anhang	85	
5	Autarke Energieversorgung von Glättemeldeanlagen	53			
5.1	Messungen zum Energieverbrauch bestehender GMA	53			
5.2	Bewertung möglicher Energie- ressourcen zur autarken Stromversorgung	55			
5.2.1	Bewertungsgrundlagen	55			
5.2.2	Einsatz von Photovoltaik	56			
5.2.3	Windkraft	57			
5.2.4	Brennstoffzelle	57			
5.2.5	Gesamtbewertung	58			
6	Genauigkeitsmessungen an GMA	59			
6.1	Problemstellung, Grundlagen und Vorgehensweise	59			
6.2	Bewertung der Sensorik	60			
6.2.1	Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Taupunkttemperatur	60			
6.2.2	Fahrbahntemperatur und Fahrbahnzustand	62			
6.2.3	Gefrierpunkt, Wasserfilmdicke und Salzkonzentration	64			
6.2.4	Kamera	66			
6.2.5	Schneehöhe	68			
6.3	Bewertung der GMA-Systeme	68			

Abkürzungen

AD	Autobahndreieck	SWIS	Straßen-Wetter-Informations-System
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße	TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen
AFC	Alkalische Brennstoffzelle	TRGS	Technische Regeln für Gefahrenstoffe
AK	Autobahnkreuz	ü. NN	Über Normalnull
AM	Autobahnmeisterei	VAWT	vertikal axis wind turbine
AS	Anschlussstelle	ZMS	Zentrale Meldestelle
BSZ	Brennstoffzelle		
CEN	Europäisches Komitee für Normung		
DMFC	Direkt-Methanol-Brennstoffzelle		
ESS	Environmental sensor station		
FE-Vorhaben	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben		
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen		
GMA	Glättemeldeanlage		
HAWT	Horizontal axis wind turbine		
IIP	Institut für Immobilienökonomie, Infrastrukturplanung und Projektmanagement der Hochschule Biberach		
kB	Kilobyte		
Lk	Landkreis		
LT	Lufttemperatur		
MCFC	Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle		
NOR	Norwegen		
PAFC	Phosphorsäure-Brennstoffzelle		
PEFC	Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle		
PV	Photovoltaik		
RLF	relative Luftfeuchte		
RPS	Richtlinie für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme		
RWIS	Road weather information system		
SM	Straßenmeisterei		
SOFC	Oxidkeramische Brennstoffzelle		

1 Einleitung

Der Straßenbetriebsdienst in Deutschland, vor allem auch der Winterdienst, hat eine sehr hohe Bedeutung für die Aufrechterhaltung eines sicheren und leistungsfähigen Straßennetzes sowie den Substanzerhalt des Bauwerks „Straße“. Hiermit verbunden sind erhebliche Aufwendungen, die 2010 allein für die Bundesfernstraßen in einer Größenordnung von 1,1 Milliarden Euro (für den Betriebsdienst) lagen. Davon sind 508,6 Mio. Euro für Bundesstraßen ausgegeben worden [BMVBS 2012].

Zur Erfassung von winterlichen Fahrbahn- und Witterungszuständen werden zur Zeit vor allem an Bundesautobahnen, zunehmend aber auch an Bundesstraßen, Glättemeldeanlagen (GMA) eingesetzt, die dem Winterdienstverantwortlichen eine Beurteilung des Streckenzustandes ermöglichen, um die Winterdiensteinsätze anforderungsgerecht durchführen zu können. Im nachgeordneten Straßennetz ist die Ausstattung mit GMA allerdings noch deutlich geringer als an den Bundesautobahnen und ermöglicht dadurch keine flächendeckende Aussage zum Straßenzustand (siehe Tabelle 1).

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 in einem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FE-Vorhaben) ausgehend von dem derzeitigen Erkenntnisstand die wesentlichen Anforderungen an die Sensorik definiert werden. Daher beauftragte das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) die Hochschule Biberach im Oktober 2011 mit dem FE-Vorhaben „Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten“, das aus personellen Gründen an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft fertiggestellt wurde.

Die für das Projekt maßgeblichen Arbeiten wurden in insgesamt sieben Arbeitspaketen (AP) realisiert (s. Bild 1). Ursprünglich war vorgesehen, auf Grundlage der Ergebnisse aus den AP 1 bis AP 3 in einer 2. Projektphase in einer Pilotanwendung einen optimierte Messstellenkonfiguration zu

	Netzlänge Stand 01.2012 ¹ [km]	GMA ² [Stück]	Netzlänge je GMA [km/GMA]
Bundesautobahnen	12.815	807	16
Bundesstraßen	39.710	193	206
Landesstraßen	86.598	34	2.547
Kreisstraßen	91.655	9	10.184

¹ Quelle: [BMVBS 2013]
² Angaben aus [HOLLDORB et al. 2011]

Tab. 1: Länge der klassifizierten Straßen und Anzahl der installierten GMA in Deutschland

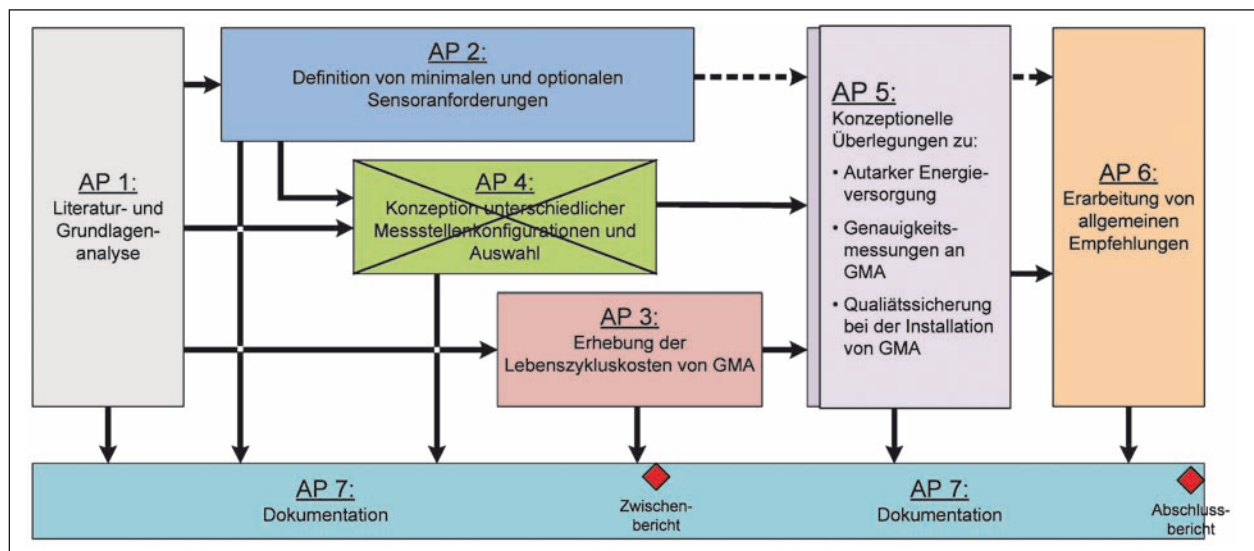


Bild 1: Arbeitspakete des FE-Vorhabens „Regionalisierte Erfassung von Straßenwetterdaten“

testen. Da jedoch nach Überprüfung der BAST keines der angebotenen Systeme die erforderlichen Spezifikationen erfüllen konnte, wurde auf die Pilotanwendung verzichtet. Somit ist das AP 4 nicht weiter verfolgt worden. Anstatt der Begleitung der Pilotanwendung wurden im AP 5 konzeptionelle Überlegungen zu verschiedenen Aspekten des Einsatzes von GMA erarbeitet.

Das FE-Vorhaben ist in diesem Schlussbericht dokumentiert. Die Ergebnisse der Literatur- und Grundlagenanalyse sind in Kapitel 2 zusammengestellt, wofür auch zahlreiche Interviews mit Experten auf Seiten der Straßenbauverwaltung, Herstellern sowie weiteren Institutionen, wie dem Deutschen Wetterdienst (DWD) geführt wurden. Die Lebenszykluskosten von über 100 GMA, die in ausgewählten Straßenbauverwaltungen erhoben wurden, wurden ausgewertet und in Kapitel 3 zusammengefasst. Für die Definition der Sensoranforderungen ist im Wesentlichen die Nutzung der GMA in der Praxis maßgebend. Daher wurden Einsatzentscheidungen und die Nutzung der GMA hierbei in drei Meistereien im Winter 2011/12 durch die Einsatzleiter dokumentiert; die Analyse hierzu enthält Kapitel 4. In den Kapiteln 5 bis 7 wird auf die konzeptionellen Überlegungen des AP 5 zur autarken Energieversorgung, Messungen der Genauigkeit der Parametererfassung und -anzeige an bestehenden GMA sowie zur Qualitätssicherung eingegangen. Die zusammenfassenden Empfehlungen enthält Kapitel 8.

Eine herstellereinspezifische Bewertung von GMA war nicht Ziel des FE-Vorhabens. Daher werden keine herstellereinspezifischen Aussagen getroffen. Aus wettbewerblichen Gründen werden die Ergebnisse der Erhebungen an den bestehenden Anlagen überwiegend anonymisiert dargestellt. Zum Teil, wie z. B. bei der Analyse der Einsatzentscheidungen in Kapitel 4, sind die Randbedingungen jedoch wesentlich für die Interpretation, sodass hier eine vollständige Anonymisierung nicht möglich war.

2 Stand des Wissens

2.1 Einflussfaktoren auf die Glättebildung und deren Erfassung

Gemäß dem Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen [FGSV 2010a] können vier Arten von Glätte unterschieden werden:

- Schneeglätte: Glätte, die durch Festfahren bzw. Festtreten von Schnee oder durch Gefrieren von Schneematsch oder Schneeresten entsteht.
- Reifglätte: Glätte, die durch Gefrieren von Luftfeuchtigkeit auf der Verkehrsfläche entsteht.
- Eisglätte: Glätte, die durch Gefrieren vorhandener Feuchtigkeit entsteht („überfrierende Nässe“).
- Glatteis: Homogene Eisschicht, die durch Eisregen (Temperatur der Tropfen unter 0 °C oder durch Regen auf eine unterkühlte Verkehrsfläche entsteht).

Die Art der Glätte wird im Wesentlichen durch die meteorologischen Parameter Temperatur und Feuchtezustand der Fahrbahn sowie die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag beeinflusst (s. Bild 2). Des Weiteren kann es zu Schneeglätte bei Schneeverwehungen kommen, sodass auch die Windverhältnisse zu berücksichtigen sind.

Neben den meteorologischen Einflüssen sind auch nicht-meteorologische Einflussfaktoren zu nennen, die die Glätte beeinflussen. Diese Einflussfaktoren sind nicht aus Messwerten der GMA ersichtlich. Hierzu zählen nach [FGSV 2010a]:

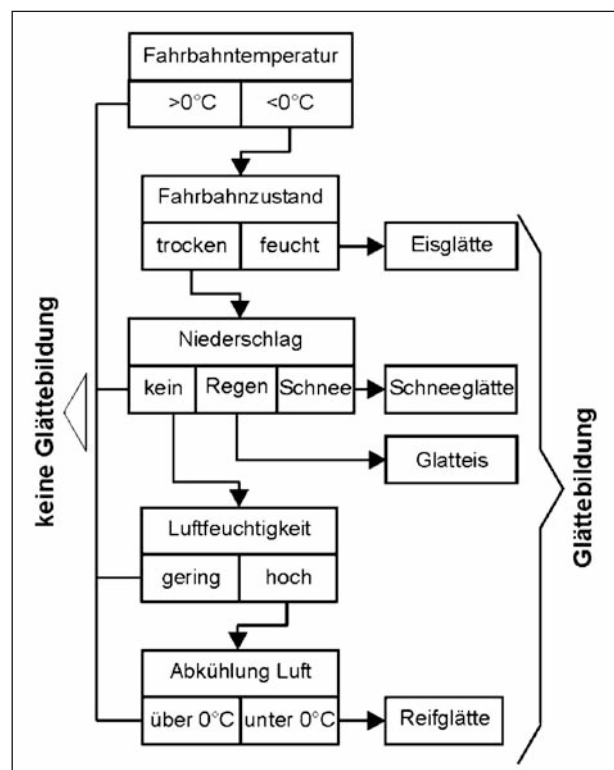


Bild 2: Entstehung von Winterglätte gemäß Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen [FGSV 2010a]

Parameter	Glätte					
	Eisglätte	Glatteis	Reifglätte	Schneeglätte	Verwehungen	Glättewarnung
Niederschlagsart	x	x		x	x	
Fahrbahnoberflächentemperatur	x	x	x	x		x
Fahrbahnzustand	x	x		x		x
Temperatur des Straßenkörpers	x	x	x	x		
Relative Luftfeuchte			x			
Windgeschwindigkeit			x		x	
Lufttemperatur	x	x	x	x		x
Wasserfilmdicke	x					
Taupunkttemperatur (gemessen oder abgeleitet)			x			x
Kamera				x	x	

Tab. 2: Zusammenstellung der von einer GMA zu überwachenden Parameter bei der Glättebildung

- Höhenlage,
- Damm-/Einschnittlage,
- Fahrbahnaufbau,
- Umgebung.

Auch der Verkehr beeinflusst die Winterglätte, da Schnee festgefahren werden kann und durch das Abrollen der Reifen Energie auf die Straße übertragen wird. Weitere Einflussgröße ist der Restsalzgehalt, der einerseits von der ausgebrachten Streumenge, andererseits von Verkehr und Textur der Fahrbahnoberfläche abhängt [HAUSMANN 2009]. Daneben haben auch Niederschlag, Feuchtezustand und Neigung der Fahrbahn Einfluss auf den Restsalzgehalt. Somit sind neben den an einer GMA gemessenen Daten weitere Einflussgrößen bei der Prognose von Glätte zu berücksichtigen.

Um die unterschiedlichen Glättearten durch eine GMA detektieren zu können, sind optimalerweise die in Tabelle 2 zusammengestellten Parameter zu erfassen. Neben der Erfassung bereits aufgetretener Glätte ist wesentliches Einsatzgebiet einer GMA auch die Warnung vor möglicher Glätte in der unmittelbaren Zukunft. Für die Ableitung der Glättearten aus den gemessenen Parametern wurde durch BADEL/BREITENSTEIN [2005] ein Modell für die automatisierte Glättewarnung erarbeitet (siehe Bild 3). Mithilfe dieses Modells kann anhand aktueller Messwerte, dem zeitlichen Verlauf einzelner Parameter sowie daraus abgeleiteten Trendberechnungen eine mögliche Glättegefahr ermittelt

werden. Nicht-meteorologische Parameter fließen in dieses Modell jedoch nicht ein.

2.2 Technisches Regelwerk für Glättemeldeanlagen

2.2.1 DIN EN 15518 „Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme“

Die DIN EN 15518 „Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme“ ist die deutsche Ausgabe der europäischen Norm EN 15518. Sie besteht bisher aus vier veröffentlichten Teilen [DIN 2011a, DIN 2013]:

Teil 1: Allgemeine Definitionen und Komponenten,

Teil 2: Straßenwetter – Empfohlene Beobachtung und Vorhersage,

Teil 3: Anforderungen an gemessene Werte der stationären Anlagen,

Teil 4: Prüfverfahren bei stationären Einrichtungen.

Während Teil 1 allgemeine Definitionen enthält und Teil 2 auf die Straßenwettervorhersage eingeht, sind in Teil 3 die an GMA zu erfassenden Parameter, gegliedert als Basisparameter (B) und optionale Parameter (O), sowie ihre Genauigkeit definiert. Teil 4 der Norm beinhaltet technische Spezifikationen für Prüfverfahren, Versuchsanordnungen und Ergebnisanalysen der Eignungsprüfung von statio-

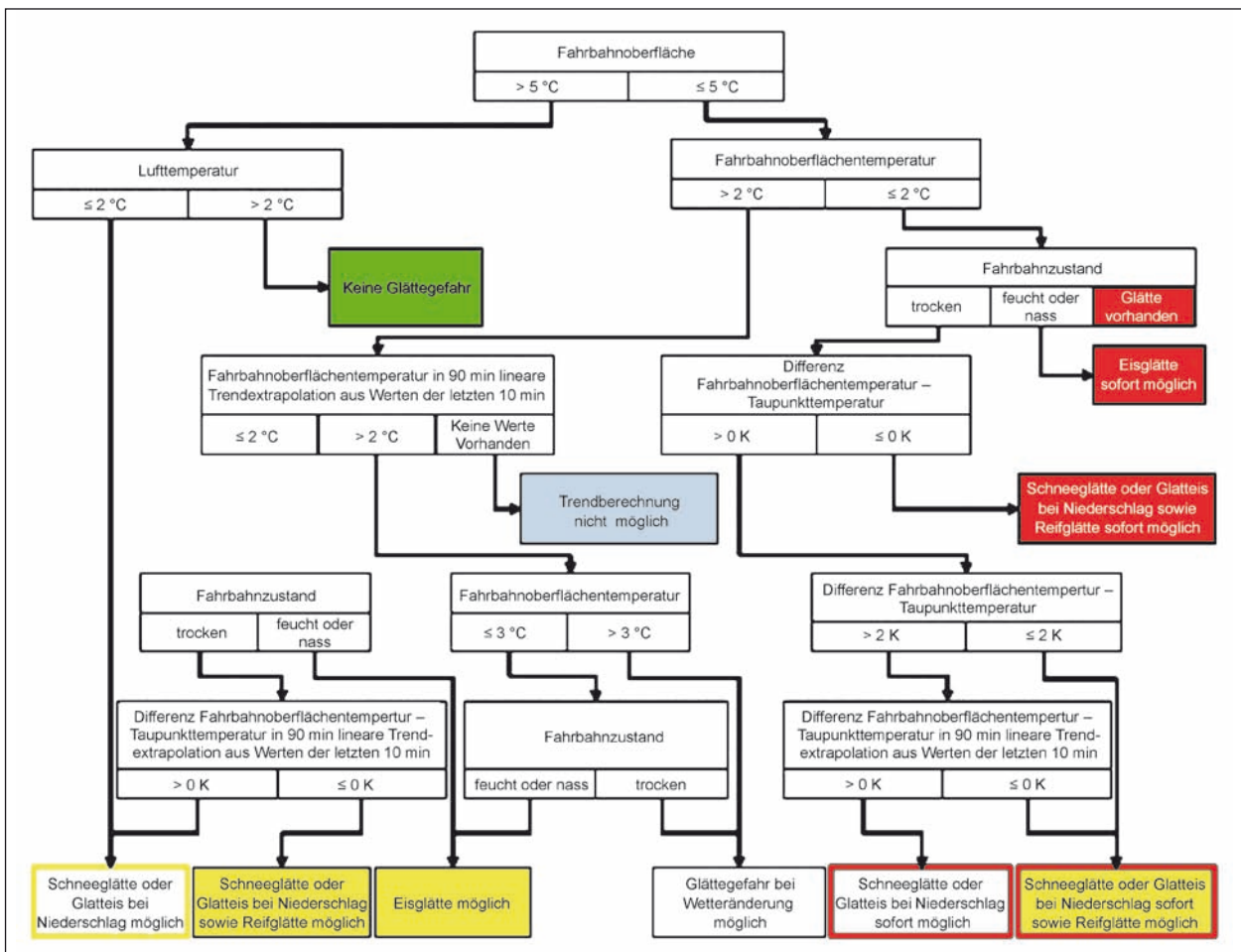


Bild 3: Modellbeispiel zur Ermittlung einer Glättewarnung, nach FGSV [2010b]

nären Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen. Diese Eignungsprüfungen werden unter definierten Versuchsbedingungen im Labor (Fahrbahnparameter) oder im Freien (atmosphärische Parameter) durchgeführt [DIN 2013]. Folgende Parameter sind in Teil 3 und Teil 4 definiert:

- Fahrbahnoberflächentemperatur (B),
- Fahrbahnzustand (B),
- Wasserfilmdicke (O),
- Gefriertemperatur (B),
- Temperatur des Straßenkörpers (O),
- Lufttemperatur (B),
- relative Luftfeuchte (B),
- Taupunkttemperatur (B),
- Niederschlag-Erfassungszeit (B), Art (B) und Intensität (O),
- Schneehöhe (O),
- Windgeschwindigkeit, Windspitze und Windrichtung (O),
- Sicht (O).

Teil 5 dieser DIN mit dem Titel „Anforderungen für die Datenerfassung bei mobilen Anlagen“ befindet sich im Entwurf und wurde noch nicht veröffentlicht. Darüber hinaus besteht nach BRODARD [2012] das Bestreben, die DIN EN 15518 in folgenden Teilen zu erweitern:

Teil 6: Prüfmethode für mobile Anlagen,

Teil 7: Prüfungsanforderungen für die Datenerfassung bei portablen Anlagen,

Teil 8: Prüfmethode für portable Anlagen/Handgeräte,

Teil 9: Schnittstellen,

Teil 10: Thermalkartierung.

Besonders Teil 9 der DIN EN 15518 ist für dieses Forschungsprojekt erwähnenswert, da dieser in

engem Zusammenhang mit der Modularität von GMA steht. In dieser Norm sollen die Art der Daten (Datengenauigkeit und -format) und die Datenübergabe (Zeitpunkt und Art) definiert werden, sodass die Vergabe und der Einbau von Sensoren unterschiedlicher Anbieter in einer Messstation für den Auftraggeber deutlich vereinfacht werden.

2.2.2 Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hat im Dezember 2010 die „Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen“ herausgebracht [FGSV 2010b]. Hiernach soll die Analyse von Umfelddaten zur dynamischen Beeinflussung des Verkehrs genutzt werden. In diesen Hinweisen werden auch Anforderungen an die Qualität von Wetterdaten und die Anordnung der Sensorik definiert.

In Anhang 1 werden die Anforderungen der DIN EN 15518, Teil 3 und der FGSV Hinweise gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass in den Hinweisen der FGSV nicht für sämtliche Sensoren Anforderungen definiert wurden, sondern nur die wesentlichen Sensoren aufgeführt werden, die für den Einsatz in einer Streckenbeeinflussungsanlage erforderlich sind. Die DIN EN 15518, Teil 3 ist in ihrer Definition meist detaillierter als die Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen.

2.2.3 Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS)

Die Anforderungen, die in den vorgenannten Hinweisen zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen definiert sind, wurden in der neuen Version der Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) übernommen, die die Version von 2002 ablöst [BASt 2012]. Ziel der TLS ist es, Funktionen und Schnittstellen einheitlich festzulegen, damit die Daten von Geräten unterschiedlicher Hersteller miteinander vergleichbar sind.

Die TLS in der Ausgabe von 2012 beinhaltet insgesamt fünf Abschnitte. Wesentlich für die Erfassung von Umfelddaten sind zum einen die allgemeinen Anforderungen an Streckenstationen in Abschnitt III, die im Wesentlichen auf die Energieversorgung

und die Schnittstellen eingehen. In Abschnitt IV.4 sind die Prüfvorschriften für die Sensorik der Umfelddatenerfassung aufgeführt, die neben der Sensorik, wie sie für GMA eingesetzt wird, auch weitere Sensoren berücksichtigt. Die Prüfvorschriften unterscheiden für die fahrbahnbezogenen Parameter nach Eignungsprüfung und Abnahmeprüfung. Für die atmosphärischen Parameter werden nur Abnahmeprüfungen definiert. In Anhang 6, Abschnitt 5 sind die Anforderungen an die Datenübertragung von Umfelddaten definiert, die für einen möglichen modularen Aufbau von GMA wichtig sind. Die Anforderungen der TLS gelten ebenso wie die Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen im Wesentlichen für den Einsatz der Sensorik in Verkehrsbeeinflussungsanlagen, während für Glättemeldeanlagen zur Steuerung des Winterdienstes die DIN EN 15518, Teil 3 maßgebend ist.

2.2.4 Ausgewählte internationale Richtlinien

In den Vereinigten Staaten von Amerika (USA) existiert derzeit keine Norm, die vergleichbar mit den Teilen der DIN EN 15518 ist. Es gibt allerdings die Richtlinie „Road Weather Information System Environmental Sensor Station Siting Guidelines“ [FHWA 2008] aus dem Jahr 2008 mit Empfehlungen für Behörden oder Sensoranbieter. Das erste Kapitel dieser Richtlinie befasst sich mit dem Konzept einer „Environmental sensor station“ (ESS) und dem „Road weather information system“ (RWIS). Kapitel 2 behandelt Umweltsensorik und differenziert zwischen regionalen (Aussagen über das Klimagebiet) und örtlichen ESS (Aussagen über Streckenabschnitte, wie Brücke). Die Abschnitte 3 und 4 der amerikanischen Richtlinie enthalten Empfehlungen für die Standortwahl von ESS mittels Thermal Mapping sowie den Einsatz transportabler ESS. Es werden auch detailliert Abstände der ESS-Sensorik zueinander sowie zu anderen Bauten genannt. Das letzte Kapitel der Guidelines enthält weitere Hinweise bezüglich Energie, Kommunikation, Sicherheit und ESS-Metadaten [FHWA 2008]. Die amerikanische Richtlinie gibt eine Auswahl von allgemein gebräuchlichen Sensoren, die den deutschen Basis- und optionalen Sensoren der Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen bzw. der TLS ähnlich sind.

In Norwegen werden zurzeit ca. 230 GMA von der norwegischen Straßenbehörde (Statens vegvesen) betreut [PIARC 2010]. Daher wurde im Juni 2005

das Handbuch über den Einsatz von Klimastationen entlang von Straßen erstellt. Das Handbuch (Handbuch 266) beinhaltet Richtlinien zur Platzierung und Auswahl von Sensoren für Klimastationen [NOR-NORM 2005]. Die norwegische Richtlinie gibt konkrete Vorschläge zu Sensoren und deren Herstellern. Hierbei werden meist die Fabrikate der Anbieter Vaisala und Aanderaa angeführt, da in Norwegen der Großteil der betriebenen GMA von diesen beiden Herstellern stammt.

2.3 Erfassung atmosphärischer Parameter

Gemäß Teil 3 der DIN EN 15518 gehört zur Basisausstattung einer GMA Sensorik zur Erfassung folgender atmosphärischer Parameter [DIN 2011a]:

- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchte,
- Taupunkttemperatur (gemessen oder abgeleitet),
- Niederschlagserkennungszeit,
- Niederschlagsart.

Diese Basisausstattung kann optional durch weitere Sensoren für folgende Parameter erweitert werden:

- Niederschlagsintensität,
- Windgeschwindigkeit,
- Windspitze,
- Windrichtung,
- Sichtweite.

Abweichend hierzu werden bei der Umfelddatenerfassung an Streckenbeeinflussungsanlagen zur Glättebestimmung als Mindestanforderung nur die Erfassung von Lufttemperatur sowie Taupunkttemperatur/relative Luftfeuchte definiert. Die Glättebestimmung kann durch die Erfassung der Niederschlagsart verbessert werden. Zur Ableitung der Nässe-schaltung müssen zumindest Niederschlagsintensität und Niederschlagsart erfasst werden; für Nebelschaltungen ist die Erfassung der Sichtweite notwendig. Anforderungen an die Winderfassung sind in den Hinweisen zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen nicht definiert, allerdings werden Anforderun-

gen an die Parameter Windgeschwindigkeit, Windspitze und Windrichtung definiert [FGSV 2010b, BASt 2012]. Die Anforderungen an die einzelnen Parameter sind in Anhang 1 zusammengestellt.

Die atmosphärischen Parameter sollen in unmittelbarer Nähe zur Messung der Fahrbahnparameter erfasst werden. Anforderungen an die Stationierung der Sensoren bei Glättemeldeanlagen werden in der DIN EN 15518, Teil 3 nicht definiert. Bei Einsatz an Streckenbeeinflussungsanlagen soll die Sensorik an einem Mast in 4 m Höhe mit einem Mindestabstand von 1,5 m zum Fahrbahnrand montiert sein. Die Sensoren zur Erfassung von atmosphärischen Parametern und Fahrbahnsensoren sollen maximal 10 m in Fahrbahnlängsrichtung versetzt sein [FGSV 2010b]. Diese Anforderungen entstammen den Betriebstechnischen Anlagen für Glättemeldeanlagen und werden sinngemäß vielfach auch für Glättemeldeanlagen angewendet, allerdings sind derzeit keine Standards definiert.

Als Lufttemperatur wird die Temperatur der Umgebungsluft, weitgehend unbeeinflusst von Sonneneinstrahlung und Windeinwirkung erfasst. Die relative Luftfeuchte wird an gleicher Stelle wie die Lufttemperatur gemessen. „Die Taupunkttemperatur ist diejenige Temperatur, bei der die in der Umgebungsluft der Messstelle (am Ort der Temperatur und Feuchte-Sensorik) befindliche Feuchte zu kondensieren beginnt“ [BASt 2012]. Sie ist abhängig von Luftdruck, Temperatur und relativer Feuchte der Luft [BASt 2012]. Da es sich nicht um eine real zu messende Temperatur handelt, sondern die Taupunkttemperatur berechnet wird, ist kein separater Sensor hierfür notwendig.

Beim Niederschlag wird nach DIN EN 15518, Teil 3 zwischen festem und flüssigem Niederschlag unterschieden [DIN 2011a], analog werden zur Umfelddatenerfassung Regen und Schnee differenziert [FGSV 2010b, BASt 2012]. Die Niederschlagserkennungszeit ist in der DIN EN 15518, Teil 3 zwar als zu erfassender Parameter aufgeführt, allerdings definiert dieser Parameter nur, in welcher Zeit Niederschlag erkannt werden muss. Dementsprechend gibt es für den Parameter Niederschlagserkennungszeit auch keine Prüfvorschrift in Teil 4 der Norm [DIN 2013]. Die Niederschlagsintensität ist die für ein Zeitintervall erfasste Niederschlagshöhe bezogen auf dieses Zeitintervall. Bei gefrorenem Niederschlag (Hagel, Schnee) wird die Niederschlagshöhe des Wasseräquivalents, d. h. nach dem Schmelzen, zugrunde gelegt. Generell kann

jeder Parameter von einem separaten Sensor erfasst werden. Einige Hersteller haben Sensoren kombiniert und „Multifunktionssensoren“ entwickelt, die in der Lage sind, mehrere Parameter gleichzeitig zu erfassen. Die maximale Niederschlagsserkennungszeit gemäß DIN EN 15518, Teil 3 ist abhängig von der Niederschlagsintensität:

- Innerhalb von 2 min ein Niederschlag $\geq 1,2 \text{ mm/h}$,
- Innerhalb von 6 min ein Niederschlag $\geq 0,4 \text{ mm/h}$,
- Innerhalb von 10 min ein Niederschlag $\geq 0,1 \text{ mm/h}$.

Die Windrichtung wird in Grad der Kompassrose (1 Grad bis 360 Grad) angegeben, die Windgeschwindigkeit entspricht der Geschwindigkeit des Windes in horizontaler Ebene (Komponente) gemessen in Meter pro Sekunde. Die Windspitze beschreibt die maximale Windgeschwindigkeit der letzten 10 Minuten [BASt 2012]. Diese drei Parameter (Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Windspitze) können von einzelnen Sensoren an gleicher Stelle oder einem Multisensor ermittelt werden.

Die Sichtweite wird mit optischen Messverfahren erfasst. Als Sichtweite wird die sogenannte meteorologische Sichtweite ermittelt, die ein Maß dafür ist, dass dunkle Objekte in Erdbodennähe vor hellem Hintergrund gerade noch erkannt werden können [DWD 2014].

2.4 Erfassung fahrbahnbezogener Parameter

2.4.1 Zu erfassende Parameter

Für die Fahrbahn sind nach DIN EN 15518, Teil 3 folgende Basisparameter zu erfassen [DIN 2011a]:

- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Fahrbahnzustand,
- Gefriertemperatur.

Optional können noch Wasserfilmdicke und Temperatur des Straßenkörpers sowie die Schneehöhe, gemessen neben der Fahrbahn oder gemessen auf der Fahrbahnoberfläche, erfasst werden.

Fahrbahnoberflächentemperatur und Fahrbahnzustand sind auch bei Streckenbeeinflussungsanla-

gen für die Glättebestimmung erforderlich. Optional kann diese durch die Bestimmung von Bodentemperatur (entspricht Temperatur des Straßenkörpers), Gefriertemperatur bzw. Restsalzgehalt, Wasserfilmdicke und Griffigkeit unter Berücksichtigung der Fahrbahnoberfläche verbessert werden [FGSV 2010b].

Die DIN EN 15518, Teil 3 macht keine Angaben zum Einbauort der Fahrbahnsensorik im Fahrbahnquerschnitt. Gemäß den Hinweisen zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen [FGSV 2010b] sollen die fahrbahnbezogenen Parameter in der Mitte des linken Fahrstreifen erfasst werden.

Fahrbahnoberflächentemperatur

Als Fahrbahnoberflächentemperatur wird die „effektive Strahlungstemperatur einer Fahrbahnoberfläche“ definiert [DIN 2011a]. Sie wird in Grad Celsius gemessen und als Ist-Wert übertragen [BASt 2012]. Es ist zu beachten, dass bei hohem Verkehrsaufkommen das Temperaturprofil quer zur Fahrbahn nicht überall eine gleichbleibende Oberflächentemperatur aufweist. Durch den Wärmeeintrag der Reifen in den Rollspuren und die Abstrahlung der Motoren kann zwischen Fahrbahnrand und Fahrbahnmitte ein Temperaturunterschied bis zu 1 K auftreten. Nach HAUSMANN [2009] könnte es daher sinnvoll sein, die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur an den Fahrstreifenrändern durchzuführen, da dort und zwischen den Fahrstreifen die niedrigsten Temperaturen herrschen.

Fahrbahnzustand

Beim Fahrbahnzustand wird nach Art der Feuchtigkeit auf der Fahrbahn unterschieden. Gemäß DIN 15518, Teil 3 wird nach „trocken“, „feucht“, „nass“, „fließendes Wasser“ sowie „glatt“ klassifiziert. Bei Streckenbeeinflussungsanlagen soll nach „trocken“, „feucht bzw. nass“ und „gefrorenes Wasser“ differenziert werden [FGSV 2010b]. Weiterhin ist auch bei der Erfassung der Umfelddaten für Streckenbeeinflussungsanlagen mit dem DE-Typ 79 „Zustand der Fahrbahnoberfläche für den Winterdienst nach DIN EN 15518“ eine Klassifikation gemäß den DIN 15518, Teil 3 möglich [BASt 2012].

Gefriertemperatur

„Die Gefriertemperatur ist diejenige Temperatur in Grad Celsius, bei der die an der Oberfläche der

Sonde vorhandene wässrige Taumittellösung zu gefrieren beginnt (Übergang in den festen Aggregatzustand)“ [FGSV 2010b]. Durch den Einsatz von Taustoffen kann die Gefrieretemperatur abgesenkt und somit Glättebildung bis zu einer bestimmten Temperatur verhindert werden. Die Gefrieretemperatur hängt somit von Art und Konzentration des vorhandenen Taustoffes ab.

Wasserfilmdicke

Gemäß DIN EN 15518, Teil 3 ist die Wasserfilmdicke die „mittlere Dicke des Wasserfilms auf einer planen Oberfläche“ [DIN 2011a]. Die Wasserfilmdicke ist einerseits eine Quantifizierung des Fahrbahnzustandes (s. Tabelle 3), andererseits ist ihre Ermittlung auch notwendig, um bei passiven Sensoren die elektrische Leitfähigkeit der wässrigen Lösung auf der Fahrbahn und damit den Restsalzgehalt und die Gefrieretemperatur zu bestimmen (s. Kapitel 2.4.3).

Temperatur des Straßenkörpers

Die Temperatur des Straßenkörpers (= Bodentemperatur) wird im Straßenkörper üblicherweise in 5 cm und 30 cm Tiefe direkt unter der Fahrbahnsonde gemessen [DIN 2011a, FGSV 2010b]. Hierfür wird ein separater Messfühler an die Fahrbahnsensorik zur Erfassung der weiteren fahrbahnbezogenen Parameter angebaut. Die Temperatur des Straßenkörpers ist vor allem für die Prognose der Fahrbahnoberflächentemperatur und des Fahrbahnzustandes von Bedeutung. Bei einem warmen Straßenkörper gefriert die Fahrbahnoberfläche evtl. nicht, obwohl zugleich die Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt liegt. Der Boden gibt dann seine Wärme an die Fahrbahnoberfläche ab. Andererseits kann ein kalter Straßenkörper Niederschlag auf der Fahrbahnoberfläche zum Gefrieren bringen, auch wenn die Lufttemperatur noch über dem Gefrierpunkt liegt.

Wasserfilmdicke	Fahrbahnzustand gemäß DIN 15 518	Fahrbahnzustand gemäß TLS
< 0,01 mm	Trocken	Trocken
0,01 bis 0,2 mm	Feucht	Feucht oder nass
0,2 mm bis 2 mm	Nass	
> 2 mm	Fließendes Wasser	

Tab. 3: Klassifikation des Fahrbahnzustandes in Abhängigkeit der Wasserfilmdicke

Schneehöhe

Die Schneehöhe wird als Höhe der Schneebedeckung auf einer definierten Fläche ermittelt [BAST 2012]. Zur Ermittlung der Schneehöhe sollte diese Fläche unbeeinflusst von Störgrößen wie Wind und Verwehungen sein und darf nicht im Wurfbereich der Schneeräumgeräte (Pflug, Fräse, Schleuder) liegen. Die Schneehöhe kann mit Ultraschallsensoren erfasst werden.

2.4.2 Erfassung der Wasserfilmdicke

Die Wasserfilmdicke kann entweder mit einem Fahrbahnsensor oder berührungslos von einem Mast neben der Fahrbahn gemessen werden.

Laut TLS [BAST 2012] soll der Messwert immer auf eine glatte ebene Fläche bezogen werden. Dies ist durch die geforderte Quer- und/oder Längsneigung der Fahrbahnoberfläche zur Entwässerung in der Praxis jedoch nicht umsetzbar [HAUSMANN 2009]. Ein weiterer Kritikpunkt bei der Messung der Wasserfilmdicke ist die Divergenz der Sensor- und der Fahrbahnoberfläche. Sie weisen unterschiedliche Wasserhaltevermögen auf und die Sensoroberfläche wird durch den Verkehr verändert. Dies führt zu einem Abperleffekt und einer inhomogenen Flüssigkeitsverteilung auf der Sensoroberfläche. Die exakte Messung der Wasserfilmdicke und der Leitfähigkeit ist bei diesem Zustand nicht möglich und ist damit eine nicht repräsentative, sporadische Messung. Durch Fahrzeugüberfahrten wird der Flüssigkeitsfilm zwar homogenisiert, aber gleichzeitig Flüssigkeit vom Sensor entfernt. [HAUSMANN 2009].

Es bestehen zum Teil erhebliche Probleme bei der Messung der Wasserfilmdicke. Einige Studien belegen eine Über- oder Unterschreitung der Toleranzgrenzen der Messwerte [BADEL et al. 2006; BUSCH/GROŠANIĆ 2011; HAUSMANN 2009]. Weiterhin wird in verschiedenen Berichten eine Abweichung der ermittelten Wasserfilmdicke zwischen Werten von Sensoren in Fahrbahnmitte und innerhalb der Rollspur angesprochen. Für Streckenbeeinflussungsanlagen wird empfohlen, den Sensor in der Rollspur des rechten Fahrstreifens einzubauen [BUSCH/GROŠANIĆ 2011]. Weiterhin wurde festgestellt, dass der berührungslose Sensor höhere Werte als die in der Fahrbahn eingebauten Sensoren ermittelte [BUSCH/GROŠANIĆ 2011].

Es wird deutlich, dass eine exakte Ermittlung einer repräsentativen Wasserfilmdicke derzeit nicht zuverlässig möglich ist. Diese ist für die Beurteilung des Fahrbahnzustandes auch nicht unmittelbar notwendig, hierfür ist eine qualitative Angabe (trocken, feucht, nass etc.) ausreichend. Allerdings ist bei passiven Systemen zur Erfassung des Gefrierpunkttemperatur die genaue Wasserfilmdicke zur Ermittlung des Restsalzgehaltes notwendig (s. Kapitel 2.4.3).

2.4.3 Erfassung der Gefrierpunkttemperatur

Bei der Ermittlung der Gefrierpunkttemperatur wird nach aktiven und passiven Systemen unterschieden:

- Bei der aktiven Gefrierpunktmessung wird die Sensoroberfläche abgekühlt und wieder erwärmt, um den Gefrierpunkt des aktuell vorhandenen Taumittel-Wasser-Gemisches auf der Fahrbahn zu bestimmen. Die Gefrierpunkttemperatur kann unabhängig vom eingesetzten Taumittel auf der Straße ermittelt werden, da die Temperatur gemessen und nicht errechnet wird. Der Sensor wird bündig mit der Fahrbahnoberfläche eingebaut. Ein Messzyklus zur Ermittlung der Gefriertemperatur kann bis zu 20 Minuten andauern. Bei der Verwendung eines aktiven Sensors kann es zur Eigenerwärmung kommen. Daher werden diese Sensoren mit zusätzlichen Sensoren, sogenannten „Pigtails“ ausgestattet, die die Fahrbahntemperatur außerhalb des Sensors messen.
- Passive Sensoren messen nicht direkt die Gefriertemperatur, sondern errechnen über die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Taumittel-Wasser-Gemisches in Kombination mit der gemessenen Wasserfilmdicke und der Gefrierkurve des verwendeten Taumittels (NaCl, CaCl₂ oder MgCl₂) den Gefrierpunkt. Somit ist es bei der passiven Messung notwendig, die Wasserfilmdicke mit hoher Genauigkeit zu bestimmen. Weiterhin ist die Berechnung abhängig vom verwendeten Taumittel, sodass der Sensor auf dieses kalibriert werden muss [DIN 2011a].

Problematisch bei der passiven Gefrierpunktmessung ist, dass die Sensoren den Tausalzgehalt nur messen können, wenn ein entsprechend dicker Wasserfilm auf der Sensoroberfläche vorhanden ist. Gemäß DIN EN 15518, Teil 3 ist es bei der passiven Gefrierpunktmessung notwendig, die Was-

serfilmdicke bereits ab einer Stärke von 0,05 mm zuverlässig zu bestimmen, obwohl für die Messung der Wasserfilmdicke an sich der Messbereich erst bei einer Wasserfilmdicke größer 0,2 mm beginnt und die zulässige Fehlergrenze bei 30 % liegt [DIN 2011a]. BADEL et al [2006] führen hierzu aus: „Allerdings können bereits dünnere Wasserfilme beim Gefrieren schon zu einem deutlichen Griffigkeitsabfall führen. Die eingesetzten Sensoren für den Fahrbahnzustand erkennen zwar diesen Wasserfilm messtechnisch, jedoch nicht das Tausalz in dieser Feuchte. Das hat zur Folge, dass Glättemeldealagen eine Glättewarnung abgeben, die im Einzelfall nicht berechtigt ist“. Sie regen an, die exakte Ermittlung der Gefriertemperatur schon für eine geringe Sensorüberdeckung von etwa 0,01 bis 0,02 mm Wasserfilmdicke zu ermöglichen.

Die Fehlerhaftigkeit und Ungenauigkeit der Gefriertemperatur- und Wasserfilmdickenmessung lässt auch Zweifel an der Repräsentativität der „nahezu punktförmigen Messverfahren“ aufkommen [BUSCH/GROŠANIĆ 2011]. Durch den Abtransport des Taumittels durch Sprühfahnenbildung und Flüssigkeitsverdrängung können kritische Glättesituationen entstehen. Auf dem inneren (linken) Fahrstreifen hat das aufgebrachte Taumittel meist mehr Zeit einzuwirken, da die Verkehrsstärke und der Schwerlastanteil hier geringer sind [HAUSMANN 2009]. Daher kann der Einsatz von zwei Fahrbahnsensoren in den Rollspuren beider Fahrstreifen zur Plausibilitätskontrolle vorteilhaft sein. Der Einsatz von zwei Fahrbahnsensoren kann darüber hinaus Aufschluss über den Taustofftransport in die Randbereiche geben. Auch kann der Einsatz von mehreren Fahrbahnsensoren an einem Standort zur Redundanz und der Erhöhung der Entscheidungssicherheit in Betracht gezogen werden [HAUSMANN 2009].

Die Sensoren zur Erfassung der Gefriertemperatur können einerseits fest in die Fahrbahn eingebaut werden, wodurch sie jedoch bei Defekten nicht ausgetauscht oder bei Erneuerung des Fahrbahnbelages nicht weiterverwendet werden können. Alternativ gibt es die Möglichkeit, die Sensorik in einer Messdose einzubauen, sodass sie ggf. auch im Labor geprüft oder kalibriert werden kann bzw. bei Erneuerung der Fahrbahndecke weiterverwendbar ist. Allerdings kann die Repräsentativität der erfassten Messwerte hierbei eingeschränkt werden, da der Sensor nicht mehr fest mit der Fahrbahn verbunden ist.

2.4.4 Berührungslose Sensoren zur Ermittlung der fahrbahnbezogenen Parameter

Von verschiedenen Herstellern werden berührungslose Messsysteme zur Erfassung der Fahrbahnparameter angeboten. Bei diesen ist die gesamte Sensorik an einem Mast neben der Fahrbahn montiert, sodass der Einbau von Sensoren in der Fahrbahn nicht mehr notwendig ist. Der mögliche Abstand zwischen dem Messgerät und der Fahrbahnoberfläche liegt je nach Hersteller zwischen sechs und 15 Metern bzw. acht und 15 Metern, der mögliche Messwinkel, beträgt zwischen 30 und 85 Grad [LUFFT 2011; VAISALA 2010].

Die Temperatur der Fahrbahnoberfläche wird berührungslos durch Messung der von der Oberfläche abgegebenen Infrarotstrahlung erfasst. Zur Ermittlung des Fahrbahnzustandes und der Bestimmung der Gefriertemperatur wird sowohl die Oberflächentemperatur als auch der Kristallanteil im Oberflächenwasser gemessen. Daraus lässt sich eine Aussage über die Gefrierpunktemperatur treffen. Eingesetzt werden spektroskopische Lichtemissions- bzw. Absorptionsmessungen. Befindet sich eine Wasserschicht mit Eisanteilen auf der Fahrbahn, so werden die spektralen Eigenschaften verändert und es können hieraus Rückschlüsse auf die Gefriertemperatur gezogen werden. Die berührungslose Sensorik ist nicht in der Lage, die Temperatur des Straßenkörpers in 5 bzw. 30 cm Tiefe zu messen.

Mithilfe der berührungslosen Sensoren kann im Gegensatz zu den punktuell messenden Fahrbahnsensoren eine Aussage über eine größere Fahrbahnfläche (Messfeldgröße variiert je nach Hersteller zwischen 45 x 60 cm und 1 bis 2 m² [EBERLE 2012]) gemacht werden. Teilweise sind diese Sensoren nach Herstellerangaben auch in der Lage, aus den spektroskopischen Messungen Aussagen zur Straßengriffigkeit abzuleiten sowie die Sichtweite zu messen [VAISALA 2010]. Vorteilhaft ist, dass bei Erneuerung der Fahrbahndeckschicht diese Sensoren nicht neu eingebaut werden müssen.

2.5 Einsatz von Kameras an Glättemeldeanlagen

Auch wenn Kameras nicht der unmittelbaren Messsensorik zuzurechnen sind, werden GMA vielfach mit Kameras ausgerüstet. Die Kamera vermittelt dem Betrachter einen visuellen Eindruck über die aktuellen Straßen- und Wetterverhältnisse. Aller-

dings ist selbst eine hochauflösende Kamera nicht in der Lage kritische Witterungsverhältnisse, wie beispielsweise überfrierende Nässe, aufzunehmen. Nur die Interpretation von meteorologischen Daten und den Messwerten der Fahrbahnsensoren lässt hierzu eine Aussage zu. Eine Kamera kann daher nur als Redundanz zur Überprüfung der Plausibilität und zur Verifizierung der Messwerte dienen, nicht aber die Messsensorik einer GMA vollständig ersetzen. Die Vorteile der Kameranutzung wurden beispielsweise durch Untersuchungen der Universität von North Dakota bestätigt [UND 2009].

Problematisch ist die Nutzung von Kameras bei schlechten Sichtverhältnissen, z. B. extremen Niederschlagsereignissen und bei Dunkelheit. Hier ist eine Infrarotbeleuchtung oder eine nachtsichtfähige Kamera notwendig.

Die Unterschiede von nachtsichtfähigen Kameras und beleuchteten Kamerastandorten wird an den beispielhaften Kamerabildern in Bild 4 sichtbar. Die Kamera an Standort A ist nicht nachtsichtfähig und wurde daher in unmittelbarer Nähe zu einer beleuchteten Bushaltestelle aufgestellt. Die Beleuchtung verursacht Spiegelungen auf der Fahrbahn, was für den Bildbetrachter die Aussage über den Fahrbahnzustand und eine eventuell vorhandene Nässe ohne zusätzliche Messinformationen von meteorologischen oder Bodensensoren nahezu unmöglich macht. Die nachtsichtfähige Kamera am Standort B liefert Bilder mit größerer Aussagekraft. Die Straße und die angrenzenden Flächen sind deutlich zu erkennen. Beide Bilder haben eine Auflösung von 640 x 480 Pixel und eine Dateigröße von maximal 50 kB. Diese Dateigröße ist verhältnismäßig klein, sodass die Bilder einfach auch über Mobilfunk übertragen werden können. Die Auflösung ist aber ausreichend zur optischen Überprüfung der GMA-Messwerte. Typisches Übertragungsintervall für die Bildübertragung an den Server ist 10 min.

Der Blickwinkel einer Kamera ist für die Qualität der Bilder ebenfalls wichtig. Es ist auch möglich, eine schwenkbare Kamera zu installieren, allerdings ist die Schwenkbarkeit bei geeigneter Ausrichtung des Kameraobjektives nicht unbedingt nötig und verursacht höhere Kosten für die Kamera. Inwieweit eine Infrarotkamera einen Einfluss auf die Messungen, bspw. durch Erwärmung der Fahrbahnoberfläche, hat, bedarf jedoch detaillierter Untersuchungen. Tabelle 4 fasst die Vor- und Nachteile einer Kamera für GMA zusammen.



Bild 4: Kamerabilder an den Standorten A (links) und B (rechts)

Vorteile	Nachteile
Verifizierung der Sensordaten – dient als Redundanz, das Vertrauen in die Messwerte wird erhöht	zusätzliche Beleuchtung während der Nacht bzw. nachtsichtfähige Kamera nötig
nicht über gemessene Parameter erfasste Straßenzustände können erkannt werden	nicht alle kritischen Fahrbahnzustände können eindeutig festgestellt werden (insbesondere überfrierende Nässe)
punktueller Messung der Sensorik kann auf größere Verkehrsfläche bzw. Streckenabschnitt bezogen werden	zusätzlicher hoher Energieverbrauch
	erhöhtes Datenvolumen

Tab. 4: Vor- und Nachteile von Kameras für GMA

2.6 Kosten für Glättemeldeanlagen

Über die Anwendung, die Technik sowie den qualitativen Nutzen von GMA wurden in der Vergangenheit mehrere Untersuchungen durchgeführt. Nur selten wurden jedoch die Kosten für GMA qualitativ ermittelt und berücksichtigt, häufig erfolgte lediglich eine reine Betrachtung der Investitions- und Anschaffungskosten. Nach der Erfahrung aus anderen Bereichen können die Betriebs- und Folgekosten jedoch einen hohen Anteil der Gesamtkosten eines Systems darstellen.

Die Investitionskosten für GMA wurden in mehreren Studien untersucht. In einer Studie der University of North Dakota wurden die Kosten für GMA im Zusammenhang mit der Entwicklung unterschiedlicher Einsatzalternativen von GMA für den US-Bundesstaat North Dakota ermittelt (s. Bild 5).

Die GMA waren bei diesem System modular aufgebaut, was bedeutet, dass unterschiedliche Bauteile und Sensoren von unterschiedlichen Herstellern kommen können. Für diese Konfiguration wurden Gesamtkosten für die Anschaffung und Errichtung einer Station von umgerechnet 25.400 € (1 \$ = 0,67 €) ermittelt. Für das Bauwerk (Fundament,

elektrische Zuleitung) fielen 11.700 € an, worin 6.900 € für das Fundament sowie 4.800 € für die elektrische Zuleitung enthalten sind. Der Mast sowie dessen Montage schlugen mit 2.600 € zu Buche. Für die Sensorik, die Datenübertragung und das notwendige Zubehör fielen insgesamt 11.100 € an. Sensoren zur Erfassung des Fahrbahnzustandes oder der Straßenkörpertemperatur wurden nicht berücksichtigt, wobei für die Straßenzustandssensorik mit weiteren 4.000 € bis 6.700 € zu rechnen wäre. In den Kosten für die Sensorik sind Geräte für folgende Parameter enthalten [UND 2009]:

- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchtigkeit,
- Niederschlag,
- Wind,
- Fahrbahntemperatur,
- Kamera für die Erfassung des Fahrbahnzustandes.

RUESS/HOLLDOORB [2007] berücksichtigten in ihrer Studie im Auftrag des Schweizerischen Ver-

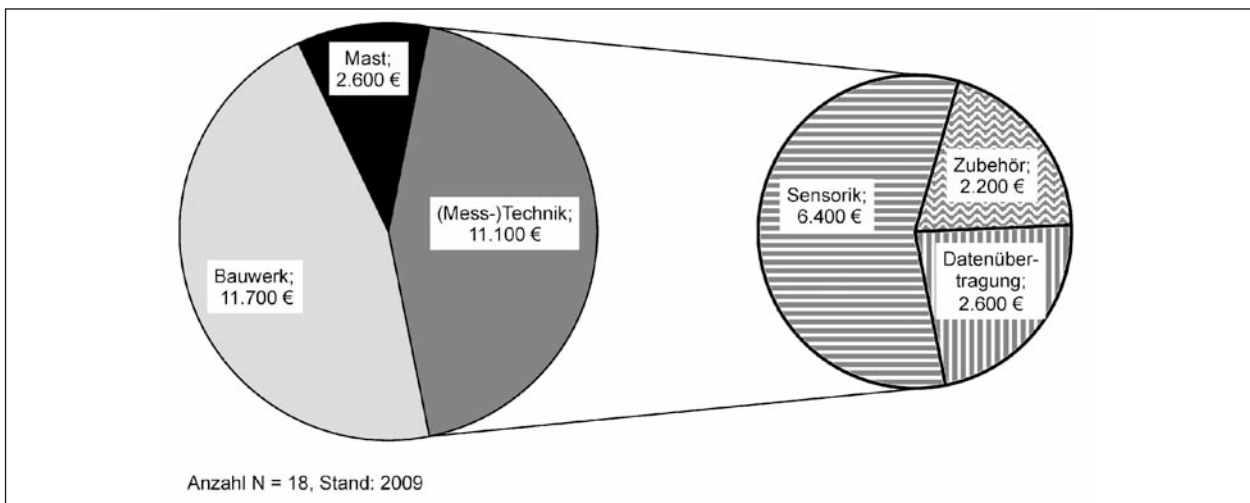


Bild 5: Bau- und Technikkosten für eine Glättemeldeanlage (1 \$ = 0,67 €) [UND 2009]

bandes der Strassen- und Verkehrsfachleute neben den Anschaffungskosten für die GMA-Station auch die Kosten für notwendige Investitionen in zentrale Hardware, Software sowie Planungs- und Schulungskosten. Die mittleren Investitionskosten für die GMA-Station belaufen sich in dieser Betrachtung auf umgerechnet (1 CHF = 0,63 €) rund 52.000 € und liegen damit deutlich über den durch die University of North Dakota veröffentlichten Werten. Möglicher Grund für diese Differenz kann die sehr aufwendige Ausstattung der schweizerischen Anlagen mit teils mehreren Bodensonden oder Kameras inklusive Nachtsichtmodus sein. Je 40 % der mittleren Investitionskosten fallen für die Sensorik sowie die Bau- und Installationskosten an. Für die zentrale Hardware, Software sowie Planungs- und Schulungskosten werden weitere Investitionen in Höhe von 13.000 € notwendig, was einem Anteil von 20 % entspricht.

Unter Berücksichtigung der Betriebs und Instandhaltungskosten wurde ein Gesamtkosten-Kennwert über 10 Jahre von umgerechnet 56.000 € bis 81.000 € je GMA-Station ermittelt. Aus der Detailanalyse dieser Untersuchungen lassen sich folgende wesentliche Kostentreiber für die Investitionskosten ableiten:

- Fahrbahnsensorik,
- Sensor für Niederschlag,
- Kamera mit Nachtsichtfähigkeit.

2.7 Autarke Stromversorgung für Glättemeldeanlagen

2.7.1 Energiebedarf

Für die Stromversorgung der GMA kann eine autarke Stromversorgung zum Einsatz kommen, wie etwa bei Baustellenabsicherung, netzfernen Anlagen zur Geschwindigkeitsüberwachung oder der Stromversorgung von Bojen und Schifffahrtszeichen [FVT 2012, UDOMI 2012].

Laut Angaben diverser Hersteller kann eine GMA ohne Kamera und berührungslose Temperaturmessung mit einer Solarleistung von 50 bis 100 Watt betrieben werden. Erfahrungen aus Island für eine GMA mit eingebauter Kamera und berührungsloser Infrarotmessung der Fahrbahntemperatur zeigen, dass eine Dimensionierung der Solarzellen mit ca. 150 Watt ausreichend ist. Dafür werden beispielsweise drei Solarpanels à 55 Watt eingebaut.

2.7.2 Speichermedium

Als Speichermedium für Strom sind herkömmliche Batterien nicht geeignet, für GMA sollte auf den Einsatz von hochwertigen Akkumulatoren mit langer Speicherdauer und hohem Speichervolumen Wert gelegt werden. Die gängigsten Speichermedien sind Blei-Säure-Akkumulatoren und Lithium-Ionen-Akkumulatoren.

Blei-Säure-Akkumulatoren sind die technisch ausgereifteste Variante. Der Wartungsaufwand ist eher gering, sie sind mit 50 bis 70 Euro preisgünstig und weisen eine geringe Selbstentladung und keinen Memoryeffekt auf. Zudem sind sie fast vollständig

wiederverwertbar, im Falle einer Entsorgung jedoch Sondermüll. Ist der Elektrolyt in Gel gebunden (Blei-Gel-Akkus), kann bei einem Unfall die enthaltene Schwefelsäure nicht auslaufen. „Sie sind jedoch nicht zur Schnellladung geeignet und vertragen keine Tiefentladungen. Nachteilig sind ihr hohes Gewicht, ihre Empfindlichkeit gegenüber hohen Temperaturen (über 45 °C) sowie relativ lange Ladezeiten (14 bis 16 h)“ [OERTEL 2008].

Der Lithium-Ionen-Akku kann die elektrische Energie in Lithium-Atomen in einem chemischen Prozess mit Stoffveränderung speichern. Da der Akku auch während der Winterzeit voll einsatzfähig sein muss und chemische Prozesse bei Kälte generell langsamer ablaufen, ist die Betriebstemperatur eines Akkus nicht zu vernachlässigen. Im Allgemeinen arbeiten Lithium-Ionen-Akkumulatoren optimal bei einer Temperatur zwischen 18 und 25 °C. Bis zu einer Temperatur von 0 °C sind Akkus von einigen Herstellern funktionsfähig, aber bereits bei einer Temperatur von 10 °C sinkt die Leistung des Akkus durch einen erhöhten Innenwiderstand deutlich ab. Es gibt aber Lithium-Ionen-Akkus mit speziellen Elektrolyten, die bis - 54 °C eingesetzt werden können. Hierbei ist der Preis für einen solchen Akkumulator zu beachten [OERTEL 2008].

2.7.3 Photovoltaik

Eine Photovoltaik-Zelle (PV-Zelle), auch Solarzelle genannt, ist in der Lage Strahlungsenergie durch z. B. Sonneneinstrahlung in elektrische Energie umzuwandeln. Es wird meist Gleichstrom erzeugt, der in einem Inselwechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden kann. Die „überschüssig“ gewonnene Energie kann mittels eines Akkus zwischengespeichert werden. Diese Anlagen bezeichnet man als „Inselanlagen“ [WIKI 2012].

Autarke Photovoltaik-Anlagen werden z. B. auch zur Energieversorgung schwimmender Schifffahrtszeichen genutzt. Seit Anfang der 90er Jahre wur-

den Seelaternen vom Propangas-Betrieb nach und nach umgerüstet [FVT 2012]. Die Stromversorgung durch Photovoltaik ist besonders wartungsarm und deutlich kostengünstiger als der Betrieb von Propangasanlagen.

Bei der Platzierung eines Solarpanels muss beachtet werden, dass schon eine geringe Beschattung der Zelle die produzierte Energiemenge erheblich reduzieren kann. An einer GMA kann das Solarpanel auch an einem geeignet hohen Mast der GMA selbst oder separat an einem zusätzlichen Mast angebracht werden. Der Einsatz von Solarpanels für GMA ist schon vielfach umgesetzt worden, allerdings haben Solarpanels auch einige Nachteile, z. B. kann Schnee das Panel bedecken und die Erzeugung von Strom unmöglich machen. Ein beheiztes Panel wäre als Lösung denkbar, wodurch der Energiebedarf jedoch größer wird. Dies wiederum muss in die Dimensionierung des Akkus und der Größe der Solarzelle eingehen. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht von Solarzellenmaterial nach Wirkungsgrad und benötigter Fläche [DGS-SOLAR 2013].

2.7.4 Windgeneratoren

Als Windgeneratoren bezeichnet man Kleinwindenergieanlagen bis max. 100 kW Nennleistung (Leistung, die eine Anlage abgeben kann), die elektrische Energie erzeugen können. Sie wandeln zuerst die im Wind enthaltene Leistung mithilfe eines Windrotors in mechanische und dann über einen Generator in elektrische Energie um. Die Drehung der Rotorblätter produziert Drehstrom, der durch einen Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt werden kann [BVWE 2012]. Für die Stromversorgung von GMA sind sogenannte Mikrowindturbinen gemäß DIN EN 61400-2:2007 ausreichend, die über eine Nennleistung von max. 5 kW sowie eine Rotorgröße bis max. 6 m² Windangriffsfläche verfügen [DIN 2007]. Für die Energiespeicherung sind zusätzliche Batterien notwendig.

Solarzellenmaterial	Modulwirkungsgrad	benötigte Fläche für 1 kW
Monokristallines Silizium	ca. 16 %	6-9 m ²
Polykristallines Silizium	ca. 14 %	7-10 m ²
Cadmium-Tellurid	ca. 9 %	9-17 m ²
Kupfer-Indium-Diselenid	ca. 11 %	9-17 m ²
Amorphes Silizium	ca. 7 %	15-26 m ²

Tab. 5: Wirkungsgrade und Platzbedarf verschiedener Materialien für Solarzellen [DGS-SOLAR 2013]

Abgesehen von der Leistung einer Windkraftanlage ist auch die Einteilung nach Bauarten möglich. Grundsätzlich wird zwischen

- vertikalen Rotationsachsen (VAWT = vertikal axis wind turbine) und
- horizontalen Rotationsachsen (HAWT = horizontal axis wind turbine) unterschieden.

Es gibt zwei häufig gebaute Vertikalachsenanlagen: Den Savonius- und den Darrieus-Rotor; für nähere Informationen wird auf PIEGDON [2006] verwiesen. Für GMA sind Vertikalachs-Rotoren generell geeignet, allerdings ist eine Kombination aus Darrieus- und Savonius-Rotor sinnvoll, um den Wirkungsgrad zu erhöhen und ein eigenständiges Anlaufen zu gewährleisten.

Bei Horizontalachsenanlagen werden die asymmetrischen Rotorblattprofile durch Auf- bzw. Abtrieb angetrieben. Es wird unterschieden zwischen der Anzahl der Rotorblätter sowie nach Luv- und Lee-läufern. Ein Luvläufer ist dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor vor dem Turm im Wind läuft; Lee-läufer sind hinter dem Turm im Windschatten angebracht. Vorteilhaft bei Leeläufern ist, dass sie sich selbst in den Wind drehen können. Allerdings kann dies zu Kabelverwicklungen im Turminnern führen. Problematisch ist außerdem, dass durch den Turm ein Windschatten entsteht, wodurch die Rotorblätter größeren Belastungen durch Turbulenzen ausgesetzt sind. Die Effizienz von Leeläufern ist daher geringer als die von Luvläufern. Aus diesem Grund sind Luvläufer deutlich verbreiteter und für den Einsatz an GMA geeigneter [PIEGDON 2006]. In der Regel haben Horizontalachsenanlagen drei Rotorblätter, da sie:

- einen Wirkungsgrad von derzeit bis zu 50 % erzielen,
- eine geeignete Schnelllaufzahl von ca. 8 haben und
- eine niedrigere Anlaufgeschwindigkeit besitzen. Die Anlaufgeschwindigkeit, ist die (ertragsversprechende) Windgeschwindigkeit, bei der die Windkraftanlagen von der Regelelektronik angefahren werden (siehe unten bspw. 2 m/s Phase 1).

Bei der Erzeugung regenerativen Stroms durch Windkraft ist der Standort besonders zu beachten (siehe auch Kapitel 5.2.3), da Hindernisse und Gelände in der Umgebung durch Bildung von Turbu-

lenzen den Wirkungsgrad einer Mikrowindenergie-turbine enorm beeinflussen können [GASCH/TWELE 2007]. Des Weiteren sind für die Berechnung möglicher Energieerträge Auftrittswahrscheinlichkeiten der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten für den geplanten Standort von Bedeutung. Nach KALTSCHMITT et al. [2006] ist ab einer Windgeschwindigkeit von ca. 2 m/s mit einem Energieertrag (Phase 1) zu rechnen. Ab 4 m/s beginnt Phase 2. Das Maximum an elektrischer Ausgangsleistung wird bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 12,5 m/s erreicht – Phase 3 beginnt und endet mit 25 m/s. Danach beginnt Phase 4 in der die Anlage zum Schutz abgeschaltet wird. Idealerweise wird das Windrad aus der Hauptwindrichtung (in Deutschland ist dies meist von West nach Ost) frei angeströmt. Technisch vorteilhaft sind möglichst große Masthöhen, da die Windgeschwindigkeit in höheren Luftschichten zunimmt und gleichzeitig die für die Rotorblätter belastenden Turbulenzen abnehmen [BVWE 2012].

An einer GMA muss das Windrad so angebracht werden, dass eine Verfälschung der Windrichtungs- oder Windgeschwindigkeitsmessung durch die vom Windrad erzeugte Luftströmung ausgeschlossen werden kann. Schwankungen oder Vibrationen, die der Windgenerator an der GMA verursacht, sollen möglichst gering sein. Viele der heutigen Windgeneratoren sind laut Herstellerangaben vibrationsfrei und sehr leise. Erfahrungen der isländischen Straßenbehörde haben jedoch abweichend zu den Herstellerangaben gezeigt, dass die Anbringung von Windgeneratoren am Mast der GMA nicht sinnvoll ist, da sie trotz modernster Technologie Vibrationen am Mast verursachen und diese die montierte Sensorik deutlich negativ beeinflussen. Erfolgreich eingesetzt werden Windgeneratoren auch bei ESS-Anlagen in North Dakota [FHWA 2008].

2.7.5 Brennstoffzellen

Brennstoffzellen (BSZ) sind galvanische Zellen, in denen ein kontinuierlich zugeführter Brennstoff und ein Oxidationsmittel in elektrische Energie umgewandelt werden. Die BSZ springt automatisch an, wenn die angeschlossene Batterie aufgeladen werden muss. Bei stationären BSZ steht die Kraft-Wärme-Kopplung im Vordergrund. Es werden Kraft (= Strom) und Wärme beispielsweise zur Hausenergieversorgung genutzt. Portable oder mobile BSZ hingegen haben den Fokus meist auf der Bereitstellung von elektrischer Energie [DROSTE-

FRANKE 2009]. Hier ist zur Speicherung ein Akkumulator nötig. Nachteilig bei einer Brennstoffzelle ist, dass sie in den kalten Monaten auch anspringt, um sich selbst zu heizen. Dies führt zu vermehrtem Verbrauch von Brennstoff und kann zu einer Erwärmung der direkt umgebenden Luft führen, was bei GMA wiederum die Messung der Lufttemperatur beeinflussen kann. Durch eine entsprechende Dämmung des Gehäuses der BSZ kann dies minimiert werden.

Die Nutzung einer BSZ als einzige Energiequelle bedeutet einen erhöhten Wartungsaufwand und vermehrtem Brennstoffverbrauch, was den Einbau einer Füllstands-Messung sinnvoll erscheinen lässt. Außerdem ist die Lebensdauer einer BSZ auf ca. 3 bis 4 Jahre begrenzt. Nach KARAMANOLIS [2003] kann die Lebensdauer einer stationären Brennstoffzelle mit 40.000 Betriebsstunden angesetzt werden.

Allgemein werden BSZ nach Art des verwendeten Brennstoffs und der Betriebstemperatur unterteilt. Die Art des verwendeten Brennstoffs hat Auswirkungen auf den elektrischen Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle. Eine BSZ-Klassifikation wird durch die Energieagentur NRW [EA.NRW 2012] vorgenommen. Die Betriebstemperatur kann je nach Typ von 90 °C bis 1.000 °C betragen. Für eine GMA kommen Hochtemperatur-Brennstoffzellen sowie die Phosphorsäure-Brennstoffzelle wegen der hohen Betriebstemperatur nicht infrage. Denkbar sind alkalische BSZ, Polymer-Elektrolyt-BSZ und Direkt-Methanol-BSZ, die im Folgenden näher erläutert werden. Des Weiteren wird eine Weiterentwicklung des Fraunhofer Institutes, die Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC) näher betrachtet.

Die alkalische Brennstoffzelle (AFC) ist mit einer wässrigen Kalilauge als Elektrolyt ausgestattet und nutzt als Brenngas Wasserstoff. Sie erreicht einen elektrischen Wirkungsgrad von ca. 70 %. Es können Leistungen von 1 bis 120 kWe (kW elektrische Leistung) erreicht werden. Vorteilhaft ist die Verwendung von preiswerten Katalysatoren (Nickel und Silber) sowie die hohe Zuverlässigkeit und die Robustheit des Systems. Allerdings sind die Anforderungen an die Reinheit der Reaktionsgase hoch [EA.NRW 2012].

In der Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC) werden Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie umgewandelt. Die eingebaute, Protonen leitende Polymermembran dient als Elektrolyt. Es kann ein elektrischer Wirkungsgrad von ca. 58 %

erreicht werden. Nutzbringend ist bei der PEFC die gute Kaltstarteigenschaft. Sie besitzt außerdem einen in Gel gebundenen Elektrolyten, sodass bei einem Unfall das Auslaufen der Flüssigkeiten verhindert werden kann. Zu einer hohen Leistungsdichte führt der einfache und kompakte Aufbau. Nachteilig sind der Einsatz von teuren Edelmetallkatalysatoren, wie Platin oder Platinlegierungen, die hohen Anforderungen an die Brenngasreinheit sowie der geringere Wirkungsgrad [EA.NRW 2012].

Eine Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC) ist ebenfalls eine Möglichkeit, elektrische Energie zu erzeugen. Sie gilt als eine Weiterentwicklung der PEFC und verwendet als Katalysator meist eine Mischung aus Platin und Ruthenium, was zu höheren Kosten führt. Insgesamt weist die DMFC jedoch vergleichsweise geringe Investitions- und Betriebskosten auf, da die erhöhte Energiedichte von Methanol längere Betriebszeiten erlaubt. Als Brennstoff wird flüssiges Methanol verwendet [EA.NRW 2012]. Im Gegensatz zu Wasserstoff ist Methanol als Brennstoff sicherer und unproblematischer zu transportieren und zu speichern. Dennoch müssen Vorschriften, wie das „Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße“ (ADR) und die „Technischen Regeln für Gefahrenstoffe“ (TRGS), beachtet werden, da Methanol in der Gefahrenstoffklasse 3FT eingestuft wird und als leicht entzündlich und giftig gilt [KELLER 2009]. In einigen Fällen in Deutschland mussten BSZ rückgebaut werden, da aufgrund der Toxizität von Methanol die Nutzung nicht genehmigt wurde. Insbesondere im Falle eines Fahrzeuganpralls kann der Methanol-Behälter undicht werden und die toxische Flüssigkeit im Erdreich versickern. Die DMFC hat ein geringes Systemvolumen und -gewicht sowie eine einfache Betriebsweise mit schnellem Ansprechverhalten und besserer Dynamik als eine PEFC. Im Vergleich der Leistungsdichte schneidet die DMFC allerdings schlechter ab. In der Verkehrstechnik werden Methanol-BSZ bereits eingesetzt, beispielsweise für fahrbare Absperrtafeln oder autarke Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen. Tankpatronen bekommt man in unterschiedlichen Größen: 5 Liter, 10 Liter und 28 Liter.

Die Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle (DEFC) ist eine Weiterentwicklung der DMFC-BSZ durch das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik [SCHIESTEL 2012]. Der Stoff Ethanol ist eine ungiftige Flüssigkeit, die weltweit ver-

füßbar ist. Darüber hinaus ist Ethanol umweltfreundlich herzustellen und ökologisch unbedenklich. Ein weiterer Vorteil gegenüber Methanol ist, dass Ethanol eine „vielfach höhere chemische Energiedichte als heutige Batterien“ besitzt (Energiedichte Ethanol 5,9 kWh/l > Energiedichte Methanol 4,4 kWh/l) [KELLER 2009]. Allerdings ist auch Ethanol leicht entzündlich und hat daher die Gefahrgutklassifizierung 3F. Nach Angaben der Entwickler ist die DEFC derzeit noch nicht konkurrenzfähig zu anderen Brennstoffzelltypen.

Die wesentlichen Eigenschaften der vorgestellten BSZ sind zusammenfassend in Tabelle 6 gegenübergestellt. Für die DEFC sind derzeit nur wenige Kennzahlen verfügbar, die Nutzung für GMA ist – auch wegen der geringen praktischen Erfahrung – nicht sinnvoll. Die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC) ist die bevorzugte Wahl für eine autarke GMA. Besonders der hohe Wirkungsgrad sowie die guten Kaltstarteigenschaften sind hier hervorzuheben.

2.8 Masten für Glättemeldeanlagen

Eine GMA zählt zu den Einrichtungen, die der Regelung, Lenkung und Sicherung des Straßenverkehrs dienen und ist somit als Straßenausstattung zu bezeichnen. Üblicherweise sind Verkehrszeichenmasten, Lichtmasten und Masten für Lichtsignalanlagen aus Stahl oder Aluminium. Diese Werkstoffe sind bereits hinreichend zertifiziert, wenn sie der DIN 12767 – „Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung – Anforderungen und Prüfverfahren“ entsprechen [DIN 2008].

Seit einiger Zeit sind im Bereich von Beleuchtungsmasten und Masten für Lichtsignalanlagen neue Entwicklungen zu verzeichnen. Hier ist ein Trend zu glasfaserverstärkten Kunststoffmasten (GFK) zu erkennen. Dieser Werkstoff ist bisher nicht im Technischen Regelwerk unmittelbar berücksichtigt, wird jedoch bereits für Masten der Straßenausstattung eingesetzt. Mastenhersteller wie Europoles erwar-

Eigenschaften	AFC	PEFC	DMFC	DEFC
Katalysatoren	Verwendung von preiswerten Katalysatoren (Nickel und Silber)	Einsatz von Edelmetallkatalysatoren, wie Platin oder Platinlegierungen	erhöhter Bedarf von Edelmetallkatalysatoren (Platin oder Platinlegierungen)	
elektrischer Wirkungsgrad	bis zu max. 70 %	ca. 58 %	65-70 % bei aus Erdgas gewonnenem Methanol; 60 % bei aus Biomasse gewonnenem Methanol	zwischen 75 und 95 %
Betriebsmittel	Blei und Bleidioxid und der Elektrolyt aus verdünnter Schwefelsäure		Toxizität und leichte Entzündlichkeit von Methanol; Beachtung der Vorschriften ADR und TRGS sicherer und unproblematischer Transport von Methanol	Ethanol leichtentzündlich; höhere Energiedichte als Methanol; Ethanol ungiftige Flüssigkeit, weltweit verfügbar, umweltfreundlich herzustellen und ökologisch unbedenklich
Brenngasreinheit	hohe Anforderungen an die Reinheit der Reaktionsgase (Wasserstoff in Industriequalität)	hohe Brenngasreinheit erforderlich		
Kaltstarteigenschaften		gute Kaltstarteigenschaften	einfachere Betriebsweise mit schnellerem Ansprechverhalten und besserer Dynamik	
Betriebs-temperatur	60 bis 90 °C	bis 100 °C	bis 100 °C	
Sonstiges	hohe Zuverlässigkeit nicht für Tiefenentladung geeignet	einfacher und kompakter Aufbau (hohe Leistungsdichte); festes Elektrolyt (keine auslaufenden Flüssigkeiten)	reduzierte Leistungsdichte geringe Investitions- und Betriebskosten; geringeres Systemvolumen und -gewicht einfaches Systemdesign	

Tab. 6: Gegenüberstellung der Eigenschaften verschiedener Brennstoffzellen-Arten

ten, dass durch den Werkstoff GFK die Tragkonstruktionskategorie der GMA-Masten von „nicht energieabsorbierend“ (NE) nach „hoch energieabsorbierend“ (HE) wechselt und somit die passive Sicherheit erhöht werden kann. Besonders das geringe E-Modul ist für die Anwendung von GFK-Masten bei GMA neben der Straße relevant. Dadurch ist der GFK-Mast nachgiebig und kann Aufprallenergie teilweise absorbieren. Eine Prüfung von GMA-Masten aus GFK ist allerdings bisher nicht bekannt. Die Ergebnisse der Prüfung anderer Masten, z. B. Lichtmasten, ist nicht unmittelbar auf GMA-Masten übertragbar, da diese dem Crashtest ohne Ausstattungsgegenstände unterzogen wurden. Bei einem Anprall eines Fahrzeuges an einen GMA-Mast werden aber die am Mast befestigten Komponenten, wie Sensorik, Kamera sowie Bauteile der autarken Stromversorgung, so stark beschleunigt, dass sie auf das Fahrzeug fallen können. Als Referenzobjekt kann eher eine Lichtsignalanlage genannt werden. Diese sind ohne Ausleger ca. 3,2 m hoch und haben vergleichbar zu GMA Signalgeber am oberen Ende installiert.

Im Autobahnbereich sind häufig bereits passive Schutzeinrichtungen am rechten Fahrbahnrand vorhanden, sodass die GMA hinter dieser errichtet werden oder auf benachbarte Standorte mit vorhandener passiver Schutzeinrichtung zurückgegriffen werden kann. Im nachgeordneten Netz ist eine passive Schutzeinrichtung an den vorgesehenen Aufstellorten seltener vorhanden. Daher ist sowohl vereinzelt bei Standorten an der Autobahn als auch im nachgeordneten Netz zu überprüfen, ob eine passive Schutzeinrichtung für eine GMA notwendig ist.

Relevantes Regelwerk sind die „Grundsätze für die Aufstellung von Verkehrsschildern an Bundesfernstraßen“. Danach bedürfen kleine bis mittlere Verkehrsschilder keiner Schutzeinrichtungen, „soweit dabei Stahlrohre mit einem Außendurchmesser von nicht mehr als 76,1 mm Durchmesser und 2,9 mm Wanddicke bzw. Aluminiumrohre von nicht mehr als 76,0 mm Durchmesser und 3,0 mm Wanddicke verwendet werden. Derartige Konstruktionen können als leicht umfahrbare bzw. leicht verformbare Konstruktionen behandelt werden“ [BMVBW 2000]. Bislang wurden in diesem Regelwerk nur Angaben zu Masten und Pfosten aus Stahl oder Aluminium gemacht. Andere Werkstoffe wie beispielsweise glasfaserverstärkte Kunststoffe sind nicht genannt. Hält der GMA-Mast die genannten Durchmesser und Wandstärken nicht ein, so ist die „Richtlinie für

passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme – RPS“ [FGSV 2009] anzuwenden. In den RPS wird unterschieden zwischen schutzbedürftigen Einrichtungen und Hindernissen, von denen Gefahr ausgeht; dazu gehören auch GMA. Fahrzeuginsassen und Dritte sind deshalb durch eine passive Schutzeinrichtung zu schützen. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine GMA der Gefährdungsstufe 4 gemäß RPS zuzuordnen ist, da der Mast als „nicht umfahrbar/abscherbar“, aber „noch verformbar“ bezeichnet werden kann.

Weitere Entscheidungskriterien für die Notwendigkeit einer passiven Schutzeinrichtung sind die zulässige Höchstgeschwindigkeit und die durchschnittliche, tägliche Verkehrsstärke (DTV). Für die vorgesehenen Standorte an Straßen des nachgeordneten Netzes mit i. d. R. DTV größer 3.000 Kfz/24h bzw. zulässigen Höchstgeschwindigkeiten größer 80 km/h ist eine passive Schutzeinrichtung mit der Aufhaltestufe N2 zu errichten [DIN 2011b].

Auf eine passive Schutzeinrichtung kann gemäß RPS verzichtet werden, wenn das Hindernis einen ausreichenden Abstand zur Fahrbahn hat. Dieser Abstand ist abhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und den Querschnittsverhältnissen von Einschnitts- oder Dammböschung. Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit zwischen 80 und 100 km/h beträgt dieser Abstand beispielsweise 7,5 m, wenn das Mastfundament auf Höhe der Fahrbahn angeordnet wird. Bei Anordnung in einem Einschnitt kann sich dieser Abstand gemäß RPS bis auf minimal 4 m reduzieren. Bei der Verwendung von Stahl- oder Aluminiummasten für eine GMA sind die vorgenannten Regelwerke zu beachten. Zur Verwendung von GFK-Masten und zum daraus resultierenden Verzicht auf eine passive Schutzeinrichtung treffen sie hingegen keine Aussage. Daher kann zum derzeitigen Zeitpunkt keine abschließende Aussage getroffen werden, ob eine passive Schutzeinrichtung bei einer GMA mit GFK-Mast erforderlich ist.

2.9 Modularer Aufbau von Glättemeldealanlagen

GMA werden in der Regel als komplette Anlagen von einem Hersteller bezogen, um zum einen die mit den verschiedenen Sensoren gemessenen Daten optimal aufeinander abstimmen zu können und zum anderen eine einfache Schnittstelle zur Auswertung bzw. Visualisierungssoftware des Her-

stellers zu haben. Weiterhin sind dadurch Gewährleistungsfragen auf einen Lieferanten reduziert. Andererseits führt dieser einheitliche Bezug häufig dazu, dass die zu installierende Sensorik nicht flexibel den tatsächlichen Anforderungen an einer spezifischen Messstelle angepasst werden kann, sondern auch durch die anbieterseitige Verfügbarkeit bestimmt wird. Beim Ersatz vorhandener GMA oder der Errichtung neuer GMA wird wegen der einfachen Integration häufig auf die GMA des bereits eingesetzten Anbieters zurückgegriffen. Diese mangelnde Flexibilität und Fixierung auf einzelne Anbieter kann sich negativ auf die Kosten für GMA auswirken.

Dass der modulare Aufbau von GMA Vorteile für die Anwender erwarten lässt, wird auch durch eine Studie in den USA bestätigt. Laut einer Umfrage kann eine Modulbauweise zur Reduktion von Installations- und Unterhaltskosten und einer Verdichtung des Messstellennetzes führen. Es wird herausgestellt, dass nicht alle GMA auch den vollen Sensorumfang benötigen, sondern die Sensorauswahl vom Standort der GMA und der Auswahl von für die Einsatzleiter wichtigen Parametern abhängig ist [UND 2009]. Die Schnittstellendefinition wird auch hier problematisch eingeschätzt. Die „ESS Open Architecture“ des bisher entwickelten Prototypen erlaubt es, einzelne Sensoren einer GMA hinzuzufügen, zu erneuern oder auszutauschen.

In Österreich besteht bereits seit 2010 das Forschungsprojekt „OpenWIS“, das den modularen Aufbau von Wetterstationen zum Ziel hat und die verschiedenen Winterdienst-Informationssysteme zusammenfassen soll [ASFINAG 2012]. Es existiert eine Installationsanleitung für „OpenWIS“ [ASFINAG 2013]. Bis August 2013 sind bereits 50 GMA installiert, in denen bis zu 15 Sensoren unterschiedlicher Hersteller eingebunden werden können [ASFINAG 2013]. Laut ASFINAG zeigen auch einzelne Kommunen Interesse an dieser modularen Struktur.

2.10 Zusammenfassung des vorliegenden Kenntnisstandes

Die dokumentierten Recherchen zeigen die bislang unternommenen Bestrebungen zur Definition der Bestandteile von Glättemeldealagen sowie deren Prüfung. Weiter zeigen die Untersuchungen, welche Parameter zu erfassen sind, um die unterschiedlichen Glätteformen zu ermitteln (siehe

Tabelle 2). Es ist deshalb sinnvoll, für alle beschriebenen Sensoren (siehe Kapitel 2.3 und 2.4) unterschiedliche Sensortypen und baugleiche Sensoren grundsätzlich für ihre Eignung umfassend zu prüfen. Vorteilhaft ist die Prüfung jedes Sensors nach dem Einbau und bei Abnahme, eine Kontrolle nach einem längeren Betrieb sowie eine regelmäßige Kalibrierung des Sensors, um die Zuverlässigkeit zu steigern und die Messgenauigkeit zu verfeinern.

Die Untersuchungen zeigen weiter, dass die Sensorik gerade im Bereich der Ermittlung fahrbahnbezogener Parameter methodisch bedingte Schwachstellen beinhaltet, die einen Einfluss auf die Messergebnisse haben. Problematisch ist die Ermittlung der Fahrbahnoberflächentemperatur und vor allem die Ermittlung der Wasserfilmdicke. Für den Bereich der Wasserfilmdicke ist vor allem die Divergenz zwischen Anforderung und technischer Realisierbarkeit als problematisch zu bewerten. Hier ist im Besonderen das unterschiedliche Wasserrückhaltevermögen zwischen dem Sensor und der Fahrbahnoberfläche sowie unterschiedlichen Werten beim Einsatz von berührungslosen und in der Fahrbahn verbauten Sensoren zu nennen. Die Probleme bei der Wasserfilmmessung wirken sich bei passiven Sensoren auch auf die Ermittlung der Gefriertemperatur und dadurch auch auf die Glättevorhersage aus.

Vermeehrt werden Kameras an GMA eingesetzt, da mit Ihnen eine einfache Plausibilisierung der Messdaten erfolgen kann, was zu einer höheren Akzeptanz der angezeigten Daten beitragen kann. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass insbesondere Reifglätte auf den Kamerabildern in der Regel nicht erkannt werden kann. Auch wenn Kameras nicht Bestandteil der Messtechnik einer GMA sind, wird ihr Einsatz im Rahmen des FE-Vorhabens weiter untersucht.

Aus den vorliegenden Untersuchungen lässt sich ableiten, dass die Kosten für GMA stark von der Sensorik und der Art der Stromversorgung abhängen. Neben den Investitionskosten sind hierbei auch die Betriebskosten, beispielsweise bei der autarken Stromversorgung mit Brennstoffzellen, Photovoltaik oder Windenergie, zu berücksichtigen. Hybridsysteme haben zwar eine höhere Versorgungssicherheit, sind jedoch deutlich teurer. In Bereichen von geringerer Sonneneinstrahlung bzw. in den Wintermonaten kann Windenergie vorteilhaft sein.

Bei den Kosten sind ggf. auch die Aufwendungen für passive Schutzvorrichtungen zu berücksichtigen, die zum Schutz vor einem Anprall an den Mast der GMA notwendig sind. Inwieweit hierauf bei Einsatz von GFK-Masten verzichtet werden kann, wird im geltenden Technischen Regelwerk nicht beurteilt.

Zur Kostenoptimierung und Qualitätssteigerung kann auch der modulare Aufbau von GMA beitragen, bei dem die Komponenten verschiedener Hersteller anforderungsorientiert kombiniert werden. Allerdings sind hierbei die Schnittstellen eindeutig zu definieren, um z. B. Gewährleistungsprobleme klar zuzuordnen zu können.

3 Lebenszykluskosten für Glättemeldeanlagen

3.1 Methodischer Ansatz und Grundlagen

Ziel der durchgeführten Lebenszykluskosten-(LZK-)Analyse ist es, zusätzlich zu den teilweise bekannten Daten für Anschaffung und Installation (Investitionskosten) auch Kosten für den Betrieb der GMA sowie des Systems (Folgekosten) zu erhalten. Hieraus können Kostenkenngrößen für die Gesamtkosten einer GMA, für die jährlichen Betriebskosten einer GMA sowie für kalkulatorische Jahresgesamtkosten ermittelt werden. Parallel können aus den gewonnenen Daten kostentreibende Positionen für die Investition und für den Betrieb herausgearbeitet werden, um hieraus Rückschlüsse auf eine eventuell geänderte Konfiguration für GMA im nachgeordneten Netz ziehen zu können. Letztendlich können die GMA möglichst kostengünstig einen optimalen Nutzen für den Anwender bieten, um einen weiteren Ausbau des GMA-Netzes auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen zu ermöglichen.

Die Kostendaten wurden in den Straßenbauverwaltungen zu drei Kategorien abgefragt, welche wiederum mehrere Unterkategorien (s. Anhang 2) beinhalten:

- Kosten für Errichtung/Implementierung/Erweiterung,
- Kosten für Erneuerung/Instandsetzung/Reparaturen,
- Kosten für Betrieb und Nutzung.

Die durchgeführte LZK-Analyse hatte ihren Schwerpunkt auf einer analytischen, rückwärtsgerichteten Sichtweise. Es wurden in den Straßenbauverwaltungen somit ausschließlich bereits entstandene Kosten erfasst und analysiert.

Wie aus der Kostengliederungsstruktur in Anhang 2 deutlich wird, wurde auf die Erfassung von Erlösen und Nutzen gänzlich verzichtet, auch eine Erfassung von kalkulatorischen Zahlungen wie Abschreibung oder Finanzierung und eine Erfassung von qualitativen Faktoren (z. B. Ausfallzeiten) erfolgte nicht. Prozesse am Ende der Lebenszyklen (Entsorgung, Verwertung) wurden gleich wie die vorweg genannten Parameter nicht berücksichtigt, da diese zum größten Teil in den Investitionskosten einer Ersatzbeschaffung enthalten sind.

Die Kategorisierung der Kostengliederungsstruktur erfolgt in Anlehnung an das dreidimensionale Modell der DIN EN 60300-3-3 [DIN 2005]. Die Kategorien selbst werden in Anlehnung an die DIN 31051 „Grundlagen der Instandhaltung“ [DIN 2003] auf Basis einer 3-gliedrigen Struktur, welche durch weitere Unterkategorien ergänzt wird, wie folgt differenziert:

- Investitionskosten: Planung/Schulung; Anschaffung; Errichtung & Installation,
- Folgekosten: Betrieb; Inspektion & Wartung; Instandsetzung; Erweiterung & Verbesserung.

Ein weiterer Schritt in der Kategorisierung der Daten erfolgt durch die Zuordnung der einzelnen Positionen zu einer Produktgliederungsstruktur. Hierbei werden die Kosten den einzelnen Bestandteilen einer GMA zugeordnet, die sich aus den Erfahrungen innerhalb des Forschungsprojekts sowie den Erkenntnissen aus den Kostenerfassungen ergeben haben. Die Kategorisierung erfolgt hierbei analog zu den Kostenarten:

- Glättemeldeanlage: Bauwerk, Anlage (Mast, Energieversorgung, Schaltschrank etc.), Messtechnik,
- System: EDV (Hardware); Software/Auswertungen.

Einzelne Unterkategorien werden weiter untergliedert, um eine zusätzliche Abstufung zu ermöglichen. Die vollständige Kosten- und Produktgliederungsstruktur kann in Anhang 2 eingesehen werden.

Zusätzlich werden die Ergebnisse nicht unwesentlich von weiteren Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren sollen nachfolgend beschrieben werden.

Für die Berechnung der LZK als Gesamtkosten und als durchschnittliche jährliche Kosten sind mehrere Einflussfaktoren zu berücksichtigen und vorab zu definieren:

- Zinssatz,
- Inflation,
- kalkulatorische Lebensdauer,
- angewandte Berechnungsmethode.

Der Zinssatz wird benötigt, um Zahlungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, durch Auf- oder Abzinsen auf einen gemeinsamen Zeitpunkt zu beziehen. Hierfür sind die unterschiedlichsten Quellen verfügbar (s. Tabelle 7). Für die LZK-Analyse von GMA wird ein Zinssatz von 3,0 % p.a. angenommen.

Die Inflation wird in den Berechnungen und Analysen integriert, wobei diese im angewandten realen Zinssatz berücksichtigt wird. Hierzu wird der nominale Zinssatz mit der Inflationsrate verrechnet, wobei diese vom Statistischen Bundesamt als Verbrauchpreisindex veröffentlicht wird [DESTATIS 2012]. Für 2011 betrug die Inflationsrate beispielsweise 2,3 %, was unter Anwendung des gewählten nominalen Zinssatzes von 3,0 % p.a. einen realen Zinssatz von 0,7 % p.a. ergibt.

Die kalkulatorische Lebensdauer wird in den Berechnungen einheitlich mit 10 Jahren angesetzt.

Quelle	Zinssatz
Deutsche Bundesbank [BBK 2012]	1,46 % p. a.
BMF-Rundschreiben [BMF 2012]	3,10 % p. a.
KVR-Leitlinie [DWA 2012]	3,00 % p. a.
EWS [FGSV 1997]	3,00 % p. a.
ABBV [BMVBS 2010]	4,00 % p. a.
Gewählter Zinssatz	3,00 % p. a.

Tab. 7: Mögliche Zinssätze für eine GMA-LZK-Analyse

Diese resultiert zum einen aus den im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Vorgesprächen zur LZK-Analyse. Hierbei wurde deutlich, dass GMA zwar häufig deutlich länger als 10 Jahre genutzt werden, die technische Lebensdauer jedoch nach ca. 10 bis 12 Jahren erreicht wird. Zum anderen resultiert diese Größe aus den Tabellen für Absetzungen für Abnutzung (AfA-Tabellen) des Bundesfinanzministeriums. Für GMA an Flughäfen gibt die Tabelle für „Luftfahrtunternehmen und Flughafenbetriebe“ unter Kapitel 3.4.3 für Glatteisfrühwarnsysteme eine betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von 8 Jahren an [BMF 1994].

Berechnungsmethode: Die Berechnung der LZK wurde anhand eines 5-stufiges Verfahrens durchgeführt (s. Bild 6). Die ersten Schritte erfolgen dabei getrennt nach Investitions- und Folgekosten, da diese sich aufgrund der in der Umfrage abweichenden Zeiträume auf unterschiedliche Bezugsgrößen beziehen. Die Berechnung erfolgt unter der Anwendung der Endwertmethode als Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung. Dabei werden in der Vergangenheit entstandene Kosten und Zahlungen auf den gewählten Betrachtungszeitpunkt aufgezinnt. Dieser Betrachtungszeitpunkt wurde hierbei auf das Ende des Jahres 2011 gelegt.

Die Daten wurden in vier Straßenbauverwaltungen in Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen erhoben, nähere Angaben hierzu enthält Kapitel 3.2. Dabei wick die Quantität der Daten, auch in Abhängigkeit der Anzahl der vorhandenen GMA, stark voneinander ab (s. Tabelle 8).



Bild 6: Berechnungsmethode der GMA-LZK-Analyse

Straßenbauverwaltung	Anzahl GMA	Investitionskosten	Folgekosten
Landkreis Ravensburg	3 GMA	2009-2011	2009-2011
Staatliche Bauämter Bayern	134 GMA	2008-2011	-
ABD Nordbayern	62 GMA	2000-2011	2007-2011
Straßen.NRW – Unterzentrale Werl	18 GMA	1985-2011	2008-2011

Tab. 8: Datenverfügbarkeit für die LZK-Analyse je Straßenbauverwaltung

Die Daten wurden im Rahmen der Auswertung harmonisiert, um vergleichbare Kenngrößen ermitteln zu können. Daten für Betrieb, Wartung und Instandhaltung (Folgekosten) waren nicht in allen Straßenbauverwaltungen verfügbar. Dies ist mit der bisher sehr kurzen Nutzungsdauer des Gesamt-Systems sowie verwaltungsinternen Veränderungen zu erklären. Ebenfalls wurde in Vorgesprächen zur Kostenerfassung deutlich, dass eine anlagenscharfe Kostenerhebung vor allem bei größeren GMA-Systemen nicht möglich ist. Die Kostenerfassung in den Straßenbauverwaltungen sieht eine GMA-genaue Kostenerfassung im Rahmen der Kostenstellenrechnung nicht vor.

Zur Berücksichtigung der Eigenleistung in den LZK müssen die in der Erfassung aufgelisteten Stundenwerte mit einem einheitlichen Stundensatz für Eigenleistung multipliziert werden. Dieser wird für die vorliegende Auswertung sowie die durchgeführte Analyse mit 35 € je Arbeitsstunde angenommen. Es werden jedoch nur direkte Eigenleistungen aus dem operativen Bereich berücksichtigt, die auch den GMA zugeordnet werden. Indirekte Eigenleistungen, wie z. B. die Teilnahme an Schulungen, wird in der Regel nicht separat erfasst, und bleibt daher unberücksichtigt. Ebenso werden die verwaltungsseitigen Aufwendungen (Planung, Ausschreibung & Vergabe, Bauüberwachung etc.) nicht in der LZK-Analyse berücksichtigt.

3.2 Berücksichtigte GMA-Systeme

3.2.1 Landkreis Ravensburg – Straßenmeisterei Wangen i. A.

Die Straßenmeisterei sowie die dort installierten GMA sind in Kapitel 4.1.1 beschrieben.

3.2.2 Staatliche Bauämter Bayern

Die Staatlichen Bauämter sind in Bayern für die Planung, den Bau sowie den Betrieb aller Bundes- und Staatsstraßen sowie Kreisstraßen zuständig. Organisatorisch sind die Staatlichen Bauämter der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern zugeordnet. Das Bundesland Bayern gliedert sich in 22 Staatlichen Bauämter, in die auch die Kreisfreien Städte integriert sind. Die Staatlichen Bauämter betreuen ein Streckennetz von rund 17.400 km mit insgesamt 134 GMA (s. Tabelle 9).

Straßenklasse	Streckenlänge	Anzahl GMA
Bundesstraßen	6.521 km	75 GMA
Staatsstraßen	5.044 km	51 GMA
Kreisstraßen	5.878 km	8 GMA
Gesamtnetz	17.443 km	134 GMA

Tab. 9: Durch die Staatlichen Bauämter Bayerns betreutes Streckennetz [STMI 2012]

Die 134 GMA wurden in den Jahren 2000 bis 2011 errichtet, wovon im Zeitraum zwischen 2008 und 2011 103 GMA errichtet wurden. Für den Zeitraum 2008 bis 2011 konnten im Rahmen der durchgeführten Abfrage Kosten für die Anschaffung und Installation der GMA zur Verfügung gestellt werden. Trotz der unterschiedlichen Zuständigkeiten sind die GMA meist gleich bzw. sehr ähnlich aufgebaut. Alle untersuchten GMA haben Sensoren für folgende Parameter:

- Lufttemperatur,
- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Fahrbahnzustand,
- Wasserfilmdicke,
- Gefriertemperatur,
- Niederschlag (Art, Intensität),
- relative Luftfeuchte.

Weitere häufig verbaute Sensoren waren Sensoren zur Ermittlung von:

- Temperatur des Straßenkörpers in 5 cm Tiefe (N = 107; p = 87 %),
- Temperatur des Straßenkörpers in 30 cm Tiefe (N = 93; p = 69 %),
- Taupunkttemperatur (N = 103; p = 77 %),
- Kamera (N = 105; p = 78 %),
- Wind (Geschwindigkeit, Richtung) (N = 77; p = 57 %),
- Schneehöhe (N = 30; p = 22 %),
- Sichtweite (N = 30; p = 22 %).

Die Stromversorgung erfolgt auf unterschiedliche Arten. 85 GMA (p = 63 %) der GMA werden über das vor örtliche Stromnetz versorgt. 28 GMA (p = 21 %) besitzen lediglich Photovoltaik-Paneele zur Energieversorgung, 17 GMA (p = 13 %) werden durch ein Hybrid-System aus Photovoltaik und Brennstoffzelle mit Energie versorgt. Für vier GMA

liegen keine Angaben vor. Die Datenübertragung erfolgt bei allen GMA per Mobilfunk.

3.2.3 Autobahndirektion Nordbayern

Die Autobahndirektion Nordbayern (ABDNB) ist als Landesbehörde in Bayern zuständig für die Planung, den Bau sowie den Betrieb von 1.317 km Bundesautobahnen in Nordbayern. Die Betreuung des Streckennetzes erfolgt durch 22 Autobahnmeistereien und 5 Mischmeistereien. Insgesamt sind 62 GMA installiert.

Die 62 in der Abfrage erfassten GMA im Zuständigkeitsbereich der ABDNB wurden in den Jahren 1980 bis 2011 errichtet, wobei seit dem Jahr 2000 rund 24 neu hinzukamen bzw. komplett ersetzt wurden. Für diese 24 GMA konnten im Rahmen der Abfrage Daten für Investitionskosten zur Verfügung gestellt werden. Die GMA sind meist sehr ähnlich ausgestattet. Alle GMA verfügen über Sensoren zur Erfassung folgender Parameter:

- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchte,
- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Fahrbahnzustand,
- Gefriertemperatur,
- Niederschlag (Art, Erkennungszeit, Intensität).

Einige Parameter sind nur an ausgewählten GMA verfügbar. Diese sind:

- Taupunkttemperatur (N = 59; p = 95 %),
- Wind (Richtung, Geschwindigkeit) (N = 40; p = 65 %),
- Temperatur des Straßenkörpers (N = 13; p = 21 %).

Die GMA wurden von zwei unterschiedlichen Herstellern bezogen; der Lieferant wechselte 2006. Alle GMA sind über das an BAB verfügbare Betriebsnetz an die Stromversorgung sowie die Datenübertragung angeschlossen. Kosten für autarke Energiegewinnung bzw. Mobilfunkübertragung fallen somit nicht an.

3.2.4 Nordrhein-Westfalen – Straßen.NRW/ Unterzentrale Werl

Die Planung, der Bau sowie der Betrieb der BAB, Bundesstraßen und Landesstraßen in Nordrhein-

Westfalen (NRW) wird durch den Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) durchgeführt. Der Landesbetrieb betreut dabei ein Streckennetz von insgesamt rund 20.000 km und ca. 240 GMA. In der Abfrage wurden Informationen aus dem Bereich der Unterzentrale (UZ) Werl zur Verfügung gestellt, der ein Streckennetz von 140 km BAB und 70 km Bundesstraßen zugeordnet ist.

Die 18 GMA der UZ Werl wurden in den Jahren 1985 bis 2012 errichtet bzw. grundlegend erneuert. Wie in den bisher beschriebenen Systemen auch, sind die GMA sehr homogen ausgestattet. In allen GMA sind Sensoren zur Erfassung folgender Parameter eingebaut:

- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchte,
- Taupunkttemperatur,
- Fahrbahnzustand,
- Niederschlag (Art, Erkennungszeit, Intensität).

Die Fahrbahnoberflächentemperatur wird in 17 GMA (94 %), die Wasserfilmdicke an 6 GMA (33 %) und die Gefriertemperatur an einer GMA (6 %) ermittelt. Alle GMA der UZ Werl sind vom gleichen Hersteller, der auch die Anzeige-Software, über die die Meistereien auf die Werte aller GMA in NRW zugreifen können, geliefert hat. Die Stromversorgung der GMA erfolgt über das örtliche Stromnetz bzw. das Betriebsnetz an BAB. An den 16 GMA an den BAB erfolgt auch die Datenübertragung über dieses Betriebsnetz, zwei GMA an Bundesstraßen sind mit einer Mobilfunkeinrichtung zur Datenübertragung ausgestattet.

3.3 Ergebnisse der LZK-Analyse

Die Auswertung der LZK für die vorab beschriebenen Systeme erfolgt nach dem beschriebenen Verfahren, wobei Investitionskosten und Folgekosten zunächst getrennt betrachtet werden. Eine Aussage zu den Folgekosten erfolgt auf Basis der jährlichen Kosten, da diese stark von der Nutzungszeit abhängig sind. Die Auswertung erfolgt auf Wunsch der Straßenbauverwaltungen anonym, ein Bezug auf Besonderheiten oder Eigenschaften der Systeme wird in der textlichen Beschreibung hergestellt. Insgesamt wurden für die Untersuchung Kosten für die Investition in 148 GMA zur Verfügung gestellt. Für die Folgekosten standen Kostendaten von

83 GMA zur Verfügung, da lediglich für den Zeitraum 2009 bis 2011 und nicht für alle Systeme Kostendaten zur Verfügung gestellt werden konnten (s. Tabelle 8).

3.3.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten je GMA wurden getrennt nach Investitionen für GMA und für das dafür notwendige Gesamt-System untersucht (s. Bild 7). Für die untersuchten GMA wurden im Durchschnitt eine Investition von 38.800 € getätigt. Das Maximum beträgt hier 66.800 €, wobei diese hohen Kosten vor allem auch auf hohe Systemkosten je GMA, eine sehr aufwendig ausgestattete Sensortechnik sowie eine umfangreiche Planung zurückzuführen sind. Dem gegenüber beträgt das Minimum der Investitionskosten 35.200 € je GMA. Dieses System unterscheidet sich dabei durch eine kostengünstigere Messtechnik (45 %; 15.800 €) sowie geringeren Aufwendungen für das Bauwerk (3 %; 1.100 €), da Tiefbauarbeiten für Zuleitungen aufgrund einer autarken Stromversorgung nicht notwendig waren. Dies führt jedoch zu überproportionalen Kosten für Energiegewinnungsanlagen (37 %; 13.200 €).

Ebenfalls zu erkennen ist, dass sich die Kosten der eigentlichen GMA in den untersuchten Systemen nur wenig unterscheiden. Die Kosten für die Investition in ein übergeordnetes System schwanken wesentlich stärker, wobei diese tendenziell mit einer zunehmenden Anzahl an GMA stark abnehmen. Kosten für Planungen, Thermal Mapping oder die EDV-Infrastruktur teilen sich in einem solchen Fall auf eine größere Anzahl an GMA auf. Werden

deutlich mehr GMA an ein System angeschlossen, liegen die Systemkosten je GMA in einer Größenordnung von weniger als 2.000 €.

Die beschriebenen Investitionskosten werden hauptsächlich durch die Lieferkosten der GMA beeinflusst (s. Bild 8). Die durchschnittlichen Anschaffungskosten je GMA betragen rund 32.000 € und machen damit über 75 % der gesamten Investitionen aus. Die durchschnittlichen Kosten für Planung und Schulung betragen 3.500 € je GMA; der Maximalwert von 21.800 € ist für ein System erfasst worden, bei dem umfangreiche Maßnahmen wie Thermal Mapping durchgeführt wurden. Für Errichtung und Installation fallen durchschnittlich 5.400 € an. Größter Einflussfaktor für diese Kostenart sind die Kosten für das Bauwerk und die hierin beinhalteten Kosten für Zuleitungen. Aus diesem Grund ist der Minimalwert vor allem einem hohen Anteil an GMA mit einer autarken Stromversorgung zuzuordnen, was wiederum zu hohen Anlagenkosten führt.

Die gesamten Investitionskosten für eine GMA sind in Bild 9 nach Kosten für das Bauwerk, die Anlage sowie die installierte Messtechnik differenziert. Es wird deutlich, dass die Kosten für die Anlage, d. h. Mast, Energieversorgung, Schaltschrank etc., durchschnittlich in einer ähnlichen Größenordnung wie für die reine Sensorik liegen. Die Kosten für das Bauwerk fallen hingegen deutlich geringer aus.

Die Kosten für das Bauwerk bzw. die Anlage werden stark von der Art der Stromversorgung beeinflusst. Für Systeme mit ausschließlicher Netzver-

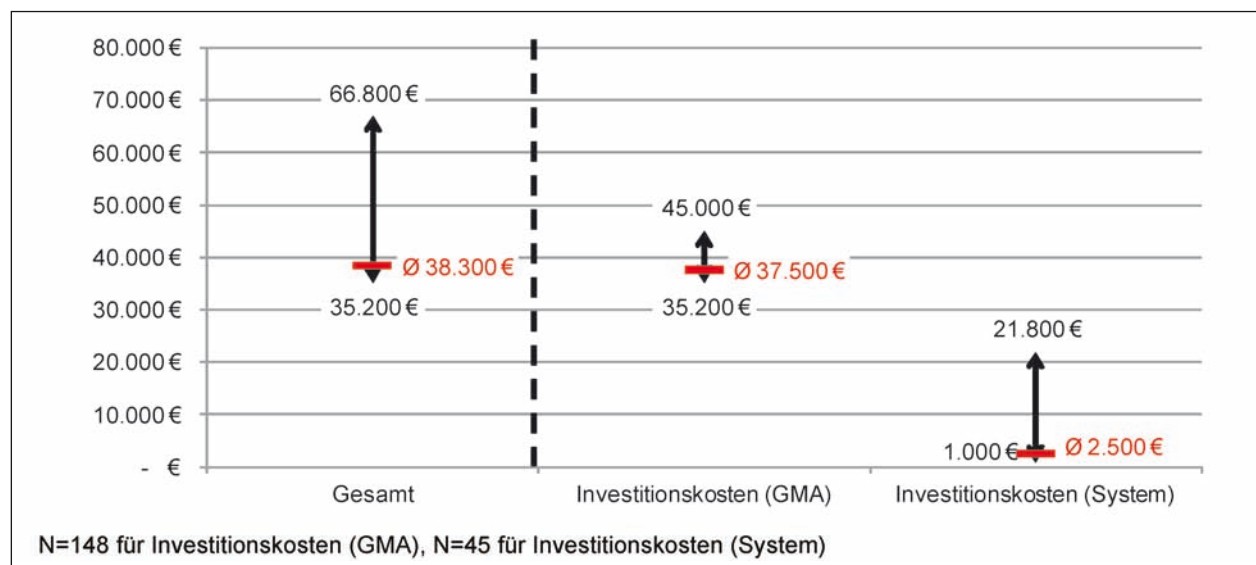


Bild 7: Gesamtinvestitionen je GMA, differenziert nach GMA- und Systemkosten (Maximum, Minimum, Mittelwert)

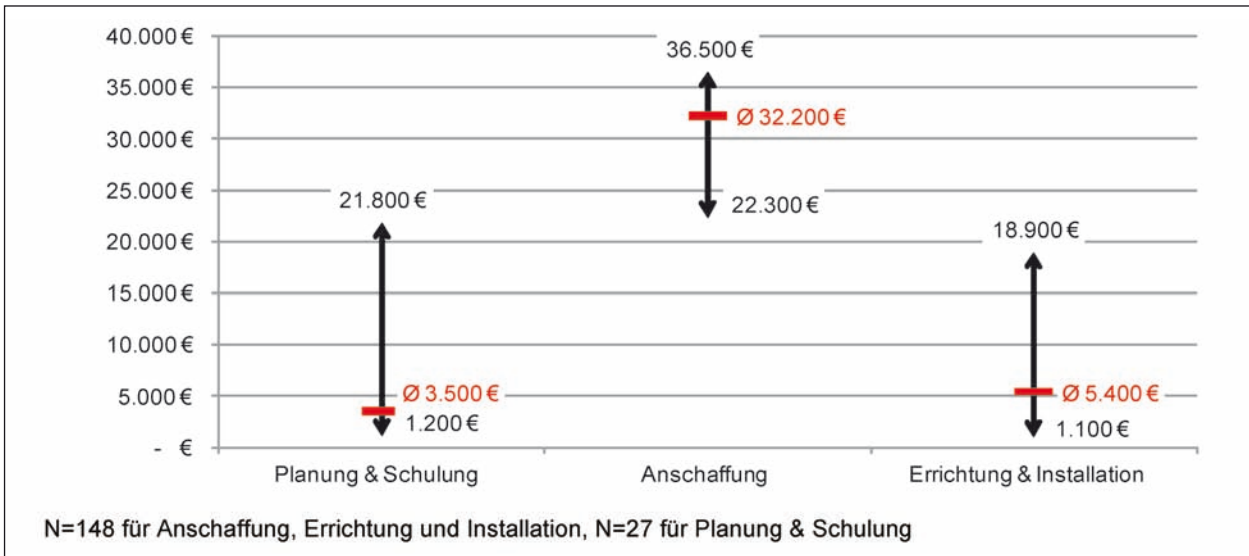


Bild 8: Gesamtinvestitionen je GMA, differenziert nach Planung & Schulung, Anschaffung und Errichtung & Installation (Maximum, Minimum, Mittelwert)

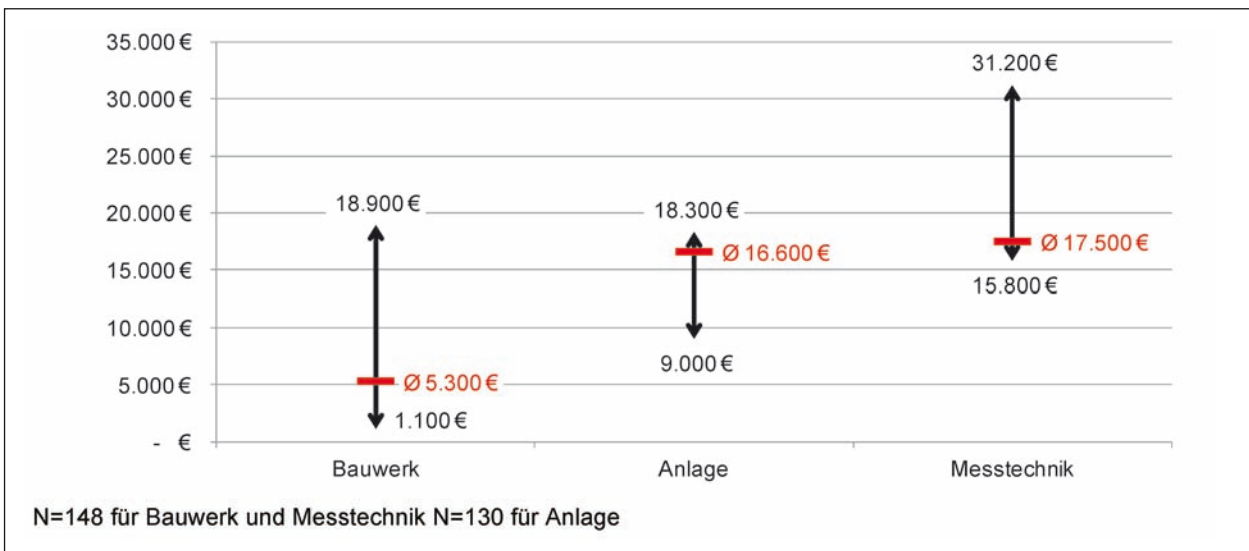


Bild 9: Investitionskosten der einzelnen Produktgruppen je GMA (Maximum, Minimum, Mittelwert)

sorgung der GMA ist der Anteil der Baukosten höher, da hierbei der Anteil der Kosten für Zuleitungen rund 80 % beträgt. Die geringsten Baukosten sind bei einem System mit einer hohen Anzahl an GMA mit autarker Stromversorgung erfasst worden; dort sind jedoch die Anlagenkosten entsprechend höher. Die Installation einer autarken Stromversorgung (Teil der Anlagenkosten) führt zu durchschnittlichen Investitionen von rund 13.200 € je GMA. Bei GMA mit Netz-Versorgung betragen die gesamten Anlagenkosten im Durchschnitt nur rund 9.800 €. Diese Erfahrungen decken sich auch mit Untersuchungen in einer der Straßenbauverwaltungen, die für autarke Energieversorgung Investitionskosten von 12.700 € ausweist.

Eine differenzierte Betrachtung der Kosten für die Art und Weise der Energieversorgung erfolgt für drei Systeme in Bild 10. Im Schnitt fallen rund 24 % (9.700 €) der Investitionskosten für die Herstellung der Energieversorgung an. Dabei schwanken die Anteile zwischen 11 % (= 4.900 €) für System 4 und 37 % (= 13.200 €) für System 2. Die höheren Kosten des Systems 2 sind mit dem hohen Anteil von GMA mit autarker Energieversorgung zu erklären. Rund ein Drittel (34 %) aller Anlagen in diesem System werden autark betrieben, wovon wiederum 38 % als Hybrid-Lösungen aus Photovoltaik und Brennstoffzellen betrieben werden. Im System 4 konnte hingegen die Energieversorgung der GMA über die meist nahen Leitungen der Straßenbe-

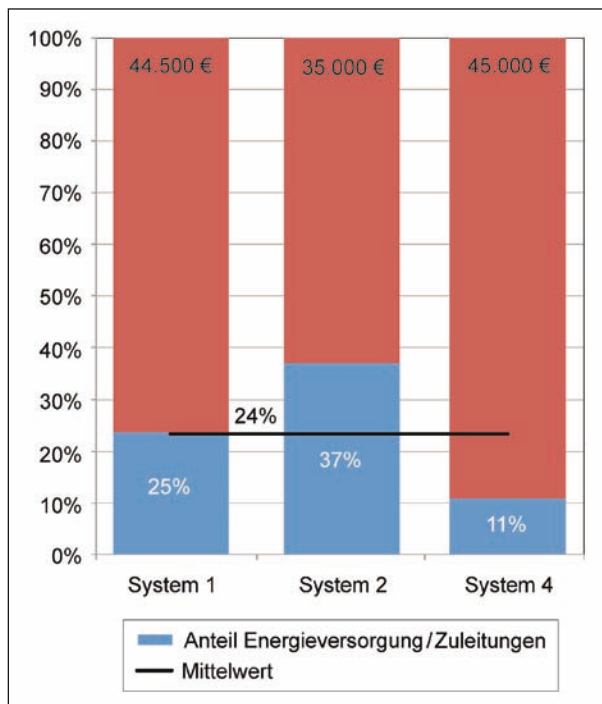


Bild 10: Anteil der Energieversorgung an den Investitionskosten einer GMA (ohne Systemkosten)

leuchtung angeschlossen werden, weshalb hier die Anteil sowie die absoluten Kosten deutlich geringer ausfallen. Auch bei den Anlagen des Systems 1 konnten die GMA an ein nahes Versorgungsnetz angeschlossen werden. Vergleicht man die in ihrem Aufbau und Ausstattung sehr ähnlichen Systeme 1 und 2, so ergibt sich eine Kostensteigerung von rund 21 % aufgrund des höheren Anteils von Anlagen mit autarker Energieversorgung. Geht man hier von einem linearen Trend aus, so ergibt sich bei Ausstattung aller Anlagen mit autarker Energieversorgung eine Kostensteigerung gegenüber dem netzgebundenen System von 62 %, was ca. 7.000 € Mehrkosten je GMA entspricht.

Aus einzeln vorliegenden, nicht repräsentativen Investitionskennwerten lässt sich ableiten, dass für eine Brennstoffzelle mit Investitionskosten von ca. 4.600 € zu rechnen ist. Für eine Solaranlage lagen die Kosten bei durchschnittlich ca. 13.000 €.

Aus Bild 9 wird deutlich, dass ein großer Anteil der Kosten auch durch die Messtechnik verursacht wird. Hier liegen die Kosten im Schnitt bei 17.500 € je GMA, wobei erhebliche Unterschiede in den betrachteten Systemen zu erkennen sind. Der größte Anteil an den Kosten der Messtechnik macht die Fahrbahnsensorik mit ca. 60 % aus.

Erheblich höhere Kosten sind bei der Beschaffung berührungsloser Sensorik zu verzeichnen; sie liegt

je Messstelle bei mehr als dem Doppelten gegenüber den Sensoren, die fest in die Fahrbahn eingebaut sind. Allerdings treten geringere Kosten für die Installation dieser berührungslosen Messstellen auf, da keine Sensorik in die Fahrbahn eingebaut werden muss. Diese Einsparungen sind z. B. auch stark verkehrsabhängig, da der Aufwand für die Verkehrssicherung bei einer stark befahrenen BAB erheblich von dem an einer Straße des nachgeordneten Netzes abweicht. Aus den vorliegenden Daten lassen sich die Kostenunterschiede nicht eindeutig quantifizieren, da bei den betrachteten Systemen nicht nur die Fahrbahnsensorik sondern auch weitere Komponenten und Randbedingungen variieren.

Die Kosten für die meteorologische Sensorik variiert sehr stark in Abhängigkeit vom gewählten Ausstattungsumfang. GMA des Systems mit dem geringsten Kosten für meteorologische Sensorik sind mit einer einfachen Ausstattung (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Wind) ausgerüstet, die häufig auch in All-in-one-Sensoren zur Verfügung stehen; für sie wurden weniger als 5.000 € Investitionskosten für die meteorologische Sensorik ermittelt. Hohe Kosten entstehen für weniger gebräuchliche Sensorik wie Sichtweitemessung und Schneehöhenmessung, wo einzelne Sensoren mit bis zu 2.500 € zu Buche schlagen.

Die Kosten für die Investition in eine Kamera unterscheiden sich nur sehr geringfügig, sie liegen im Mittel bei ca. 3.600 €. Für die mobile Datenübertragung (Mobilfunk, Funk) ist mit Investitionskosten von 1.800 € zu rechnen.

3.3.2 Jährliche Folgekosten

Die Bestandteile der Folgekosten sind in Bild 11 dargestellt. Insgesamt liegen die erfassten Folgekosten bei ca. 2.000 € pro GMA und Jahr.

Die am stärksten variierende Komponente stellen die Betriebskosten dar. Der Minimalwert von 30 € pro GMA und Jahr sind im zugehörigen System die Lizenzkosten für Software zur Anzeige und Aufbereitung der Daten. Diese Kostenart ist stark von der hohen Anzahl der angeschlossenen GMA abhängig, woraus sich dieser sehr geringe Wert ergibt. Weitere Kosten für Datenübertragung und Strom fallen in diesem System aufgrund des vorhandenen Netzanschlusses nicht an bzw. können nicht getrennt ausgewiesen werden. Der Maximalwert der Betriebskosten hingegen beläuft sich

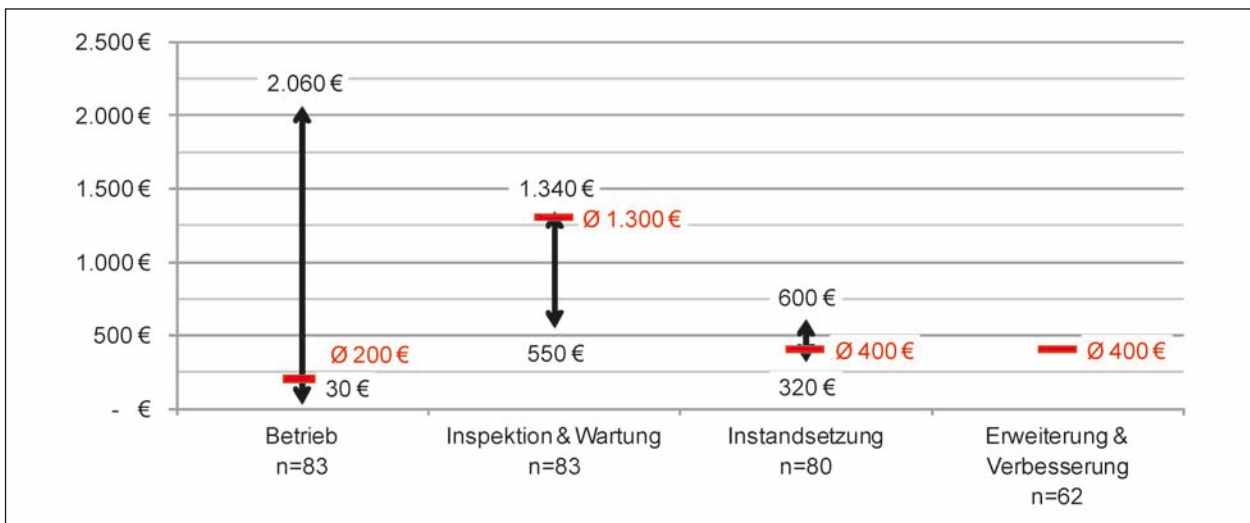


Bild 11: Folgekosten je GMA (mit Maximum, Minimum, Mittelwert)

2.060 €/GMA/Jahr. Dieser Wert ist ebenfalls zu größten Teilen von den Kosten für die Software abhängig. Hierauf sind 84 % (1.750 €/GMA/Jahr) der Betriebskosten zurückzuführen, wobei dieser Wert stark durch die geringe Anzahl der GMA in diesem Netz abhängig ist. Für die mobile Datenübertragung sind in diesem System 250 €/GMA/Jahr (13 %) aufzuwenden.

Für Inspektion und Wartung werden im Durchschnitt 1.300 € pro GMA und Jahr fällig. Dabei sind zwei typische Muster anzutreffen. Zum einen die im Diagramm dargestellten, meist pauschal für alle GMA abgerechneten Wartungen. Zum anderen die Systeme, in denen die GMA nicht turnusmäßig gewartet werden, sondern in denen lediglich Instandsetzungen bei Beschädigungen oder Ausfall durchgeführt werden. Für die Inspektions- und Wartungskosten sind keine Tendenzen in Abhängigkeit der Ausstattung oder des Standorts zu erkennen. Die durchschnittlichen Instandsetzungskosten belaufen sich auf 400 €/GMA/Jahr, wobei der größte Teil (97 %) den Fahrbahnsensoren zuzuordnen sind. Für die Erweiterung und Verbesserung liegt lediglich ein Kostenkennwert vor. In diesem System wurden durchschnittliche 400 €/GMA/Jahr für die Erweiterung und Verbesserung ausgegeben. Diese Kosten sind nur indirekt den GMA zuzuschreiben, da es sich hierbei um Erweiterungen in der EDV-Infrastruktur handelte.

3.3.3 Jahreskosten (Annuitäten)

Bezieht man die mittleren Investitionskosten von 38.300 € auf eine kalkulatorische Lebensdauer von 10 Jahren, so ergeben sich bei einem Realzins von

0,7 % jährliche Kosten von ca. 4.000 € pro Jahr und GMA. Zusammen mit den jährlichen Folgekosten von ca. 2.000 € sind somit insgesamt ca. 6.000 € je GMA pro Jahr vorzusehen. Ca. 2/3 der Kosten von GMA entfallen somit auf die Erstinvestition; ca. 1/3 sind Folgekosten.

3.4 Zusammenfassende Bewertung

Die Untersuchung der LZK von GMA hat gezeigt, dass die Gesamtkosten einer GMA zu einem großen Teil von der Investition abhängig sind. Bei der durchgeführten Untersuchung betragen die jährlichen Folgekosten nur rund 33 % der Annuität der Investitionskosten.

Für die untersuchten GMA wurden durchschnittliche Investitionen in Höhe von 38.300 € durchgeführt. Die durchschnittlichen Investitionskosten für eine Messstelle liegen mit 37.500 € nur unwesentlich niedriger, der Anteil der Systemkosten ist in der Regel somit nur gering. Hohe Systemkosten sind vor allem bei Systemen mit wenigen GMA zu verbuchen, da dann die Fixkosten auf nur wenige Messstellen umgelegt werden. Auch aufwendige Planungen, Thermal Mapping etc. führt zu höheren Kosten für das Gesamtsystem.

Größter Einzelposten bei den Investitionskosten für eine GMA ist die installierte Messtechnik, welche mit durchschnittlich 17.500 € zu Buche schlägt. 60 % dieser Kosten sind wiederum auf die Fahrbahnsensorik zurückzuführen. Diese Sensorart führt auch bei den Folgekosten zu höheren Aufwendungen bei der Instandsetzung, die zum Großteil für die in die Fahrbahn eingebaute Sensorik notwendig wurde.

Deutlich höhere Investitionen sind für berührungslose Fahrbahnsensoren erforderlich gewesen, wobei diese Mehrkosten zum Teil durch geringere Installationskosten kompensiert wurden. Ebenfalls stark kostenbeeinflussend wirken sich aufwendige meteorologische Sensoren aus, wie Sichtweitenmessung und Schneehöhenmessung, die mit jeweils rund 2.500 € zu Buche schlagen. 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.

Die Ergebnisse der LZK-Analyse liegen in ähnlicher Größenordnung wie andere veröffentlichte Kostendaten (s. Kapitel 2.6). Die Gesamtkosten liegen mit durchschnittlich 60.000 € über 10 Jahre in dem Bereich von 56.000 € bis 81.000 €, der für schweizerische GMA ermittelt wurde [RUESS/HOLL-DORB 2007]. Die reinen Investitionskosten liegen jedoch deutlich unter den schweizerischen Werten (52.000 €), allerdings auch über den Ergebnissen aus den USA mit rund 25.400 € [UND 2009]. Der Anteil der Messtechnik mit 46 % der Investitionskosten ist mit den Angaben von RUESS/HOLL-DORB [2007] veröffentlichten Daten vergleichbar; hier wurde der Anteil der Messtechnik mit 40 % angegeben

Aus der LZK-Analyse lassen sich folgende wesentliche Einflussgrößen auf die Gesamtkosten ableiten:

- Art der Fahrbahnsensorik (berührungslos/in die Fahrbahn eingebaut),
- außergewöhnliche meteorologische Sensorik (Sichtweite, Schneehöhe),
- Kamera (mit/ohne Nachtsichtmodus),
- Art der Stromversorgung (autark, netzgebunden).

Bei einer Konzeption von GMA sollten insbesondere für die vorgenannten Aspekte die Investitions- und Folgekosten abgeschätzt werden. Die beschriebenen Faktoren stellen die Hauptkostentreiber für GMA dar, jedoch sind sie durch eine angepasste Auswahl der Ausstattung gut beeinflussbar, sodass eine starke Kostenoptimierung möglich ist.

4 Analyse von Einsatzentscheidungen im Winterdienst

4.1 Ausgewählte Meistereien

4.1.1 Straßenmeisterei Wangen i. A.

Die Straßenmeisterei (SM) Wangen i. A. betreut insgesamt 312 km Bundes-, Landes- und Kreisstraßen sowie 25 km Rad- und Gehwege. Das Streckennetz befindet sich in dem DWD-Klimagebiet „Oberschwaben“ innerhalb der Höhenstufen „400 bis 600“ und „600 bis 800“ Meter. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein großer Höhenunterschied zwischen der Region Bodensee (ca. 450 m ü. NN) und der exponierten Gemeinde Wolfegg besteht. Verkehrlicher Schwerpunkt ist die Bundesstraße B 32; sie hat ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen (DTV) von 22.000 Kfz/24h. Besonders an Werktagen ist der Schwerlastverkehr sehr groß. Dadurch ergibt sich an der Steigungsstrecke zwischen Amtzell und Kofeld mit einer Höhendifferenz von ca. 150 m häufig ein Rückstau auf einer Länge von ca. 3 km.

Der SM Wangen i. A. sind insgesamt drei GMA zugeordnet, die bei der Einsatzentscheidung herangezogen werden können. Davon befinden sich zwei im eigenen Streckennetz, eine weitere wurde aufgrund eines durchgeführten Thermal Mapping im Streckennetz der Nachbarmeisterei Isny aufgebaut. Alle drei GMA sind vom gleichen Hersteller und können die folgenden Parameter erfassen:

- Fahrbahnoberflächentemperatur und Fahrbahnzustand,
- Luftdruck und Lufttemperatur,
- Niederschlagsintensität,
- relative Luftfeuchte,
- Eis- und Schneeschichtdicke (Parameter nicht in DIN 15518, Teil 3 definiert),
- Sichtweite,
- Taupunkttemperatur,
- Temperatur des Straßenkörpers in 6 cm Tiefe und 30 cm Tiefe,
- Wasserfilmdicke,
- Windspitze, Windgeschwindigkeit und Windrichtung.

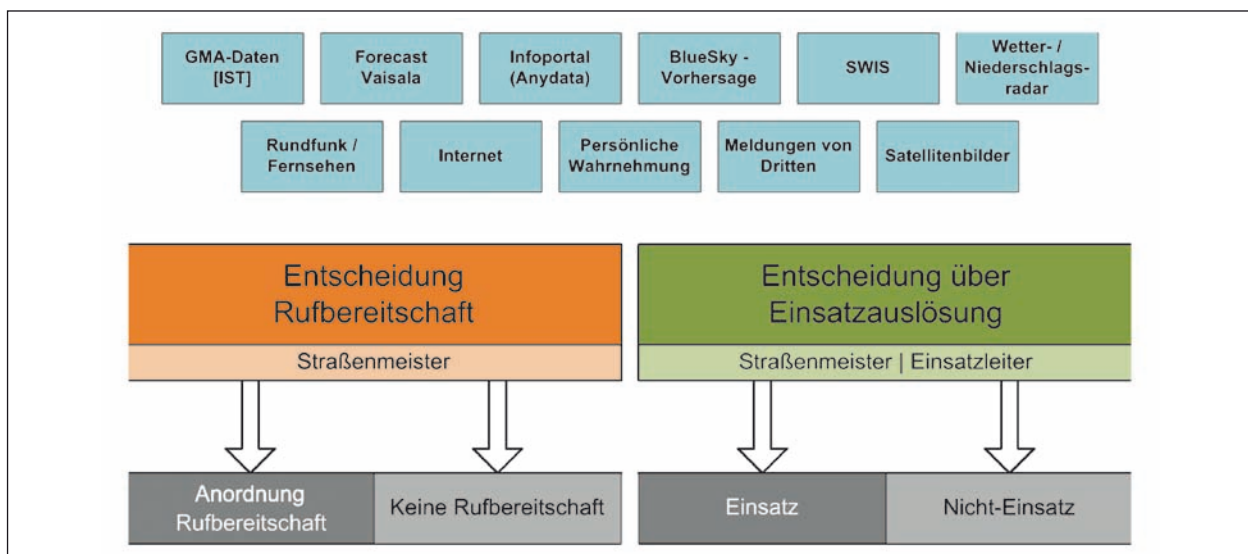


Bild 12: Verlauf der Einsatzentscheidung in der SM Wangen i. A.

Den Mitarbeitern der SM Wangen i. A. stehen neben den GMA noch ein Vorhersage-System des Herstellers I, das Infoportal der Anydata AG, die BlueSky-Vorhersage, das Straßen-Wetter-Informationssystem (SWIS) des Deutschen Wetterdienstes (DWD), das Wetter-/Niederschlagsradar, Rundfunk, Fernsehen, Internet und Satellitenbilder zur Verfügung. Des Weiteren spielen die persönliche Wahrnehmung der Witterungssituation sowie die Meldungen von Dritten, z. B. der Polizei, eine nicht unwesentliche Rolle. In einer Primär-Entscheidung wird über die Anordnung einer Rufbereitschaft entschieden; sie wird in der Regel vom Straßenmeister getroffen. Ist eine Rufbereitschaft angesetzt, so kann der Einsatzleiter seine Kollegen in Rufbereitschaft informieren und einen Einsatz auslösen (sekundäre Entscheidung). Die genannten Abläufe und Informationsquellen sind in Bild 12 veranschaulicht.

4.1.2 Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf.

Die SM Weiden i. d. Opf. betreut in ihrem Zuständigkeitsbereich insgesamt 237 km Bundes-, Staats- und Kreisstraßen. Das Straßennetz dieser Meisterei ist dem Klimagebiet „Oberpfälzer Wald“ in den Höhenstufen von „400 m bis 600 m“ des DWD zuzurechnen.

Die SM Weiden i. d. Opf. besitzt zwei GMA von unterschiedlichen Herstellern. Die GMA Kohlberg wurde im Jahr 2009 an der St 2238 auf ca. 509 m ü.NN errichtet. Die GMA wird autark mittels einer Brennstoffzelle und zwei Solarpanels betrieben. Die Brennstoffzelle und die zugehörigen Akkumulatoren

sind aus Gründen der Diebstahlsicherung in einem abschließbaren Betonkasten mit Stahlumfassung untergebracht. Folgende Parameter werden gemessen:

- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Gefriertemperatur (gemessen),
- Lufttemperatur,
- Niederschlagsart (Regen/Schnee/Schneereg),
- Niederschlagsintensität,
- relative Luftfeuchte,
- Taupunkttemperatur,
- Temperatur des Straßenkörpers,
- Sichtweite,
- Fahrbahnzustand.

Die zweite GMA der SM Weiden i. d. Opf. wurde im Jahr 2000 in Gramlhof errichtet. Diese Anlage hat zwei kleine Solarpanels und sendet nach aktiver Anfrage die Daten via Mobiltelefonmodem im Intervall von 30 Minuten. Im Abstand von ca. 50 m ist ein passiver Fahrbahnsensor in die Fahrbahn eingelassen. Die GMA ist in der Lage folgende Parameter zu ermitteln:

- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Gefriertemperatur (abgeleitet),
- Lufttemperatur,

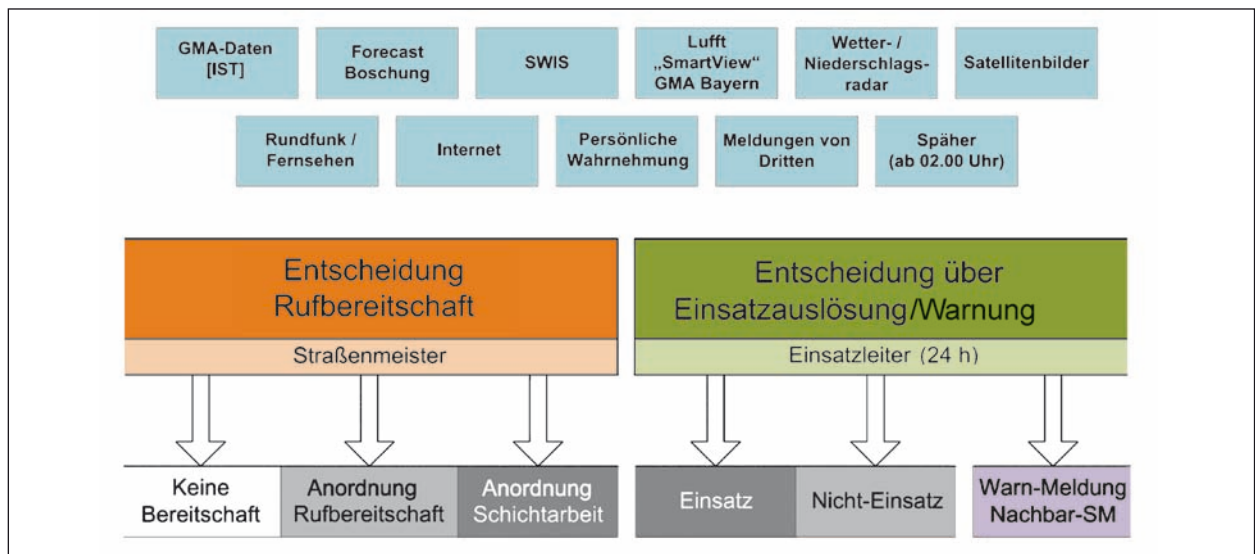


Bild 13: Verlauf der Einsatzentscheidung in der SM Weiden i. d. Opf.

- relative Luftfeuchte,
- Taupunkttemperatur,
- Temperatur des Straßenkörpers (in -5 cm und -30 cm Tiefe),
- Fahrbahnzustand (trocken, nass, Schnee/Eis, kritische Nässe, feucht, Eis, Salz),
- Windgeschwindigkeit.
- SM Amberg (396 km Bundes- und Staatsstraßen),
- Kooperationsmeisterei Neunburg v. W./Nabburg (252 km Bundes- und Staatsstraßen/155 km Bundes- und Staatsstraßen) und
- Kooperationsmeisterei Vohenstrauß (126 km Bundes- und Staatsstraßen und 190 km Kreisstraßen und 41 km Autobahn).

In Weiden i. d. Opf. ist neben der Straßenmeisterei eine „Zentrale Meldestelle“ (ZMS) eingerichtet, die außerhalb der normalen Dienstzeiten, d. h. von 17.00 bis 02.00 Uhr, alle Meistereien des staatlichen Bauamtes am Amberg-Sulzbach betreut. Sie dient als Ansprechstelle für Polizei und Rettungsdienste sowie für alle Kreise des Bauamts. Des Weiteren werden Wetterwarnungen über bevorstehende winterliche Ereignisse an die Rufbereitschaft der Meistereien weitergegeben. Auch Informationen von GMA-Alarmen können von hier an die zu betreuenden Meistereien übermittelt werden. Über den Einsatzleiter in der ZMS werden die Informationen an die zuständige Bereitschaft in den Straßenmeistereien weitergeleitet. In der ZMS selbst werden keine Einsatzentscheidungen getroffen, sondern lediglich Warnmeldungen abgegeben. Die Einsatzentscheidung wird in den Meistereien getroffen.

Die ZMS betreut die folgenden benachbarten Straßenmeistereien:

- SM Eschenbach (192 km Bundes- und Staatsstraßen sowie 123 km Kreisstraßen),
- SM Tirschenreuth (303 km Bundes- und Staatsstraßen),

Ähnlich wie die SM Wangen i. A. hat auch die SM Weiden i. d. Opf. eine Vielzahl von Informationsquellen für die Einsatzentscheidung des Winterdienstes (siehe Bild 13). Abweichend verfügt die SM Weiden i. d. Opf. über einen Melder/Späher, welcher ab 2:00 Uhr im Netz unterwegs ist und Glätte oder Schneegefahr an den Einsatzleiter meldet. Dieser kann den weiteren Einsatz koordinieren. Ab 03.00 Uhr beginnt der normale Frühlicht-Einsatz.

Auch in dieser Meisterei findet eine Primär-Entscheidung über Rufbereitschaft bzw. Schichtarbeit durch den diensthabenden Straßenmeister statt. Die Entscheidung über die Einsatzauslösung bzw. über das Übermitteln einer Warnung erfolgt durch den Einsatzleiter. Da durch ihn gleichzeitig die ZMS besetzt wird, ist er 24 Stunden pro Tag in der Meisterei anwesend und kann somit rund um die Uhr eine Einsatzentscheidung für die SM Weiden i. d. Opf. treffen. Diese Entscheidung hat allerdings keine Relevanz in den weiteren betreuten Meistereien der ZMS.

4.1.3 Autobahnmeisterei München-Nord

Die Autobahnmeisterei (AM) München-Nord betreut die A 9 von der AS Schwabing bis zum AD Holledau sowie Abschnitte der A 99 nördlich von München. Die Netzlänge beträgt insgesamt knapp 61 km. Die Meisterei hat einen Außenstützpunkt an der Anschlussstelle (AS) Allerhausen, an dem Fahrzeuge und Streumittel zur Verfügung stehen. Weitere Salzlademöglichkeiten bestehen am AD Holledau (gehört zur AM Ingolstadt) sowie im Netz der AM Freising. Das Streckennetz liegt in verschiedenen Klimagebieten des DWD, jeweils innerhalb der Höhenstufe „400 bis 600“ Meter.

Das Streckennetz hat eine starke Steigung zwischen der AS Allershausen und dem AD Holledau. In dieser Steigungsstrecke befindet sich die Ausfahrt des Parkplatzes „Paunzhauser Feld“, welche für Lkw bei winterlichen Fahrbahnbedingungen zum Problem werden kann. Ein weiteres markantes Merkmal des Streckennetzes ist der Streckenabschnitt zwischen dem AK München-Nord und dem AK Neufahrn. Er ist besonders gekennzeichnet durch einen zweilagigen offenporigen Asphalt sowie das hohe Verkehrsaufkommen mit durchschnittlich

140.000 Kfz/24 h. Aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens wird eine Umlaufzeit pro Winterdienstesinsatz von maximal 90 min eingeplant.

Die AM München-Nord nutzt derzeit insgesamt 13 GMA entlang ihres Streckennetzes. Davon sind vier Anlagen von Hersteller I (inklusive einer Pilotanlage mit berührungslosen Sensoren, installiert im Winter 2008/09) sowie neun Anlagen von Hersteller III, die bereits im Winter 1993/94 errichtet wurden. Die erfassten Parameter der GMA sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Des Weiteren sind auf insgesamt neun GMA Webcams installiert. Es besteht außerdem eine Vielzahl von steuerbaren Live-Kameras, die Teil der Streckenbeeinflussungsanlage (SBA) auf der A 9 und A 99 sind. Alle GMA werden durch das vorhandene öffentliche Stromnetz versorgt und übertragen ihre Daten via Mobilfunk. Zusätzlich zu den GMA stehen den Mitarbeitern der AM noch die Forecast-Systeme der GMA-Hersteller, das SWIS des DWD, das SWIS-Bayern, Wetter-/Niederschlagsradar, Rundfunk und Fernsehen, Internet und die Informationen über den Verkehrsfluss sowie die Bilder der Live-Kameras der SBA zur Verfügung. Mithilfe

Ermittelte Parameter der GMA (Hersteller I)	Ermittelte Parameter der GMA (Hersteller III)
Fahrbahnzustand (feucht, trocken, Schnee)	Fahrbahnzustand (feucht, trocken, Schnee)
Gefriertemperatur	Gefriertemperatur
Lufttemperatur	Lufttemperatur
Rel. Luftfeuchte	Rel. Luftfeuchte
Taupunkttemperatur	Taupunkttemperatur
Niederschlagsart	Niederschlagsart
Wasserfilmdicke	
Temperatur des Straßenkörpers	Temperatur des Straßenkörpers
Niederschlagsintensität	
Schneehöhe	
Windgeschwindigkeit	Windgeschwindigkeit
Windspitze	
Windrichtung	Windrichtung
Sichtweite	
	Luftdruck
Kamerabild	
Griffigkeit	
Schneesichtdicke	
Eisschichtdicke	

Tab. 10: Ermittelte Parameter der GMA von Hersteller I und Hersteller III in der AM München-Nord im Winter 2011/12

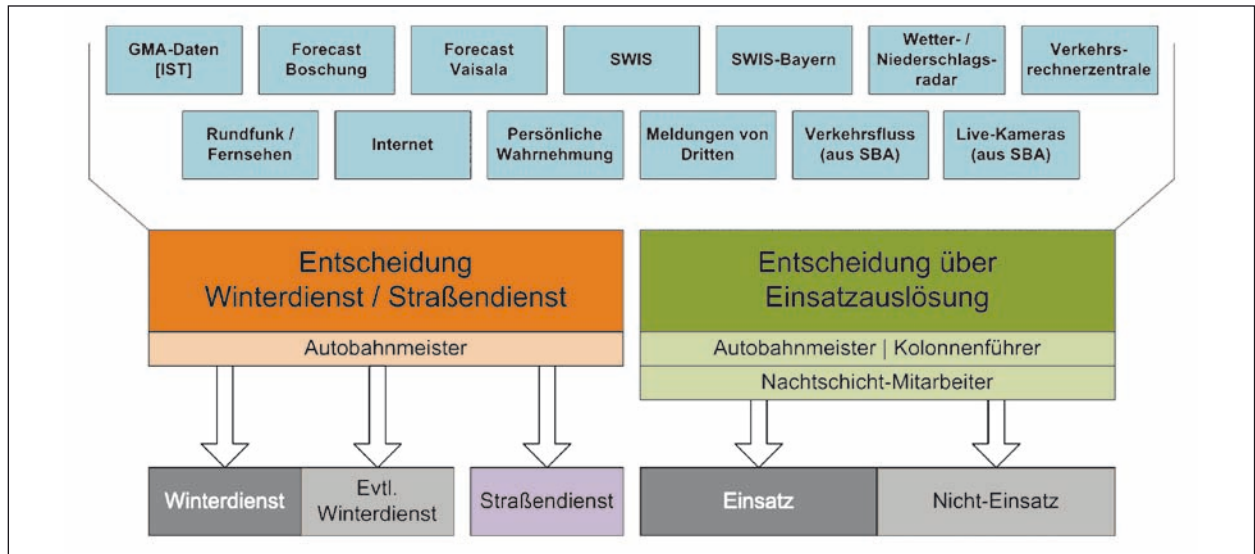


Bild 14: Verlauf der Einsatzentscheidung in der AM München-Nord

dieser Informationen sowie der persönlichen Wahrnehmung und Meldung von Dritten, wie der Polizei, wird eine primäre Entscheidung getroffen, ob Straßendienst, Winterdienst in vollem (mit allen Einsatzkräften) oder in reduziertem Umfang (nicht alle Einsatzkräfte) nötig ist. Diese Entscheidung wird vom Autobahnmeister in der AM getroffen. Ist Winterdienst angeordnet, so fahren Mitarbeiter der AM die Strecke vor allem nachts vorsorglich ab und entscheiden selbstständig (dezentral), ob das Ausbringen von Salz oder Sole erforderlich ist. Während der normalen Dienstzeiten wird die Einsatzauslösung durch den Autobahnmeister bzw. Kolonnenführer durchgeführt. Bild 14 gibt einen Überblick über die zur Verfügung stehenden Informationen und den Entscheidungsprozess in der AM München-Nord.

4.2 Methodik

Die Erfassung der Einsatzentscheidungen in den drei beschriebenen Meistereien wurde im Winter 2011/12 durchgeführt. Hierzu wurde ein Erfassungsprotokoll entwickelt, das nach Abstimmung mit den Straßen- bzw. Autobahnmeistern an die jeweils vorhandenen Gegebenheiten und Besonderheiten angepasst wurde. In der SM Wangen i. A. wurde zusätzlich auch der Nicht-Einsatz protokolliert.

In der SM Wangen i. A. sowie in der Autobahnmeisterei München-Nord wurden die Protokolle händisch ausgefüllt und per Post zur Auswertung an den Forschungsnehmer versendet. In der SM

Weiden i. d. Opf. wurde ein digitales Protokoll auf Word-Basis erstellt, welches nach dem Ausfüllen automatisch per E-Mail an den Forschungsnehmer versendet wurde. Die einzelnen Protokolle sind diesem Bericht als Anhang 3 beigefügt. In den Protokollen wurden folgende, für die Einsatzentscheidungen relevante Informationen abgefragt:

- Name des Einsatzleiters,
- Datum und Uhrzeit der Einsatzentscheidung,
- maßgebende Information für die Einsatzentscheidung (inkl. Priorität),
- maßgebende Parameter bei GMA,
- maßgebende Aussagen bei Vorhersagen/Prognosen,
- maßgebende Stationen bei GMA-Daten angrenzender Meistereien,
- zusätzliche für die Einsatzentscheidung relevante Informationen.

Um den einzelnen Parametern der GMA die gemessenen Werte zuordnen zu können, wurden dem Forschungsnehmer entsprechende Zugänge auf verschiedene Web-basierte Plattformen eingerichtet.

In allen Meistereien wurden Interviews durchgeführt, um vorab Grundlagen der Einsatzentscheidungen sowie persönliche Meinungen und Kenntnisse der Meistereileiter abzufragen. Die Ergebnisse der Analyse der Einsatzentscheidungen wurden in Gesprächen mit den beteiligten Mitarbeitern der Meistereien abgestimmt.

4.3 Ergebnisse Straßenmeisterei Wangen i. A.

4.3.1 Allgemeine Einsatzinformationen

In der Straßenmeisterei Wangen i. A. wurde die Erfassung der Einsatzentscheidungen im Zeitraum vom 01.12.2011 bis 16.03.2012 durchgeführt. Insgesamt wurden 286 Entscheidungen erfasst (s. Bild 15), wobei 129 Entscheidungen Winterdienstseinsätze zur Folge hatten. Zusätzlich wurden – abweichend von der Erfassung in den anderen Meistereien – 128 Entscheidungen erfasst, bei denen kein Einsatz ausgelöst wurde. Weitere 12 Entscheidungen wurden für die Einsatzplanung genutzt, wobei es sich um Entscheidungen über Schichtarbeit, Rufbereitschaft oder Wochenenddienst handelte. Bei 17 weiteren Entscheidungen wurde kein expliziter Einsatz, sondern lediglich eine Kontrollfahrt mit punktuelltem Einsatz von Pflug oder Streugerät ausgelöst. Hierbei wird lediglich ein Fahrzeug eingesetzt, weshalb diese Einsatzart weder den Nicht-Einsätzen noch den Einsätzen zuzuordnen ist. Knapp die Hälfte der Einsätze waren Ersteinsätze, zu je einem Viertel

wurden Entscheidungen für Präventiv- und Wiederholungseinsätze getroffen. Von den insgesamt 129 dokumentierten Einsätzen waren 56 Streueinsätze (43 %) und 73 Räum-/Streueinsätze (57 %).

Insgesamt wurden in der SM Wangen i. A. im untersuchten Winter 98 Kontrollfahrten dokumentiert. Hierbei überwogen die reinen Kontrollfahrten ohne die Auslösung eines Einsatzes (s. Bild 16); nur in 17 Fällen wurden Kontrollfahrten mit punktuelltem Streuen/Räumen durchgeführt. In 10 Fällen wurde aufgrund einer Kontrollfahrt ein Einsatz ausgelöst. Die Kontrollfahrten fanden zum größten Teil in den frühen Morgenstunden statt. Als Gründe hierfür sind vor allem die lokale Glättebildung durch überfrierende Nässe oder Reifglätte sowie Probleme durch Verwehungen zu nennen.

4.3.2 Informationsquellen für Einsatzentscheidungen

Ziel der Analyse war es auch, über die GMA hinausgehende Informationsquellen zu erfassen, um daraus eventuell Rückschlüsse auf die notwendige Konfiguration von GMA ziehen zu können. Zu jeder Einsatzentscheidung sollten daher bis zu drei relevante Informationsquellen genannt werden (s. Bild 17). Die deutlichsten Unterschiede zwischen den Einsatzarten und den dabei ausgewählten Informationsquellen sind bei den GMA, bei Internetquellen sowie den Meldungen von Fahrern und Dritten zu erkennen. Für die 34 Präventiv-Einsätze wurden im Rahmen einer Mehrfachauswahl insgesamt 54 Informationsquellen benannt. Dabei wurden in 85 % aller Einsätze die GMA als relevante Informationsquelle angegeben. Für Ersteinsätze und Wiederholungseinsätze sinkt dieser Anteil deutlich, was jedoch mit dem steigenden Anteil an Meldungen von Fahrern und Dritten korreliert. Diese spielen vor allem bei der Entscheidung für Wiederholungseinsätze eine größere Rolle, da das Personal im Streckennetz bereits vor Ort ist. Bei Präventiv-Einsätzen ebenfalls überdurchschnittlich genutzt wurden Internetquellen (35 %). Dies lässt sich dadurch erklären, dass diese Internet-Portale durch die dargestellten Prognosen eine gute Ergänzung zu den Ist-Daten der GMA bilden.

Für Ersteinsätze stellen ebenfalls die GMA die wichtigste Informationsquelle dar. Deutlich zu erkennen ist bei dieser Einsatzart jedoch auch schon der zunehmende Einfluss von Meldungen von Fahrern und Dritten. Für die Wiederholungseinsätze hingegen stellen diese letztgenannten Meldungen

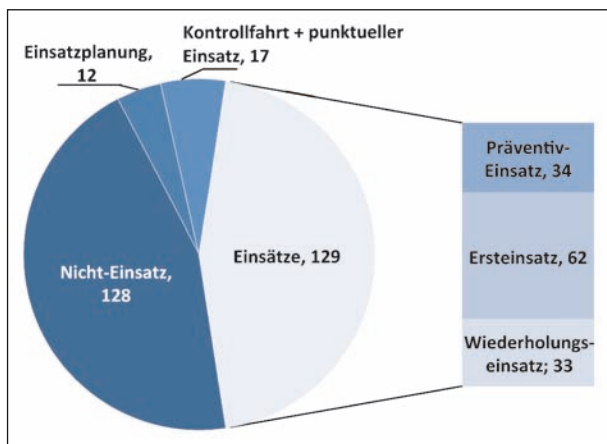


Bild 15: Anzahl der dokumentierten Einsatzentscheidungen; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

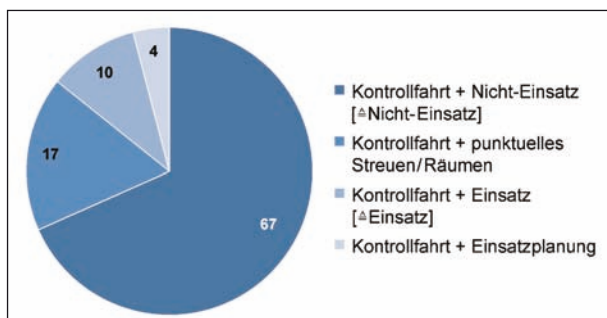


Bild 16: Anteil der verschiedenen Kontrollfahrten; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

die wichtigste Informationsquelle dar. Gemeinsam mit den GMA (52 % aller Einsätze) werden diese Quellen am häufigsten genutzt.

Stellt man diesen Einsätzen nun die Nicht-Einsatz-Entscheidungen, die Entscheidungen für Kontrollfahrten sowie die langfristige Einsatzplanung gegenüber, so ergibt sich das in Bild 18 dargestellte Bild. Die wichtigste Informationsquelle insgesamt sind die GMA, welche für kürzere Entscheidungszeiträume die besten Informationen liefern. Die größten Unterschiede bestehen bei den Internetquellen, welche bei Nicht-Einsätzen aufgrund des längeren Entscheidungszeitraums und der dort vorhandenen Prognosen häufiger genutzt werden. Im Gegenzug stellen die Informationen von Fahrern und Dritten aufgrund des sehr starken Bezugs zur aktuellen Situation des Streckennetzes für die kurzfristigeren Einsatzentscheidungen gegenüber den

anderen Entscheidungen eine wichtigere Informationsquelle dar. Der deutlichste Unterschied jedoch besteht zwischen den oben beschriebenen Entscheidungen und den Entscheidungen, welche die Einsatzplanung betreffen. Einsatzplanungen für Rufbereitschaften und Wochenendarbeit betreffen häufig einen Zeitraum von drei bis sieben Tage. Hierfür stellen die GMA eine unzureichende Informationsquelle dar. Für diese Entscheidungen werden das SWIS des DWD, Prognosen und Informationen aus Internetquellen sowie Rundfunk und Fernsehen häufiger hinzugezogen als bei anderen Entscheidungen.

Die jeweiligen Informationsquellen wurden auch nach ihrer Bedeutung für den Entscheider gewichtet (s. Bild 19). Bei dieser Betrachtung ist vor allem auffällig, dass sowohl die Daten aus dem SWIS des DWD als auch die Informationen aus dem Internet

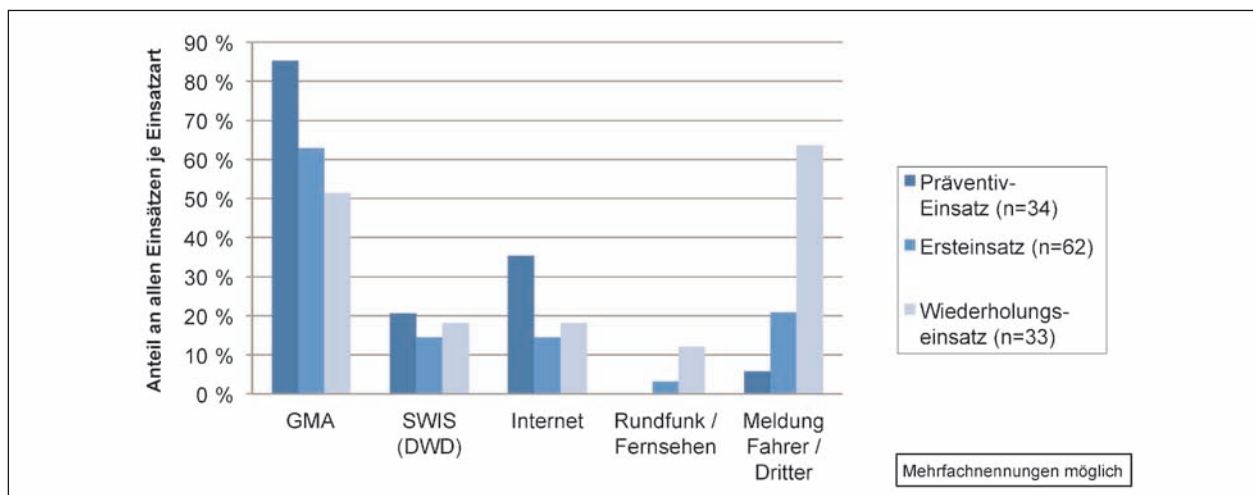


Bild 17: Informationsquellen für die Einsatzentscheidungen; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

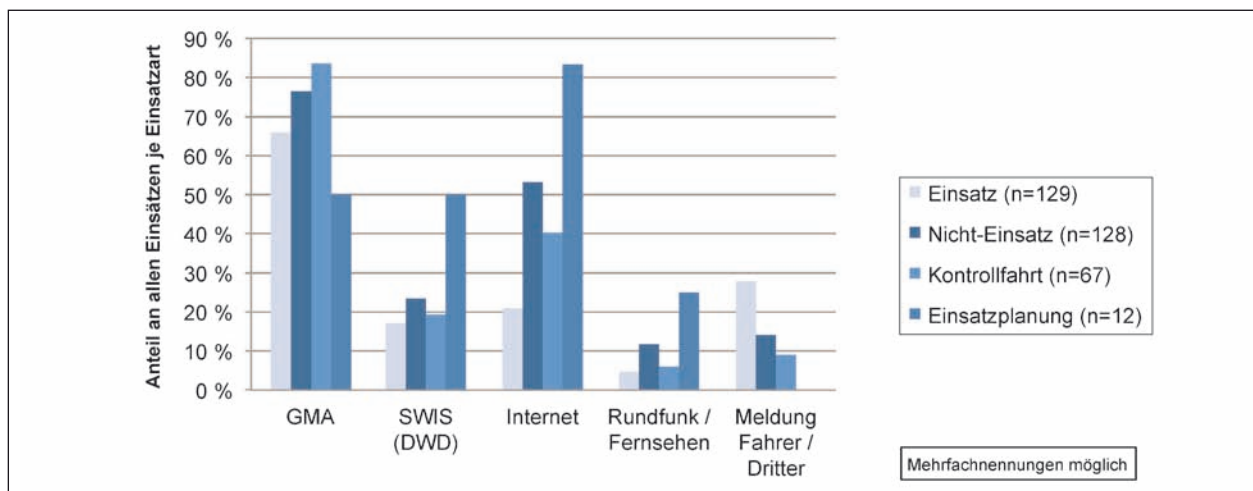


Bild 18: Informationsquellen für Einsatzentscheidungen/Nicht-Einsatz/Kontrollfahrt/Einsatz/Einsatzplanung; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

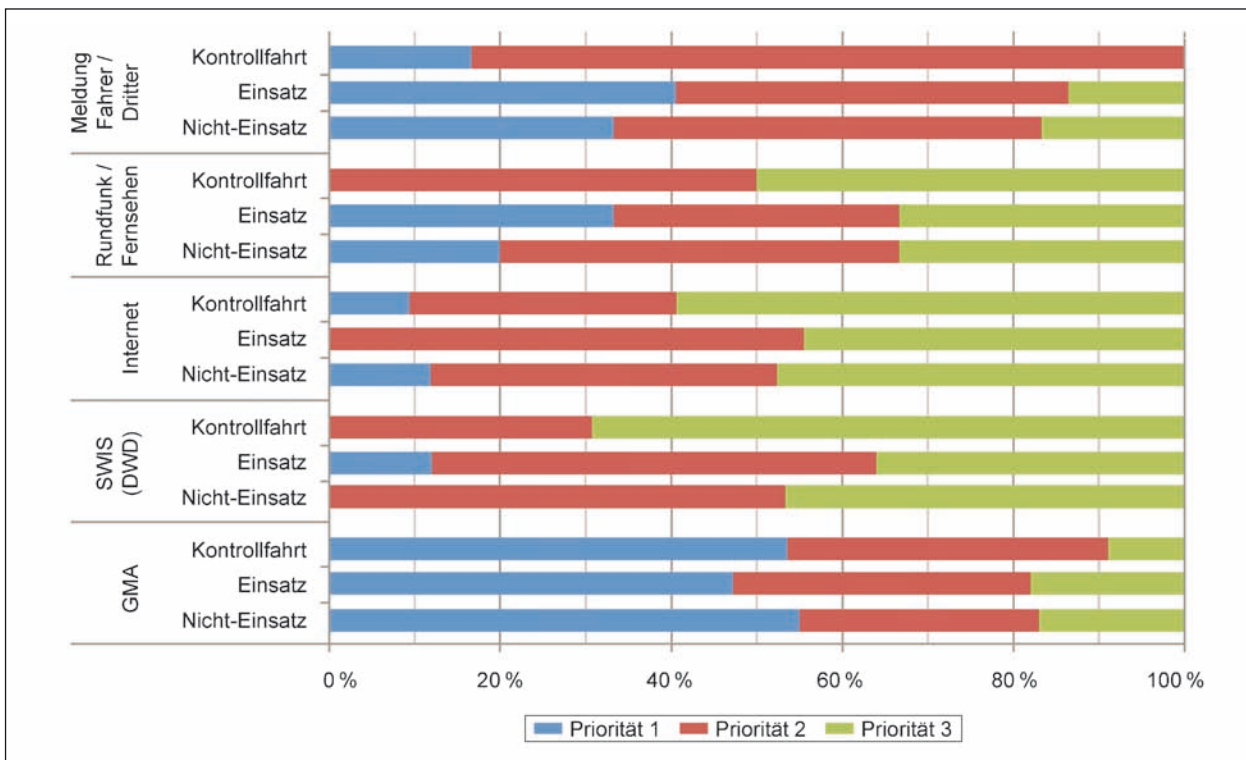


Bild 19: Priorität der einzelnen Informationsquellen bei Einsätzen und Nicht-Einsätzen; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

eine eher nachgeordnete Rolle spielen; sie wurden zum größten Teil (jeweils über 85 %) mit der Priorität 2 bzw. der Priorität 3 bewertet. Wesentlich größeren Einfluss auf die Entscheidung haben die Daten der GMA, die Meldungen von Dritten bzw. Fahrern sowie Rundfunk und Fernsehen.

Diese Ergebnisse lassen noch keine Schlüsse über die notwendige Konfiguration von weiteren GMA zu. Sie zeigen aber, dass die Daten der GMA neben den persönlichen Meldungen von Dritten bzw. den Fahrern sowie der eigenen Wahrnehmung sowohl quantitativ als auch qualitativ für die Entscheider in der SM Wangen i. A. die wichtigste Informationsquelle darstellen. Die hohe Bedeutung der GMA-Daten sowie die dazu passende hohe Priorität der gelieferten Informationen haben für die SM Wangen i. A. verschiedene Gründe. Vor Aufbau des Systems ab 2009 waren in der Meisterei keine GMA installiert. Aktuelle Informationen wurden nur über die bekannten Quellen, wie SWIS, Internetportale, Rundfunk und Fernsehen sowie persönliche Meldungen von Mitarbeitern und Dritten bereitgestellt. Der Aufbau des Systems in der SM Wangen i. A. erfolgte sehr systematisch und wurde intensiv durch externe Berater und Ingenieurbüros begleitet. Alle drei GMA wurden mit vergleichbarem, sehr hohem Ausstattungsumfang innerhalb kurzer Zeit installiert. Des Weiteren erfolgt für den Lk Ravensburg die

Entwicklung einer eigenen Benutzeroberfläche, um alle für den Winterdienst relevanten Daten gemeinsam darstellen zu können. Diese Oberfläche sowie die intensive Einbindung der Mitarbeiter in die Implementierung können wesentliche Ursachen für die umfassende Nutzung der GMA-Daten sein.

4.3.3 Informationsquelle Glättemeldeanlagen

In der SM Wangen i. A. wurden die drei GMA unterschiedlich stark genutzt. Ausgewertet wurde, welche GMA wie oft als alleinige Referenz ausgewählt wurde, wie oft zwei GMA im Verbund als Informationsquellen dienten und wie oft alle vorhandenen GMA gemeinsam ausgewählt wurden (siehe Tabelle 11).

Die Winterdienst-Entscheidungen in der SM Wangen i. A. sind sehr stark von den GMA Rotheidlen sowie GMA Büchel abhängig. Diese wurden bei insgesamt 198 dokumentierten Entscheidungen, bei denen auf GMA-Daten zurückgegriffen wurde, 196 mal (99 %) bzw. 168 mal (85 %) genannt. Auffällig hierbei ist, dass die GMA Rotheidlen häufig auch als alleinige Referenz genannt wurde. Nach Angabe des Meistereipersonals hat die Anlage eine hohe Aussagekraft für das Gesamtnetz und stellt aufgrund ihrer im Westen gelegenen Position einen sehr guten Indikator für das zu erwartende

GMA	Gesamtnennung	Nennung von 1 GMA	Nennung von 2 GMA	Nennung von 3 GMA
GMA Rotheidlen	196	31	72	93
GMA Büchel	168	3	72	93
GMA Staudach	93	0	0	93

Tab. 11: Nutzung der einzelnen GMA in der SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

Parameter	Nennung	Anteil
Temperatur des Straßenkörpers (- 6 cm)	20	2,2 %
Griffigkeit	15	1,7 %
Niederschlagsart	13	1,4 %
Sichtweite	11	1,2 %
Temperatur des Straßenkörpers (- 30 cm)	6	0,7 %
Taupunkttemperatur	6	0,7 %
Windrichtung	2	0,2 %
Thermal Map	1	0,1 %

Tab. 12: GMA-Parameter mit weniger als 20 Nennungen; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

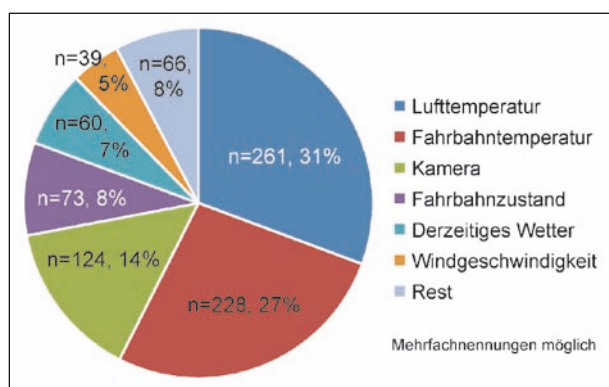


Bild 20: Anteil der einzelnen GMA-Parameter bei Einsatzentscheidungen mit GMA; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

Wetter dar. Die beiden anderen Anlagen wurden sehr selten bzw. nie ohne weitere GMA genannt.

Wurden lediglich zwei GMA ausgewählt, so waren dies stets die GMA Rotheidlen und GMA Büchel ($n = 72$). Die GMA Staudach wurde erst relevant, wenn ein Gesamtbild des zu betreuenden Straßennetzes notwendig war. In 93 Fällen wurden alle drei GMA gemeinsam für eine Entscheidung herangezogen. Es wird deutlich, dass die Anlage Staudach aufgrund ihres Standorts im Osten des Gebiets sowie außerhalb des zu betreuenden Streckennetzes für aktuelle Entscheidungen seltener relevant ist. Der Standort wurde vor allem als Ergebnis des Thermal Mapping gewählt.

Weiterhin wurden die bei den GMA angegebenen Parameter analysiert. Obwohl das Kamerabild kein

Parameter einer GMA im eigentlichen Sinn ist, wurde es hierbei ebenfalls berücksichtigt, da es für die Konfiguration von GMA von Bedeutung ist. Wie aus Bild 20 ersichtlich, werden Luft- und Fahrbahntemperatur gemeinsam mit der Kamera bei insgesamt 898 Nennungen am häufigsten genannt. Gemeinsam erreichen diese drei Parameter beinahe einen Anteil von 75 %. Für das Gesamtergebnis irrelevant ist der anlagenspezifisch definierte Parameter „Derzeitiges Wetter“ (Regen, gefrierender Regen, Nieselregen, gefrierender Nieselregen, Schneeregen, Schnee, Graupel), welcher eine Aussage über die derzeit vorherrschende Wettersituation bietet. Dieser wurde lediglich von einem Mitarbeiter sehr häufig ausgewählt und ist daher nicht repräsentativ. Weitere Parameter wurden in ihrer Anzahl sehr selten genannt (siehe Tabelle 12). Hierunter fallen unter anderem die Fahrbahnkörpertemperatur sowie die Griffigkeit.

Bezieht man diese Nennungen auf die jeweiligen Einsatzentscheidungen, so werden deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Einsatzarten ersichtlich (s. Bild 21). Bei Entscheidungen für Präventiv-Einsätze kommen zu einem sehr großen Teil die Parameter Lufttemperatur (LT), Fahrbahntemperatur (FBT) und Kamera zum Einsatz. Die Lufttemperatur wird bei über 70 % der Einsatzentscheidungen betrachtet, die Fahrbahntemperatur bei 56 % aller Entscheidungen. Grund hierfür kann sein, dass diese Werte den Einsatzleitern sehr geläufig sowie sehr gut interpretierbar

und prognostizierbar sind. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass aus diesen Parametern ein sehr guter Rückschluss auf das gesamte Streckennetz gezogen werden kann. Im Gegensatz zu den Präventiv-Einsätzen gewinnen bei Ersteinsätzen und Wiederholungseinsätzen Parameter an Gewicht, aus welchen besser als aus Luft- und Fahrbahntemperatur der aktuelle Zustand im Streckennetz abzulesen ist. Zu nennen sind hierbei vor allem die Kamera sowie die Parameter Derzeitiges Wetter (DztWttr) und Windgeschwindigkeit (Windg), welche für Präventiv-Einsätze nicht entscheidungsrelevant sind.

Führt man den oben begonnenen Vergleich (Bild 18 und Bild 19) zwischen Einsätzen und Nicht-Einsätzen bei den GMA-Parametern fort, so ergibt sich das in Bild 22 dargestellte Bild. Deutlich zu erkennen ist hierbei, dass die Nicht-Einsatz-Ent-

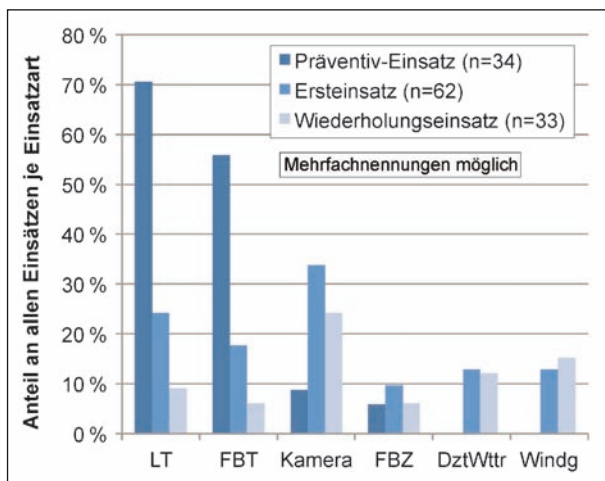


Bild 21: Nutzung der meistgenannten Parameter für Einsatzentscheidungen; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

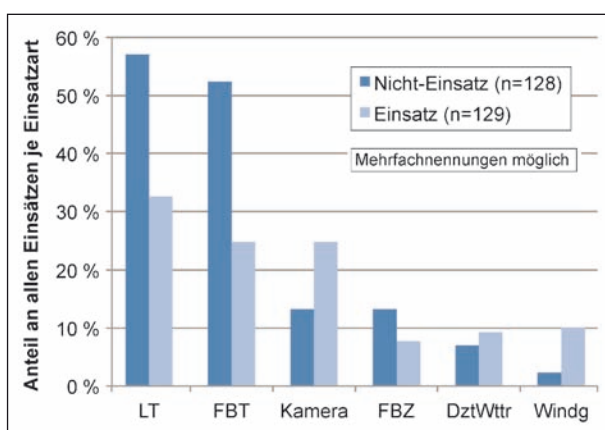


Bild 22: Unterschied zwischen den ausgewählten GMA-Parametern bei Einsätzen und Nicht-Einsätzen (Anteil an allen genannten Parametern je Einsatzart); SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

scheidung gegenüber den Einsatzentscheidungen wesentlich grundsätzlichere und damit differenziertere Entscheidungen sind. Dieser Unterschied wird vor allem bei den Parametern Lufttemperatur und Fahrbahntemperatur deutlich. Hingegen wurden die Parameter Kamera sowie Windgeschwindigkeit bei Entscheidungen für Nicht-Einsätze wesentlich seltener zu Hilfe gezogen. Grund hierfür ist wahrscheinlich die starke Ist-Aussage dieser Parameter und die damit verbundene fehlende Prognosefähigkeit, welche für die Entscheidung für Nicht-Einsätze von stärkerer Bedeutung ist.

4.3.4 Bedeutung der eigenen Wahrnehmung des Einsatzleiters

In der Straßenmeisterei Wangen i. A. wurde neben den beschriebenen Informationsquellen zusätzlich die Bedeutung der eigenen Wahrnehmung als Informationsquelle abgefragt. Wahrnehmungen wie „es schneit“, „es regnet“, „es windet“ oder „die Autoscheibe ist zugefroren“ stellen in Kombination mit den Erfahrungen und Rückschlüssen auf das Streckennetz wichtige Hinweise für die Einsatzleiter dar. Insgesamt wurde die eigene Wahrnehmung bei 286 erfassten Entscheidungen 198 mal als für die Entscheidung relevant ausgewählt. Häufige Wahrnehmungen dabei waren:

- Niederschlag (Ja/Nein),
- Niederschlagsart,
- Fahrbahnzustand,
- Schmelzwasser (Ja/Nein),
- Nebel/Reifglätte,
- starke Temperaturänderungen,
- Bewölkung,
- vorhandenes Restsalz/Kenntnisse über durchgeführte Einsätze.

Im Schnitt wurde die eigene Wahrnehmung in 69 % aller Entscheidungen (gewichteter Mittelwert) als relevant angegeben (s. Bild 23). Der höchste Wert wird bei den Ersteinsätzen erreicht, wo die eigene Wahrnehmung des Einsatzleiters einen direkten Rückschluss auf die Situation im Straßennetz zulässt. Ähnliches gilt für die Kontrollfahrt inkl. punktueller Einsätze. Auch wurde die eigene Wahrnehmung meist sehr hoch gewichtet (s. Bild 24). Im Schnitt wurde in 65 % aller Fälle die

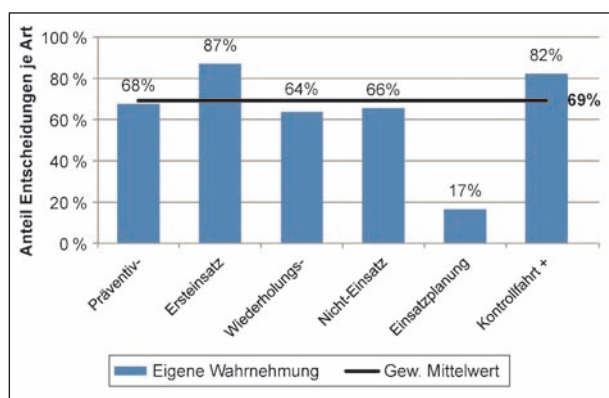


Bild 23: Bedeutung der eigenen Wahrnehmung für Entscheidungen im Winterdienst; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

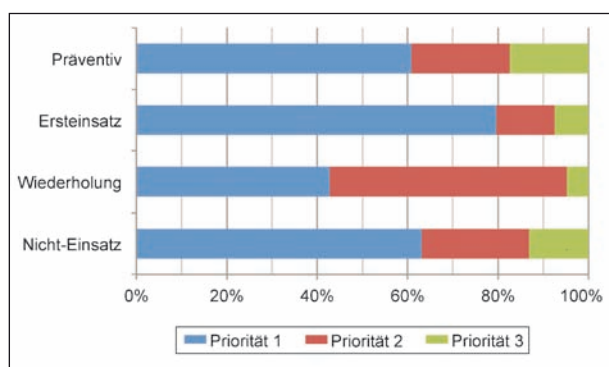


Bild 24: Priorität der eigenen Wahrnehmung je Einsatzart; SM Wangen i. A. im Winter 2011/12

Priorität 1 angegeben, wobei auch hier wieder eine starke Tendenz zu den Ersteinsätzen zu erkennen ist. Wie vorab beschrieben ist dies mit dem sehr starken Jetzt-Bezug der eigenen Wahrnehmung sowie der hieraus möglichen Rückschlüsse für Ersteinsätze zu erklären. Wie aus Bild 23 und Bild 24 ersichtlich ist, stellt die eigene Wahrnehmung einen sehr wichtigen Indikator für den Straßenzustand und somit eine wichtige Informationsquelle für Entscheidungen im Winterdienst dar. Die eigene Wahrnehmung ist somit ähnlich wichtig wie die Daten der GMA, (s. Bild 17) und hat meist auch eine höhere Priorität als die anderen angegebenen Informationsquellen (s. Bild 19).

Die eigene Wahrnehmung ist somit eine der wichtigsten Informationsquellen für den Einsatzleiter, um Entscheidungen im Winterdienst zu treffen. In Kombination mit den Erfahrungen über Zusammenhänge zwischen eigener Wahrnehmung, den Aussagen der GMA und den tatsächlichen Zuständen der Straße trägt sie wesentlich zu Entscheidungsfindung bei.

4.3.5 Repräsentativität der Ergebnisse

Die beschriebenen Ergebnisse zeigen die Zustände und Vorgänge im Winter 2011/2012. Erfahrungsgemäß unterscheiden sich einzelne Winterperioden stark in ihrer winterlichen Ausprägung, weshalb nicht direkt von den vorliegenden Ergebnissen auf eine Allgemeingültigkeit geschlossen werden kann und die Ergebnisse anhand eines übergeordneten Maßstabes relativiert werden. Daher wurde geprüft, ob diese Ergebnisse eine allgemeine Gültigkeit besitzen oder ob aufgrund der Besonderheiten dieses Winters weitere Parameter in Erscheinung treten könnten.

Für diese Abschätzung wurden Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes herangezogen, anhand derer Kennzahlen für typische winterliche Ereignisse ermittelt werden können. Für fünf winterliche Ereignisse wurden die Anzahl der Tage ermittelt, an denen die Kriterien im Winter 2011/2012 sowie in den vergangenen Wintern auftraten (s. Tabelle 13). Es wurde die Klimastation „Weingarten, Kr. Ravensburg“ herangezogen (Stations-ID: 4094; 440 m ü. NN). Die Klimastation liegt am Nordwestlichen Rand des Betreuungsgebiets der Straßenmeisterei und bietet aufgrund ihrer langen Historie optimale Voraussetzungen zur Bewertung der winterlichen Ereignisse. Es stehen historische Daten seit dem 01.01.1946 zur Verfügung, was zu einer entsprechend genauen Aussage über Durchschnitt, Maximum und Minimum führt. Daten zur Bewertung von Verwehungen (Windgeschwindigkeit) liegen erst ab 10.12.1997 vor, diese wurden zuvor nicht erfasst.

Aus Tabelle 13 wird deutlich, dass der Winter 2011/2012 ein in Bezug auf Schneefall und Eisglätte eher unterdurchschnittlicher Winter war. Die Ereignisse Glatteis und Verwehungen traten überdurchschnittlich oft auf. Die hohe Anzahl an Tagen mit Glatteis lässt darauf schließen, dass häufig Temperaturen um den Gefrierpunkt herrschten, da Niederschlag gemessen wurde, ohne diesen als Schnee zu identifizieren. Dies spricht ebenfalls für einen eher milden Winter und korreliert mit der zuvor getroffenen Annahme bezüglich des Schneefalls. Dazu herrschten im Winter 11/12 häufig starke Winde, was letztendlich zu der hohen Anzahl an Tagen mit Verwehungen führt. Auch die beinahe dem Durchschnitt entsprechenden Tage mit Reifglätte stützen die getätigten Annahmen, da hierfür kein Niederschlag aber hohe Luftfeuchtigkeit notwendig ist.

Winterliches Ereignis	Kriterien	Anzahl Tage Winter 11/12	Anzahl Tage Durchschnitt	Anzahl Tage Max	Anzahl Tage Min
Schneeglätte	Schneefall > 0 cm	6	10	25	3
Eisglätte	Schneehöhe > 0 cm Kein Niederschlag $LT_{\max} > 0 \text{ °C}$ $LT_{\min} < 0 \text{ °C}$	2	8	19	0
Glatteis	$LT_{\min} < 0 \text{ °C}$ Niederschlag > 0 mm Schneefall = 0 cm	25	12	25	5
Reifglätte	Kein Niederschlag $LT_{\min} < 0 \text{ °C}$ Rel. Luftfeuchte > 90 %	11	12	38	2
Verwehungen	Schneehöhe > 0 cm Wind $v_{\max} > 5,5 \text{ m/s}$	22	5	38	0

Tab. 13: Kennzahlen für winterliche Ereignisse der Klimastation Weingarten für den Winter 2011/12 sowie Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwerte im Vergleichszeitraum ab 1946 bzw. 1997 (nur bei Verwehungen)

Die geringe Anzahl an Schneefalltagen lässt darauf schließen, dass in einem durchschnittlichen Winter wesentlich häufiger Parameter zur Bewertung des Fahrbahnzustandes sowie des Niederschlagszustandes abgefragt worden wären. Dies bestätigen auch die durchgeführten Einsatzentscheidungen bei Streu-/Räumeinsätzen, bei welchen die am meisten nachgefragten Parameter der Fahrbahnzustand, der Niederschlagszustand sowie die Kamera waren. Die in diesem Winter am häufigsten nachgefragten Parameter Lufttemperatur, Fahrbahntemperatur, Kamera und Fahrbahnzustand resultieren eindeutig aus den häufigen Einsatzentscheidungen bei Frost-Tau-Wechseln und unklaren Niederschlägen, wie sie bei winterlichen Ereignissen wie Glatteis und Reifglätte auftreten. Somit lässt sich für die Straßenmeisterei Wangen i. A. sagen, dass Sensoren für die Bewertung des Fahrbahnzustandes sowie des Niederschlags trotz ihrer in diesem Winter geringeren Nutzung besonders für die Bewertung bei Schneefallereignissen berücksichtigt werden sollten.

4.4 Ergebnisse Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf.

4.4.1 Allgemeine Einsatzinformationen

In der Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf. wurde die Erfassung im Zeitraum vom 05.12.2011 bis 31.03.2012 durchgeführt. Eine zusätzliche Erfassung von Nicht-Einsätzen vergleichbar zur SM Wangen i. A. erfolgte in dieser Straßenmeisterei nicht. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 68 Einsatzentscheidungen dokumentiert. Zum Großteil

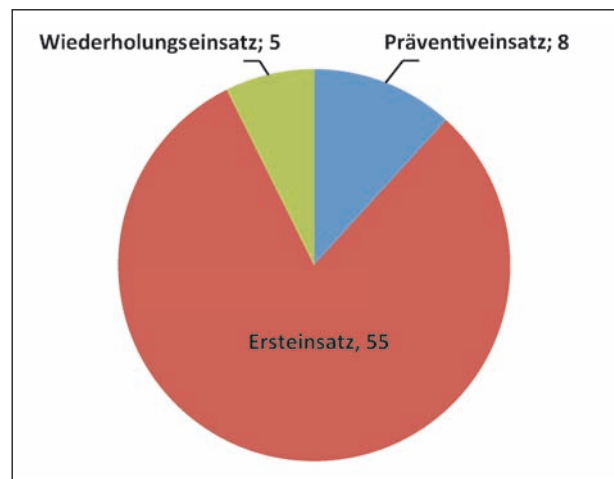


Bild 25: Anzahl der dokumentierten Einsatzentscheidungen; SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

wurden Einsatzentscheidungen für Ersteinsätze getroffen; Präventiv- und Wiederholungseinsätze wurden weitaus seltener ausgelöst (s. Bild 25). Die erfassten Einsatzentscheidungen führten 36 mal (53 %) zu einem Streueinsatz und 32 mal zu einem Räum-/Streueinsatz.

4.4.2 Informationsquellen für Einsatzentscheidungen

Bei der Analyse der Informationsquellen für die jeweiligen Einsatzentscheidungen ergibt sich für die SM Weiden i. d. Opf. im Vergleich zur SM Wangen i. A. ein sehr ähnliches, wenn auch weniger differenziertes Bild (s. Bild 26).

Insgesamt wurden bei der Erfassung 224 Informationsquellen benannt, wobei die Mitarbeiter aus

den im Erfassungsbogen (s. Anhang 3) angegebenen Quellen maximal drei auswählen und priorisieren sollten. Am häufigsten wurden dabei die GMA (n = 59), die Wetterdaten aus dem SWIS des DWD (n = 56) sowie das Wetter-/Niederschlagsradar (n = 46) genannt. Vergleichbar zur SM Wangen i. A. (s. Bild 17) werden die Informationen der GMA am häufigsten genutzt, wobei der Anteil bei den Ersteinsätzen am höchsten ist. Hierbei ist der Bedarf an aktuellen Ist-Werten aus dem Streckennetz am höchsten. Das SWIS des DWD sowie die darin integrierten Informationen, wie das Wetter-/Niederschlagsradar, werden vor allem bei Präventiv- und Wiederholungseinsätzen häufiger genutzt als in der Vergleichsmeisterei Wangen i. A. Dies kann auch durch die Aussage der Meistereimitarbeiter bestätigt werden, welche den Daten und Informationen aus dem SWIS eine hohe Bedeutung und Zuverlässigkeit zumessen.

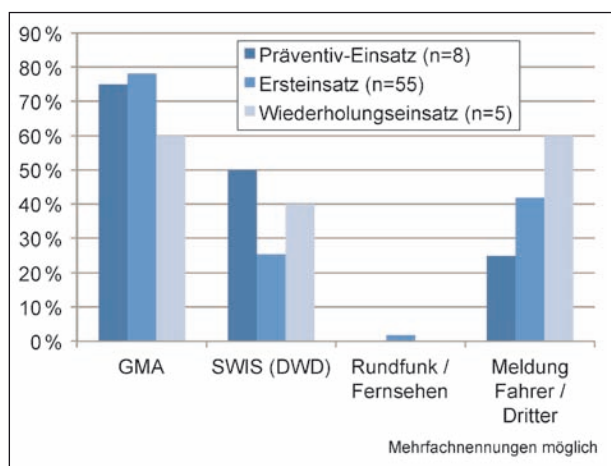


Bild 26: Informationsquellen für die Einsatzentscheidung; SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Ebenfalls häufiger genutzt werden Meldungen von Fahrern und Dritten als Informationsquelle. Dies kann mehrere Hintergründe haben: Zum einen ist die Organisationsform der Meisterei zu nennen, welche mit der Mischmeisterei Vohenstrauß eine Kooperationsmeisterei bildet, sodass mit dem Personal dieser Meisterei ein enger Informationsaustausch besteht. Des Weiteren ist die Meisterei „Zentrale Meldestelle“, wodurch der Einsatzleiter als Ansprechpartner für mehrere Meistereien dient und somit viele Informationen von Dritten über Einsätze und Wetter- und Straßenzustände erhält. Ein weiterer Grund kann die zentrale Lage der SM innerhalb des Bezirks des Staatlichen Bauamts Amberg-Sulzbach sein. Durch die gemeinsame Dachorganisation erhält die SM Weiden i. d. Opf. Informationen aus vielen angrenzenden Meistereien, die mit ihren Einsatzgebieten einen Ring um das Gebiet der SM Weiden i. d. Opf. bilden.

Bei Betrachtung der Priorität der jeweiligen Informationsquellen wird deutlich, dass den Einsatzentscheidern vor allem die Informationsquellen wichtig sind, deren Ursprung sie kennen und denen sie in vollem Umfang vertrauen können bzw. bei welchen sie die Genauigkeit einschätzen können. Dies ist, wie aus Bild 27 deutlich wird, vor allem bei den Daten der GMA sowie den Informationen von Fahrern und Dritten der Fall. Die Daten der GMA wurden in rund 70 % (n = 46) aller Fälle mit der höchsten Priorität gewichtet, bei den Meldungen der Fahrer und von Dritten erreichte dieser Wert sogar über 86 % (n = 31). Das wie vorab beschriebene sehr häufig genutzte SWIS hat bei dieser Betrachtung keinen so hohen Stellenwert. Lediglich in 35 % der Nennungen (n = 43) wurde es mit der

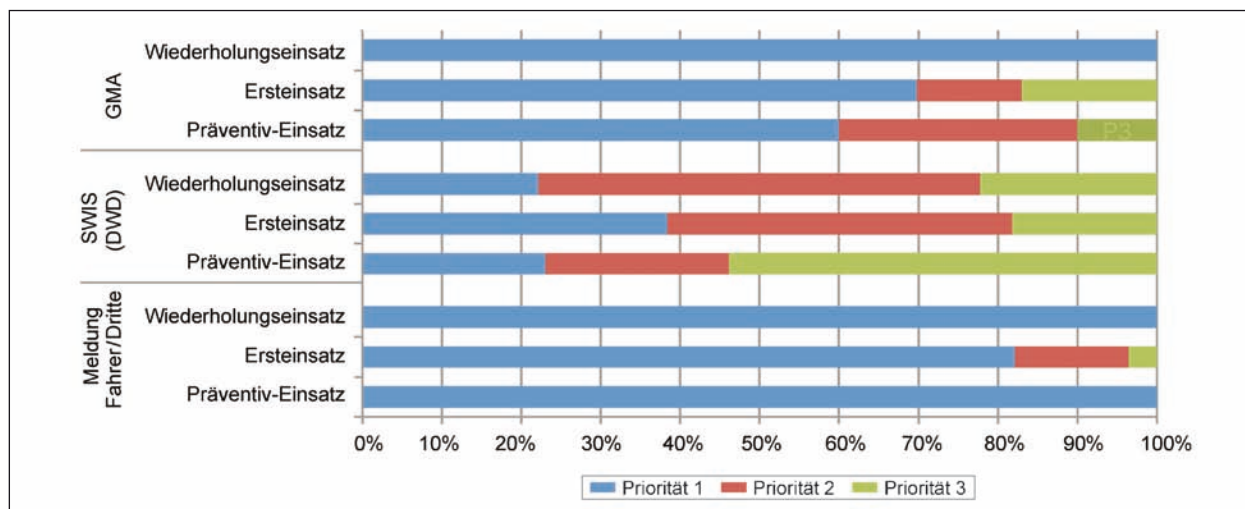


Bild 27: Priorität der einzelnen Informationsquellen; SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Priorität 1 vermerkt, in rund 42 % der Nennungen (n = 51) mit der Priorität 2 sowie in rund 22 % der Fälle (n = 27) mit der Priorität 3. Der Unterschied zwischen Anzahl der Nennungen sowie der Priorität ist vor allem damit zu begründen, dass zum einen relativ wenige Präventiv-Einsätze durchgeführt wurden, wofür die Aussagen des SWIS sicherlich relevanter gewesen wären. Zum anderen ist SWIS sehr gut als allgemeine Informationsquelle zu nutzen, bei spezifischeren Aussagen über konkrete Streckenabschnitte kann es aber keine detaillierte Aussage bieten. Für die grundlegende Übersicht über das zu erwartende Wetter sowie als Zusammenstellung vieler notwendiger Informationen stellt das SWIS auch für Erst- und Wiederholungseinsätze ein sehr geeignetes System dar.

4.4.3 Informationsquelle Glättemeldealagen

Wie aus der bisherigen Auswertung deutlich wurde, sind auch bei der SM Weiden i. d. Opf. die GMA eine häufig genannte und meist auch sehr hoch gewichtete Informationsquelle. Die SM Weiden i. d. Opf. hat in ihrem System zwei GMA, welche direkt der Straßenmeisterei zugeordnet werden können. Über die dort verwendete Software hatten die Entscheider der Straßenmeisterei auch Zugriff auf weitere GMA der umliegenden Meistereien.

Die einzelnen GMA wurden unterschiedlich häufig genutzt (s. Tabelle 14). Die GMA Kohlberg und GMA Gramelhof wurden über den Winter verteilt insgesamt jeweils 52 bzw. 53 mal als Informationsquelle angegeben. Lediglich sechsmal wurde auf GMA andere Meistereien zugegriffen. Dies war nur bei den Entscheidungen der Fall, bei denen ein umfassendes Gesamtbild notwendig war. In über 80 % der Fälle wurden durch die SM Weiden i. d. Opf. die Daten der beiden eigenen GMA gemeinsam genutzt. (s. Tabelle 14). Dies kann vor allem damit begründet werden, dass diese beiden Anlagen an sehr neuralgischen Punkten errichtet wurden und somit bei Winterdienstentscheidungen für einen Großteil der Entscheidungen relevant sind. Lediglich in neun Fällen (= 14 %) wurde eine der GMA alleine als für einen Einsatz relevant im Erfassungsbogen vermerkt.

GMA	Gesamtnennung	Nennung von 1 GMA	Nennung von 2 GMA	Auswahl aller GMA
GMA Kohlberg	52	3	45	4
GMA Gramlhof	53	6	43	4
Zusätzliche GMA	6	0	2	4

Tab. 14: Nutzung der einzelnen GMA in der SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Bei den relevanten Parametern, welche bei einer Nutzung von GMA-Informationen abgerufen wurden, ergibt sich im Vergleich zur SM Wangen i. A. ein anderes Bild. In der SM Weiden i. d. Opf. waren fast ausschließlich die Luft- und die Fahrbahnoberflächentemperatur (LT und FBT) relevant. Die Temperatur des Straßenkörpers in 5 und 30 cm Tiefe (FBZ -5 und FBZ -30) wurde jeweils nur einmal genannt, weitere Parameter überhaupt nicht (s. Bild 28).

Bezieht man die Anzahl der Nennungen auf verschiedene Einsatzarten, kann das vorab beschriebene Bild bestätigt werden (s. Bild 29). Luft- und

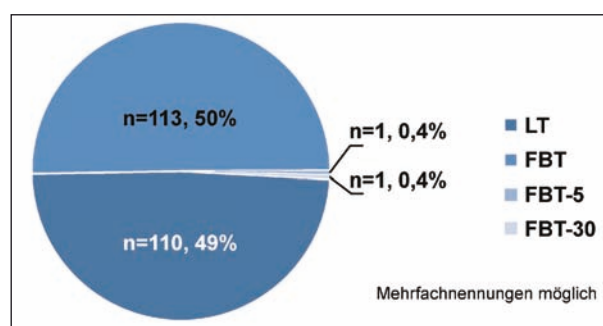


Bild 28: Anteil der einzelnen GMA-Parameter bei Einsatzentscheidungen mit GMA; SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

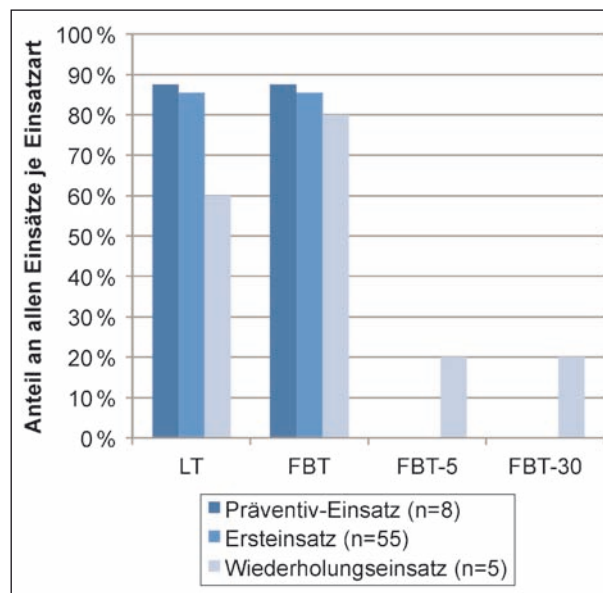


Bild 29: Nutzung der verschiedenen Parameter für Einsatzentscheidungen; SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Fahrbahnoberflächentemperatur werden in über 80 % aller Einsätze als relevanter Parameter angesehen. Nach Aussage der Mitarbeiter wurden zwar weitere Parameter, wie Taupunkttemperatur, relative Luftfeuchte sowie Gefrierpunktttemperatur, im Beobachtungsprozess überwacht. Aufgrund der unbekanntenen Genauigkeit, des zu geringen Vertrauens in die Messwerte sowie einer zu geringen Aussagekraft für die Gesamtsituation wurden auf Basis dieser Parameter jedoch keine Einsatzentscheidungen getroffen. Als ausschlaggebend werden lediglich Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur angesehen. Obwohl die im System verfügbaren GMA einen weitaus größeren Informationsumfang (s. Kapitel 4.1.2) bieten, wird dieser somit nicht für die letztendliche Einsatzentscheidung genutzt. Auch auf zusätzlich verfügbare Informationen, wie die 3-h-Prognose, wurde nicht zurückgegriffen.

In der SM Weiden i. d. Opf. ist keine der vorhandenen GMA mit einer Kamera ausgerüstet. Die Straßenmeisterei hatte lediglich Zugriff auf die Kamerabilder benachbarter Meistereien sowie deren GMA. In den Entscheidungsprozess wurde teilweise das Kamerabild der GMA Kastanienhof einbezogen, um eine grobe Einschätzung der Wettersituation zu ermöglichen. Zusätzliche Kameras wurden von den Mitarbeitern der Straßenmeisterei gewünscht, da diese eine hohe Aussagekraft über das derzeitige vorherrschende Wetter bieten.

4.4.4 Repräsentativität der Ergebnisse

Nachfolgend soll analog zur Straßenmeisterei Wangen i. A. geprüft werden, ob diese Ergebnisse eine

allgemeine Gültigkeit besitzen oder ob aufgrund der Besonderheiten dieses Winters weitere Parameter relevant sein können. Für die Bewertung der Ergebnisse der Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf. wurde die Klimastation „Weiden“ herangezogen (Stations-ID: 5397; 440 m ü. NN). Für diese Station stehen historische Daten seit dem 01.01.1947 zur Verfügung, was zu einer entsprechend genauen Aussage über Durchschnitt, Maximum und Minimum führt. Daten zur Bewertung von Verwehungen (Windgeschwindigkeit) liegen erst ab 01.01.1962 vor, diese wurden zuvor nicht erfasst. Die Station steht zentral im Betreuungsgebiet der Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf.

Die Ergebnisse an der Klimastation für die Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf. spiegeln in einer erstaunlichen Ähnlichkeit die Verhältnisse in der SM Wangen i. A. wieder (s. Tabelle 15). Die Schneefalltage und die Tage mit Eisglätte liegen deutlich unter dem Durchschnitt, die Tage mit Glatteis liegen deutlich über dem langjährigen Mittel, die Tage mit Reifglätte entsprechen weitestgehend dem Durchschnitt. Lediglich bei den Verwehungen gibt es eine deutliche Abweichung. In der SM Weiden i. d. Opf. liegen diese Tage deutlich unter dem Durchschnitt der vergangenen 50 Jahre. Die für die Straßenmeisterei Wangen i. A. getroffenen Schlussfolgerungen lassen sich somit auch für die Straßenmeisterei Weiden übernehmen. Sensoren für die Bewertung des Fahrbahnzustandes sowie des Niederschlagszustandes wären in einem durchschnittlichen Winter wahrscheinlich häufiger nachgefragt worden, als im untersuchten Winter 2011/2012. Für die Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf. lassen sich

Winterliches Ereignis	Kriterien	Anzahl Tage Winter 11/12	Anzahl Tage Durchschnitt	Anzahl Tage Max	Anzahl Tage Min
Schneeglätte	Schneefall > 0 cm	8	16	29	7
Eisglätte	Schneehöhe > 0 cm Kein Niederschlag $LT_{max} > 0 \text{ °C}$ $LT_{min} < 0 \text{ °C}$	1	10	31	1
Glatteis	$LT_{min} < 0 \text{ °C}$ Niederschlag > 0 mm Schneefall = 0 cm	32	10	55	3
Reifglätte	Kein Niederschlag $LT_{min} < 0 \text{ °C}$ Rel. Luftfeuchte > 90 %	10	9	24	1
Verwehungen	Schneehöhe > 0 cm Wind $v_{max} > 5,5 \text{ m/s}$	16	33	83	0

Tab. 15: Kennzahlen für winterliche Ereignisse der Klimastation Weiden für Winter 2011/12 sowie Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwerte im Vergleichszeitraum ab 1947 bzw. 1962 (nur bei Verwehungen)

diese Annahmen um die Sensoren zur Erkennung von Verwehungen, wie die Windgeschwindigkeit und Kameras erweitern.

4.5 Ergebnisse Autobahnmeisterei München-Nord

Die Erfassung der Winterdienstentscheidungen wurde in der Autobahnmeisterei München-Nord im Zeitraum vom 01.12.2011 bis 31.03.2012 durchgeführt. Aufgrund regelmäßiger Kontrollfahrten wurde das System wenig genutzt, sodass in der Autobahnmeisterei München-Nord insgesamt nur zwölf Entscheidungen erfasst werden konnten. Hierbei wurden sieben Ersteinsätze, zwei Präventiveinsätze und drei Wiederholungseinsätze ausgelöst. Bei den erfassten Einsatzentscheidungen handelte es sich in drei Fällen um Entscheidungen für Streueinsätze, in neun Fällen wurde eine Entscheidung für einen Räumeeinsatz getroffen.

Aufgrund der sehr geringen Grundgesamtheit ist eine quantitative Aussage zu den Informationsquellen sowie zur Nutzung von GMA nicht möglich. Mithilfe der durchgeführten Gespräche sowie in den Auswertungen erkannten Tendenzen können jedoch qualitative Aussagen zu den Einsatzentscheidungen getroffen werden. Bei der Vielzahl der vorhandenen Entscheidungshilfen (s. Bild 14) sind die GMA in der AM nur eine Informationsquelle für die Einsatzentscheidung. Daten aus der Verkehrsbeeinflussungsanlage, aus dem SWIS inklusive Wetter- und Niederschlagsradar sowie Informationen aus der benachbarten Verkehrsrechnerzentrale stellen neben den GMA weitere wichtige Entscheidungshilfen dar. Aufgrund der 24-stündigen Winterdienstbereitschaft für Bundesautobahnen sind bei unklaren bzw. wechselnden Witterungssituationen Mitarbeiter dauerhaft mit Winterdienstfahrzeugen im Netz unterwegs. Entscheidungen werden somit vielfach ohne Zuhilfenahme von GMA-Daten durch die Fahrer getroffen. Die Entscheidung basiert auf der Einschätzung des Streckenzustandes durch den Mitarbeiter sowie den im Fahrzeug vorhandenen Daten, z. B. den Werten des Thermomat, oder vereinzelt online verfügbaren Wetterdaten.

Bei Entscheidungen unter Zuhilfenahme von GMA-Daten werden in der Meisterei selten nur einzelne GMA betrachtet. Viel häufiger ist das Gesamtbild ausschlaggebend, welches sich aus der Betrachtung aller verfügbaren GMA ergibt. Diese Tatsache

lässt sich auch mit dem sehr lang gestreckten Streckennetz begründen. Aufgrund langer Vorlaufzeiten ist eine längerfristige Aussage notwendig, welche sich vor allem aus dem oben beschriebenen Gesamtbild ergibt. Bei der Bewertung der GMA-Daten wird meist auf wenige, gut interpretierbare Parameter zurückgegriffen. Die wichtigsten GMA-Parameter sind dabei die Lufttemperatur, die Fahrbahnoberflächentemperatur sowie die Taupunkttemperatur, da sich aus diesen Parametern nach Aussage des Autobahnmeisters der Fahrbahnzustand sehr gut ableiten lässt.

4.6 Gesamtbewertung

Insgesamt wurden in den beiden Meistereien in Weiden i. d. Opf. und Wangen i. A. im Winter 2011/2012 354 Winterdienstentscheidungen erfasst. In der SM Wangen i. A. wurden 129 Entscheidungen erfasst, die zu einem Einsatz führten, in der SM Weiden i. d. Opf. waren es 68 Entscheidungen. Zusätzlich wurden in der SM Wangen i. A. 128 Nicht-Einsatz-Entscheidungen erfasst, 17 Entscheidungen hatten Kontrollfahrten mit punktuellm Streuen oder Räumen zur Folge und 12 Entscheidungen dienten der Einsatzplanung (s. Bild 30). Weitere 12 Entscheidungen wurden in der AM München-Nord erfasst, die in der vergleichenden Bewertung aufgrund der geringen Anzahl und der abweichenden Randbedingungen nicht weiter berücksichtigt werden.

Vergleicht man nun die Informationsquellen, die für die Entscheidung herangezogen wurden, so ist eine vergleichbare Tendenz zu erkennen. In beiden Meistereien werden die GMA zu über 60 % aller Einsatzentscheidungen herangezogen (s. Bild 31).

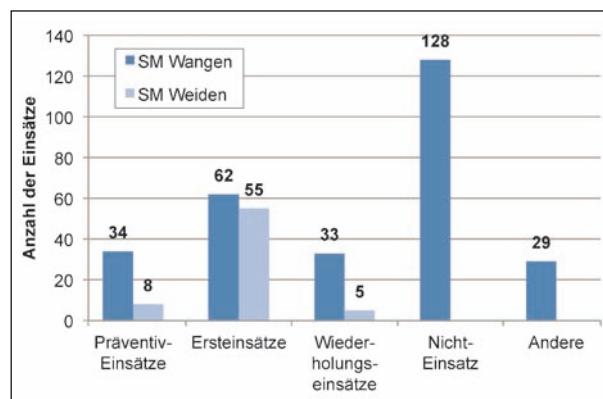


Bild 30: Vergleich der Anzahl erfasster Entscheidungen; SM Wangen i. A./SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der SM Wangen i. A. sowie der SM Weiden i. d. Opf. besteht in der Nutzung des Internets als Informationsquelle. Die Mitarbeiter der SM Wangen i. A. nutzen das Internet in über 20 % aller Einsatzentscheidungen, die Mitarbeiter der SM Weiden i. d. Opf. greifen für die Einsatzentscheidungen nie auf Informationen aus Internetquellen zurück. Mit dieser hohen Internetnutzung korreliert auch die geringere Nutzung des SWIS in der SM Wangen i. A. (17 %) im Vergleich zur SM Weiden i. d. Opf. (29 %). Dieses Nutzungsverhalten in der SM Weiden i. d. Opf. ist mit dem persönlichen Empfinden der Einsatzleiter zu erklären. In Interviews wurde deutlich, dass den Werten des SWIS ein hohes Vertrauen beigemessen wird. Das SWIS des Deutschen Wetterdienstes wird als zentrale Informationsquelle angesehen.

Weitere Informationsquellen sind die Meldungen von Fahrern oder Dritten, wie Polizei oder Ret-

tungsdiensten. In der SM Wangen i. A. wird bei 28 % aller Einsatzentscheidungen auf diese Informationen zurückgegriffen. In der SM Weiden i. d. Opf. liegt dieser Anteil mit 42 % höher. Dies kann vor allem mit dem Einsatz eines Spähers in den Morgenstunden erklärt werden, der bei kritischen Wetterlagen kritische Punkte des Streckennetzes abfährt und Meldung an die Einsatzleitung erteilt. In der SM Wangen i. A. werden solche Fahrten nicht planmäßig und nur bei sehr unklaren Wetterlagen durchgeführt. Rundfunk und Fernsehen spielen in beiden Meistereien eine zu vernachlässigende Rolle.

Der Vergleich der Parameter, welche bei der Verwendung von GMA angegeben wurden, ist in Bild 32 dargestellt. In beiden Meistereien waren die ausschlaggebenden Parameter die Lufttemperatur sowie die Fahrbahntemperatur. In der SM Wangen i. A. machten diese beiden Parameter rund 58 % aller genannten Parameter aus, in der SM Weiden i. d. Opf. sogar 99 %. In dieser Meisterei wurden die beiden Parameter in über 80 % aller Einsatzentscheidungen genutzt. In der SM Wangen i. A. liegt dieser Anteil sowohl für Einsätze als auch für Nicht-Einsatz-Entscheidungen deutlich geringer, was mit der breiteren Nutzung aller verfügbaren Parameter zu erklären ist. Darüber hinaus wurden in der SM Wangen i. A. noch das Kamerabild, der Fahrbahnzustand sowie die Windgeschwindigkeit bei der Einsatzentscheidung berücksichtigt; weitere Parameter wurden nur im Einzelfall genannt (s. auch Tabelle 12). Kamerabilder stehen in der SM Weiden i. d. Opf. nicht zur Verfügung und auch die Windgeschwindigkeit wird nur an einer GMA gemessen. Allerdings spielte diese wie auch der Fahrbahnzustand in der SM Weiden i. d. Opf. keine Rolle. Die

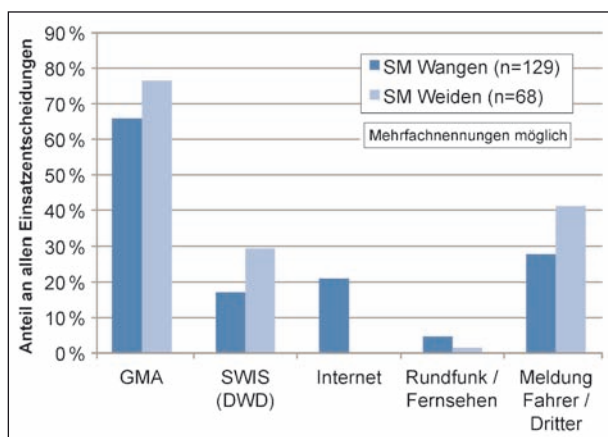


Bild 31: Vergleich der Anzahl der genannten Informationsquellen für Einsatzentscheidungen; SM Wangen i. A./SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

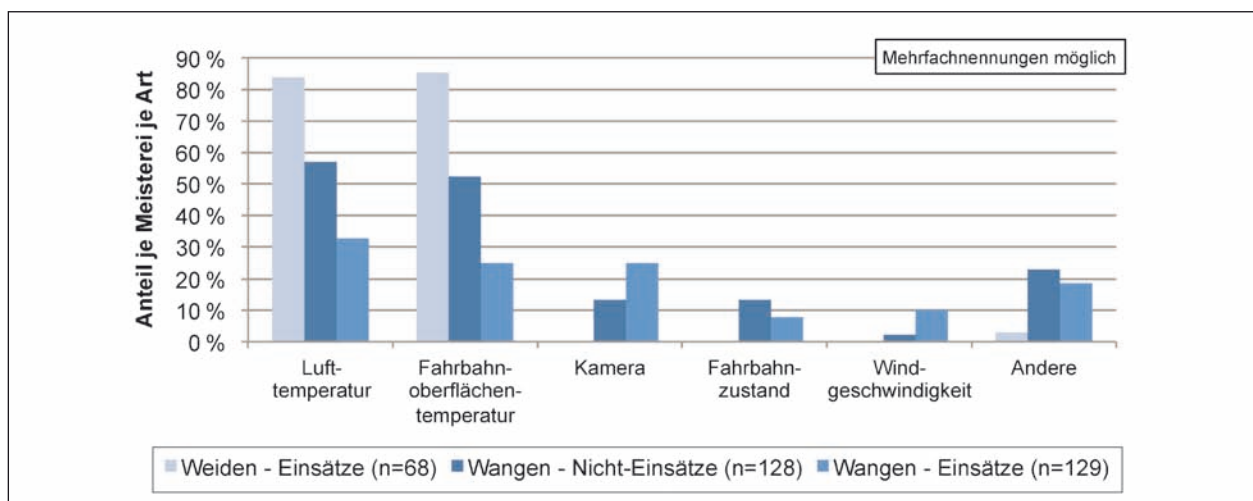


Bild 32: Vergleich der ausgewählten GMA-Parameter; SM Wangen i. A./SM Weiden i. d. Opf. im Winter 2011/12

Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden vor allem in den Monaten November und Februar/März ausgewählt. Dies hängt vor allem mit den in diesen Zeiträumen gehäuft aufgetretenen Verwehungen zusammen. Bei diesen Entscheidungen waren diese Parameter dann häufig die einzig entscheidungsrelevanten Parameter. Die Temperatur des Straßenkörpers (in Bild 32 unter „Andere“ zusammengefasst), welche in verschiedenen Tiefen gemessen wird, war für die Einsatzentscheidung ebenfalls nur in spezifischen Situationen von Bedeutung. Häufig wurde dieser Parameter im Zusammenhang mit Veränderungen der Wetterlage berücksichtigt, um die Veränderung des Fahrbahnzustandes abschätzen zu können. Beispiele hierfür sind Schneefall auf einen warmen ($> 0\text{ °C}$) Straßenkörper oder Regen/Niederschlag auf einen noch kalten ($< 0\text{ °C}$) Straßenkörper.

Zusammenfassend wird deutlich, dass bei Einsatzentscheidungen GMA eine der wichtigsten Informationsquellen sind. Die Nutzung der Systeme ist in den analysierten Meistereien stark von dem technischen Stand des Systems abhängig. Sensorik, die aufgrund hoher Zuverlässigkeit und zusätzlicher Überprüfung durch ein Kamerabild als vertrauenswürdiger eingestuft wird, führt in Kombination mit einer dem Nutzer angepassten und aussagekräftigen Software im Fall der SM Wangen i. A. zu einer stärkeren Nutzung von GMA als in der SM Weiden i. d. Opf. Gleichfalls wurde auch deutlich, dass die Einsatzleiter in beiden Meistereien häufig zusätzliche Informationen aus dem SWIS bzw. Internetportalen einholen.

In der weitergehenden Analyse ist zu erkennen, dass sich die letztendlich für eine Einsatzentscheidung relevanten Parameter auf wenige Messgrößen, vor allem die Luft- und die Fahrbahnoberflächentemperatur, reduzieren lassen. Seitens der Meistereien wurde allerdings angemerkt, dass eine Vielzahl an Parametern von GMA für eine Einschätzung der Situation beobachtet wurden, bei der eigentlichen Entscheidung für oder gegen einen Einsatz aber häufig auf wenige, bekannte und gut interpretierbare Parameter zurückgegriffen wurde. Diese Einschätzung kann durch die vorliegende Analyse bestätigt werden.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich für die Konfiguration einer vereinfachten GMA verschiedene Kriterien ableiten. Für die Systemkonfiguration und Systemintegration ergeben sich folgende Erfordernisse:

- Integration aller Daten von GMA in ein einziges nutzerorientiertes System, welches den Erfordernissen des jeweiligen Nutzers angepasst werden kann. Der Zugriff auf verschiedene, parallel laufende Systeme ist in der Praxis aufgrund des Zeitdrucks während der Einsatzentscheidung hinderlich.
- Reduktion der Anzeigen auf die wesentlichen Parameter und Anzeige in einer visuell schnell und klar erfassbaren Form

Für die Konfiguration einer GMA ergeben sich aus der vorliegenden Analyse für die Praxis folgende Erfordernisse:

- Sensor zur Ermittlung der Lufttemperatur,
- Sensor zur Ermittlung der Windgeschwindigkeit,
- Sensor zur Ermittlung der Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Sensor zur Ermittlung des Fahrbahnzustandes,
- Sensor zur Ermittlung der Niederschlagsart,
- nachtsichtfähige, möglichst hochauflösende Kamera.

Der Sensor für die Niederschlagsart wird abweichend von den Ergebnissen der statistischen Auswertung ebenfalls als relevant eingestuft. Grund hierfür ist vor allem die Rückmeldung aus den Meistereien, welche diesen Parameter als sehr wichtig eingestuft haben, da nur so Rückschlüsse auf die aktuelle Niederschlagsituation möglich sind.

Für die Standortwahl von GMA sollten vor allem folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Die Standorte von GMA sollten aus Sicht der Einsatzleiter an kritischen Stellen gewählt werden, um realistische Ist-Werte von diesen Orten zu bekommen. Die Positionierung der GMA rein nach rechnerischen Belangen für die Vorhersage führt häufig zu mehr Kontrollfahrten, da den rechnerisch ermittelten Werten weniger als tatsächlich ermittelten Werten vertraut wird.
- In bestehenden Netzen sollten die reduzierten GMA das System sinnvoll zu ergänzen. Hierbei ist auf verschiedenen Höhenlagen, geografische Lagen und eine an den Standort angepasste und im System veränderliche GMA-Konfiguration zu achten.

In den Analysen hat sich gezeigt, dass Einsatzleiter in den Meistereien meist auf wenige Parameter für Einsatzentscheidungen zurückgreifen. Aus der Literatur sind Modelle verfügbar, die sich mit Einsatzentscheidungen im Straßenwinterdienst auseinandersetzen und die z. B. zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen genutzt werden (siehe Bild 2) [BADEL/BREITENSTEIN 2005]. Folgende Parameter werden während des Verfahrens geprüft und müsse daher an GMA ermittelt werden:

- Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Lufttemperatur,
- Fahrbahnzustand,
- Taupunkttemperatur.

Weitere Parameter werden zur Ermittlung der unterschiedlichen Warnmeldungen nicht benötigt. Dieses Modell bestätigt die im vorigen Kapitel beschriebenen Beobachtungen. Lediglich die Taupunkttemperatur wird von den Einsatzleitern nicht in dem Maße berücksichtigt, wie es das Modell nach BADEL/BREITENSTEIN [2005] vorsieht. Dies ist damit zu begründen, dass meist das notwendige Wissen über die Interpretation und Aussagekraft dieses Parameters fehlt. Vergleicht man die Ergebnisse der Erhebungen mit den erforderlichen Parametern (s. Tabelle 2), so zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung. Die Parameter Lufttemperatur, Fahrbahnoberflächentemperatur, Fahrbahnzustand, Windgeschwindigkeit sowie das Kamerabild werden sowohl im theoretischen Ansatz für die Erkennung einer Vielzahl von Glättearten und winterlichen Bedingungen benötigt, aber auch in der Praxis für Einsatzentscheidungen genutzt. Lediglich die in der Theorie häufig benötigten Parameter Niederschlagsart und Temperatur des Straßenkörpers werden von den Einsatzleitern in den Meistereien nicht bzw. nicht in diesem Umfang genutzt. Nach den Erfahrungen aus den Gesprächen und den Erfassungen im Winter 2011/2012 werden der Niederschlag sowie vor allem die Auswirkungen vor Ort meist über die Kamera bestimmt. Das Vertrauen in die Erfassung der Niederschlagsart durch die GMA ist hier sehr gering. Die Temperatur des Straßenkörpers wird vor allem bei starken Temperaturwechseln benötigt. Da diese Fälle in der Gesamtzahl der Winterdienstentscheidungen eine untergeordnete Rolle spielen, tritt dieser Parameter in der durchgeführten Erfassungen nur in geringerem Umfang auf.

5 Autarke Energieversorgung von Glättemeldeanlagen

5.1 Messungen zum Energieverbrauch bestehender GMA

Zur Messung des Energieverbrauchs wurden drei GMA unterschiedlicher Hersteller an zwei Meisterstandorten ausgewählt. Diese sind:

- GMA 1 am Standort A,
- GMA 5 am Standort E,
- GMA 3 am Standort E.

Alle drei ausgewählten GMA erfassen Fahrbahn- und Witterungsparameter und verfügen über eine Kamera. Zusätzlich werden von der GMA 1 die Parameter Wasserfilmdicke, Eisschicht und Fahrbahnzustand ermittelt. Die Niederschlagsart wird nur bei den GMA 3 und 5 ermittelt, wohingegen Windrichtung, Schneehöhe und Schneeschicht nur von der GMA 1 erfasst werden. Die Kamera der GMA 5 verfügt zusätzlich über einen abschaltbaren Infrarotscheinwerfer.

Zum Erfassen der Daten wurden vom 10.12.2012 bis 09.01.2013 Messungen des Energieverbrauchs (in Summe der Messstunden entspricht dies 30 Tage) durchgeführt. Hierzu wurden die elektrischen Größen Spannung (U), Strom (I), Leistung sowie die Blindleistung der drei Anlagen aufgezeichnet. Zu diesem Zweck wurde zwischen Wechselstromzähler und Personenschutzschalter RCD 1-polig (FI) ein Messgerät zwischengeschaltet. Das Messintervall betrug 5 Minuten. Gemessen wurden fortlaufend über 24 Stunden.

Als wesentliche Kenngröße der jeweiligen Station wurde die zeitabhängige Leistungsaufnahme in Watt (W) ausgewertet. Hierzu wurden aus den gemessenen Einzelwerten die Mittelwerte je Stunde berechnet. Bild 33 zeigt die hieraus aggregierten Mittelwerte je Messtag sowie den über den gesamten Erfassungszeitraum gebildeten Mittelwert als Gerade. Daneben wurde auch der Mittelwert je Messstunde (z. B. von 24:00 Uhr bis 1:00 Uhr) über die 30 Tage Messzeit gebildet und gegen den über alle Messstunden gebildeten Mittelwert (Gerade) in Bild 34 dargestellt.

Die errechneten Mittelwerte betragen für die GMA 1 am Standort A 42,8 Watt (W) und für die GMA 3 am

Standort E, 77,2 W. Die Auswertung der Anlage 5 erfolgte für die zwei Zeitbereiche von 17 Uhr bis 8 Uhr und von 8 Uhr bis 17 Uhr, da sich die Leistungsaufnahmen für die beiden Zeitintervalle signifikant unterscheiden. Die Mittelwerte betragen hier 39,62 W und 25,47 W (s. Bild 33). Somit wird deutlich, dass die Leistungsaufnahme der drei GMA sehr unterschiedlich ist, was im Wesentlichen auf die eingesetzte Sensorik, Messzyklen, Datenübertragungseinheiten etc. zurückgeführt werden kann. Da jedoch keine spezifische Leistungserfassung je Sensor erfolgte, ist eine weitere Differenzierung nicht möglich. Es wird aber deutlich, dass bei entsprechender Sensorik und Konfiguration einer GMA deutliche Einsparungen beim Energieverbrauch möglich sind.

Während die Leistungsaufnahme der GMA 5 über alle Messtage relativ konstant ist, zeigt sich für die

beiden anderen GMA, dass der Energieverbrauch schwankt, was u. a. auf die unterschiedliche Witterung zurückgeführt werden kann, die zu schwankendem Energieverbrauch der Sensorik führte. Die Schwankungsbreite ist jedoch mit ca. 15 % relativ gering (s. Bild 33). Umgekehrt haben die beiden GMA 1 und GMA 3 eine nur sehr geringe Schwankung über den Tagesverlauf, während die GMA 5 hier einen deutlichen Tag-/Nachtbetrieb erkennen lässt, der auf den Infrarotscheinwerfer zurückzuführen ist (s. Bild 34).

Des Weiteren wurde auch die kumulative Summenhäufigkeit der Leistungsaufnahme je GMA ermittelt. Als Berechnungsintervall wurden 0,125 W gewählt. Die Ergebnisse sind in der Bild 35 dargestellt. Wie bereits erwähnt, verfügt die GMA 5 über eine Kamera mit Infraroteinheit, was die deutlich

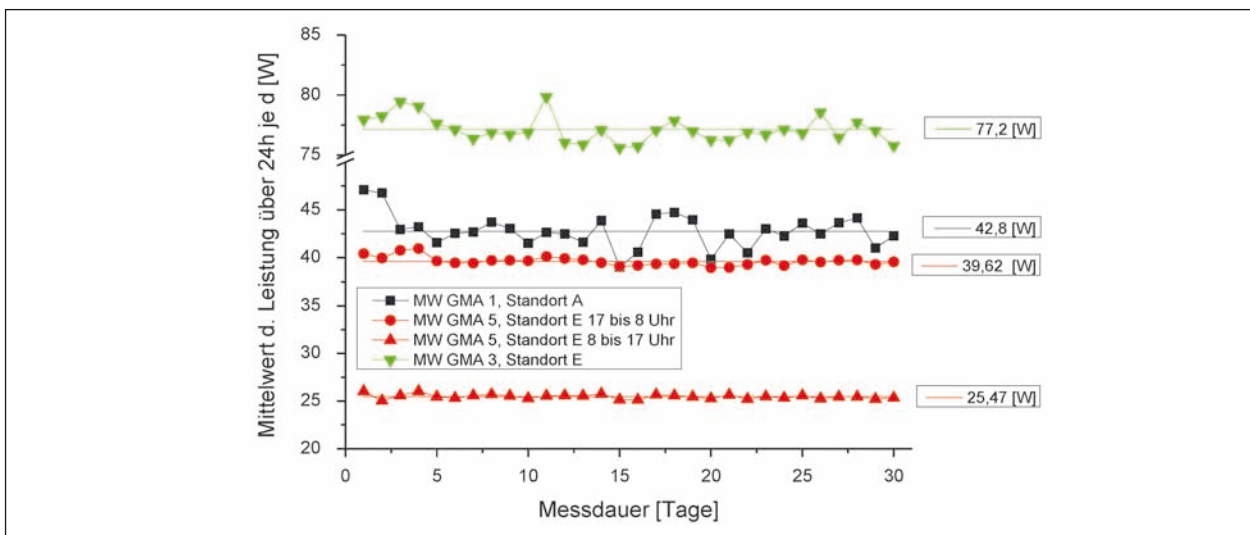


Bild 33: Über 24 h berechnete Mittelwerte für die Anlagen dargestellt je Tag über die Messzeit von 30 Tagen

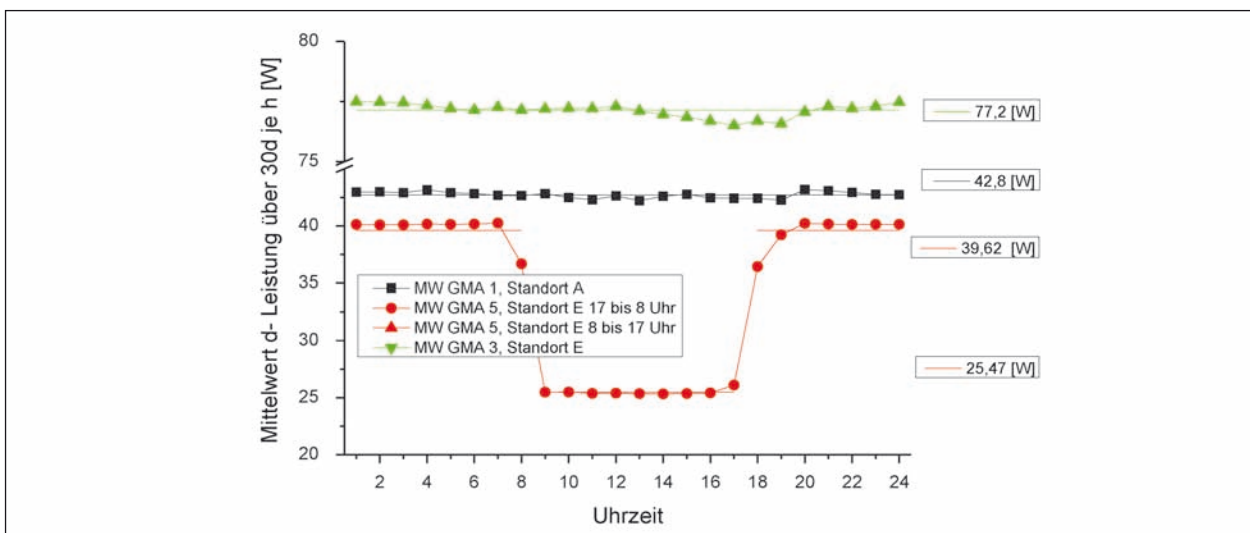


Bild 34: Über 30 Tage berechnete Mittelwerte für die Anlagen dargestellt je Stunde über 24 Stunden

flachere Summenlinie dieser GMA erklärt. Die steilen Summenlinien der beiden anderen GMA verdeutlichen, dass es nur geringe Schwankungen in der Leistungsaufnahme gibt. Für die GMA 1 liegen 95 % aller gemessenen Werte in einem Intervall ± 4 % um den Mittelwert, bei der GMA 3 beträgt diese Intervallgröße ± 12 %.

Neben den Mittelwerten der Leistungsaufnahme wurden auch der über die Messzeit absolute Energiebedarf (kWh), die Werte für die minimale und maximale Leistungsaufnahme (W), die mittlere Spannung (V) sowie die mittlere Stromstärke (A) ermittelt. Die Werte sind in Tabelle 16 je Anlage aufgeführt. Signifikante Unterschiede bei der mittleren Spannung sind nicht erkennbar, sodass die Varianz der Stromstärke weitgehend der Varianz bei der mittleren Leistungsaufnahme entspricht.

Abschließend ist festzustellen, dass eine GMA mit einer mittleren Leistungsaufnahme von 50 W bis 100 W betrieben werden kann, wobei etwaige Leistungsspitzen, wie z. B. für die GMA 3 mit 112,6 W ermittelt, abzupuffern sind.

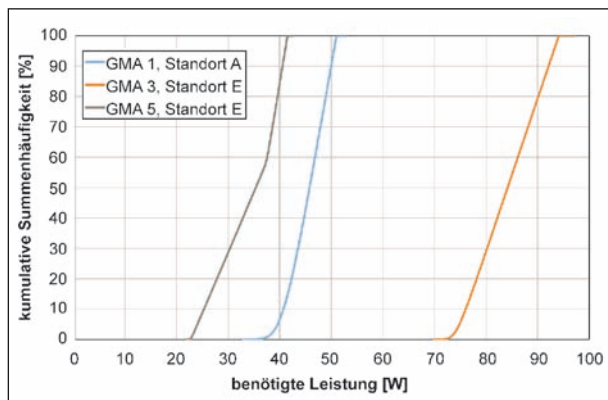


Bild 35: Berechnete Summenhäufigkeit der Leistungsaufnahme für die GMA 1 am Standort A sowie die Anlagen 3 und 5 am Standort E

5.2 Bewertung möglicher Energieressourcen zur autarken Stromversorgung

5.2.1 Bewertungsgrundlagen

Zur Bewertung der autarken Energieressourcen Photovoltaik, Windkraft und Brennstoffzelle wird auf Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Energieverbrauchsmessungen von folgende Randbedingungen ausgegangen:

- Variante I: 80 W mittlerer Leistungsbedarf,
- Variante II: 40 W mittlerer Leistungsbedarf (alternativ),
- 10 d ohne Sonne oder Wind zur Energieversorgung bzw. zur Aufladung des Speichermediums.

Für die Dimensionierung der Energieversorgung bedeutet dies, dass ein System zur autarken Stromversorgung in der Lage sein muss, den mittleren Leistungsverbrauch im Durchschnitt zu erzeugen, um die Anlage betreiben zu können sowie die überschüssige Energie in ein Speichermedium einzuspeisen. Bei Einsatz von Sonnen- oder Windenergie ist das Speichermedium so zu dimensionieren, dass die Energie für eine Laufzeit von mindestens 10 Tagen zur Verfügung steht. Dieses Zeitintervall entspricht der in Deutschland typischerweise vorkommenden Zeitintervalle für großräumige Wetterlagen. Bei längeren Zeiträumen wäre ein dezidiertes Energiemanagement notwendig, denkbar ist z. B. die Verlängerung von Mess- und Übertragungszyklen oder die zeitweise Abschaltung einzelner energieintensiver Sensoren oder der Kamera, wenn nur noch wenig Energie gespeichert ist.

Des Weiteren muss für die Dimensionierung einer autarken Stromversorgung berücksichtigt werden, dass die Ressourcen Wind und Sonne in Deutschland nicht gleichmäßig verteilt sind. Sonnenenergie

	GMA 1, Standort A	GMA 5, Standort E	GMA 3, Standort E
Energieverbrauch gesamt [kWh]	29,79	24,07	53,74
Messdauer (gesamt)	30 Tage	30 Tage	30 Tage
Niedrigster Verbrauch [W]	19,2	23,1	56,2
Höchster Verbrauch [W]	63,2	48,4	112,6
Mittlere Leistungsaufnahme [W]	42,8	34,6	77,2
Mittlere Spannung [V]	238	231	226
Mittlere Stromstärke [A]	0,18	0,15	0,34

Tab. 16: Ermittelte elektrische Größen je Standort und Hersteller

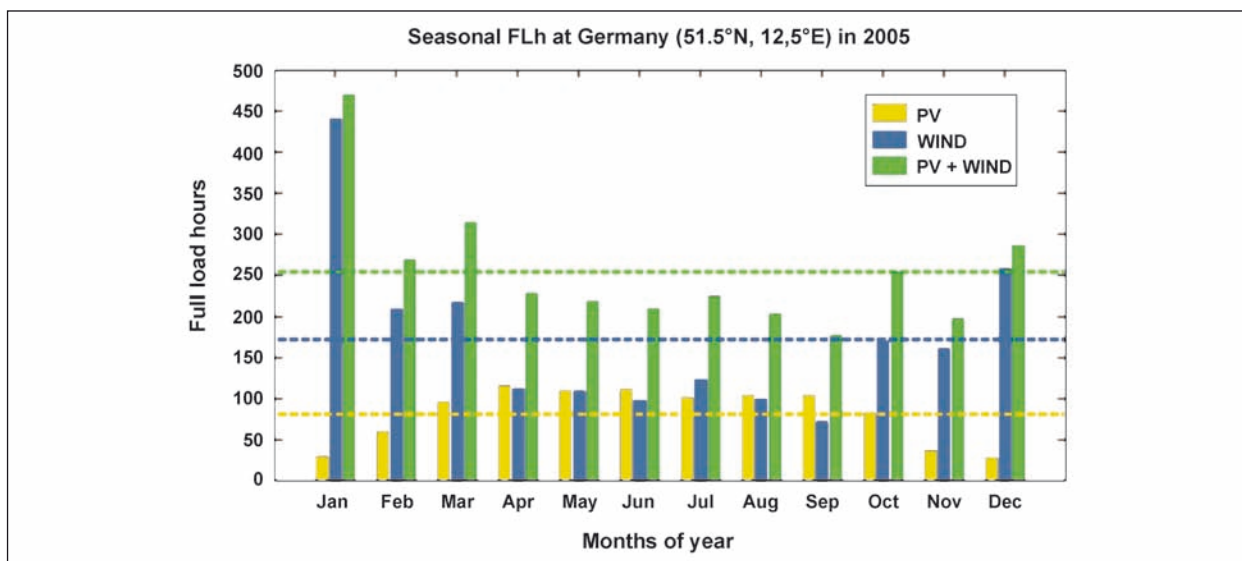


Bild 36: Saisonale Verteilung der Volllaststunden (FLh) bei Photovoltaik- und Windenergie in Mitteldeutschland im Jahr 2005 [GERLACH/BREYER 2012]

Leistungsbedarf	Variante 1		Variante 2	
	80 W		40 W	
Standort	München	Hamburg	München	Hamburg
Verfügbare solare Einstrahlung im Dezember	20 kWh/m ²	12 kWh/m ²	20 kWh/m ²	12 kWh/m ²
Wirkungsgrad Photovoltaik	15 %			
Erforderliche Fläche Solarpanel	20 m ²	33 m ²	10 m ²	17 m ²
Erforderliche Speicherkapazität Pufferbatterie	19,2 kWh		9,6 kWh	

Tab. 17: Ermittlung der erforderlichen Solarpanelgröße und Speicherkapazität der Pufferbatterie bei Einsatz von Photovoltaik für die autarke Energieversorgung

besitzt in Süddeutschland aufgrund des höheren Sonnenstandes eine höhere solare Einstrahlungsintensität als in Norddeutschland. Umgekehrt sind die mittleren Windgeschwindigkeiten im Norden und Osten höher als im Süden, wobei aufgrund der Topografie starke regionale Unterschiede bestehen.

Bei einer Betrachtung des saisonalen Verhaltens von Photovoltaik und Windenergie wird deutlich, dass während eines Winters in Deutschland (zwischen November und März) deutlich mehr Windenergie zur Verfügung steht als im Sommer (Juni bis September). Die Photovoltaik-Energie verhält sich genau entgegengesetzt (s. Bild 36).

5.2.2 Einsatz von Photovoltaik

Für die Nutzung der Sonnenenergie werden je nach Solarzellenmaterial unterschiedliche Wirkungsgrade angesetzt, die für monokristallines Silizium ca. 16 % und polykristallines Silizium ca. 14 % [DGS-SOLAR 2013]. Für München kann für

den Monat Dezember eine solare Einstrahlung von ca. 20 kWh/m² und für Hamburg von ca. 12 kWh/m² angesetzt werden [DWD 2013].

Die erforderliche Solarpanelfläche und die notwendige Kapazität der Pufferbatterie ist für die beiden Varianten in Tabelle 17 zusammengestellt. Es wird deutlich, dass die erforderlichen Solarpanelflächen erheblich sind und nicht mehr unmittelbar am Mast einer GMA befestigt werden können. Es sind somit entsprechende Freiflächen in der Nähe der GMA notwendig, für die als Diebstahlschutz eine Umzäunung vorzusehen ist und die insbesondere in den Wintermonaten frei von Beschattung ist. Da die solare Einstrahlung in den Wintermonaten kaum von der Neigung des Solarpanels beeinflusst wird, ist eine relative steile Aufstellung der Solarpanels möglich, sodass keine Einbußen durch liegen gebliebenen Schnee zu befürchten sind. Ertragsverluste in den Sommermonaten aufgrund des steilen Aufstellwinkels sind für die GMA nicht von Bedeutung.

Bauteil	Kosten	Menge	Variante 1	Menge	Variante 2
Solarpanel	300 €/m ²	20 m ²	6.000 €	10 m ²	3.000 €
Batterie (Blei-Säure)	200 €/kWh	19,2 kWh	3.840 €	9,6 kWh	1.920 €
Laderegler	200 €	1	200 €	1	200 €
Befestigung Verkabelung etc.	ca. 2.000 €	1	2.000 €	1	2.000 €
Summe			12.040 €		7.120 €

Tab. 18: Kostenschätzung für den Einsatz von Photovoltaik für die autarke Energieversorgung

Bauteil	Kosten	Menge	Variante 1	Menge	Variante 2
Mikrowindanlagen	ca. 1.200 €	5	6.000 €	3	3.600 €
Batterie (Blei-Säure)	200 €/kWh	19,2 kWh	3.840 €	9,6 kWh	1.920 €
Laderegler	400 €	1	400 €	1	400 €
Masten, Befestigung, Verkabelung etc.	ca. 5.000 €	1	5.000 €	1	5.000 €
Summe			15.240 €		10.920 €

Tab. 19: Kostenschätzung für den Einsatz von Mikrowindanlagen für die autarke Energieversorgung

Auf Grundlage der technischen Dimensionierung sind in Tabelle 18 die wesentlichen Kosten für die beiden Varianten am Standort München zusammengestellt. Am Standort Hamburg sind aufgrund der zusätzlich erforderlichen Solarmodule die Kosten ca. 2.000 bzw. 4.000 € höher.

5.2.3 Windkraft

Die Dimensionierung und Kostenbetrachtung einer autarken Stromversorgung mittels Windenergie wird nachfolgend exemplarisch für sogenannte Mikrowindanlagen (siehe Kapitel 2.7.4) mit einer Nennleistung von 300 W je Anlage durchgeführt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für eine Kleinwindanlage mit ca. 1,5 kW Nennleistung die Kosten in ähnlicher Größenordnung liegen. Nach SPÄHN/KOESNAIDI [2013] kann für eine Mikrowindanlage bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2,4 m/s (bei 10 m Höhe) eine mittlere Leistung von 18 W erzielt werden. Nach ALBERS et al. [2002] liegt die mittlere Windgeschwindigkeit in Deutschland im Jahresmittel in einer Höhe von 10 m bei 3,1 bis 3,4 m/s.

Dies bedeutet, dass für die eine GMA mit 80 W Leistungsaufnahme (Variante 1) fünf Mikrowindanlagen und für Variante 2 mit 40 W drei Mikrowindanlagen bzw. eine entsprechend dimensionierte Kleinwindanlage notwendig ist. Die Kostenschätzung für die beiden Varianten ist in Tabelle 19 zusammengestellt.

Beim Einsatz von Windgeneratoren besteht die Gefahr, dass die Rotorblätter vereisen, insbesondere, wenn bei Rotorstillstand Schmelzwasser an den Rotorblättern gefriert. Beim Wiederaufstart der Anlage besteht zum einen die Gefahr des Eiswurfs, wodurch es zu Gefährdungen von Anlagen und ggf. des Straßenverkehrs kommen kann. Zum anderen resultieren aus der Vereisung auch unterschiedliche Lasten an den Rotorblättern, die zu Unwuchten und damit Lagerschäden führen können. Um einen Stillstand bei Frost zu vermeiden, sind daher Windenergieanlagen so auszuführen, dass eine Vereisung vermieden wird, z. B. durch Beheizung der Rotorblätter. Weiterhin sollten die Windrotoren auf einem separaten Mast installiert werden, um Vibrationen an den Sensoren der GMA zu vermeiden, insbesondere wenn berührungslose Fahrbahnsensoren oder eine Kamera installiert sind. Der durch Windkraftanlagen verursachte Schattenwurf und die Geräuscentwicklung sind in der Regel unproblematisch, da diese Anlagen abseits der Bebauung installiert werden.

5.2.4 Brennstoffzelle

Für die autarke Energieversorgung mittels Brennstoffzelle wurde eine Direkt-Methanol-Brennstoffzelle ausgewählt. Des Weiteren ist bei der Dimensionierung der erforderlichen Anlagenleistung diese möglichst für den Dauerbetrieb auszurichten, um sicherzustellen, dass nicht ein Großteil des Methanols für die Gewährleistung der notwendigen

Bauteil	Kosten	Menge	Variante 1	Menge	Variante 2
Brennstoffzelle	ca. 4.000 €	1	4.000 €	1	2.000 €
Batterie (Blei-Säure)	200 €/kWh	2 kWh	400 €	2 kWh	400 €
Laderegler	nicht erforderlich, da Batterie nur für Spitzenlast				
Verkabelung etc.	ca. 2.000 €	1	2.000 €	1	2.000 €
Summe Investition			6.400 €		4.400 €
Methanol pro Jahr	3,90 €/l	300 l	1.170 €	150 l	585 €
Erneuerung Brennstoffzelle alle 5 Jahre			4.000 €		2.000 €
Gesamtkosten für 10 Jahre			22.100 €		12.250 €

Tab. 20: Kostenschätzung für den Einsatz von Brennstoffzellen für die autarke Energieversorgung

Betriebstemperatur benötigt wird. Für den Vergleich der Varianten 1 und 2 wurde deshalb von einer jährlichen Betriebsdauer von 180 „Wintertagen“, was 4.320 Betriebsstunden entspricht und einem Verbrauch von 0,9 l/kWh ausgegangen [SPÄHN und KOESNAIDI 2013].

Da die Brennstoffzelle weitgehend kontinuierlich in Betrieb ist, ist nur ein geringer Pufferspeicher zur Abdeckung von Spitzenlasten erforderlich; hierfür wird eine Batterie mit einer Kapazität von 2 kWh berücksichtigt. Als Lebensdauer wird auf Grundlage der Literatur (s. Kapitel 2.7.5) und Erfahrungen aus der Praxis von ca. 20.000 Betriebsstunden ausgegangen, was ca. 5 Jahren entspricht.

Die Kostenschätzung ist in Tabelle 20 für die Varianten 1 und 2 zusammengestellt. Die Berechnungen zeigen relativ geringe Investitionskosten von 6.400 € für Variante 1 und 4.400 € für Variante 2. Aufgrund der Betriebskosten und der Erneuerung der Brennstoffzelle fallen über 10 Jahre jedoch erheblich höhere Gesamtkosten in Höhe von 22.100 € bzw. 12.250 € an. In dieser Kostenschätzung sind die betrieblichen Aufwendungen für das regelmäßige Nachfüllen des Methanoltanks, das z. B. durch den Streckenwart erfolgen kann, nicht berücksichtigt. Ebenfalls unberücksichtigt sind ggf. zusätzliche Vorkehrungen zum Schutze der Umwelt und der Mitarbeiter vor den Gefährdungen durch das toxische Methanol.

5.2.5 Gesamtbewertung

Die durchgeführten Untersuchungen zur Konzeptionierung einer autarken Stromversorgung mittels Sonnenenergie, Windenergie und Brennstoffzelle für GMA haben gezeigt, dass bei Systemen auf Basis von Sonnen- oder Windenergie als autarke Stromversorgung ähnlich hohe Investitionskosten

zu erwarten sind. Die Entscheidung, welcher Energieträger genutzt werden kann, hängt somit im Wesentlichen von der Lage der jeweiligen GMA ab, wobei tendenziell die Energieeffizienz von Photovoltaikanlagen im Süden Deutschlands höher ist, während Windenergie eher im Norden zum Einsatz kommen kann. Allerdings sind neben der generellen Lage auch kleinräumige Gegebenheiten des Standortes bei der Auswahl zu berücksichtigen. Für Brennstoffzellen sind zwar erheblich geringere Investitionen notwendig, aufgrund der Betriebskosten und der geringeren Lebensdauer fallen jedoch über einen Zeitraum von 10 Jahren höhere Kosten gegenüber der Photovoltaik oder der Windenergienutzung an. Die Entscheidung welcher Form der autarken Energieversorgung sinnvoll ist, ist im Einzelfall in Abhängigkeit der folgenden Kriterien zu treffen:

- erforderliche Energieaufnahme der GMA,
- erforderliche Ausfallsicherheit der GMA,
- Witterung am Standort (Sonnenscheinstunden, Windgeschwindigkeiten),
- verfügbare Flächen, Beschattung, Windschatten, Bebauung, Zugänglichkeit.

Neben dem „stand alone“-Betrieb besteht noch die Möglichkeit der Kombination zur sogenannte Hybridanlage. Denkbare Kombinationen sind bspw. die Kombination von Photovoltaik und Wind oder von Photovoltaik/Wind und einer Brennstoffzelle, wie sie bereits in der Vergangenheit bei GMA zum Einsatz kamen.

Die Kombination von Photovoltaik und Windenergie erlaubt keine Reduktion der Batteriespeicher, da es gerade im Winter Witterungslagen ohne Sonnenschein oder Wind gibt. Auch kann die Größe der

Solarpaneele und der Windrotoren nicht signifikant reduziert werden, sodass mit erheblich höheren Investitionen zu rechnen ist, ohne dass die Ausfallwahrscheinlichkeit bedeutend gesenkt werden kann.

Die Kombination mit einer Brennstoffzelle führt ebenfalls zu höheren Kosten, da die Kosten für die Brennstoffzelle eine mögliche Einsparung bei der Batterie übersteigen. Weiterhin sind die Betriebskosten für die Brennstoffzelle zu berücksichtigen, deren Effizienz umso geringer ist, je seltener sie zum Einsatz kommen muss, da dann der Energieverbrauch zum Halten der Betriebstemperatur steigt. Allerdings kann die Ausfallwahrscheinlichkeit minimiert werden, da bei ungünstigen Witterungslagen unbegrenzt lange die Energieversorgung durch die Brennstoffzelle gewährleistet wird.

Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen wird empfohlen, für die autarke Stromversorgung von GMA weitestgehend Photovoltaik und Kleinwindenergieanlagen einzusetzen. Für ihre wirtschaftliche Dimensionierung ist es zielführend, die GMA und ihre Komponenten möglichst energieoptimiert auszurüsten. Auch kann ein flexibles Gerätemanagement sinnvoll sein, das bei geringen Energiereserven einzelne energieintensive Komponenten der GMA zeitweise außer Betrieb setzt bzw. Mess- und Übertragungszyklen reduziert.

Eine GMA ist nur dann effektiv und sinnvoll, wenn sie in der relevanten Zeit (in den Wintermonaten und häufig bei Dunkelheit) die benötigten Daten erfasst und sendet. Die Versorgungssicherheit muss also bereits in der Ausschreibung definiert werden, damit die Art der Stromversorgung optimal dimensioniert werden kann.

6 Genauigkeitsmessungen an GMA

6.1 Problemstellung, Grundlagen und Vorgehensweise

Die in den bisherigen Bereichen durchgeführten Erfassungen und Untersuchungen lassen vermuten, dass bei GMA häufig keine Wartung entsprechend den Empfehlungen der Hersteller erfolgt. Diese regelmäßige Wartungs- und Kalibrierungsarbeiten sind nach Aussage der Hersteller jedoch zur Erreichung der geforderten Messgenauigkeit auch bei älteren GMA erforderlich. Häufig wird seitens der

Straßenbauverwaltungen auf diese Leistungen verzichtet, da hieraus meist hohe Kosten resultieren und bisher entsprechende Nachweise über tatsächliche Fehlfunktionen nicht vorliegen. Wartung- bzw. Instandsetzungsarbeiten werden deshalb nur nach Hinweis durch die Nutzer oder nach Beschädigung einer GMA durchgeführt. Die Genauigkeitsanforderungen sind in der DIN 15518-3 [DIN 2011a] definiert, wobei die Prüfverfahren der DIN 15518-4 [DIN 2013] stark auf die Eignungsprüfung unter Laborbedingungen ausgelegt sind. In-situ-Verfahren zur Abnahme- bzw. Kontrollprüfung werden in den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) [BAST 2012] beschrieben. In Hinblick auf ein zu entwickelndes Abnahmeverfahren wurden abweichend von diesen Vorgaben einfachere Verfahren zur Messung der notwendigen Parameter erprobt. Hierbei sollte untersucht werden, inwieweit vereinfachte Messtechnik und -verfahren eine Aussage über die Eignung und Genauigkeit von neuen oder bestehenden Anlagen bieten.

Bei den Messungen standen folgende Geräte zur Verfügung:

- Testo 177-H1 Datenlogger für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit,
- Aspirations-Psychrometer nach Assmann für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit,
- Testo Mini-Alarm-Thermometer mit Einstechfühler + Kontaktpaste für Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Heitronics TRT Infrarot für Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Voltcraft IR 900-30S für Fahrbahnoberflächentemperatur,
- Ahlborn Almemo 2690 für Fahrbahnoberflächentemperatur.

Die Messung der Lufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchte erfolgte zum einen mit einem digitalen Datenlogger (ca. 500 €), der die erforderlichen Werte direkt anzeigt. Zum Abgleich erfolgte an drei Anlagen eine zusätzliche Messung dieser Parameter mit einem Aßmannschen Aspirations-Psychrometer (ca. 1.500 €), bei welchem diese Werte ohne Einfluss der Sonneneinstrahlung erfasst werden können. Die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur erfolgt zum einen mit einem Thermometer mit Einstechfühler (< 100 €), wobei Wärmeleitpaste bzw. Knetmasse zur Wärmeübertragung

GMA	Hersteller	Baujahr	Besonderheiten	Wartung
1*	II	2001		-
2	III	2008		Im Rahmen der Gewährleistung
3	II	2009		Im Rahmen der Gewährleistung
4	I	2010	Berührungslose Messtechnik	Jährlich
5*	II	2010		Im Rahmen der Gewährleistung
6	III	2012		Im Rahmen der Gewährleistung
7	III	2012	Brücke	Im Rahmen der Gewährleistung

* teilweise kein Abgleich aufgrund Kommunikationsfehler möglich

Tab. 21: Im Rahmen der Genauigkeitsmessungen am Standort E untersuchte GMA

genutzt wurden. Alternativ wurden ein Infrarot-Strahlungspyrometer (> 2.000 €), ein weiteres Infrarot-Thermometer (ca. 100 €) sowie ein Multifunktions-Messgerät mit Kontaktfühler (ca. 2.000 €) genutzt. Das einfache Infrarot-Thermometer der Fa. Voltcraft lieferte jedoch unter den Umgebungsbedingungen (< 0 °C, starke Temperaturwechsel) keine brauchbaren Ergebnisse. Auch das Multifunktions-Messgerät mit Kontaktfühler konnte keine verwertbaren Daten liefern. Für die Kontrollmessungen der Parameter Lufttemperatur und Fahrbahntemperatur wurden die Geräte Testo 177-H1, Aspirations-Psychrometer, Testo Mini-Alarm-Thermometer, Ahlborn Almemo 2690 und Heitronics TRT Infrarot eingesetzt.

Für die Messungen wurden sieben GMA verschiedener Hersteller in Baden-Württemberg und Bayern ausgewählt (s. Tabelle 21). Die Baujahre der Anlagen liegen zwischen 2001 und 2012, wobei die älteste Anlage während der Nutzungsphase teils mit neuer Sensorik ausgestattet wurde. Die GMA 5 ist als einzige der Anlagen mit berührungsloser Sensorik zur Erfassung der Fahrbahntemperatur und des Fahrbahnzustandes ausgerüstet. Alle Anlagen werden über das örtliche Stromnetz mit der notwendigen Energie versorgt. Die Datenübertragung erfolgt ebenfalls bei allen Anlagen per Mobilfunk.

6.2 Bewertung der Sensorik

6.2.1 Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Taupunkttemperatur

Der Abgleich der mit dem Referenzmesssystem gemessenen Werte erfolgt mit den Werten, wie sie für die Nutzer über die jeweilige Benutzeroberfläche abrufbar sind. Dafür wurden durch die Straßenbauverwaltungen entsprechende Zugänge zur Verfü-

gung gestellt. Der Abruf der Daten erfolgt vor Ort, wodurch parallel die Übertragungsdauer und Verarbeitungszeit der Systeme geprüft werden konnte.

Für die Erfassung der Lufttemperatur an allen GMA ergibt sich eine mittlere absolute Abweichung zwischen gemessener und von der GMA angezeigter Lufttemperatur von 0,7 °C (s. Bild 37). Lediglich bei einer Messung liegt die Abweichung innerhalb der Genauigkeitsanforderung von $\pm 0,1$ °C (6,9 °C; 6,9 °C). Die maximale absolute Abweichung liegt bei 2,0 °C (s. Tabelle 22), wobei die Abweichungen zwischen -2,0 °C und +1,1 °C schwanken. Aus dieser Zusammenstellung wird deutlich, dass bei den untersuchten GMA nur eine geringe Tendenz zu größeren Abweichungen bei älteren Anlagen zu erkennen ist.

Die mittlere Abweichung der Luftfeuchtigkeit bei allen Messungen beträgt 4,1 % r. H. (s. Bild 38) zwischen angezeigter und gemessener Luftfeuchtigkeit. Entsprechend den Angaben der DIN 15518-3 stellt diese eine mittlere Abweichung von 5,6 % dar (s. Tabelle 22). Die Darstellung der Messergebnisse zeigt, dass die Abweichungen vielfach innerhalb der Genauigkeitsanforderungen liegen. Diese liegen für die relative Luftfeuchte bei ± 3 % r. H. für eine Luftfeuchte größer 85 % r. H. Darunter gelten ± 5 % r. H. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass für die Luftfeuchte ein deutliche Tendenz zu erkennen ist, dass die Abweichungen mit zunehmenden Anlagenalter zunehmen. Selbst unter der Berücksichtigung einer doppelten Messungenauigkeit liegen diese Anlagen außerhalb des Messbereichs. Die anderen Anlagen liegen mit ihren Abweichungen bis 3,7 % r. H. in akzeptablen Bereichen. Die Grafik zeigt ebenfalls, dass alle Anlagen tendenziell eine höhere Luftfeuchte angeben als mit dem Referenzmesssystem gemessen wurde.

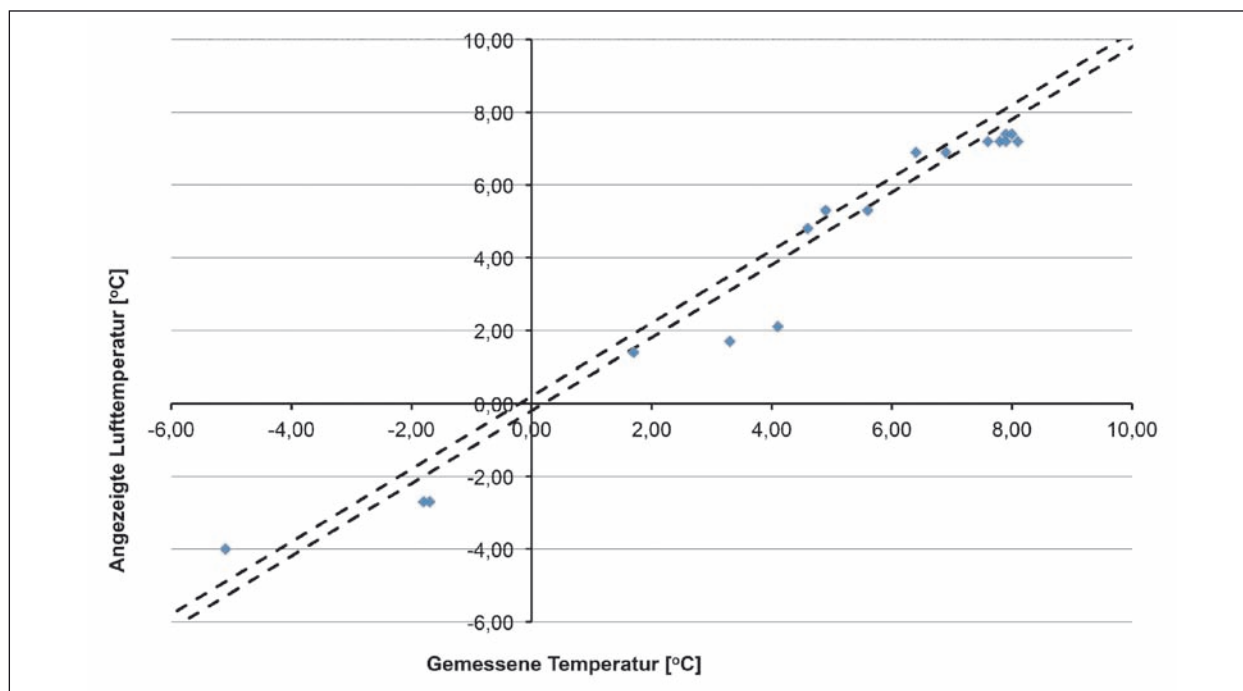


Bild 37: Vergleich zwischen mit dem Referenzmesssystem gemessener und von der GMA angezeigter Lufttemperatur (n = 17) mit Genauigkeitsanforderungen ($\pm 0,1$ °C, gestrichelte Linien)

GMA	Hersteller	Baujahr	Mittlere absolute Abweichung LT [°C]	Mittlere absolute Abweichung r. H. [% r. H.]
1*	II	2001	0,95	7,7 %
2	III	2008	1,80	9,1 %
3	II	2009	0,28	3,2 %
4	I	2010	0,68	1,8 %
5*	II	2010	1,10	2,2 %
6	III	2012	0,50	1,7 %
7	III	2012	0,30	3,7 %

* teilweise kein Abgleich aufgrund Kommunikationsfehler möglich

Tab. 22: Absolute Abweichung für Lufttemperatur (LT) und relative Luftfeuchte (r. H.) je GMA

Ein Zusammenhang zwischen Wartung und Genauigkeit kann vermutet werden. An der GMA 1 sind keine Wartungsarbeiten bekannt, die GMA 2 wurde innerhalb der vergangenen 5 Jahre lediglich im Rahmen der Gewährleistung gewartet. Somit ist davon auszugehen, dass an beiden Anlagen keine Wartungen durchgeführt wurden. Die GMA 4 wird jährlich durch den Hersteller gewartet und hat im Vergleich zu ähnlich alten Anlagen zumindest bei der Luftfeuchtigkeit eine bessere Genauigkeit.

Für die zu ermittelnde „Taupunkttemperatur“ konnten trotz der Abweichungen bei der relativen Luftfeuchtigkeit keine Werte außerhalb des zulässigen

Bereichs festgestellt werden (s. Bild 39). Diese Tatsache kann zum einen mit der relativ geringen Genauigkeitsanforderung ($\pm 1,5$ °C) begründet werden. Zum anderen werden bei der abgeleiteten Taupunktermittlung die Faktoren Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit zur Berechnung des Taupunkts kombiniert. Hierdurch können sich im positiven Fall eventuelle Einzelfehler gegenseitig aufheben. Für die Taupunkttemperatur konnten keine Abhängigkeiten zwischen Messgenauigkeit, Alter und/oder Wartung der GMA ermittelt werden.

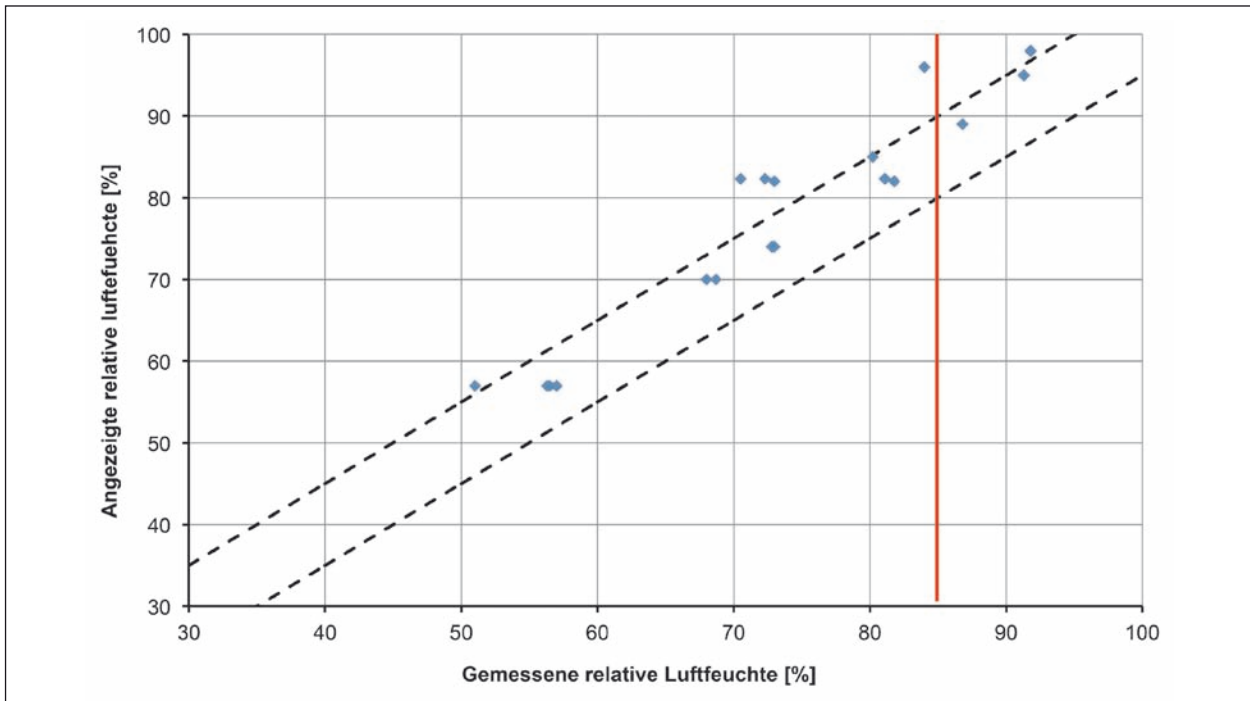


Bild 38: Vergleich zwischen mit dem Referenzmesssystem gemessener und von der GMA angezeigter relativer Luftfeuchte (n = 18) mit Genauigkeitsanforderungen ($\pm 3\%$, gestrichelte Linien zwischen 85 % und 100 %)

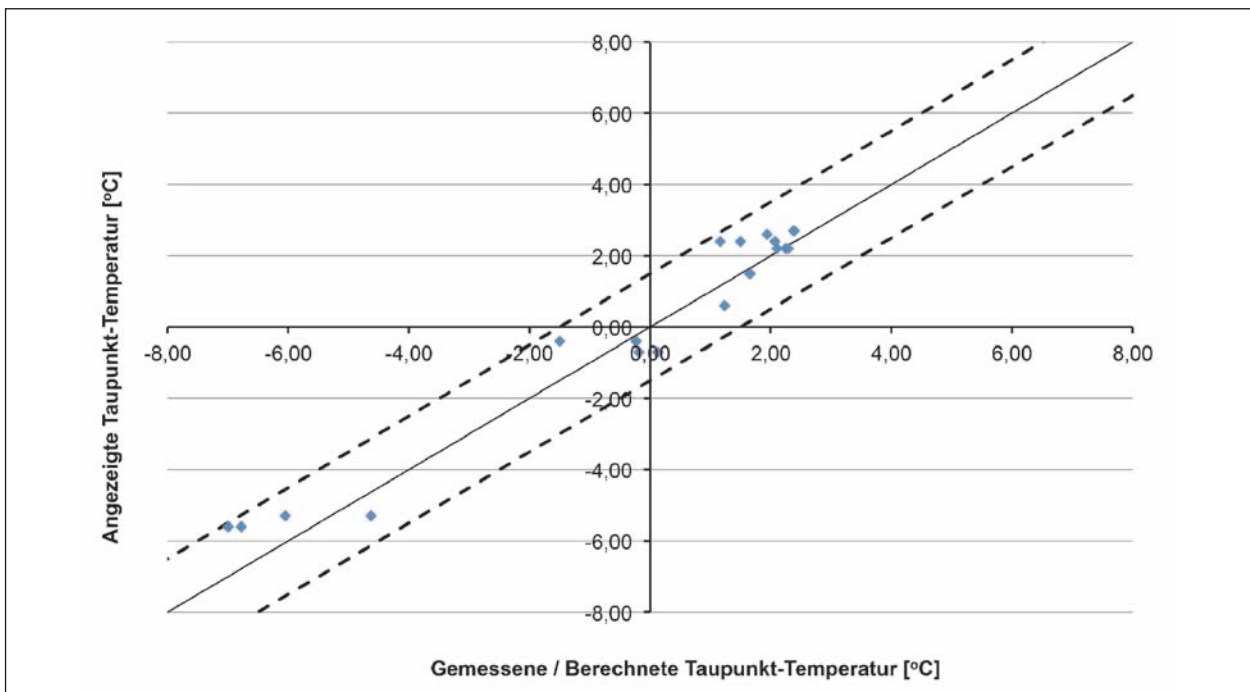


Bild 39: Vergleich zwischen mit dem Referenzmesssystem gemessener bzw. berechneter und von der GMA angezeigter Taupunkt-Temperatur (n = 19) mit Genauigkeitsanforderungen (abgeleitet: $\pm 1,5$ °C, gestrichelte Linie)

6.2.2 Fahrbahntemperatur und Fahrbahnzustand

Die Fahrbahntemperatur wurde in 19 Messungen ermittelt, wobei die Messungen immer im unmittelbaren Umfeld der eingebauten Fahrbahnsensoren

durchgeführt wurden (s. Bild 40 und Tabelle 23). Bei der GMA 5 war keine Auswertung möglich, da zu diesem Zeitpunkt aufgrund eines regelmäßig auftretenden Kommunikationsfehlers keine Daten zur Verfügung standen. Bei der berührungslosen Sensorik an der GMA 4 wurde der Messpunkt mittels

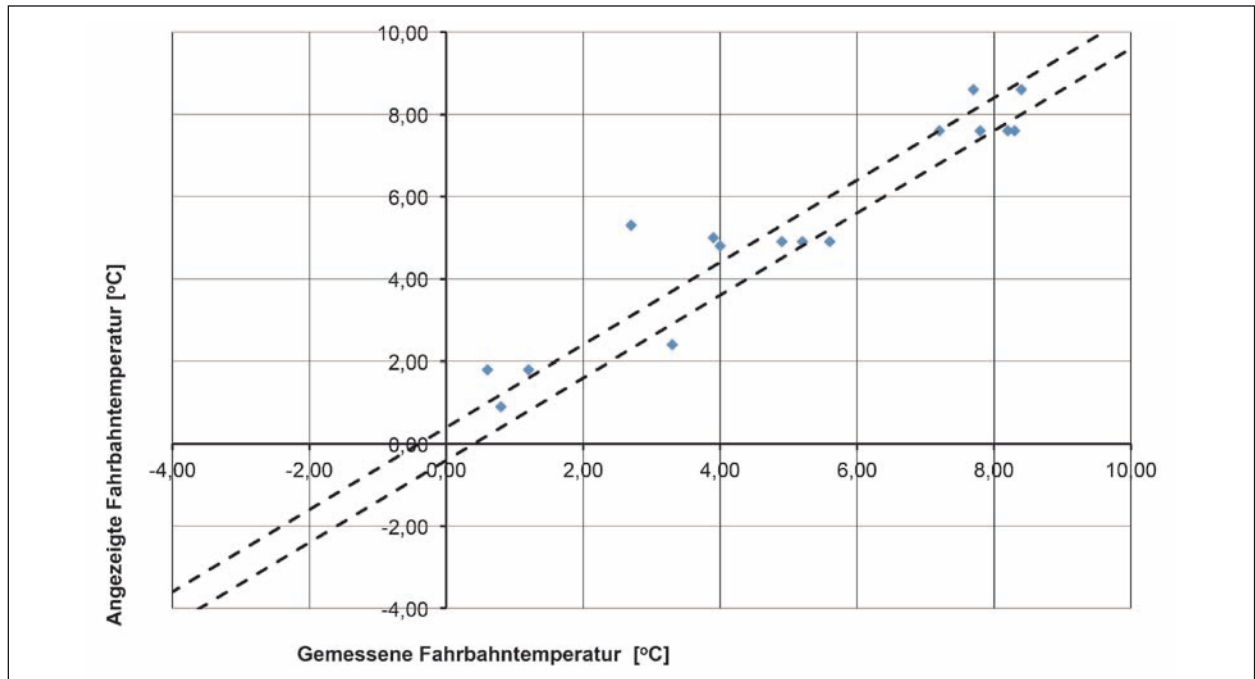


Bild 40: Vergleich zwischen mit dem Referenzmesssystem gemessener und von der GMA angezeigter Fahrbahntemperatur (n = 19) mit Genauigkeitsanforderungen ($\pm 0,2$ °C, gestrichelte Linie)

GMA	Hersteller	Baujahr	Mittlere absolute Abweichung FBT [°C]
1*	II	2001	0,10
2	III	2008	0,92
3	II	2009	0,90
4	I	2010	0,55
5*	II	2010	-
6	III	2012	0,48
7	III	2012	1,50

* teilweise kein Abgleich aufgrund Kommunikationsfehler möglich

Tab. 23: Absolute Abweichung der Fahrbahntemperatur (LT) in °C je GMA

eines speziellen, vom Hersteller mitgelieferten Lasers auf der Fahrbahn dargestellt. Bei Messungen mit Kontaktfühlern wurde die Messfläche vor der Messung getrocknet und von grobem Schmutz gereinigt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei der Trocknung auch die Oberflächentemperatur verändert werden kann. Es ist deshalb eine ausreichende Zeit abzuwarten, bis sich die Temperatur stabilisiert hat.

Die mittlere absolute Abweichung zwischen gemessener und angezeigter Fahrbahntemperatur beträgt

0,68 °C. Die maximale Abweichung beträgt +2,6 °C. Auffällig bei der Detailanalyse ist, dass die Abweichung bei nassen oder feuchten Fahrbahnzuständen ansteigt. Bei den Messungen an den GMA 2 und 7 herrschte teils Niederschlag als Schnee oder Regen, wodurch die mittlere absolute Abweichung dieser Messungen auf über 1,0 °C stieg. Es ist deshalb darauf zu achten, dass bei den Messungen kein Niederschlagsereignis eintritt.

Bei der Untersuchung des Fahrbahnzustandes wurde auf unterschiedliche Bewertungsverfahren zurückgegriffen. Es wurde die Wasserfilmdicke mittels eines Messkamms bestimmt und hieraus der Fahrbahnzustand nach DIN 15518, Teil 3 [DIN 2011a] bzw. TLS DE-Typ 79 [BASt 2012] bestimmt. An einem Messkamm befinden sich Zähne unterschiedlicher Länge. Über den Abstand des Zahns zum Untergrund, an dem sich ein Wassertropfen anheftet, wird die Wasserfilmdicke bestimmt. Gemessen wurde auf dem Sensor, da für die Messung eine nahezu ebene Fläche notwendig ist. Daher konnte der Messkamm auch nicht an der GMA 4 angewendet werden, da bei der berührungslosen Sensorik keine ebene Oberfläche zur Verfügung steht. Hier wurde nur eine grobe Einschätzung des Fahrbahnzustandes getroffen. In zwei weiteren Fällen wurde die Wasserfilmdicke mithilfe des Tuchtest bestimmt, wobei auf einer genormten Fläche das Wasser aufgetupft und die Wassermenge mittels

Wiegen bestimmt wird. In den meisten Fällen wurde der Fahrbahnzustand visuell bestimmt. Ein Unterschied zwischen den Bewertungsverfahren konnte in Hinblick auf die qualitative Aussage des Fahrbahnzustandes nicht festgestellt werden.

Bild 41 zeigt die Mess- bzw. Beobachtungsergebnisse für den Parameter Fahrbahnzustand. Außer trocken, feucht und nass wurden keine weiteren Fahrbahnzustände angetroffen. Nur in vier der zwölf Fälle stimmen angezeigter und beobachteter/gemessener Fahrbahnzustand überein. Im Bereich Trocken/Feucht wurden zwei Falschbewertungen festgestellt: In einem Fall bewertete der berührungslose Sensor eine undefiniert aufgebrachte Menge an Wasser abweichend von der visuellen Beobachtung (s. Bild 42, links) als trocken. Im zweiten Fall erkannte der Fahrbahnsensor der GMA 6 Nässe auf der Straße, obwohl visuell keine Feuchte erkennbar war (s. Bild 42, rechts).

Die insgesamt sechs Abweichungen im Bereich Feucht/Nass können teilweise mit unterschied-

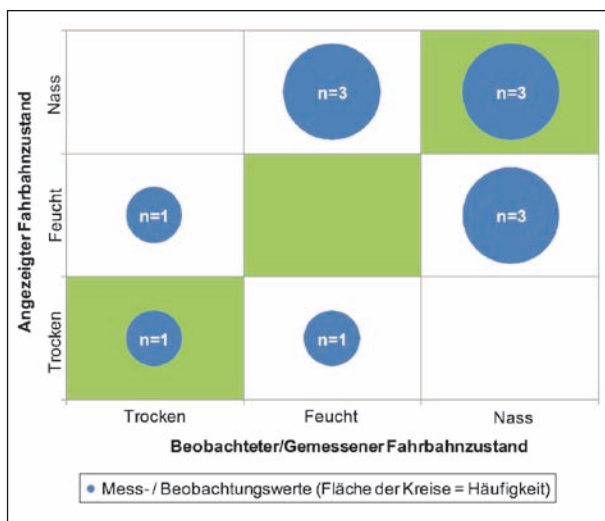


Bild 41: Vergleich zwischen beobachtetem/gemessenem und von der GMA angezeigtem Fahrbahnzustand (n = 12)



Bild 42: Aufgebrachte Flüssigkeit GMA 2 am Standort A (links) und trockene Fahrbahn GMA 5 am Standort E (rechts)

lichen Bewertungshintergründen gemäß TLS [BAST 2012] und der DIN 15518-3 begründet werden. Nach TLS ist für den DE-Typ 70 keine Differenzierung zwischen feucht und nass in Abhängigkeit der Wasserfilmdicke erforderlich, sondern es wird zwischen flüssigem und gefrorenem Zustand unterschieden. Somit wird deutlich, dass eine einheitliche Bewertung des Fahrbahnzustandes aufgrund der unterschiedlichen Bewertungshintergründe nach TLS und DIN nur dann möglich ist, wenn DE-Typ 79 verwendet wird. Allerdings zeigen die teils fehlerhaften Erfassungen auch, dass die Detektion des Fahrbahnzustandes derzeit mit Mängeln behaftet ist, was das zum Teil geringe Vertrauen von Einsatzleitern in die Anzeige der GMA-Daten und die wünschenswerte Plausibilisierung mittels eines Kamerabildes begründet.

6.2.3 Gefrierpunkt, Wasserfilmdicke und Salzkonzentration

Zur Feststellung der Messgenauigkeit wurde auf die Fahrbahnsensorik Natriumchlorid-Sole aufgebracht, welche entsprechend dem Entwurf der DIN 15518-4 [DIN 2011a] für verschiedene Gefriertemperaturen gemischt wurde. Das Ziel der Untersuchung lag dabei nicht auf der Untersuchung der Messgenauigkeit bei Grenzmengen am unteren Ende der Messskala. Vielmehr sollte untersucht werden, ob die Sensorik die aufgebrachte Sole überhaupt korrekt erfasst und darstellt. Die Erfassung der Wasserfilmdicke erfolgte nur bei vier Messungen. An den GMA 1 und 5 konnten keine Abgleiche durchgeführt werden, da aufgrund von Kommunikationsfehlern keine GMA-Daten zur Verfügung stehen. Bild 43 zeigt die Ergebnisse für die Gefriertemperatur.

Bei allen Messungen haben die GMA geringere Gefriertemperaturen angezeigt als sie entsprechend der aufgebrachten Sole hätten anzeigen müssen. Die größten Abweichungen wurden an der GMA 6 festgestellt, die analog zur Erfassung des Fahrbahnzustandes falsche Werte übermittelte. Trotz der aufbrachten Sole blieb die Gefriertemperatur bei 0 °C. Die restlichen vier Messungen hatten eine mittlere Abweichung von +4,8 °C (\triangleq 54 %). Probleme bei diesen Messungen bereitete vor allem die Straßenneigung, wodurch die Sole vom Sensor abließ und das teilweise auf der Straße befindliche Niederschlags- oder Schmelzwasser nachließ. Dies konnte aufgrund der vorherrschenden Witterung nicht verhindert werden. Es wird deutlich, dass eine

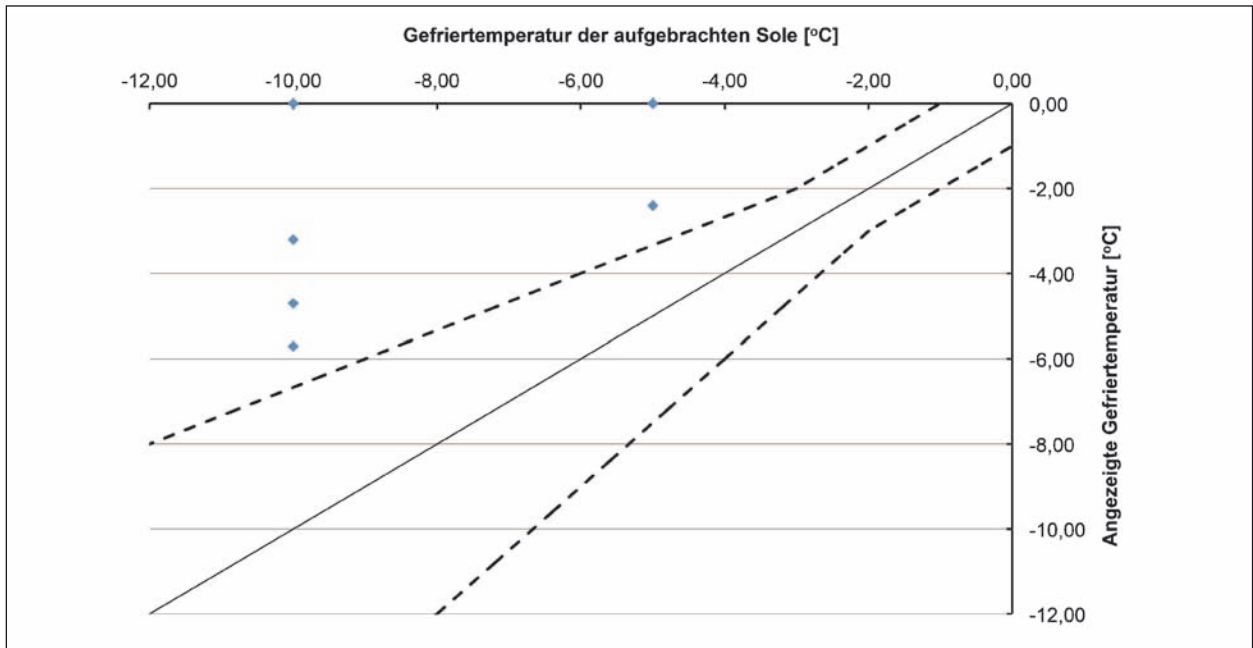


Bild 43: Vergleich zwischen Gefriertemperatur der aufgetragenen Sole und von der GMA angezeigter Gefriertemperatur ($n = 6$) mit Genauigkeitsanforderung (Abgeleitet: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, gestrichelte Linien bis $- 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, darunter $\pm 20\text{ }%$)

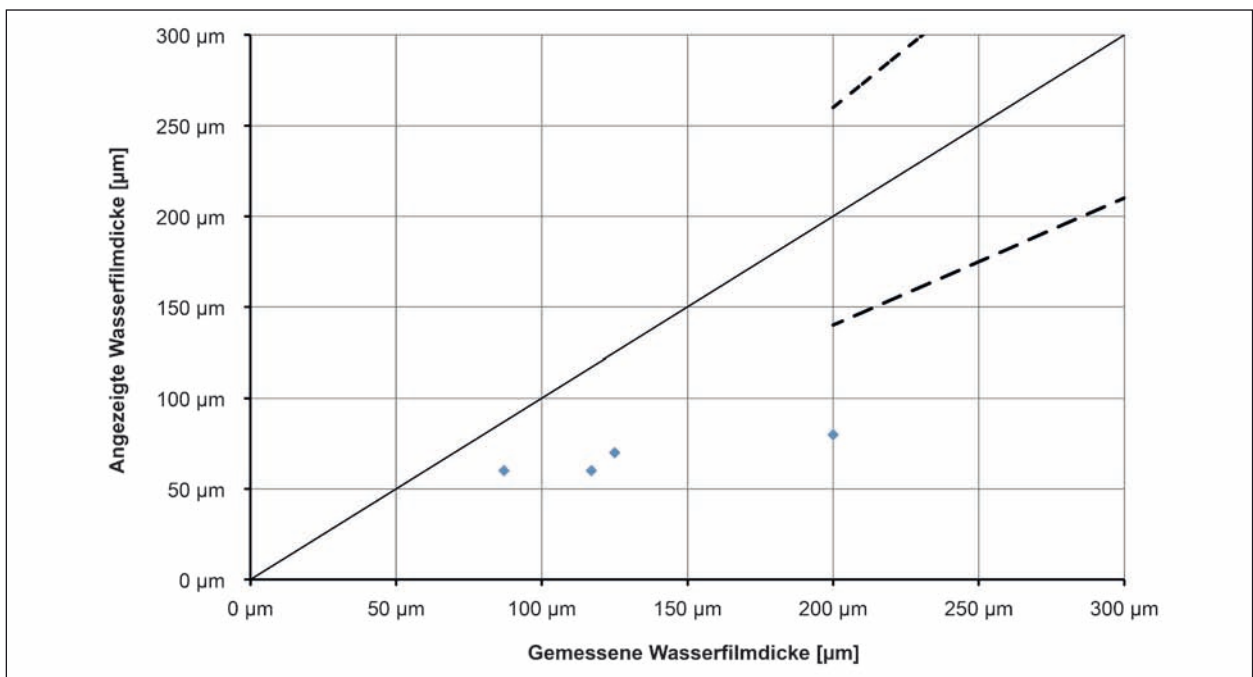


Bild 44: Vergleich zwischen mit dem Referenzmesssystem gemessener und von der GMA angezeigter Wasserfilmdicke an der GMA 3 mit Genauigkeitsanforderung (für WFD $> 0,2\text{mm} \pm 30\%$, gestrichelte Linie)

exakte Bestimmung der Gefriertemperatur derzeit nicht möglich ist, da vorherrschende Fahrbahneigung und Witterung den Einsatzbedingungen vor Ort entsprechen. Bei den fest eingebauten Sensoren verfälschen auch die unterschiedliche Materialeigenschaften von Sensor- und Fahrbahnoberfläche das Ergebnis. Hinzu kommt noch der Einfluss des Verkehrs auf das Messergebnis.

Diese Erkenntnisse schlagen sich auch in den Ergebnissen für die Wasserfilmdicke nieder (s. Bild 44). Die Messung der Wasserfilmdicke konnte aufgrund des notwendigen Messequipments nur an der GMA Babenhausen durchgeführt werden. Hier wurden Messungen mithilfe eines Messkamms sowie eines Tuchtests (s. Kapitel 6.2.2) durchgeführt. Die Messungen mittels Tuchtests wurden

dabei am ursprünglich angetroffenen Straßenzustand durchgeführt. Die Messung mittels Messkamm erfolgt nach Aufbringung der Sole. Die angezeigte Wasserfilmdicke lag bei allen Messungen unter der im Vergleich gemessenen Wasserfilmdicke. Die mittlere Abweichung bei allen Messungen betrug $-65 \mu\text{m}$ (-46%) und liegt damit auch deutlich außerhalb des ab $200 \mu\text{m}$ gültigen Normbereichs von $\pm 30 \%$. Unterschiede zwischen Tuchtest und Messkamm in Bezug auf die Abweichung zum angezeigten GMA-Wert konnten nicht festgestellt werden.

Die Messungen haben deutlich gemacht, dass die Bestimmung einer Wasserfilmdicke kleiner $200 \mu\text{m}$ bei der berührungslosen Messung aufgrund der Oberflächentextur nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich ist und dass sie bei fest eingebauter Sensorik aufgrund der auf der Fahrbahn bestehenden Randbedingungen (Querneigung, Unebenheiten, Niederschlag, Verkehr) ebenfalls zu keinen verwertbaren Ergebnissen führt. Somit sollte auf die Messung dieses Parameters an GMA verzichtet werden. Ebenfalls erscheint die Ermittlung der Gefriertemperatur auf Grundlage der Wasserfilmdicke nicht zweckmäßig. Es besteht somit sowohl bei der Bestimmung der Wasserfilmdicke als auch einem anzuwendenden Prüf- und Kontrollverfahren erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Bild 45 zeigt die Ergebnisse des Abgleichs zwischen aufgebracht und angezeigter Salzkonzentration.

Diese wurde lediglich an drei der untersuchten GMA gemessen, die GMA 6 lieferte jedoch wie vorab beschrieben fehlerhafte Ergebnisse. Für die anderen Messungen zeigten die GMA stets deutlich höhere Salzkonzentrationen an. Die Abweichung beträgt im Mittel $+14,3\%$ -Punkte ($+108 \%$). Eine Erklärung für diese Abweichungen im Zusammenhang mit den beschriebenen Messbedingungen oder im Zusammenhang mit dem Mischungsverhältnissen nach DIN 15518-4 konnte nicht gefunden werden.

Aufgrund der geringen Anzahl an Messpunkten kann sowohl für die Gefriertemperatur, die Wasserfilmdicke als auch für die Salzkonzentration kein Zusammenhang zwischen Messgenauigkeit, Alter und/oder Wartung der GMA hergestellt werden.

6.2.4 Kamera

Alle untersuchten GMA waren mit Kameras ausgestattet, wobei bis auf die GMA 4 alle GMA zusätzlich mit Infrarot-Scheinwerfern ausgerüstet waren, um auch nachts nützliche Bilder zur Verfügung stellen zu können. Die GMA 4 nutzt hierzu das Licht eines konventionellen Scheinwerfers. Die GMA 5 ist sogar mit zwei Kameras in beide Fahrrichtungen ausgestattet, da sich der Standort nach Aussage von Meistereimitarbeitern an einer Wettermessstation mit starken klimatischen Unterschieden befindet.

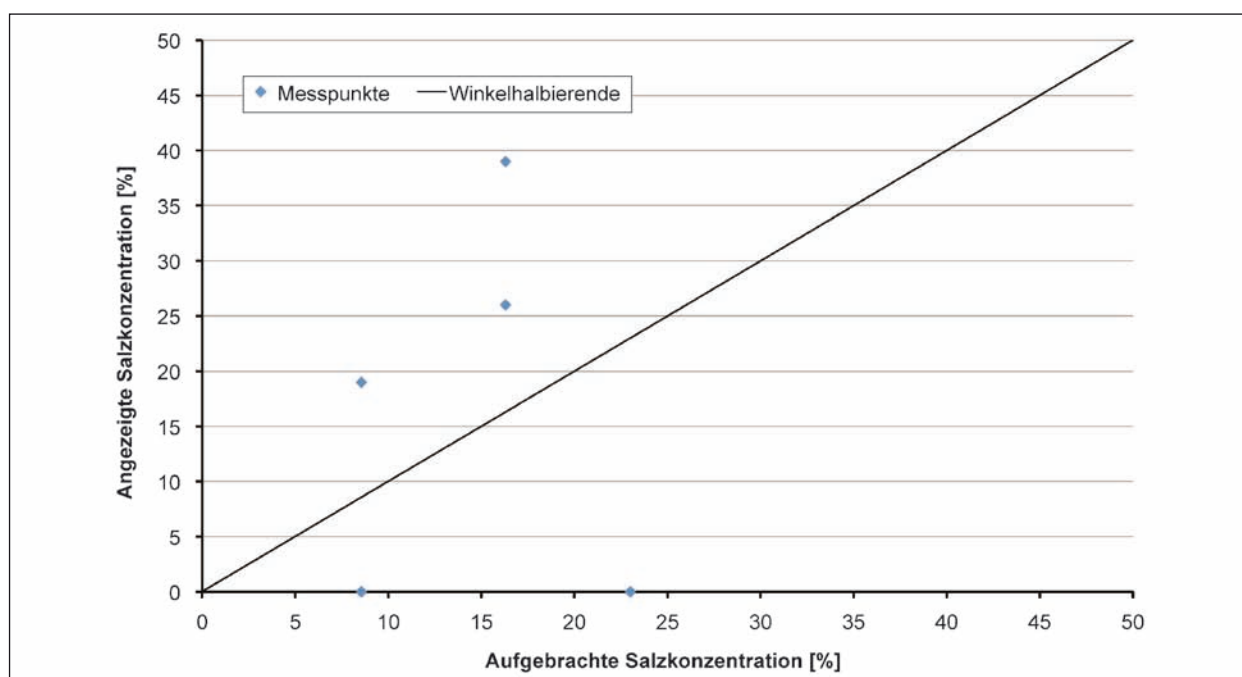


Bild 45: Vergleich zwischen aufgebracht und angezeigter Salzkonzentration ($n = 5$)

Ziel der bildgebenden Technik an GMA soll es sein, den zuständigen Mitarbeitern eine bessere Einschätzung des Straßenzustandes zu ermöglichen, als dies bei ausschließlicher Verwendung der Messsensorik möglich wäre. Dabei können die Bilder zur absoluten Einschätzung der Straßen- und Klimabedingungen als auch zur Verifikation der gemessenen Klima- und Fahrbahnmesswerte dienen. Diese Punkte wurden sowohl in den Interviews im Rahmen der Erfassung von Einsatzentscheidungen (s. Kapitel 4) als auch bei den Messungen häufig durch die Mitarbeiter der Meistereien betont. Die Kamera trägt hier durch ihre qualitative Aussage stark zur Vertrauensbildung in die quantitative Messtechnik bei. Dabei können anhand des Kamerabildes gleich mehrere Parameter beobachtet bzw. verifiziert werden:

- Fahrbahnzustand (trocken, nass, matsch, schneebedeckt),
- Niederschlagszustand (Regen, Hagel, Graupel, Schnee),
- Niederschlagsmenge (schwach, stark),
- Sichtweite,
- Wind und Verwehungen.

Darüber hinaus ist aus den Kamerabildern auch die Wirkung der durchgeführten Einsätze ersichtlich, woraus weitere Entscheidungen für oder gegen weitere Einsätze getroffen werden können. Voraussetzung für die beschriebene Bewertung ist jedoch die Funktionsfähigkeit der Kamera und eine geeignete Ausrichtung auf den relevanten Straßenabschnitt.

Häufig wird dabei versucht, den Messbereich des Sensors mit darzustellen. Beispiele für die unterschiedliche Ausrichtung der Kamerabilder sind in Bild 46 dargestellt. Das linke Bild zeigt das Kamera-

bild der GMA 5 (Blickrichtung Nord), wobei ein großer Bereich der Straße dargestellt ist. Fahrbahnzustände können hier aufgrund der geeigneten Ausrichtung sehr gut erkannt werden. Das rechte Bild zeigt das Kamerabild der GMA. Aufgrund des Standorts der GMA ist die Fahrbahn nur sehr klein zu erkennen, wodurch die Erkennung von Fahrbahnzuständen deutlich erschwert wird. Diese Situation ist jedoch dem Standort des GMA-Mastes geschuldet. In diesem Fall hätte der GMA-Standort auch unter Berücksichtigung des Kamerabildes gewählt werden sollen.

Eine weitere Auffälligkeit bei der Beurteilung der Kameras gab es bei der Benennung des Aufnahmezeitpunktes. Bei allen untersuchten Kameras kam es zu Abweichungen zwischen dem Zeitstempel auf der Aufnahme sowie der angezeigten Aufnahmezeit. Aus Tabelle 24 wird deutlich, dass die Abweichung zwischen dem Zeitstempel des Bildes und der absoluten Uhrzeit, ab der das Bild im Netz verfügbar ist, teilweise über eine halbe Stunde beträgt. Auch die Abweichung zwischen dem Zeitstempel des Bildes und der angezeigten Zeit im System erschwert eine Bewertung des aktuellen Straßenzu-

GMA	Zeitstempel Bild	Zeitstempel System	Anzeige ab... (Funkuhr)
3	09:10	09:30	09:35
2	12:54	12:50	-
4	15:00	15:03	15:04
7	09:51	09:50	-
6	12:15	12:20	12:35
1	11:38	11:50	12:03
5	09:24	09:30	09:55

Tab. 24: Beispiele für unterschiedliche Angaben zum Aufnahmezeitpunkt von GMA- Kamerabildern

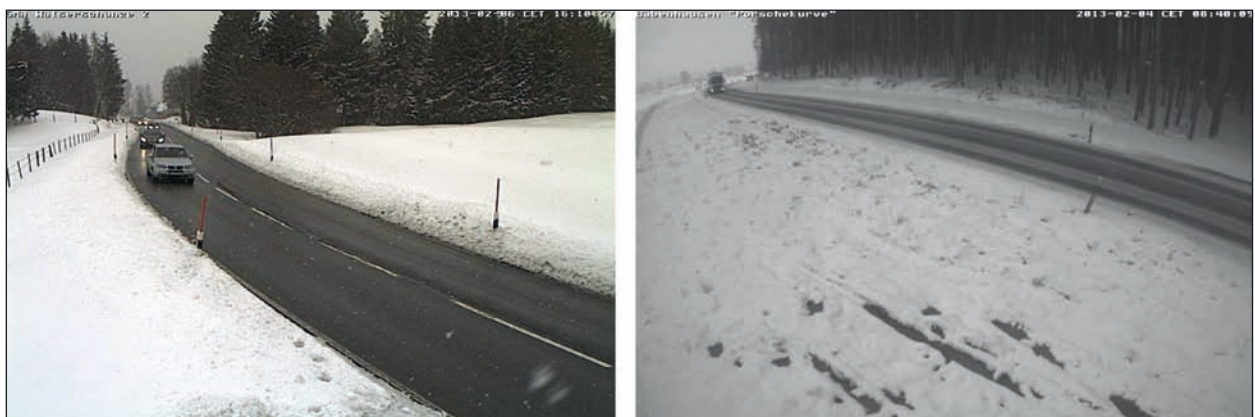


Bild 46: Beispiele für unterschiedliche Bildbereiche von Kameras an GMA (Links: GMA 5; Rechts: GMA 3)

standes deutlich, da der tatsächliche Aufnahmezeitpunkt unklar ist. Positiv hervorzuheben ist die GMA 4, wo das Kamerabild ca. vier Minuten nach der Aufnahme im Netz zur Verfügung stand.

Die Differenz zwischen den Zeitstempeln auf den Bildern und den angezeigten Uhrzeiten lässt sich mit unterschiedlichen Einstellungen der Systeme erklären. Dies sollte aufgrund einer verbesserten Bewertungsmöglichkeit jedoch angepasst werden. Zu hinterfragen sind jedoch auch die Übertragungszeiten (Differenz Zeitstempel System → Anzeige ab ...) von der GMA an das System und die Verarbeitungszeit im System. Hier sollte im Sinne der Nutzer eine Zeitspanne von 10 Minuten (bzw. Zeitraum bis zur nächsten Aufnahme) nicht überschritten werden, da ansonsten schon ein neueres Bild zur Verfügung stehen müsste. Bei einer maximal angetroffenen Dateigröße von 45 kB sollten schnellere Übertragungsraten bei der aktuellen Mobilfunkabdeckung an beinahe allen Standorten möglich sein.

6.2.5 Schneehöhe

An der GMA 5 wird mittels berührungsloser Messung die Schneehöhe neben der Fahrbahn gemessen. Der Laserstrahl ist dabei auf einen neben der Fahrbahn befindlichen Rad- und Fußgängerweg gerichtet (s. Bild 47). Der Sensor ermittelte eine Schneehöhe von 44 cm, die lotrechte Messung mit Meterstab ergab eine Schneehöhe von 47 cm. Die



Bild 47: Ausrichtung der berührungslosen Schneehöhenmessung (GMA 5)

Abweichung von 3 cm entspricht nicht ganz der Forderung der DIN 15518-3 (± 2 cm), was jedoch in Anbetracht der sehr ungleichmäßigen Schneeoberfläche als irrelevant angesehen werden kann.

Weit kritischer zu bewerten ist die Tatsache, dass die Schneehöhe im Schneewall neben der Straße gemessen wird. Hier ist die Schneehöhe weniger durch den aktuellen oder vergangenen Schneefall, sondern vielmehr durch den letzten Schneeräumereinsatz beeinflusst, wodurch sich die Aussagekraft dieses Parameters stark reduziert. Aus diesem Grund sollte bei dem Einbau eines solchen Sensors darauf geachtet werden, eine Messfläche zu wählen, die nicht durch Aktivitäten auf der Straße sondern nur durch Niederschlag oder andere klimatische Ereignisse beeinflusst wird. Nach Aussage der Mitarbeiter der Straßenmeisterei kann die Aussagekraft der Schneehöhe als eher gering angesehen werden, da für einen Winterdienstesatz nicht die absolute Schneehöhe sondern vielmehr die Neuschneemenge in den vergangenen ein, zwei oder 24 Stunden relevant wären. Eine solche Aussage bietet der Sensor jedoch derzeit nicht.

6.3 Bewertung der GMA-Systeme

Die durchgeführten Messungen 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 Bereiches und auch für die Fahrbahntemperatur sowie den Fahrbahnzustand wurden zu großen Teilen akzeptable Ergebnisse erreicht. Bei den Parametern Gefrierpunkt, Wasserfilmdicke und Salzkonzentration konnte eine solche gute Korrelation nicht nachgewiesen werden. Es wurde deutlich, dass eine aussagekräftige Bestimmung der Wasserfilmdicke in der Praxis nicht möglich ist.

Ausgehend von den Messungen der meteorologischen Parameter sowie der Fahrbahntemperatur lässt sich eine Tendenz erkennen, dass die Genauigkeit von älteren Anlagen auch von der Durchführung regelmäßiger Wartungen und Kalibrierungen abhängig ist. Aufgrund der sehr geringen Altersunterschiede der Anlagen ($\Delta_{\max} = 4$ Jahre), der sehr geringen Grundgesamtheit ($n = 7$) sowie der stark schwankenden Ergebnisse kann hier jedoch ebenfalls keine abgesicherte Aussage getroffen werden. Für die meteorologischen Parameter trifft die oben

beschriebene Tendenz mit Ausnahme der GMA 5 zu. Für die Fahrbahntemperatur besitzt die älteste GMA 1 jedoch die geringste mittlere absolute Abweichung, was wiederum der oben beschriebenen Annahme widerspricht. Bei allen Ergebnissen zu berücksichtigen ist, dass die Abweichung sowohl von der Sensorik der GMA als auch von der zum Vergleich herangezogenen Messtechnik abhängig ist. Diese Messtechnik besitzt eine eigene Messgenauigkeit und somit eigene Fehler, welche letztendlich auch die gemessenen Abweichungen beeinflussen können. Auch muss berücksichtigt werden, dass die in der Norm angegebenen Fehler-toleranzen für Eignungsprüfungen gelten, welche unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Hier sind aufgrund der geringeren Einflüsse bessere Ergebnisse zu erwarten.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch wenn die Sensorik der GMA eine ausreichende Genauigkeit besitzt, nachgeordnete Systeme zur Datenübertragung, -verarbeitung und -anzeige zu Problemen und Missverständnissen bei der Nutzung der GMA führen. So traten an mehreren Anlagen teils lange Kommunikationsfehler auf, die, wie sich bei einer Analyse zeigte, häufig auftreten. So betrug die Datenverfügbarkeit für die GMA 5 im Zeitraum von 15.01.2013 bis 14.02.2013 (30 Tage) 56,4 %, was bedeutet das von 4.320 Datensätzen (10-min-Takt) lediglich 2.435 Datensätze übertragen wurden. Vergleichbare Ausfälle sind auch bei der GMA 1 zu erkennen. Ebenfalls problematisch stellt sich die Zeitdifferenz zwischen der Messung an der GMA und der Anzeige im System dar. Mit Ausnahme der GMA 4 benötigten die Systeme für die Verarbeitung vielfach mehr als neun Minuten. Bei einer Verarbeitungszeit von mehr als 10 Minuten wird an der GMA in der Regel bereits eine erneute Messung durchgeführt, bevor der alte Wert im System angezeigt wird. In Anbetracht der sehr geringen Datenmengen und der zwischenzeitlich

stark gestiegenen Netzabdeckung für die Datenübertragung erscheinen Zeiträume zwischen Messung und Anzeige unter 10 Minuten als möglich und erstrebenswert.

6.4 Bewertung der Referenz-Messtechnik

Zum Abgleich der Messdaten der GMA wurden transportable Messgeräte eingesetzt (s. Kapitel 6.1). Diese unterschieden sich in Bezug auf ihren Anschaffungspreis und die angegebene Messgenauigkeit teils sehr deutlich (s. Tabelle 25). Die Messgeräte Voltcraft IR 900-30S und Ahlborn Almemo 2690 konnten nicht in den Vergleich einbezogen werden. Das Infrarot-Thermometer lieferte unter den vorherrschenden, stark schwankenden klimatischen Bedingungen keine verwendbaren Ergebnisse und auch das Temperaturmessgerät der Fa. Ahlborn zeigte während des Tests aufgrund der hohen Empfindlichkeit des Messgeräts zu große Schwankungen, weshalb es ebenfalls nicht berücksichtigt wurde. Hier sind wie in Kapitel 6.1 beschrieben Korrekturmessungen mit einem Temperaturfühler (Kontaktfühler) unbedingt notwendig.

Ziel der Messungen war zum einen, die an den GMA verbaute Messsensorik auf ihre absolute Genauigkeit zu testen. Darüber hinaus war es das Ziel, durch die Anwendung einer einfacheren und kostengünstigeren Messtechnik Erfahrungen in der Anwendung für die Konzeption eines Abnahmeprozesses zu bekommen.

Die beiden Messgeräte für die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit lieferten trotz ihres Preisunterschiedes sehr ähnliche Ergebnisse. Die mittlere Differenz zwischen diesen Messgeräten belief sich für Lufttemperatur auf weniger als 0,4 °C (n = 5) und für die relative Luftfeuchte 3,1% r. F. (n = 5).

Messgerät	Parameter	ca. Preis	Angegebene Genauigkeit
Testo 177-H1 Datenlogger	Lufttemperatur Luftfeuchtigkeit	550 €	±0,5 °C ± 2 % r. F.
Aspirations-Psychrometer nach Assmann	Lufttemperatur Luftfeuchtigkeit	1.500 €	±0,2 °C
Testo Mini-Alarm-Thermometer	Oberflächentemperatur	60 €	±2 °C
Heitronics TRT Infrarot	Oberflächentemperatur	auf Anfrage	-
Voltcraft IR 900-30S	Oberflächentemperatur	110 €	±3 °C
Ahlborn Almemo 2690 mit Temperaturfühler	Oberflächentemperatur	2.000 €	< ±1 °C

Tab. 25: Preise und Genauigkeit der verwendeten Messtechnik

Als problematisch stellte sich beim kostengünstigeren Messgeräte der Fa. Testo vom Typ Testo 177-H1 Datenlogger die Beeinflussbarkeit durch Wind, Niederschlag sowie Sonnenstrahlung dar. Da der Sensor nicht über einen Strahlungsschutz verfügt, ist bei der Verwendung eine Beschattung notwendig; ansonsten ist er für die Verwendung ungeeignet. Diese Probleme sollten bei der Auswahl geeigneter Messtechnik berücksichtigt bzw. durch die Auswahl geeigneter Messzeitpunkte umgangen werden.

Die beschriebenen Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass für einen Abnahmeprozess auch kostengünstigere Messtechnik eingesetzt werden kann. Ziel sollte es hier sein, Anlagen zu testen, ob die Anlagen in einem breiter gefassten Genauigkeitsbereich funktionieren und nutzbare, plausible und logische Werte erfassen. Ziel muss es ebenfalls sein, die Messtechnik in der Breite für alle Verwaltungsbereiche nutzbar zu machen, weshalb zu aufwendige und teure Messtechnik weniger geeignet erscheint.

Bei der Fahrbahntemperatur beträgt die mittlere Differenz zwischen teurem Infrarot-Thermometer und sehr günstigem Messgerät $0,6 \text{ °C}$ ($n = 3$). Der Vergleich zeigt, dass mit Kontaktfühlern eine vergleichbare Genauigkeit mit wesentlich geringeren Investitionen erreicht werden kann wie bei Infrarot-Messgeräten. Voraussetzung für die Kontaktmessung ist jedoch, die Fahrbahn kurzfristig sperren zu können. Die Vergleichsmessungen mit einem einfacheren Infrarot-Thermometer haben gezeigt, dass hier größere Abweichungen sowohl zum Messwert der GMA als auch zu den anderen Messgeräten auftreten. Aus diesem Grund wird diese Messtechnik sowohl für eine absolute Genauigkeitsmessung als auch für Messungen im Rahmen eines Abnahmeprozesses nicht empfohlen. Alle anderen untersuchten Parameter können entweder rein qualitativ und visuell bewertet werden. Zur Kontrolle der Schneehöhe kann ein Meterstab verwendet werden. Die Kontrolle der Einbaulage der Sensoren kann mit einer Wasserwaage erfolgen.

6.5 Empfehlungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Anlagen, die nicht regelmäßig gewartet werden, dazu neigen, mit einer geringeren Genauigkeit zu messen. Unter anderem aus diesem Grund ist es zu empfehlen, die Anlagen regelmäßig einer Wartung bzw.

Kalibrierung zu unterziehen, da nur hierdurch die optimale Funktionsfähigkeit garantiert werden kann. Die Arbeiten an diesem Forschungsvorhaben haben weiter gezeigt, dass es für die Mitarbeiter der Straßenmeistereien sehr schwer bzw. nicht möglich ist Abweichungen in der Messtechnik bzw. Fehlfunktionen im verarbeitenden System zu erkennen. Erst bei gravierenden Fehlfunktionen oder Komplettausfällen werden solche Probleme im Arbeitsalltag ersichtlich und können gemeldet werden. Häufig werden ungenaue oder fehlerhafte GMA von Winterdienstmitarbeitern aufgrund der eigenen Interpretation bzw. der gemachten Erfahrungen ignoriert, was dazu führt, dass diese GMA keinen Beitrag zu einer Verbesserung des Winterdienstes mehr leistet.

Da im Rahmen der Abnahme direkt nach Errichtung der GMA keine Erfahrungswerte über die Anlage zur Verfügung stehen, muss hier messtechnisch die Funktionsfähigkeit und Genauigkeit nachgewiesen werden. Dies ist auch der Fall, wenn die GMA erst nach einem Gewährleistungszeitraum abgenommen wird, wobei hier zusätzlich auf die Erfahrungen der Nutzer ergänzend zurückgegriffen werden kann. Sinnvoll sind aber auch regelmäßige unabhängige Kontrollmessungen während der Betriebsphase, um eine ausreichende Genauigkeit und Plausibilität der Messdaten zu gewährleisten und den Anwendern gegenüber auch dokumentieren zu können, sodass Anwender in die angezeigten GMA-Daten Vertrauen haben.

Die, bei den Genauigkeitsmessungen gemachten Erfahrungen haben gezeigt, dass viele der relevanten Parameter in einem sehr einfachen Prozess gemessen und mit den GMA-Daten verglichen werden können. Dabei können mit einfacher Messtechnik bzw. durch visuelle Beobachtungen folgende Parameter kontrolliert werden:

- Lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$],
- relative Luftfeuchte [%],
- Taupunkttemperatur (rechnerisch aus Lufttemperatur und Relativer Luftfeuchte) [$^{\circ}\text{C}$],
- Fahrbahnoberflächentemperatur [$^{\circ}\text{C}$],
- Fahrbahnzustand (visuell, rein qualitative Prüfung), Prüfung über Veränderung bei Soleaufbringung [-],
- Gefriertemperatur [$^{\circ}\text{C}$],
- Wind (rein qualitative Prüfung) [-],
- Niederschlagsart (rein qualitative Prüfung) [-],

- Schneehöhe [m],
- Einbaulage des Fahrbahnsensors [cm],
- Ausrichtung und Lage der weiteren Sensorik (z. B. Schneehöhe) [-],
- Ausrichtung der Kamera und passende Ausrichtung der Scheinwerfer,
- Zeitangaben im System, auf Kamerabild und Dokumentation [Uhrzeit],
- Übertragungsdauer ab Messzeitpunkt [min].

Für die Messung bzw. Überprüfung ist wenig Messtechnik notwendig. Aus der Erfahrung bei den Genauigkeitsmessungen hat sich gezeigt, dass folgende Gegenstände für diese Überprüfung benötigt werden:

- Thermometer für Lufttemperatur,
- Hygrometer für Luftfeuchte,
- Wasserwaage zur Prüfung der Einbaulage des Sensors,
- Meterstab für Schneehöhe,
- Sole für Fahrbahnzustand mit definierter Salzkonzentration,
- Laptop mit mobilem Internetzugang.

Zu beachten ist, dass die Vergleichsmessungen für die meteorologischen Parameter Lufttemperatur und relative Luftfeuchte unmittelbar auf Sensorhöhe erfolgen (s. Bild 48).

Die Einbaulage und die Messpunkte aller Sensoren und die Bildausschnitte der Kamera sollten gemäß Herstellerangaben überprüft werden, um eventuelle einbaubedingte Verfälschungen ausschließen zu können. Bild 49 zeigt einen Sensor, dessen Oberfläche Plan zur Fahrbahnoberfläche verläuft; Bild 50 zeigt hingegen einen Sensor, dessen Oberfläche nicht Plan zur Fahrbahnoberfläche verläuft.

Der Fahrbahnzustand kann zunächst über den beobachteten Fahrbahnzustand (Färbung, Bedeckung mit Wasser) qualitativ beurteilt werden. Wenn bei Referenzmessungen für die Ermittlung des Gefrierpunkts Sole aufgebracht wird, sollte sich auch der von der GMA angezeigte Fahrbahnzustand ändern.

Parallel können die Gefriertemperatur und die Salzkonzentration überprüft werden, wobei die Werte entsprechend der aufgetragenen Sole zumindest eine Veränderung anzeigen sollten. Da häufig das beschriebene Problem der Fahrbahnneigung be-

steht, kann mit Hilfsmitteln das zu schnelle Abfließen der Flüssigkeit durch Hilfsmittel verhindert werden. In der Praxis haben sich hier Knetmasse bzw. Rohre mit Gummidichtung als praktikabel erwiesen



Bild 48: Referenzmessung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte auf Sensorhöhe



Bild 49: Kontrolle der Einbaulage eines Fahrbahnsensors mithilfe einer Wasserwaage, hier ebener Einbau eines Fahrbahnsensors



Bild 50: Uneben eingebauter Fahrbahnsensor, vereinfachte Überprüfung mithilfe eines Zollstocks (Quelle: BAST)

(s. Bild 51). Diese Methode ermöglicht die Bewertung der Parameter Wasserfilmdicke und Fahrbahnzustand rein über die hervorgerufene Veränderung. Eine absolute Bewertung ist nur für die Salzkonzentration und die hiermit korrelierende Gefrieretemperatur möglich.

Bei berührungsloser GMA-Technik reicht das Aufbringen von Wasser, da Salzgehalte hier nicht gemessen werden können.

Die Fahrbahnoberflächentemperatur kann entweder berührungslos mittels Infrarot-Thermometer oder über Kontaktfühler unter Verwendung von Wärmeleitpaste (siehe Bild 52, Ausschnittvergrößerung, rechts) gemessen werden. Bei der Infrarot-Technik muss darauf geachtet werden, dass die Messtechnik sich der Umgebungstemperatur angepasst hat bzw. eine Temperatur-Kompensation besitzt, um hieraus resultierende Fehler ausschließen zu können. Bei Messungen mit Kontaktfühlern muss darauf geachtet werden, dass ein Leitmedium (z. B. Wärmeleitpaste) das Messergebnis verbessern und den Messvorgang beschleunigen kann. Die Verwendung von Knetmasse ist aufgrund der hohen eigenen Wärmekapazität nicht geeignet.

Die weiteren Parameter Niederschlag und Wind können über die visuelle, auditive und haptische Wahrnehmung am Standort mit den Anzeigen der



Bild 51: Aufbringen der Sole auf Fahrbahnsensor mit Rohr zu Verhinderung eines zu schnellen Abflusses

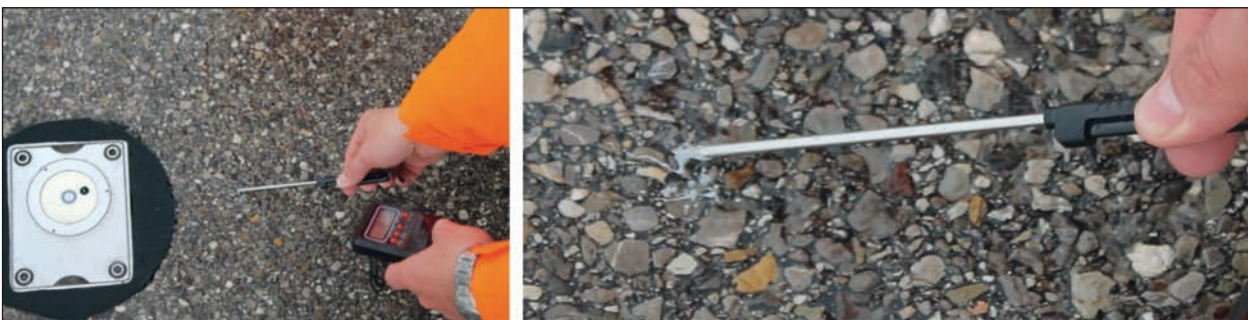


Bild 52: Messung der Fahrbahntemperatur mit Einstechthermometer mit Wärmeleitpaste

GMA verglichen werden. Dies stellt nur einen qualitativen Abgleich dar, ist aber häufig zur Prüfung der Funktionsfähigkeit und Plausibilität ausreichend.

Der Abgleich der Messergebnisse mit der Anzeige der GMA sollte möglichst vor Ort erfolgen. Hierzu ist ein Laptop oder ein Smartphone mit mobilem Internetzugang sowie ein Zugang zu den GMA-Daten notwendig. Mithilfe dieser Vorgehensweise können parallel zum Abgleich der Messwerte auch die Übertragungszeiten zwischen dem Messzeitpunkt an der GMA und der Anzeige im System ermittelt werden. Analog erfolgt der Abgleich für die Bilddaten, wobei hier zusätzlich der Zeitstempel auf dem Bild kontrolliert werden sollte. Bei der Kamera sollten zusätzlich Nachtbilder begutachtet werden, um eventuell fehlerhafte Einstellungen der Scheinwerfer bzw. des Nachtsichtmodus zu erkennen.

Bei der Messung sollten geeignete äußere Rahmenbedingungen herrschen, da diese ansonsten die Messergebnisse negativ beeinflussen können. Folgende Dinge sollten bei der Planung und Durchführung einer Messung beachtet werden:

- Zur Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur sollte die Fahrbahn trocken sein bzw. sollte vorab getrocknet werden. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die Trocknung die Temperatur nicht beeinflusst. Um den Einfluss der Sonne bzw. der Globalstrahlung auf das Messergebnis zu reduzieren, empfiehlt es sich, Messungen bei bewölktem Himmel durchzuführen.
- Die Messung der Lufttemperatur sowie der relativen Luftfeuchte sollte bei möglichst windstillen und niederschlagsfreien Bedingungen erfolgen.

Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, die Messungen früh morgens oder spät abends an einem niederschlagsfreien und windstillen Tag durchzuführen. Dabei sollte auch auf die verkehrliche Situation geachtet werden, da für die beschriebenen Messungen Teilsperren der Straße notwendig werden.

Für die Durchführung der Messungen sind zwei geschulte Personen notwendig; ggf. erforderliche Absperrungen sollten durch Meistereimitarbeiter vor Ort erfolgen. Zur Durchführung der Messungen ist mindestens folgende Ausstattung notwendig:

- Thermometer für Lufttemperatur,
- Hygrometer für relative Luftfeuchte,
- Oberflächentemperatur-Messgerät,
- Meterstab,
- Wasserwaage,
- Sole-Lösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen,
- destilliertes Wasser zum Neutralisieren,
- Knetmasse oder Rohr zur Verhinderung des Abflusses,
- Tücher zum Trocknen und Reinigen der Fahrbahn,
- mobiler Internetzugang über WLAN-Stick und Laptop oder Mobiltelefon,

- Protokoll (Beispiel s. Anhang 4),
- Leiter.

7 Ansätze zur Qualitätssicherung bei der Installation von GMA

7.1 Derzeitiger Prozess von der Ausschreibung bis zum Betrieb von GMA

Zur Untersuchung des Abnahmeprozesses wurden Interviews sowie telefonische und schriftliche Befragungen in insgesamt 4 Bundesländern durchgeführt. Hierzu wurde der Abnahmeprozess in „vor der GMA-Installation“ und „nach der GMA-Installation“ sowie nach Gegenstand („was wird geprüft“) und Art („wie wird geprüft“) der Prüfung unterteilt (s. Tabelle 26). Darüber hinaus wurden der Prozess von der Ausschreibung bis zur Inbetriebnahme von

Phase	Was wird geprüft?	Wie wird geprüft?			
		Nordrhein-Westfalen	Niedersachsen	Baden-Württemberg	Bayern
vor der Installation	Sensoren	Test durch die BAST	--	--	anhand der Datenblätter der Hersteller
nach der Installation	Einbau der Sensoren	Sichtprüfung des Sensorvergusses		Sichtprüfung des Sensoreinbaus	
		Sichtprüfung der Plangleichheit mit der Fahrbahnoberfläche		Sichtprüfung der Plangleichheit mit der Fahrbahnoberfläche	
	Sensoren	Elektronisches Testsystem des Herstellers (Feuchte, Temperatur etc.)	Tests des AN für die Niederschlags-, Luftfeuchte-, Temperatur- und Fahrbahnzustandsermittlung, vor Ort jedoch nur Kontrolle der Temperatursensoren	Stichprobenartige Überprüfung der Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit	Bereich Tiefbau: Übergabeprotokoll (I)
		Vergleich der Rohdaten am Eingang der CPU mit Datenabgabe	Abgleich der Messergebnisse auf Basis von Protokollen auf der Ebene SST und SWIS-RZ		Bereich Nacharbeiten: Übergabeprotokoll (II)
		Vergleich der Ausgangsdaten mit Datenvisualisierung			
Messstelle	Sichtprüfung, ob Ausführung entsprechend der Regeln der Technik	Tiefbau, Elektrotechnik, Datenübertragung und Software	Im Rahmen der Abnahme wird die Ausführung der Montagetarbeiten kontrolliert	Funktionalität (III): im Rahmen des 14-tägigen Testbetriebs Abgleich mit anderen Messstellen (Plausibilität)	

Tab. 26: Qualitätssicherung bei der Abnahme von GMA in ausgewählten Bundesländern

GMA sowie die beteiligten Stellen abgefragt. Tabelle 27 zeigt die beteiligten Stellen in den Phasen Ausschreibung, Vergabe, Bauleitung, Abnahme sowie Betrieb. Befragt wurden hierzu die in den jeweiligen Bundesländern zuständigen Stellen. Diese sind für:

- Nordrhein-Westfalen: Landesbetrieb Straßenbau.NRW, HA 4, Abt. Betrieb,
- Niedersachsen: Niedersächsisch Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Geschäftsbereich Mobilitätsmanagement,
- Baden-Württemberg: Referat 95-1 – Streckenbeeinflussung und Verkehrstechnik – Regierungspräsidium Tübingen Landesstelle für Straßentechnik,
- Bayern: Zentralstelle für den Betriebsdienst, Autobahndirektion Nordbayern.

Die Auswertung für Nordrhein-Westfalen zeigt, dass im Vorfeld der Abnahme bzw. der Installation ein Sensortest seitens der BAST erfolgen sollte. Für die Abnahme der Anlage werden vor allem Sichtprüfungen der Sensoreinbauten sowie der ordnungsgemäßen Installation der GMA als Messstelle durchgeführt. Zur Überprüfung der Anlagenfunktionalität wird die herstellereigene Testsoftware zur Plausibilitätsprüfung verwendet. Zu diesem Zweck werden bei der Prüfung unterschiedliche Test-szenarien, wie bspw. Feuchte, Temperatur, gefahren, die dann durch Referenzmessungen überprüft werden.

Für das Bundesland Niedersachsen wurden bei der Befragung keine Angaben zu Sensortests vor der Installation oder zur Sichtprüfung des Sensoreinbaus (Verguss und Plangleichheit) gemacht. Für die Sensortests wurden die Anforderungen der TLS 2012 sowie der DIN EN 15158-3 angegeben, wonach der Auftragnehmer (AN) den Test (Lage usw.) vorschlagen soll. Vor Ort wird jedoch nur die Temperatur geprüft, da für die Parameter Niederschlag und Gefriertemperatur bislang keine geeigneten Messmethoden zur Verfügung stehen. Nach der Installation wurden Prüfungen in den Bereichen Tiefbau, Elektrotechnik, Datenübertragung und Software angegeben.

Die Befragung für Baden-Württemberg ergab keine Prüfungen der Sensoren im Vorfeld, jedoch eine Prüfung der Sensoren (Einbau und Plangleichheit). Nach der Installation wurde die stichprobenartige Überprüfung angegeben. Kontrolliert werden im

Rahmen der Abnahme die durchgeführten Montagetarbeiten.

In Bayern erfolgt vor der Installation eine Kontrolle der Sensoren anhand der Datenblätter des Herstellers. Wie in Niedersachsen wurde auch hier die Sichtprüfung (Einbau/Verguss und Plangleichheit) nicht explizit genannt. Der Abnahmeprozess wird in Bayern anhand eines dreistufigen Prozesses dokumentiert: Für den Bereich Tiefbau durch ein Übergabeprotokoll (I) mit den Beteiligten der zuständigen Straßenmeisterei und der Herstellerfirma, für Nacharbeiten durch ein Übergabeprotokoll für die Nacharbeiten (II) mit den Beteiligten Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst und der Herstellerfirma sowie für die Überprüfung der Funktionalität (III) eine 14-tägige Testphase. Erst wenn die installierte Anlage die 14-tägige Testphase besteht, gilt die GMA als abgenommen. Falls der Testbetrieb nicht erfolgreich abschlossen wird, erhält der Hersteller eine ausreichende Frist, um die Mängel zu beseitigen. Bei erfolgreicher Mängelbeseitigung wird die Anlage abgenommen.

Neben dem Abnahmeprozess selbst wurden für die Bundesländer Baden-Württemberg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen sowie Bayern noch weitere Daten, vor allem zu den Zuständigkeiten, erhoben. Deren Auswertung ist in Tabelle 27 aufgezeigt.

In Nordrhein-Westfalen sind alle GMA derzeit vom gleichen Hersteller, um Schnittstellenprobleme zu vermeiden. Daher werden GMA in der Regel freihändig vergeben, wofür eine entsprechende Preisabfrage und ggf. Nachverhandlungen erfolgen. Grundlage der Leistungsbeschreibung sind die geltenden technischen Regelwerke. Federführend im Ausschreibungs- und Vergabeprozess ist das Fachcenter Telekommunikation des Landesbetriebs, das hiermit durch den Betriebssitz beauftragt wird. Auch Bauüberwachung, Abnahme und der Betrieb der GMA liegen im Aufgabenbereich des Fachcenters.

Die Auswertung der Antworten für das Bundesland Niedersachsen ergab, dass die Ausschreibung nach VOB basierend auf den gültigen Regelwerken durch ein externes Ingenieurbüro vorgenommen wird. Die Vergabe erfolgt dann durch die zuständige Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. Bei größeren Vergabeprozessen wird diese noch durch den Geschäftsbereich Mobilitätsmanagement (Mobilitätscenter), zu dem auch die jeweiligen Fernmeldemeistereien gehören, unterstützt. Für den Betrieb der GMA in Niedersachsen sind die jewei-

Phase	Nordrhein-Westfalen	Niedersachsen	Baden-Württemberg	Bayern
Ausschreibung	Definition der Anforderungen nach den Betriebstechnischen Anforderungen an Glättemeldealanlagen, TL-GMA und DIN 15518	Definition der Anforderungen nach den Betriebstechnischen Anforderungen an Glättemeldealanlagen, TL-GMA und DIN 15518	Definition der Anforderungen auf Grundlage bestehender Anlagen durch Fernmeldemeisterei und Autobahnmeisterei	Definition der Anforderungen durch Meisterei vor Ort (federführend), Unterstützung durch die Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst und alleinige Ausschreibung nach VOB
	Definition der Anforderungen durch den Betriebssitz, Abtlg. Betrieb	Beauftragtes externes Ingenieurbüros nach VOB	Verfassung der Ausschreibungstexte nach VOB durch ein beauftragtes externes Ingenieurbüro und Fernmeldemeisterei	
Vergabe	Durch das Fachcenter Telekommunikation in Abstimmung mit dem Betriebssitz	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr bei großen Projekten vom Geschäftsbereich Mobilitätsmanagement	Referat 95-1 – Streckenbeeinflussung und Verkehrstechnik – Regierungspräsidium Tübingen, Landesstelle für Straßentechnik; Entscheidungskriterien: Preis und Einbindung in die SWIS Software	Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst, unter Beteiligung der Fernmeldemeisterei
	Freihändige Vergabe, da alle Anlagen in NRW vom gleichen Hersteller sind	Bei der Vergabe einzelner GMA im Rahmen einer Fahrbahnsanierung erfolgt die Vergabe durch die regionalen Geschäftsbereiche		Bei Nachweis der geforderten Spezifikationen erfolgt die Vergabe über den Preis
Bauleitung	Fachcenter Telekommunikation	Fernmeldemeistereien	externes Ingenieurbüro und Fernmeldemeisterei	Straßenmeisterei vor Ort und die Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst
Abnahme	Fachcenter Telekommunikation	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Geschäftsbereich Mobilitätsmanagement	externes Ingenieurbüro, Regierungspräsidium und die Fernmeldemeisterei	Straßenmeisterei vor Ort und die Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst
Betrieb	Fachcenter Telekommunikation	Zuständig sind die Fernmeldemeistereien	Referat 95-1, Abschluss von Wartungsverträgen mit der Herstellerfirma und einer 2x-jährlichen Wartung	Zuständig ist die Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst
	Wartungsvertrag mit jährlicher oder zweijährlicher Wartung durch den Hersteller	Ein Wartungsvertrag besteht für einen Teil der Anlagen bei 1x-jährlicher Wartung		
	Wartung teilweise auch durch Fachcenter Telekommunikation	Bei älteren Anlagen wird die Wartung von den Fernmeldemeistereien vorgenommen		Im Bereich der Autobahnen gibt es Wartungsverträge und die Anlagen werden 1x-jährlich gewartet und kalibriert

Tab. 27: Zuständigkeiten für die GMA in ausgewählten Bundesländern

ligen Fernmeldemeistereien zuständig. Bei älteren Anlagen wird die Wartung von der zuständigen Meisterei direkt übernommen.

Die Auswertungen für Baden-Württemberg zeigen, dass bei der Ausschreibung, die nach der VOB erfolgt, neben einem externen Ingenieurbüro die jeweilig zuständige Fernmelde- und Autobahnmeisterei an der Ausschreibung der GMA beteiligt ist. Die Vergabe der GMA wird von der Landesstelle für Straßentechnik am Regierungspräsidium Tübingen zentral für alle GMA in Baden-Württemberg vorgenommen. Die Bauleitung erfolgt durch ein externes

Ingenieurbüro sowie die Fernmeldemeisterei. Für die Abnahme ist zusätzlich noch das Regierungspräsidium Tübingen zuständig. Für den Betrieb der GMA ist die jeweils zuständige Fernmeldemeisterei verantwortlich.

Die Auswertungen für das Bundesland Bayern ergaben, dass die Definition der notwendigen GMA-Konfiguration federführend durch die Straßenmeisterei vor Ort erfolgt. Diese wird durch die Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst unterstützt, die dann die Ausschreibung, nach VOB sowie die Vergabe durchführt. Die Bauleitung erfolgt durch

die Straßenmeisterei vor Ort gemeinsam mit der Zentralstelle. Gleiches gilt für die Abnahme, wobei der Tiefbau federführend von der lokalen Straßenmeisterei und die Nacharbeiten sowie der Testbetrieb von der Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst vorgenommen werden. Diese übernimmt auch den Betrieb der Anlage.

Beispielhaft ist der Prozess für das Bundesland Bayern in der Bild 53 dargestellt. Das Ablaufdiagramm zeigt sowohl die beteiligten Stellen als auch die Hauptakteure der jeweiligen Phase. Die Schritte der Hauptakteure sind in der Grafik farblich gekennzeichnet.

Die durchgeführten Befragungen zeigen, dass der Abnahmeprozess sowie die Kontrollen und Prüfungen von Bundesland zu Bundesland variieren. Dies gilt vor allem für die Tests der Sensoren, die gar nicht, stichprobenartig oder im Testbetrieb überprüft werden. 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 seitens der BAST oder einer von ihr legitimierten Stelle betont.

Während des Installationsprozesses, d. h. in den Projektphasen Ausschreibung, Vergabe und Bauleitung sind je nach Bundesland unterschiedliche Stellen zuständig: Neben den speziell für GMA zuständigen Stellen, sind dies die für die elektrotechnische Ausstattung verantwortlichen Stellen der Landesverwaltungen und die betroffenen Meistereien. Zum Teil sind externe Ingenieurbüros eingebunden.

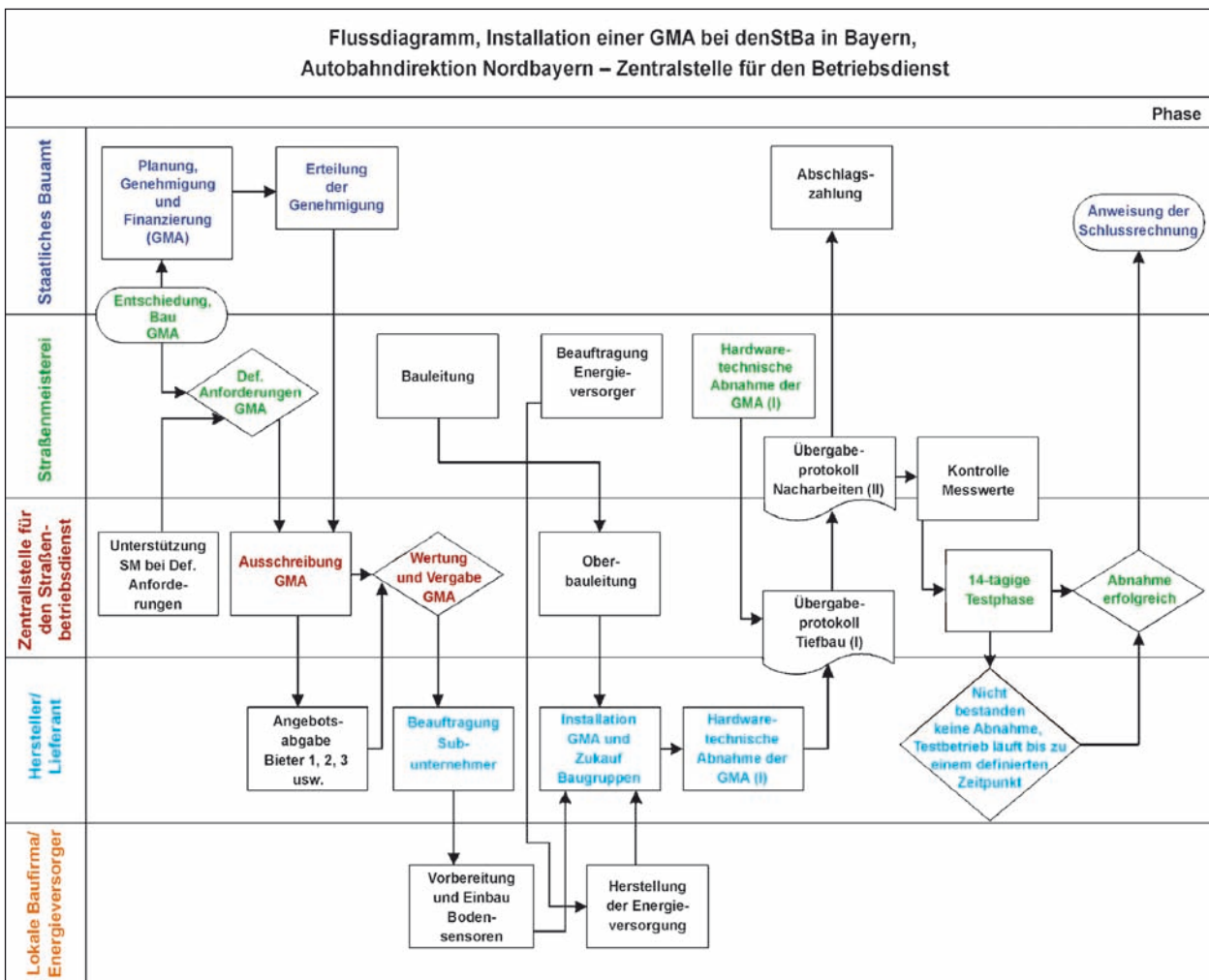


Bild 53: Prozessablauf für die Installation von GMA in Bayern

7.2 Abgeleitete Ansätze zur Qualitätssicherung

Aus den in Kapitel 7.1 dokumentierten Befragungsergebnissen ist für die Installation und den Betrieb von GMA zu folgern, dass eine Qualitätssicherung – insbesondere bei der Abnahme – den zuvor genannten Tatsachen Rechnung tragen muss, indem sie von Anfang an im Prozess der GMA implementiert wird. Durch die Qualitätssicherung können Schnittstellenprobleme zwischen den projektbeteiligten Stellen vermieden oder zumindest minimiert werden.

Wesentliche Bereiche einer durchgängigen Implementierung eines dynamischen Qualitätssicherungsprozesses sind die Anforderungen an die GMA und die Standortauswahl, die Ausschreibung und Vergabe der GMA, die Installation und Abnahme sowie der Betrieb und die Wartung. Im Folgenden werden zu den einzelnen Punkten Ansätze zur Qualitätsverbesserung aufgezeigt.

Anforderungen an die GMA und Standortauswahl der GMA

Bei der Definition der benötigten Parameter der GMA ist im Besonderen darauf zu achten, dass nicht jede GMA zwangsläufig alle in den entsprechenden Regelwerken erwähnten Parameter erfassen können muss. Das Technische Regelwerk, DIN EN 15518-3 und TLS definiert entsprechende notwendige und optionale Parameter (s. Anhang 1). Derzeit bestehen für die Standortauswahl einer GMA noch keine spezifischen Vorschriften. Hierfür sind neben den Erfahrungen des Meistereipersonals vor Ort die klimatologischen und topografischen Randbedingungen sowie die Integration der GMA in das Gesamtsystem zu berücksichtigen. Ggf. sind auch die Anforderungen des DWD aufzunehmen, wenn die Daten der GMA an diesen weitergeleitet und für Straßenwetterprognosen herangezogen werden.

Ausschreibung und Vergabe der GMA

Grundlage der Leistungsbeschreibung sollte das geltende Technische Regelwerk sein. Weiterhin sollte aufgenommen werden, dass nur zertifizierte Sensoren und Anlagen angeboten werden dürfen. Eine solche Zertifizierung von Sensoren kann z. B. durch die BASt oder andere geeignete Prüfstellen erfolgen. Eine erfolgreich absolvierte Testphase zur Überprüfung der Anlagenfunktionalität sowie der

Messergebnisse als Bestandteil der Abnahme sollten ebenfalls in der Leistungsbeschreibung verankert sein. Grundlage der Testphase sollten die in der DIN EN 15518, Teil 4 genannte Genauigkeit sein, die jedoch den Praxisbedingungen vor Ort anzupassen ist. Ausschreibung und Vergabe sollten innerhalb einer Straßenbauverwaltung nur von einer Stelle vorgenommen werden, die damit Know-How-Träger im Zuständigkeitsbereich ist und die entsprechende Fachkompetenz aufweist. Meisterei und Straßenbauverwaltung vor Ort verfügen über die entsprechende Problemkompetenz und sollten vor allem in die Definition der Anforderungen und die Standortauswahl eingebunden sein.

Installation und Abnahme

Bauleitung und Überwachung sollten nur durch eigenes oder Hinzunahme von nachweislich geeignetem Fachpersonal erfolgen. Dezidierte Abnahmeverfahren und -protokolle für die Bereiche Tiefbau, Nacharbeiten (bspw. Sensoreinbau) und Funktionalität sind zu empfehlen. Es ist weiterhin zu definieren, welche Messmethoden und welche Messgeräte für die Kontrolle der Sensorik vor Ort eingesetzt werden. Für die Kontrollmessungen im Rahmen der Abnahme ist nur entsprechend geschultes Fachpersonal einzusetzen; dies kann eigenes Personal der Straßenbauverwaltung sein oder auch von unabhängigen Prüfinstitutionen gestellt werden.

Betrieb und Wartung

Der Abschluss von Wartungsverträgen für die GMA ist zu empfehlen. Darüber hinaus sind Schulungsmaßnahmen der Anwender vorzusehen, wobei besonders darauf zu achten ist, dass neben der Bedienung der GMA auch das meteorologische Grundverständnis der zur Glätte führenden Parameter vermittelt wird. Des Weiteren sind die Anwender hinsichtlich fehlerhafter Sensorik zu schulen. Regelmäßige Kontrollprüfungen analog den Abnahmeprüfungen sollten durch die Straßenbauverwaltungen oder unabhängige Dritte erfolgen.

8 Zusammenfassende Empfehlungen

Im Folgenden werden auf Grundlage der verschiedenen, im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführten Untersuchungen die wesentlichen Ergeb-

nisse zusammengefasst und hieraus Empfehlungen abgeleitet, wie GMA zur Verbesserung des Winterdienstes beitragen können. Detailliertere Angaben zu den nachfolgenden Empfehlungen enthalten auch die vorstehenden Kapitel dieses Berichts. Schwerpunkt ist der Einsatz von GMA im nachgeordneten Netz, wobei zahlreiche Aspekte für den Einsatz an Bundesautobahnen gleichermaßen gelten.

Einsatz von GMA im nachgeordneten Netz

Aus den Untersuchungen wurde deutlich, dass GMA eine wesentliche Informationsquelle für den Einsatzleiter bei der Organisation und Durchführung des Winterdienstes sind. Dies gilt gleichermaßen für das nachgeordnete Netz wie für die Bundesautobahnen. Daher ist der Einsatz von GMA im nachgeordneten Netz wie auch für die Autobahnen zu empfehlen.

Bedarfsgerechte Anzahl und Standorte

Aufgrund des weitaus größeren Streckennetzes ist im nachgeordneten Netz eine den Bundesautobahnen vergleichbare Dichte der GMA vorerst nicht umsetzbar. Daher ist bei der Planung der GMA und ihrer Standorte 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 ggf. aufwendige Kontrollfahrten verzichtet werden kann. Bei der Standortwahl ist auch zu berücksichtigen, dass die Messdaten teilweise durch den DWD für die Erstellung der Straßenwettervorhersagen herangezogen werden. Es wird empfohlen, dass bei der Standortwahl alle relevanten Institutionen beteiligt werden, insbesondere die zuständige Fachabteilung als Know-How-Träger und die Meisterei als unmittelbarer Anwender. Eine Standortoptimierung mit Thermal Mapping als standardisiertes Verfahren ist in der Regel nicht erforderlich, da das Personal vor Ort die lokalen Besonderheiten des Streckennetzes bei unterschiedlichen Witterungslagen gut einschätzen kann. Werden Daten über Mobilfunk übertragen, sollte die Netzqualität der unterschiedlichen Mobilfunkanbieter am vorgesehenen Standort überprüft werden.

Nutzung der GMA-Daten

Vielfach werden durch die Einsatzleiter nur ein Teil der sehr umfangreichen Daten einer GMA genutzt, in erster Linie die Informationen zu Fahrbahnober-

flächen- und Lufttemperatur. Stehen viele GMA im Streckennetz zur Verfügung, werden häufig nur auf wenige, in der Regel wesentliche GMA zurückgegriffen. Dies macht deutlich, dass eine anwenderfreundliche Informationsaufbereitung wichtig ist, 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. Für die Einsatzsteuerung sind auch die Informationen über die GMA angrenzender Regionen wichtig, unabhängig von Verwaltungs- und Landesgrenzen. Daher sollten für diese, wie bereits vielfach realisiert, entsprechende Zugriffsmöglichkeiten bestehen. Die nur eingeschränkte Nutzung der GMA-Daten kann zum Teil auch auf unzureichende Kenntnisse der Einsatzleiter zu den meteorologischen Zusammenhängen zurückgeführt werden, z. B. bei der Taupunkttemperatur, so dass neben der programmtechnischen Schulung auch eine verstärkte inhaltliche Schulung in der Interpretation der GMA-Daten zu empfehlen ist. Hierfür wird empfohlen, einheitliche Schulungsunterlagen zu erstellen.

Qualität der GMA-Daten

Die stichprobenhaften Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass die durch die Sensorik erfassten Daten nicht immer der geforderten Genauigkeit entsprechen. Zum Teil kann dies auf eine unzureichende Ausrichtung oder Kalibrierung der Sensoren bei der Installation zurückgeführt werden, zum Teil kann in der Praxis die geforderte Genauigkeit mit den eingesetzten Messverfahren aufgrund der Randbedingungen auf der Fahrbahn nicht erreicht werden. Insbesondere die Erfassung der Wasserfilmdicke und der Salzkonzentration der vorhandenen Lösung auf der Fahrbahn ist in diesem Zusammenhang kritisch zu bewerten, sodass auch die Gefriertemperatur nur unzureichend genau ist, wenn sie auf Grundlage dieser gemessenen Parameter bestimmt wird. Aber auch bei anderen Messwerten treten zum Teil größere Abweichungen auf, sodass das Vertrauen der Einsatzleiter in die angezeigten Daten zum Teil nur gering ist. Zum Teil ist auch eine anlagen-, standort- und herstellereinspezifische Interpretation der Messwerte notwendig. Auch diese Aspekte können eine Erklärung für die unzureichende Nutzung der GMA-Daten sein. Daher 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, z. B. im Rahmen von Wartungsverträgen, sowie Kontrollprüfungen und fortlaufende automatisierte Plausibilitätsprüfungen der Messdaten durch die Straßenbauverwaltung oder unabhängige Prüfinstitutionen.

Einsatz von Kameras

Durch die Installation von Kameras an GMA-Standorten ist für die Einsatzleiter eine unmittelbare Plausibilitätsprüfung für einen Teil der angezeigten Daten möglich, wodurch das Vertrauen in die Messdaten steigt. Es kann überprüft werden, ob die punktuell auf dem Sensor gemessenen Parameter repräsentativ sind. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die Fahrbahntemperatur nicht gesehen werden kann und dass auch beginnende Reifglätte nur schwierig zu erkennen ist. Neben den Witterungsverhältnissen kann auch das Verkehrsgeschehen beobachtet werden. Daher ist der Einsatz von Kameras an GMA 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.

Sensorik für GMA

Da für die atmosphärischen Parameter häufig sogenannte All-in-one-Sensoren angewendet werden, ist die obligatorische Messung von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Niederschlagsart und -intensität generell zu empfehlen. Weitere spezifische Sensoren, wie für die Sichtweiten- oder die Schneehöhenmessung, sind hingegen relativ teuer und sollten daher nur bei Bedarf implementiert werden. Windsensoren können in verwehungsgefährdeten Abschnitten wichtig sein, insbesondere wenn keine Kamera vorgesehen ist. Für die Fahrbahn sollten neben der Temperatur auch der Fahrbahnzustand erfasst werden. Auf die quantitative Bestimmung der Wasserfilmdicke sollte jedoch verzichtet werden, solange hierfür keine hinreichend genauen Messverfahren verfügbar sind. Die Temperatur im Straßenaufbau ist für den Einsatzleiter in der Regel nicht unmittelbar von Interesse; sie sollte daher nur dann erfasst werden, wenn sie für die Prognose der Fahrbahntemperatur verwendet wird, um die Kosten der GMA zu senken. Berührungslose Sensorik ist in der Regel noch deutlich teurer in der Anschaf-

fung, allerdings kann sie erheblich einfacher und ohne Verkehrsbehinderungen installiert werden, da keine Schleifen und Sensoren in die Fahrbahn eingebaut werden müssen. Auch kann sie bei Einbau einer neuen Fahrbahndecke ohne Weiteres weitergenutzt werden, sodass ein Wirtschaftlichkeitsvergleich auf der Basis vorliegender Alternativangebote sinnvoll sein kann.

Autarke Stromversorgung

Bei der Standortwahl sollte die Stromversorgung nicht primäres Entscheidungskriterium sein, sondern der Nutzen der GMA steht hierbei im Vordergrund (s. o.). 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 die autarke Stromversorgung sind vor allem Photovoltaik und Windenergie sinnvoll. Der Einsatz von Brennstoffzellen führt zu hohen Betriebskosten und ist mit einem betrieblichen Aufwand verbunden, sodass sie in der Regel nicht zu empfehlen sind. Ob Photovoltaik oder Windenergie sinnvoller ist, hängt vor allem vom Standort ab und kann nicht pauschal beurteilt werden. Auf Hybridsysteme, d. h. den Einsatz von zwei Komponenten für die Energiegewinnung, sollte in der Regel verzichtet werden, da mit ihnen die Ausfallsicherheit meist nur in geringem Umfang gesteigert werden kann, die Kosten jedoch deutlich steigen. Wichtig ist eine ausreichend dimensionierte Batterie zur Pufferung. Weiterhin kann der Einsatz energieoptimierter Sensoren und Komponenten in der GMA erhebliche Einsparungen bei der autarken Stromversorgung ermöglichen, sodass mögliche Mehrkosten hierfür wirtschaftlich sein können. Auch wird empfohlen, GMA bei autarker Stromversorgung mit einem „intelligentem“ Energiemanagement auszurüsten, bei dem energieintensive Anlagenteile, wie beispielsweise die Kamera, bei geringer Energieverfügbarkeit ausgeschaltet werden oder zumindest ihre Erfassungsintervalle reduziert werden.

Qualitätssicherung für GMA

Es wird empfohlen, für GMA einen durchgehenden Qualitätssicherungsprozess durch die Straßenbauverwaltungen zu implementieren. Hierfür ist das technische Regelwerk der Leistungsbeschreibung zugrunde zu legen. 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 durch die BAST oder andere hierfür zertifizierte Stellen 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, wie oben erwähnt, regelmäßige Kontrollprüfungen sinnvoll. Für Abnahme- und Kontrollprüfungen sollte geschultes Fachpersonal der Straßenbauverwaltung oder von unabhängigen Dritten eingesetzt werden.

Definition der Anforderungen an GMA-Daten

Im derzeitigen technischen Regelwerk sind Grenzwerte und Prüfvorschriften für eine Vielzahl von GMA-Daten definiert. Allerdings sind diese zum Teil nur unter Laborbedingungen und daher nicht für GMA vor Ort unmittelbar anwendbar. Für ein Qualitätssicherungssystem, bestehend aus Typ-, Abnahme- und Kontrollprüfungen sind jedoch 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. Aus den pilothaft durchgeführten Untersuchungen lässt sich ableiten, dass praxisgerechte Prüfvorschriften möglich sind, mit denen GMA vor Ort mit vertretbarem Zeitaufwand und nicht zu teuren Messgeräten überprüft werden können.

Zusammenfassend wird aus den Untersuchungen deutlich, dass GMA von großer Bedeutung für einen effizienten Winterdienst sind und daher auch im nachgeordneten Netz verstärkt zum Einsatz kommen sollten. Allerdings besteht vordringlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um die derzeit festgestellten Mängel beim Einsatz der GMA zu beheben. In erster Linie sind dies die Entwicklung zuverlässiger Sensorik zur Erfassung der Fahrbahnzustandes durch die Hersteller sowie die Erarbeitung praxisgerechter Prüfvorschriften für Sensorprüfungen vor Ort durch die zuständigen Forschungsgremien.

9 Literatur

- ALBERS, J.; DOMMEL, R.; MONTALDO-VENTSAM, H.; ÜBELACKER, E.; WAGNER, J.: Der Zentralheizungs- und Lüftungsbauer – Technologie, 3. Auflage, Verlag Handwerk und Technik, Hamburg 2002
- ASFINAG – Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, ASFINAG – Unternehmen und Unternehmensstruktur. URL: www.asfinag.at/unternehmen. Abgerufen am 21. Februar 2012
- ASFINAG – Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, ASFINAG – Unternehmen und Unternehmensstruktur. URL: <http://www.asfinag.at/betrieb>. Abgerufen im Juli 2013
- BADEL, H.; BREITENSTEIN, J.: Modell zur Glät-tewarnung im Straßenwinterdienst, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Wirtschaftsverlag NW – Verlag für neue Wissenschaft, Bergisch Gladbach 2005
- BADEL, H.; BREITENSTEIN, J.; FLEISCH, J.; HÄUSLER, G.; SCHEURL, S.; WENDL, A.: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Wirtschaftsverlag NW – Verlag für neue Wissenschaft, Bergisch Gladbach 2006
- BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS), Bergisch Gladbach 2012
- BBK – Deutsche Bundesbank: Zinsstrukturkurve für börsennotierte Bundeswertpapiere (Monats- und Tageswerte). URL: www.bundesbank.de -> Statistiken -> Geld- und Kapitalmärkte -> Zinssätze und Renditen -> Zeitreihen -> Zinsstruktur am Rentenmarkt - Schätzwerte -> Börsennotierte Bundeswertpapiere; Zugriff am 17. August 2012
- BMF – Bundesministerium der Finanzen: AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig „Luftfahrtunternehmen und Flughafenbetriebe“. Abrufbar unter www.bundesfinanzministerium.de -> Themen -> Steuern -> Weitere Steuerthemen -> Betriebsprüfung -> AfA-Tabellen, Berlin 1994
- BMF – Bundesministerium der Finanzen: Rundschreiben des Bundesministerium der Finanzen an die obersten Bundesbehörden zu Personal-

- kostensätze, Sachkostenpauschale und Kalkulationszinssätze. Abrufbar unter: www.bundesfinanzministerium.de -> Themen -> Öffentliche Finanzen -> Bundeshaushalt, Berlin 02. Juli 2012
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs, Stand: 1. Januar 2010, Bonn 2010
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2011, Drucksache 17/12230 des Deutschen Bundestages vom 25.01.13, Berlin 2013
- BMVBW – Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Grundsätze für die Aufstellung von Verkehrsschildern an Bundesfernstraßen, FGSV 329/3 – FGSV Verlag, Köln 2000
- BRODARD, P.-A.: A new Standard for Road Weather Information Systems (RWIS) im Rahmen der 16th International Road Weather Conference (SIRWEC), Helsinki (Finnland) 2012
- BUSCH, F., GROSANIC, S.: Abschlussbericht „Umfelddatenerfassung in Streckenbeeinflussungsanlagen Abschlussbericht 6. Testphase“, Technische Universität München, 2011
- BVWE – Bundesverband WindEnergie e. V., Turm und Mast | Bundesverband WindEnergie e. V.: URL: www.wind-energie.de/infocenter/technik/konstruktiver-aufbau/turm-und-mast. Abgerufen am 3. April 2012
- DGS-SOLAR – Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie: Nutzerinformation Photovoltaik, URL: www.dgs-solar.org. Abgerufen im Juli 2013
- DESTATIS – Deutsches Statistisches Bundesamt: Fachserie 17, Reihe 7, Monatsbericht Juli 2012 – Preise: Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Wiesbaden 2012
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 31051 – Grundlagen der Instandhaltung, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2003.
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 60300-3-3 „Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten“, Beuth Verlag, Berlin 2005
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 61400-2: Windenergieanlagen – Teil 2: Sicherheit kleiner Windenergieanlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2007
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12767: Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung – Anforderungen und Prüfverfahren, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2008
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 15518: Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme – Teil 1 bis Teil 3, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011 (a)
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 1317-2: Rückhaltesysteme an Straßen – Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen; Deutsche Fassung EN 1317-2:2010, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011 (b)
- DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN CEN/TS 15518-4, DIN SPEC 30748: Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme – Teil 4: Prüfverfahren bei stationären Einrichtungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013
- DROSTE-FRANKE, B.: Brennstoffzellen und virtuelle Kraftwerke, Springer-Verlag, Heidelberg 2009
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Hennef 2012
- DWD – Deutscher Wetterdienst: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland, mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981-2010, DWD, Abt. Klima- und Umweltberatung, Pf 301190, 20304 Hamburg, online: August 2013
- DWD – Deutscher Wetterdienst: Wetterlexikon. URL: www.dwd.de/lexikon, abgerufen am 23. März 2014
- EA.NRW – EnergieAgentur.NRW: Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff NRW – Brennstoffzellentypen und ihr Entwicklungsstand. URL: www.brennstoffzelle-nrw.de/index.php?id=39&L=4index.php%3Fid%3D13%2Findex.php%3Fid%3D. Abgerufen am 4. April 2012

- EBERLE, J.: Präsentation NIRS 31, Luft GmbH, Fellbach 2012
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), FGSV 132 – FGSV Verlag, Köln 1997
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinie für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS), FGSV 343 – FGSV Verlag, Köln 2009
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen, FGSV 416 – FGSV Verlag, Köln 2010a
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen, FGSV 306 – FGSV Verlag, Köln 2010b
- FHWA – Federal Highway Administration: Road Weather Information System Environmental Sensor Station Siting Guidelines V2.0, U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, Washington, D.C. 2008
- FVT – Fachstelle der Wasser und Schifffahrtsverwaltung für Verkehrstechniken der Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Leuchtonnen mit photovoltaischer Energieversorgung. URL: www.fvt.wsv.de/fachinformationen/Energie-technik/Leuchtonnen_PV/index.html. Abgerufen am 11. Januar 2012
- GASCH, R.; TWELE, J.: Windkraftanlagen – Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb (5. überarbeitete Ausg.), B.G. Teubner Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007
- GERLACH, A.-K.; BREYER, C.: PV und Windkraft: Sich hervorragend ergänzende Energietechnologien am Beispiel Mitteldeutschlandes im Rahmen des 27. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein 2012
- HAUSMANN, G.: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn. Bericht zum Forschungsprojekt 03.404/2005/HRB Verkehrstechnik, BAST, Wirtschaftsverlag NW, Bergisch Gladbach 2009
- HOLLDORB, C.; HÄUSLER, K.; TRÄGER, D.: Forschungsbericht „Informations- und Kommunikationstechniken zur Optimierung des Betriebsdienst-Managements“ (unveröffentlicht), Biberach 2011
- KALTSCHMITT, M., STREICHER, W., WIESE, A.: Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, Springer Verlag, Berlin 2006
- KARAMANOLIS, S.: Brennstoffzellen: Schlüsselelemente der Wasserstofftechnologie, Vogel Buchverlag, 2003
- KELLER, V.: Gasdiffusionselektroden für PEM – Brennstoffzellen durch In Situ – Elektrodeposition, Dissertation an der Universität des Saarlandes, Saarbrücken 2009
- LUFFT, G.: Betriebsanleitung „ARS31-UMB – Aktiver Fahrbahnsensor“, G. Luft Mess- und Regeltechnik GmbH, Fellbach 2009
- LUFFT, G.: Betriebsanleitung „Berührungsloser Straßensensor NIRS31-UMB“, G. LUFFT: Mess- und Regeltechnik GmbH, Fellbach 2011
- NOR-NORM – Statens Vegvesen: Håndbok 266: Klimastasjonens Retningslinjer (Handbuch 266: Richtlinien für Klimastationen), Statens Vegvesen (Norwegische Straßenbauverwaltung), Oslo (Norwegen) 2005
- OERTEL, D.: Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energierversorgung“: Energiespeicher – Stand und Perspektiven, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Berlin 2008
- PIARC – World Road Association: Snow and ice data book 2010, Paris 2010
- PIEGDON, K. A.: Ausarbeitung zum Vortrag „Windenergie – Physikalische Grundlagen der Energieumwandlung“ im Rahmen des Hauptseminars Experimentalphysik, Universität Duisburg-Essen, Duisburg 2006
- RUJESS, B.; HOLLDORB, C.: Optimierung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses im Winter durch den Einsatz moderner Kommunikationstechnologie im Straßenbetrieb. Forschungsauftrag VSS 2003/601 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Straßen- und

Verkehrsfachleute (VSS), Baden/Schweiz, Karlsruhe 2007

SCHEDLER, K. E.: New Generation of non-invasive Sensors for Road Surface Condition im Rahmen der 3. Lakeside Conference, Klagenfurt (Österreich) 2010

SCHIESTEL, T.: Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB. Kein Durchlass für Ethanol – Neue Kompositmembran für Brennstoffzelle. URL: www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/archiv/2009/kompositmembran-fuer-brennstoffzelle.html. Abgerufen am 4. April 2012

SPÄHN, B.; KOESNAIDI, A.: Autarke Energieversorgung für Glättemeldeanlagen, Studienarbeit im Fach Angewandte Energietechnik der Hochschule Biberach, Biberach 2013

STMI – Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern: Längenstatistik der Straßen des überörtlichen Verkehrs in Bayern (Stand: 01.01.2012), München 2012

UDOMI – udomi GmbH: udomi – competence in fuel cell systems | Downloads. URL: www.udomi.de/downloads/udomi-fuelcellsystems.pdf. Abgerufen am 10. April 2012

UND – University of North Dakota – Surface Transportation Weather Research Center: Analysis of Environmental Sensor Station Deployment Alternatives Final Report, im Auftrag des U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, Grand Forks, North Dakota (USA) 2009

VAISALA – Vaisala Oyj: Datenblatt „Vaisala Optischer Straßensensor für die Oberflächenzustandserkennung DSC111“, Vaisala Oyj, Vantaa (Finnland) 2010

WIKI – Wikimedia Foundation Inc.: Photovoltaik | Inselanlage. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik#Inselanlage>. Abgerufen am 3. April 2012

Interviewpartner/Erhebung per Fragebogen

Folgende Ansprechpartner standen im Rahmen des FE-Projektes für Interviews und Auskünfte zur Verfügung:

- Landkreis Ravensburg
Berthold Moll,
Leiter Straßenbauamt
Erwin Butscher,
Leiter Straßenmeisterei Wangen i. A.
- Staatliches Bauamt Amberg-Sulzbach
Gerhard Schleser,
Leiter Straßenmeisterei Weiden i. d. Opf.
- Autobahndirektion Südbayern
Klaus Seufferling,
Leiter Autobahnmeisterei München-Nord
- Boschung Mecatronic
Pierre-Alain Brodard,
Geschäftsführer Boschung Mecatronic AG
Dr.-Ing. Thorsten Cypra,
Geschäftsführer Boschung Mecatronic GmbH
Matthias Danisch,
Vertrieb Boschung Mecatronic GmbH
- G. Luft Mess- und Regeltechnik GmbH
Dipl.-Wi.-Ing. Klaus Hirzel,
Geschäftsführer
- micKS MSR GmbH
Dipl.-Ing. Karl E. Schedler,
Geschäftsführer
- Deutscher Wetterdienst
Dr. Renate Hagedorn,
Referat Zentrale Fachleitung
- Icelandic Road Administration
Nicolai Jónasson,
Chief of Traffic Information Department

- Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
Ludwig Niebrügge,
HA 4, Abt. Betrieb
Elisabeth Große-Feldhaus,
Winterdienstzentrale (WDZ) Hamm
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes
Torsten Reddman,
Fachstelle der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für Verkehrstechniken
- Baden-Württemberg: Referat 95-1 – Streckenbeeinflussung und Verkehrstechnik – Regierungspräsidium Tübingen Landesstelle für Straßentechnik
Hans-Dieter Hannes
- Niedersachsen: Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, Geschäftsbereich Mobilitätsmanagement
Hubert Sauer
- Bayern: Zentralstelle für den Straßenbetriebsdienst
Harald Claußen,
Ludwig Walter,
Peter Schorsack,
Rudolf Lehmann

Anhänge

- Anhang 1 Anforderungen an Glättemeldealanlagen gemäß DIN 15518, Teil 3 und an die Erfassung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen gemäß TLS
- Anhang 2 Kostengruppen bei der LZK
- Anhang 3 Erfassungsbögen zur Einsatzanalyse
- Anhang 4 Beispiel eines Protokolls für Kontrollmessungen

Anhang 1: Anforderungen an Glättemeldeanlagen gemäß DIN 15518, Teil 3 und an die Erfassung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen gemäß TLS

Nachfolgend sind die Anforderungen gemäß DIN EN 15518-3 „Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme – Teil 3: Anforderungen an gemessene Werte der stationären Anlagen“ [DIN 2011a] sowie der Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen – TLS [BAsT 2012], die identisch mit den Anforderungen der Hinweise zur Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen“ [FGSV 2010] sind, gegenübergestellt.

Parameter	Messbereich		Auflösung		Fehlergrenze	
	DIN EN 15518-3	TLS	DIN EN 15518-3	TLS	DIN EN 15518-3	TLS
Fahrbahnoberflächentemperatur [°C]	-30 bis +60	-40 bis +80*	0,1	0,1	-15 bis 10 (±0,2) -30 bis -15 (±0,8) +10 bis +60 (±0,8)	+/- 0,5*
Fahrbahnzustand	trocken, feucht, nass, fließendes Wasser, glatt					
Gefriertemperatur (abgeleitet) [°C]	-30 bis 0	-25 bis 0,0	0,1	0,1	0 bis -2,5 (±0,5) 2,5 bis -30 (±20 %)	ca. +/- 1
Gefriertemperatur (gemessen) [°C]	-30 bis 0	-25 bis 0,0*	0,1	0,1	0 bis -15 (±0,5) -15 bis -30 (±1,5)	ca. +/- 1*
Lufttemperatur [°C]	-40 bis +60	-40 bis +80	0,1	0,1	-10 bis +10 (±0,1); sonst ±0,5	+/- 0,1
Niederschlagsart	Unterscheidung zwischen festem und flüssigem Niederschlag	kein Niederschlag, Regen, Schnee*				95 %*
Niederschlagsintensität [mm/h]	zwischen 0,1 und 200	0 bis 999*	0,1	0,01 *	±30 % des gemessenen Wertes zwischen 0,1 und 0,5 ; ±20 % des gemessenen Wertes zwischen 0,5 und 5 ; ±40 % des gemessenen Wertes über 5	ca. 5 %*
Relative Luftfeuchte	mindestens zwischen 30 % und 100 %		1 %		85 % bis 100 % (±3 %); sonst ±5 %	
Schneehöhe (gemessen auf der Fahrbahnoberfläche) [cm]	0 bis 50		1		±2	
Schneehöhe (gemessen neben der Fahrbahn) [cm]	0 bis 50		1		±2	
* Angabe des größeren Wertes oder des kleineren Messbereiches; andere Messverfahren haben evtl. genauere Werte und größere Messbereiche						

Parameter	Messbereich		Auflösung		Fehlergrenze	
	DIN EN 15518-3	TLS	DIN EN 15518-3	TLS	DIN EN 15518-3	TLS
Sichtweite [m]	10 bis 500		10		±10 oder ±20 % des gemessenen Wertes, welcher hier größer ist	
Taupunkttemperatur (abgeleitet) [°C]	zwischen -10 und +10 und relativer Luftfeuchte > 85 %	10 bis 100 %	0,1	1 %	±1,5	ca. 3 %
Taupunkttemperatur (gemessen) [°C]	zwischen -10 und +10		0,1		±0,3	
Temperatur des Straßenkörpers [°C]	-25 bis +60		0,1		±1	
Wasserfilmdicke [mm]	0,2 bis 3	0 bis 6*	0,01	ca. 0,01	0,2 bis 3 (±30 %)	±0,3*
Windgeschwindigkeit [m/s]	mindestens zwischen 0 und 35	0 bis 35*	0,1	0,1	±1 zwischen 1 und 10 ; sonst ±10 % des gemessenen Wertes	+/- 0,5*
Windrichtung	0 ° bis 359 °		1°		1 m/s in einer Anfangsabweichung von 90 °	
Windspitze [m/s]	zwischen 0 und 50		0,1		1 zwischen 1 und 10 ; sonst ±10 % des gemessenen Wertes	
* Angabe des größeren Wertes oder des kleineren Messbereiches; andere Messverfahren haben evtl. genauere Werte und größere Messbereiche						

Anhang 2: Kostengruppen bei der LZK

Formular Erfassung Kostengruppen der LZK, Errichtung – Erweiterung

3	<i>Bei Bedarf weitere Zeilen einfügen!</i>		x Anzahl / Umfang x Inhalte der Komponenten
		Komponente	Beschreibung
	Kosten für Errichtung / Implementierung / Erweiterung		
	Investition Geräte / Sensorik / Zubehör		
Sensorik			
Leuchten			
Stromkasten			
Mast			
	Installations- und Baukosten		
Fundament			
Zuleitungen			
Schutzbauten / -planken			
	Investition zusätzliche Hardware		
PC's			
Netzwerk			
Server			
Datenübertragung			
	Planungs- / Konzeptkosten / Consulting		
Planungskosten durch Hersteller			
Externe Berater / Planer			
Thermal Mapping			
	Sonstige Implementierungskosten		
Schulungskosten			
EIGENLEISTUNGEN	Zusätzliche eigene Aufwendungen		
Baumaßnahmen durch eigenes Personal			
Arbeit an EDV durch internen Fachmann			

Formular Erfassung Kostengruppen der LZK, Erneuerung – Reparatur

4	<i>Bei Bedarf weitere Zeilen einfügen!</i>		x Anzahl / Umfang x Inhalte der Komponenten
		Komponente	Beschreibung
Kosten für Erneuerung / Instandsetzung / Reparaturen			
	Geräte / Sensorik / Zubehör		
<i>Sensorik</i>			
<i>Leuchten</i>			
<i>Stromkasten</i>			
<i>Mast</i>			
	Installationskosten (Baukosten)		
<i>Fundament</i>			
<i>Zuleitungen</i>			
<i>Schutzbauten / -planken</i>			
	Hardware		
<i>PCs</i>			
<i>Netzwerk</i>			
<i>Server</i>			
<i>Datenübertragung</i>			
	Sonstige Kosten für Erneuerung / Instandsetzung / Reparaturen		
<i>Planungskosten</i>			
<i>Schulungskosten</i>			
EIGENLEISTUNGEN	Zusätzliche eigene Aufwendungen		
<i>Baumaßnahmen durch eigenes Personal</i>			
<i>Arbeit an EDV durch internen Fachmann</i>			

Formular Erfassung Kostengruppen der LZK, Nutzung – Betrieb

5	<i>Bei Bedarf weitere Zeilen einfügen!</i>		x Anzahl / Umfang x Inhalte der Komponenten x Zahlungsweise	
		Komponente	Beschreibung	
Kosten für Betrieb und Nutzung				
	Wartung und Kontrolle / Verschleißteile / Kalibrierung			
<i>Verschleißteile an Straßensensor</i>				
	Datentransfer und Kommunikation			
<i>Mobilfunk</i>				
	Lizenzkosten Software / Anpassung an nutzerspezifische Erfordernisse			
	Daten- und Informationsnutzung			
<i>Kosten für GMA-Daten</i>				
	regelmäßige Dienstleistungen und Auswertungen			
<i>Zusätzliche Prognosen</i>				
	Stromkosten / Betriebsmittel			
<i>Strom für GMA Anlage z. B. Brennstoff für Brennstoffzelle</i>				
	Sonstige Kosten für Betrieb und Nutzung			

Anhang 3: Erfassungsbögen zur Einsatzanalyse

Formular Einsatzentscheidung für die SM Wangen i. A.

Forschungsprojekt RegWet 2011/12

Straßenmeisterei Wangen i.A.

Analyse der Einsatzentscheidung im Winterdienst

Bitte protokollieren Sie für ihren Bereich der Bundes-, Landes- und Kreisstraßen jede Einsatzentscheidung möglichst unmittelbar während des Einsatzes. Alle Auswertungen erfolgen anonymisiert.

Für Rückfragen wenden Sie sich bitte an Frau **Melina Uhlig** (Tel: 0160/97969566; uhlig@hochschule-bc.de) oder Herrn **Markus Streich** (Tel: 01577/3965791; streich@hochschule-bc.de).

Name Einsatzleiter: _____		Blatt-Nr.: _____																									
Datum: _____		Uhrzeit Einsatzentscheidung: _____ Uhr																									
Einsatzart: <input type="checkbox"/> Nicht – Einsatz <input type="checkbox"/> Präventiv (vor Glättebeginn) <input type="checkbox"/> Ersteinsatz (mit Glätte –oder Schneefallbeginn) <input type="checkbox"/> Wiederholungseinsatz <input type="checkbox"/> Folgeeinsatz <input type="checkbox"/> _____	Einsatzform: <input type="checkbox"/> Streuen <input type="checkbox"/> Streuen + Räumen <input type="checkbox"/> Kontrollfahrt <input type="checkbox"/> _____	Durchgeführte Räum- und Streuschleifen: <input type="checkbox"/> Streuplan A <input type="checkbox"/> Streuplan B <input type="checkbox"/> Räumplan <input type="checkbox"/> individuelle Routenaufteilung																									
Maßgebende Informationen für die Einsatzentscheidung <small>(Max. 3 wählen & nach Priorität 1 bis 3 angeben! 1=sehr wichtig; 2=wichtig; 3= weniger wichtig)</small> <input type="checkbox"/> Glättemeldeanlage  <input type="checkbox"/> anydata <input type="checkbox"/> Meldung Fahrer <input type="checkbox"/> Meldung Polizei <input type="checkbox"/> Meldung _____ <input type="checkbox"/> Wetter- / Niederschlagsradar <input type="checkbox"/> Satellitenbilder <input type="checkbox"/> SWIS-Daten <input type="checkbox"/> Rundfunk / Fernsehen <input type="checkbox"/> Kachelmann (Meteo-Media) <input type="checkbox"/> wetteronline.de <input type="checkbox"/> wetter.com <input type="checkbox"/> donnerwetter.de <input type="checkbox"/> weiteres Internetportal _____ <input type="checkbox"/> eigene Wahrnehmung <input type="checkbox"/> _____	bei Glättemeldeanlagen <table border="1"> <thead> <tr> <th>Maßgebende Messstationen:</th> <th>Maßgebende Parameter</th> <th>Ist-Wert</th> <th>Prognose</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Rotheidlen B32</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Büchel L324</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Staudach B12</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prognose	<input type="checkbox"/> Rotheidlen B32		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Büchel L324		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Staudach B12		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prognose																							
<input type="checkbox"/> Rotheidlen B32		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/> Büchel L324		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/> Staudach B12		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
	bei Wetter-Vorhersage / Wetter-Prognose Maßgebende Aussagen _____ _____ _____ _____	bei GMA-Daten angrenzender Meistereien Maßgebende Stationen 1. _____ 2. _____ Maßgebende Parameter 1. _____ 2. _____																									
zusätzliche Beschreibung der Einsatzentscheidung und weitere Bemerkungen <small>(bei Bedarf bitte Rückseite oder weitere Blätter verwenden.)</small> _____ _____																											

Formular Einsatzentscheidung für die SM Weiden i. d. Opf.

Forschungsprojekt RegWet 2011/12

Straßenmeisterei Weiden i.d.O.

Analyse der Einsatzentscheidung im Winterdienst

Bitte protokollieren Sie für ihren Bereich der Bundes-, Staats- und Kreisstraßen jede Einsatzentscheidung möglichst unmittelbar während des Einsatzes. Alle Auswertungen erfolgen anonymisiert.
Für Rückfragen wenden Sie sich bitte an Frau **Melina Uhlig** (Tel: 0160/97969566; uhlig@hochschule-bc.de) oder Herrn **Markus Streich** (Tel: 01577/3965791; streich@hochschule-bc.de).

Name Einsatzleiter: <input style="width: 100px;" type="text"/> ← AUF FELD KLICKEN UM NAMEN AUSZUWÄHLEN		Blatt-Nr.: _____																									
Datum: Hier klicken! ← AUF FELD + PFEIL KLICKEN UM DATUM AUSZUWÄHLEN		Uhrzeit Einsatzentscheidung: _____ Uhr																									
Einsatzart: <input type="checkbox"/> Präventiv (vor Glättebeginn) <input type="checkbox"/> Ersteinsatz (mit Glättebeginn) <input type="checkbox"/> Wiederholungseinsatz <input type="checkbox"/> Folgeeinsatz <input type="checkbox"/> _____	Einsatzform: <input type="checkbox"/> Streuen <input type="checkbox"/> Streuen + Räumen <input type="checkbox"/> _____	Durchgeführte Räum- und Streuschleifen: <input type="checkbox"/> Gesamtnetz <input type="checkbox"/> Teilnetz Räumen + Streuen <input type="checkbox"/> AM – B 526 <input type="checkbox"/> AM – B 186 <input type="checkbox"/> NEW- 2021 <input type="checkbox"/> NEW-MK 480 <input type="checkbox"/> TIR-HZ 50 <input type="checkbox"/> TIR-AA 106 <input type="checkbox"/> NEW-GB 244 <input type="checkbox"/> TIR-TZ 50 <input type="checkbox"/> Teilnetz Streuen <input type="checkbox"/> Tour 01 <input type="checkbox"/> Tour 02 <input type="checkbox"/> Tour 03 <input type="checkbox"/> Tour 04																									
Maßgebende Informationen für die Einsatzentscheidung <small>(Max. 3 auswählen & <u>Priorität</u> angeben 1=sehr wichtig; 2=wichtig; 3=weniger wichtig)</small> <input type="checkbox"/> Glättemeldeanlage (Netz SM Weiden) <input type="checkbox"/> Glättemeldeanlage (Netz Bauamt Amberg-Sulzbach) <input type="checkbox"/> Meldung Fahrer <input type="checkbox"/> Meldung Polizei <input type="checkbox"/> Meldung andere Meisterei <input type="checkbox"/> Meldung _____ <input type="checkbox"/> Wetter- /Niederschlagsradar <input type="checkbox"/> Satellitenbilder <input type="checkbox"/> Videobilder (GMA) <input type="checkbox"/> SWIS-Daten <input type="checkbox"/> 3h-Prognose Boschung <input type="checkbox"/> Rundfunk / Fernsehen <input type="checkbox"/> Internetportal <input type="checkbox"/> _____ <input type="checkbox"/> _____	bei Glättemeldeanlagen <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Maßgebende Messstationen:</th> <th style="width: 20%;">Maßgebende Parameter</th> <th style="width: 10%;">Ist-Wert</th> <th style="width: 10%;">Prog-nose</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="checkbox"/> Kohlberg</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Gramlhof</td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>			Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prog-nose	<input type="checkbox"/> Kohlberg		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Gramlhof		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prog-nose																								
<input type="checkbox"/> Kohlberg		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/> Gramlhof		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
bei Wetter-Vorhersage / Wetter-Prognose Maßgebende Aussagen 1. _____ 2. _____ 3. _____ _____	bei GMA-Daten angrenzender Meistereien (auch Autobahn) Maßgebende Stationen 1. _____ 2. _____ 3. _____																										
zusätzliche Beschreibung der Einsatzentscheidung und weitere Bemerkungen (bei Bedarf bitte Rückseite oder weitere Blätter verwenden.) _____ _____																											

Senden an RegWet

Formular Einsatzentscheidung München Nord

Forschungsprojekt RegWet 2011/12

Autobahnmeisterei München-Nord

Analyse der Einsatzentscheidung im Winterdienst

Bitte protokollieren Sie für ihren Bereich der Bundesautobahnen jede Einsatzentscheidung möglichst unmittelbar während des Einsatzes. Alle Auswertungen erfolgen anonymisiert.

Für Rückfragen wenden Sie sich bitte an Frau **Melina Uhlig** (Tel: 0160/97969566; uhlig@hochschule-bc.de) oder Herrn **Markus Streich** (Tel: 01577/3965791; streich@hochschule-bc.de).

Name Einsatzleiter: _____		Blatt-Nr.: _____																																																																									
Datum: _____		Uhrzeit Einsatzentscheidung: _____ Uhr																																																																									
Einsatzart: <input type="checkbox"/> Präventiv (vor Glättebeginn) <input type="checkbox"/> Ersteinsatz (mit Glättebeginn) (auch Sofort-Einsatz) <input type="checkbox"/> Wiederholungseinsatz <input type="checkbox"/> Folgeeinsatz <input type="checkbox"/> _____	Einsatzform: <input type="checkbox"/> Streuen <input type="checkbox"/> Streuen + Räumen <input type="checkbox"/> _____	Durchgeführte Räum- und Streuschleifen: <input type="checkbox"/> Gesamtnetz <input type="checkbox"/> Teilnetz (Routen) <input type="checkbox"/> Räum- und Streuschleife 1 <input type="checkbox"/> Räum- und Streuschleife 2 <input type="checkbox"/> Räum- und Streuschleife 3 <input type="checkbox"/> Räum- und Streuschleife 4 <input type="checkbox"/> Räum- und Streuschleife 5																																																																									
Maßgebende Informationen für die Einsatzentscheidung (Max. 3 wählen & Priorität angeben! 1=sehr wichtig; 2=wichtig; 3= weniger wichtig) <input type="checkbox"/> Glättemeldeanlage <input type="checkbox"/> Videoüberwachung (Webcam) <input type="checkbox"/> Videoüberwachung (Livecam) <input type="checkbox"/> Alarmierung Fahrer / Schicht <input type="checkbox"/> Meldung Polizei <input type="checkbox"/> Meldung _____ <input type="checkbox"/> Wetter- / Niederschlagsradar <input type="checkbox"/> Satellitenbilder <input type="checkbox"/> SWIS-Daten <input type="checkbox"/> wetterspiegel.de <input type="checkbox"/> mr-wetter.de <input type="checkbox"/> weiteres Internetportal _____ <input type="checkbox"/> _____		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="padding: 5px;">bei Glättemeldeanlagen:</th> <th colspan="2" style="padding: 5px;">Bitte ankreuzen!</th> </tr> <tr> <th style="padding: 5px;">Maßgebende Messstationen:</th> <th style="padding: 5px;">Maßgebende Parameter</th> <th style="padding: 5px;">Ist-Wert</th> <th style="padding: 5px;">Prognose</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 5px;">Pfaffenhofen</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Garching</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">AK München Nord</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Test. München Nord</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Garching A</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Garching B</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Nord Kreuz</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Echinger See</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">AK Neufahrn 1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">AK Neufahrn 2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Fürholzen</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Allersh. Süd</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Allersh. Nord</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Pfaffenhofen</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Hollledau Süd</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="padding: 5px;">Hollledau Nord</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		bei Glättemeldeanlagen:		Bitte ankreuzen!		Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prognose	Pfaffenhofen				Garching				AK München Nord				Test. München Nord				Garching A				Garching B				Nord Kreuz				Echinger See				AK Neufahrn 1				AK Neufahrn 2				Fürholzen				Allersh. Süd				Allersh. Nord				Pfaffenhofen				Hollledau Süd				Hollledau Nord			
bei Glättemeldeanlagen:		Bitte ankreuzen!																																																																									
Maßgebende Messstationen:	Maßgebende Parameter	Ist-Wert	Prognose																																																																								
Pfaffenhofen																																																																											
Garching																																																																											
AK München Nord																																																																											
Test. München Nord																																																																											
Garching A																																																																											
Garching B																																																																											
Nord Kreuz																																																																											
Echinger See																																																																											
AK Neufahrn 1																																																																											
AK Neufahrn 2																																																																											
Fürholzen																																																																											
Allersh. Süd																																																																											
Allersh. Nord																																																																											
Pfaffenhofen																																																																											
Hollledau Süd																																																																											
Hollledau Nord																																																																											
bei Wetter-Vorhersage / Wetter-Prognose Maßgebende Aussagen _____ _____ _____	bei Videoüberwachung Maßgebende Videokamera 1. _____ 2. _____ 3. _____	bei GMA-Daten angrenzender Meistereien Maßgebende Stationen 1. _____ 2. _____																																																																									
zusätzliche Beschreibung der Einsatzentscheidung und weitere Bemerkungen (bei Bedarf bitte Rückseite oder weitere Blätter verwenden.) _____ _____																																																																											

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung

Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit

Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung

Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009

Fitschen, Nordmann € 27,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN

Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen

Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten

Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009

Beer, Surkus, Kocher € 14,50

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)

Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädungsstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete

Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen

Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB

Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren

Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter

Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)

Lippold, Weise, Jählig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen

Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen

Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter

Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie

Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen

Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS

Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010

Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2

Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken

Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen

Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr

Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngößen für den Radverkehr

Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen

Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen

Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011

Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme

Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse

Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik

Lensing € 17,50

2014

V 235: **Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahr-
bahnmarkierungen bei Nässe**
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012**
Fitschen, Nordmann € 28,50
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können au-
ßerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de
heruntergeladen werden.

V 237: **Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nach-
weis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung
im Rahmen der KP II – Maßnahmen**
Bund-Länder Arbeitskreis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden. Der Anhang ist
interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: **Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebs-
dienst – Sommerdienst**
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmar-
kierungen**
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und
Einsatzgrenzen**
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: **Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und
Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme**
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

V 242: **Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenin-
dikatoren an Überquerungsstellen**
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock,
Herrnsdorf, Pfeil € 20,00

V 243: **Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
über den gesamten Lebenszyklus**
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

V 244: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013**
Fitschen, Nordmann € 28,50

V 245: **Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunk-
te mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs**
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 246: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in
Einfahrten auf Autobahnen**
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 247: **Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 248: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlage-
ermittlung**
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2015

V 249: **Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsge-
richteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen**
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen
mit Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumge-
staltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprogno-
se für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx,
Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den
Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen**
Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 254: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw**
Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 255: **Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssi-
cherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw**
Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 256: **Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-
teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Vor-
aussetzung eines umfassenden Asset Managements**
Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [http://
bast.opus.hbz-nrw.de/](http://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 257: **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtli-
chen Hauptverkehrsstraßen**
Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier
Hantschel, Otto € 18,00

V 258: **Regionale Erfassung von Straßenwetter-Daten**
Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.