

**Gewährleistung der sicheren
Befahrbarkeit der
Bundesfernstraßen bei starkem
Schneefall**

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall

Projektnummer

FE 03.0572/2018

Christian Holldorb
Thorsten Cypra
Jan Wachsmann

Steinbeis-Transferzentrum
Infrastrukturmanagement im Verkehrswesen (IMV)
Karlsruhe

Fachbetreuung

Horst Badelt

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

September 2023

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 Kommunikation.

FE-Nr. 03.0572/2018/MRB
**Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen
bei starkem Schneefall**

- Kurzfassung -

Praktische Erfahrungen und Analysen des Winterdienstes geben Anlass, das derzeitige Anforderungsniveau Winterdienst bei starkem Schneefall dahingehend zu überprüfen, ob die sichere Befahrbarkeit, insbesondere der Autobahnen, anforderungsgerecht gewährleistet wird. Die Kapazität bei Schneeglätte nimmt deutlich ab, nicht bekannt ist jedoch, was die Ursachen im Einzelnen für diese Kapazitätsrückgänge sind und welche Maßnahmen zu einer Verbesserung führen können. Im Rahmen des FE-Vorhabens wurden daher Empfehlungen für den Winterdienst bei intensiven Schneefallereignissen auf den Bundesfernstraßen, insbesondere Autobahnen erarbeitet. Grundlage hierfür ist die detaillierte Analyse der Zusammenhänge zwischen Schneefallereignis und Verkehrssituation bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen und Streckencharakteristika sowie des Einflusses der durchgeführten Winterdienst-Aktivitäten. Hieraus wurden unter Berücksichtigung weiterer nationaler und internationaler Erfahrungen und den Resultaten einer Online-Umfrage bei den Autobahnmeistereien sinnvolle Winterdienstmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation abgeleitet. Auf Grundlage von Kosten-Nutzen-Analysen konnten differenzierte Handlungsempfehlungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Eintretenswahrscheinlichkeiten für intensive Schneefallereignisse abgeleitet werden.

Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes bei starkem Schneefall haben immer dann, wenn ein Stau infolge liegegebliebener oder querstehender Lkw in neuralgischen Streckenabschnitten vermieden werden kann, ein hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Bei kritischen Streckenabschnitten resultiert vor allem aus verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen, wie temporäres Anhalten vor dem Streckenabschnitt sowie Umfahrungsempfehlungen für Lkw bei verfügbaren Alternativrouten ein großer Nutzen. Aber auch kurze Umlaufzeiten durch zusätzliche Winterdienstfahrzeuge und sinnvolle Betriebsumfahrten an neuralgischen Stellen sowie die unmittelbare Bergung liegegebliebener Lkw haben einen hohen Nutzen. In Meistereien, die Strecken mit einer hohen Staugefahr betreuen, sollten die Winterdienst-Lkw mit einer Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit ausgestattet werden. Schneezäune sind nur dann zu empfehlen, wenn die Gefahr eines unmittelbaren Verkehrszusammenbruchs aufgrund von Schneeverwehungen besteht.

Eine Vielzahl von Maßnahmen kann zur Verbesserung des Winterdienstes bei starkem Schneefall beitragen. Zum einen können durch sie bei starken Schneefällen Staus vermieden oder zumindest reduziert werden, zum anderen können sie zur effektiveren und effizienteren Durchführung des Winterdienstes beitragen, was unmittelbar die Befahrbarkeit verbessert. Vielfach sind sie auch in Kombination sinnvoll. Generell gehören zu den Maßnahmen auch solche, die den Winterdienst allgemein unterstützen.

FE-Nr. 03.0572/2018/MRB
Ensuring the safe trafficability of federal motorways and highways
during heavy snowfall

- Abstract -

Practical experience and analyses of winter road maintenance give reason to review the current level of requirements for winter road maintenance during heavy snowfall to ensure that safe trafficability, especially on motorways, is guaranteed in accordance with requirements. The capacity during heavy snowfall decreases significantly, but it is not known what the individual causes of this decrease in capacity are and what measures can lead to an improvement. Within the scope of the R&D project, recommendations for winter road maintenance during intensive snowfall events on federal trunk roads, especially motorways, were therefore developed. The basis for this is the detailed analysis of the correlation between snowfall events and traffic situation at different traffic volumes and route characteristics as well as the influence of the winter maintenance activities carried out. From this, taking into account further national and international experience and the results of an online survey of motorway maintenance centres, winter maintenance measures for improving the traffic situation were derived. Based on cost-benefit analyses, differentiated recommendations for action could be derived to take into account different probabilities of occurrence for intensive snowfall events.

Measures to improve winter road maintenance during heavy snowfall always have a high cost-benefit ratio if a congestion due to broken-down or road-blocking trucks can be avoided in critical sections of a motorway. In the case of critical sections, traffic-influencing measures such as temporary stops in front of the section and bypass recommendations for HGVs on available alternative routes are of particular benefit. However, short turnaround times due to additional winter service vehicles and special detours for winter maintenance trucks at neuralgic points as well as the immediate recovery of broken-down trucks also have a high benefit. In maintenance depots that service routes with a high risk of congestion, the winter service trucks should be equipped with special signage including acoustics for increased attention. Snow fences are only recommended if there is a risk of immediate traffic collision caused by snowdrifts.

A variety of measures can help to improve winter services during heavy snowfall. On the one hand, they can prevent or at least reduce congestions during heavy snowfall, and on the other hand, they can contribute to more effective and efficient winter road maintenance, which directly improves trafficability. In many cases they are also useful in combination. In general, the measures also include those that support the winter service in general.

FE-Nr. 03.0572/2018/MRB
Ensuring the safe trafficability of federal motorways and highways
during heavy snowfall

- Executive summary -

Task

Mobility is an essential prerequisite for the sustainable development of a functioning economy and society. The existing and still increasing economic importance of the road as a means of transport therefore requires ever greater efforts to avoid disruptions to the traffic flow, including winter-related influences, as far as possible. In the international literature, reliability is regarded as a decisive quality criterion. Road authorities are required to guarantee the mobility of large traffic volumes at all times, i.e. also under wintry road conditions. Due to the importance of these arterial roads, particularly high demands are placed on winter services on federal motorways, which are defined in the Code of Practice for Winter Services on Roads with the level of requirements and the performance specifications for road operations on federal trunk roads. With the transfer of the winter road maintenance tasks to Autobahn GmbH as of 01.01.2021, a nationwide uniform organisational form is in place with which these requirements can be implemented at a uniform standard.

Practical experience and analyses of winter road services give reason to review the current level of requirements for winter road services during heavy snowfall to determine whether safe trafficability, especially on motorways, is guaranteed in accordance with the requirements. A comparison with neighbouring countries shows that higher standards are sometimes applied there. It is known from existing studies that winter conditions, especially snowfall, lead to changes in driving and speed behaviour. The capacity in snowy conditions decreases significantly, depending on the study and the boundary conditions by 20 to 50 %. However, it is unknown what the individual causes of these capacity decreases are and which measures can lead to an improvement.

The overall objective of the research project is to make recommendations for winter road maintenance during intensive snowfall events on federal trunk roads, especially motorways. The basis for this is the detailed analysis of the correlation between snowfall events and traffic situation with different traffic volumes and route characteristics as well as the influence of the winter maintenance activities carried out over two winter periods. From this, sensible winter service measures for improving the traffic situation are to be derived, taking into account national and international experience, for which regionally differentiated recommendations for action can be derived on the basis of cost-benefit analyses to take into account different probabilities of occurrence for intensive snowfall events.

Research method

Within the framework of a literature and basic research, national and international publications concerning winter road maintenance on motorways with a focus on clearing operations during heavy snowfalls were compiled in detail. The applicable legal requirements, guidelines and technical standards were also compiled.

In order to systematise the practical experience gained with winter services during heavy snowfall at the level of the motorway maintenance centres or mixed maintenance centres, an online questionnaire was compiled, for which a total of 136 responses were received, corresponding to a response rate of 67 %. Due to the high number of participating maintenance centres, representative statements could be made with the responses. The questionnaire was divided into four topic areas:

- 1st question group: General information
- 2nd question group: Road network and maintenance centres characteristics
- 3rd question group: Weather service and RWIS forecasts
- 4th question group: Special measures in winter service during heavy snowfall

Based on the questionnaire results and further experiences, in-depth interviews were conducted with individual foreman managers. In addition, a workshop and expert interviews with foreign experts were conducted.

For detailed analysis of the correlation between snowfall events and traffic situation at different traffic volumes and route characteristics as well as the influence of the winter maintenance activities carried out, comprehensive data from the road authorities were analysed for four study routes. In order to take into account as wide a range of snowfall events as possible, the two winter periods 2019/2020 and 2020/2021 were planned for the investigations. Due to the extremely mild weather conditions, no relevant snowfall events occurred on the selected study routes in the winter of 2019/2020. However, numerous snowfall events could be evaluated for the winter of 2020/2021. A tool based on VBA was developed in Microsoft Excel® to evaluate the events. This allows the information from the various data sources to be merged and overlaid. The data from the RWS and the traffic recording as well as the information on the winter service operations are automatically displayed in an event diagram. Images from the traffic cameras are also displayed and assigned to the data to the minute. The tool makes both overview and detailed data immediately available for analysis.

Based on the collected findings, possible measures for improving winter services during heavy snowfall were described. In order to be able to evaluate these, parameters for the regional frequency of heavy snowfall events in Germany were documented, which were derived from the analysis of weather data of the German Weather Service (DWD). For this purpose, a total number of 16 regions were defined for Germany on the basis of the twelve natural areas of the DWD, taking into account the topographical location of the motorways. Based on hourly values for precipitation and air temperature, expected values for the hours and the number of events for moderate or heavy snowfall were determined for these regions.

The temporal-spatial distribution of snowfall events within a master network was derived from measurement data from road weather stations (RWS). For this purpose, the road authorities of Baden-Württemberg and North Rhine-Westphalia, the operators of the user portals and Autobahn GmbH provided RWS data from past winters, ideally covering five winter periods. After a review of available data from the states of Baden-Württemberg and North Rhine-Westphalia, the evaluations were carried out exemplarily for three master works with data of 15 RWS. The RWS data 'precipitation type' and 'air temperature' were used for the evaluation and combined in an Excel file. These data were available accumulated in 6 min intervals.

Comprehensive benefit-cost analyses were carried out for eight possible measures to improve winter services during heavy snowfall. For this purpose, the measures were each concretised in an exemplary individual case as scenario 1, which was compared to scenario 0 (no measure). For the determination of benefits and costs, the frequencies with which the scenarios occur were estimated based on the parameters for the regional frequency of heavy snowfall events.

For the monetary benefit assessment, the approaches used for the Federal Transport Infrastructure Plan 2030 were used as far as possible. They are recognised for the federal trunk road sector and are based on a comprehensive database. The following benefit components were taken into account for the measure assessment:

- Change in operating costs for motor vehicles (NB)
- Changes in exhaust gas pollution (NA)
- Change in travel time for passenger transport (NRZ)
- Change in transport time for freight transport (NTZ)

For the cost calculation, actual costs of selected road authorities of the federal states were used for the most part, which they determined as average rates for the federal states within the framework of cost-performance accounting. Cost rates from Bavaria, North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate were available. For individual measures for which no or only little cost data is available from these authorities, data from other sources is used.

Results of the survey

The following main results can be derived from the online survey and the supplementary interviews:

- In approx. 30 % of the maintenance centres no extra-wide front ploughs or side ploughs are used as standard.
- 29 % of the maintenance centres regularly use external contractors for winter services, another 14 % only when there is a peak demand for snow clearance.
- 35 % of the maintenance centres do not have snow blower or snow cutter.
- In 59 % of the maintenance centres, there are critical sections of motorways that cause significant traffic problems due to snowfall during winter road conditions.
- The quality of the RWIS forecasts is rated as reliable or highly reliable in more than 50% of the cases, but inaccurate forecasts are evaluated with regard to the time of transition from rain to snowfall and the location of the snowfall event.
- The turnaround times are often or very often/regularly considerably exceeded in around 31 % of the maintenance centres during heavy snowfall events.
- 55 % of all maintenance centres estimate that the available personnel is not sufficient for the necessary work during heavy snowfall.
- Almost 40 % of the maintenance centres temporarily stop traffic in front of critical sections of road, especially uphill sections, but usually only infrequently.
- 76 % of the maintenance centres need the support of the police to form a clearing lane for the winter service vehicles in case of congestion. This results in the clear and

majority use of blue flashing lights and sirens on winter service vehicles in the supplementary interviews.

The analysis of snowfall events in connection with traffic events and winter service operations on the four study routes allows the following conclusions to be drawn:

- On all study routes, clearing teams are not continuously deployed even during light and medium snowfall. However, this did not lead to any traffic jams or traffic breakdowns, to which the low traffic volumes during the events certainly also contributed.
- On the two stretches of the A8 motorway under investigation (Albaufstieg/Albhochfläche and Irschenberg) at high altitudes and with steep longitudinal gradients, the strategy of clearing the carriageway by individual vehicles with a very short turnaround time (1 h and also considerably less) proved successful.
- Despite the short turnaround times, it is not possible to avoid partially snow-covered lanes even with medium snowfall intensity, especially when road temperatures are well below freezing point.
- If the individually driving snowploughs are equipped with front and side ploughs, not only the right lane but also the left lane can be cleared to such an extent that it can be used by passenger car traffic to a limited extent.
- At the beginning of a snowfall event, there is usually a reduction in speeds, which can be attributed to both the poor visibility conditions and the reduced grip on snow-covered roads. When snow begins to fall, road users have therefore adjusted their speed in response to the weather conditions.
- The example of the A9 motorway clearly shows that it is not immediately necessary to clear all lanes with a clearing team, even on highly congested motorways. It is sufficient to clear the lane partially at the beginning of the snowfall, especially if the snowfall starts at times when traffic is weaker. Thus, a reduced number of vehicles at times of low traffic can be sufficient when planning the deployment of personnel and the number of vehicles on duty, if no extreme snowfall events are forecast.

The following can be determined from the analysis of local and regional snowfall events in selected maintenance centres:

- The concentration of local events within a maintenance centre is highly dependent on site-specific conditions. Therefore, no general recommendation can be made.
- The temporal intervals of the onset of a snowfall event within a maintenance centre depend, on the one hand, on the spatial distance and the altitude among each other and, on the other hand, on the relative orientation of the motorway sections to the course of the snowfall areas. However, the assumed tendency for snowfall events to begin earlier at the stations to the west has not been confirmed.
- In the overall view, it does not appear to make sense to divide the network of a maintenance centre into different zones when a snowfall area passes through, but to consider the maintenance centre as a whole in the deployment strategy of clearing. A planned relocation of emergency vehicles in the case of heavy snowfall events within a maintenance centre is therefore not expedient.

The benefit-cost analyses for selected measures to improve the winter service during heavy snowfall clearly show that they always have a high benefit-cost ratio if a traffic jam due to broken-down or road-blocking trucks can be avoided in critical stretches of road. The economic benefit is significantly higher than the additional costs even if these measures only rarely lead directly to congestion avoidance. In the case of critical stretches of road, a large benefit results above all from traffic-influencing measures such as temporary stops before the stretch of road and bypass recommendations for HGVs on available alternative routes. However, short turnaround times due to additional winter service vehicles and special detours for winter maintenance trucks at neuralgic points as well as the immediate recovery of broken-down trucks also have a high benefit. In maintenance depots that service routes with a high risk of congestion, the winter service trucks should be equipped with special signage including acoustics for increased attention. Snow fences are only recommended if there is a risk of immediate traffic disruption caused by snowdrifts.

Conclusions for practice

A variety of measures can contribute to the improvement of winter services during heavy snowfall. On the one hand, they can prevent or at least reduce congestion during heavy snowfall, and on the other hand, they can contribute to more effective and efficient winter road maintenance, which directly improves trafficability. In many cases they are also useful in combination. In general, the measures also include those that support the winter service in general. The following table lists the recommended measures.

Measures to avoid or reduce congestion	Winter service measures	General supportive measures
<ul style="list-style-type: none"> • Bypass recommendations using stationary variable message signs • Bypass recommendations using temporary variable message signs • Lane closures for HGVs • Lane closures for all vehicles • Temporary lane closures for trucks before the critical section • Temporary lane closures before the critical section • Provision of truck towing vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> • Additional winter service vehicle • Special signage including acoustics for increased attention • Narrow front plough • Service driveways • Winter construction sites • Snow fences • Snow blower and cutter 	<ul style="list-style-type: none"> • Cameras in critical sections • Centralized winter service centre • Automated data acquisition in winter maintenance trucks • Systematic analysis of duties • Public relations

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1. Einleitung und Fragestellung	2
2. Stand der Wissenschaft und Technik	4
2.1 Anforderungen an den Winterdienst	4
2.1.1 Deutschland	4
2.1.2 International	7
2.2 Probleme in der Praxis bei Schneefallereignissen	9
2.2.1 Wetterprognose-bedingte Ursachen	9
2.2.2 Verkehrlich bedingte Ursachen	11
2.2.3 Organisatorisch bedingte Ursachen	14
2.2.4 Technisch bedingte Ursachen	20
2.3 Optimierung des Winterdienstes bei starkem Schneefall	21
2.3.1 Wetterprognose / Prognose des Fahrbahnzustands	21
2.3.2 Verkehrsbeeinflussende und -beschränkende Maßnahmen	22
2.3.3 Organisatorische Ansätze	26
2.3.4 Technische Ansätze	31
3. Aktuelle Erfahrungen	35
3.1 Online-Umfrage	35
3.1.1 Übersicht	35
3.1.2 Strecken- und Meistereicharakteristik	35
3.1.3 Wetterdienst- und SWIS-Prognosen	43
3.1.4 Besondere Maßnahmen im Winterdienst bei starkem Schneefall	45
3.2 Bewertung des extremen Schneefallereignisses im Februar 2021 in Norddeutschland	54
3.3 Internationale Erfahrungen	57
4. Analyse von Schneefallereignissen auf ausgewählten Untersuchungsstrecken	59
4.1 Untersuchungsansatz	59



4.2	Ausgewählte Untersuchungsstrecken und verfügbare Daten	62
4.2.1	Auswahl der Untersuchungsstrecken	62
4.2.2	BAB A4 Testfeld BASt	63
4.2.3	BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche	65
4.2.4	BAB A8 Irschenberg	67
4.2.5	BAB A9 München-Nord	68
4.3	Analyse der Schneefallereignisse	69
4.3.1	BAB A4 Testfeld BASt	69
4.3.2	BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche	73
4.3.3	BAB A8 Abschnitt Irschenberg (Bayern)	78
4.3.4	BAB A9 München – Nord (Bayern)	81
4.3.5	Zusammenfassende Bewertung	82
5.	Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes	84
5.1	Umfahrungsempfehlungen mit stationären Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)	84
5.2	Umfahrungsempfehlungen durch temporäre dynamische Anzeigen	85
5.3	Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt	86
5.4	Fahrstreifensperrungen für alle Fahrzeuge	86
5.5	Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt	87
5.6	Temporäre Fahrbahnspernung vor dem kritischen Streckenabschnitt	87
5.7	Sperrung der Anschlussstelle	88
5.8	Kameras in kritischen Abschnitten	88
5.9	Zusätzliches Winterdienstfahrzeug	88
5.10	Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen	89
5.11	Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit	90
5.12	Schmaler Frontpflug	91
5.13	Betriebsumfahrten	91
5.14	Winterbaustellen	91
5.15	Schneezäune	92

5.16	Rotierende Schneeräummaschinen	93
5.17	Winterdienstzentrale (WDZ)	93
5.18	Automatisierte Einsatzdatenerfassung (AEDE)	94
5.19	Systematische Ereignisanalyse	94
5.20	Öffentlichkeitsarbeit	94
6.	Analyse der Häufigkeit und Verteilung von Schneefallereignissen	96
6.1	Ermittlung der regionalen Häufigkeit mäßiger oder starker Schneefallereignisse	96
6.2	Ermittlung der zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen innerhalb eines Meistereinetzes	102
6.2.1	Methodik	102
6.2.2	AM Overath	103
6.2.3	AM Freudenberg	105
6.2.4	AM Heidenheim	108
6.2.5	Zusammenfassung	109
7.	Nutzen-Kosten-Analyse für ausgewählte Maßnahmen	110
7.1	Methodik der Nutzen-Kosten-Analyse	110
7.2	Grundlagen der Nutzenermittlung	110
7.3	Grundlagen der Kostenermittlung	112
7.4	Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten für ausgewählte Maßnahmen	113
7.4.1	Umfahrungsempfehlungen mit stationären Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)	113
7.4.2	Umfahrungsempfehlungen für Lkw durch temporäre dynamische Anzeigen	116
7.4.3	Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt	119
7.4.4	Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt	120
7.4.5	Temporäre Fahrbahnsperre vor dem kritischen Streckenabschnitt	122
7.4.6	Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen	124
7.4.7	Betriebsumfahrten im Zuge neuralgischer Streckenabschnitte	126
7.4.8	Schneezäune	128
8.	Empfehlungen	131



9. Zusammenfassung	137
Literaturverzeichnis	139
Abbildungsverzeichnis	147
Tabellenverzeichnis	152
Anhang	



Abkürzungsverzeichnis

AD	Autobahndreieck
AEDE	Automatisierte Einsatzdatenerfassung
AK	Autobahnkreuz
AM	Autobahnmeisterei
AS	Anschlussstelle
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr
duraBASt	Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der Bundesanstalt für Straßenwesen
DWD	Deutscher Wetterdienst
dWiSta	Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen
FS	Feuchtsalz
Fz	Fahrzeug(e)
GMA	Glättemeldeanlage
GPS	Global Positioning System
NBA	Netzbeeinflussungsanlage
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
ÖPP	Öffentlich Private Partnerschaft
OPA	Offenporiger Asphalt
SAM	Straßen- und Autobahnmeisterei
SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
SV	Schwerverkehr
SWIS	Straßenzustands- und WetterInformationsSystem
SWS	Straßenwetterstation
TMS	Taumittelsprühanlage
WDZ	Winterdienstzentrale
WVZ	Wechselverkehrszeichen



1. Einleitung und Fragestellung

Mobilität ist eine wesentliche Voraussetzung für die nachhaltige Entwicklung einer funktionierenden Wirtschaft und Gesellschaft. Die vorhandene und noch weiter zunehmende volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrsweges Straße erfordert daher immer größere Anstrengungen, die auf den Verkehrsfluss einwirkenden Störungen, wozu auch winterlich bedingte Einflüsse zu zählen sind, soweit wie möglich zu vermeiden. Als entscheidendes Qualitätskriterium wird in der internationalen Fachliteratur die Zuverlässigkeit (reliability) angesehen [Brlon et al. 2005]. So ist der Straßenbaulastträger gefordert, die Mobilität großer Verkehrsmengen zu allen Zeiten, d.h. auch unter winterlichen Bedingungen, zu gewährleisten. An den Winterdienst auf Bundesautobahnen (BAB) werden aufgrund der Bedeutung dieser Verkehrsadern daher besonders hohe Anforderungen gestellt, die im Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen [BMVI 2021] definiert sind. Mit der Übertragung der Winterdienstaufgaben auf die Autobahn GmbH zum 01.01.2021 ist eine bundesweit einheitliche Organisationsform gegeben, mit der diese Anforderungen auf einem gleichmäßigen Standard umgesetzt werden können.

Praktische Erfahrungen und Analysen des Winterdienstes geben Anlass, das derzeitige Anforderungsniveau Winterdienst bei starkem Schneefall dahingehend zu überprüfen, ob die sichere Befahrbarkeit, insbesondere der Autobahnen, anforderungsgerecht gewährleistet wird. Ein Vergleich mit Nachbarländern zeigt, dass dort mitunter höhere Standards zugrunde gelegt werden. Aus vorliegenden Untersuchungen ist bekannt, dass winterliche Umfeldbedingungen, insbesondere bei Schneefällen zu einem veränderten Fahr- und Geschwindigkeitsverhalten führen. Die Kapazität bei Schneeglätte nimmt deutlich ab, je nach Untersuchung und Randbedingungen um 20 bis 50 % [Roos et al. 2012; Cypra et al. 2006; Kirschfink et al. 2012]. Nicht bekannt ist jedoch, was die Ursachen im Einzelnen für diese Kapazitätsrückgänge sind und welche Maßnahmen zu einer Verbesserung führen können.

Daher wurde Prof. Holldorb gemeinsam mit den Projektpartnern Prof. Cypra und Steinbeis-Transferzentrum – Infrastrukturmanagement im Verkehrswesen (IMV) durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Juni 2019 mit dem FE -Vorhaben 03.0572/2018/MRB „Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall“ beauftragt. Gesamtziel des Forschungsprojektes sind Empfehlungen für den Winterdienst bei intensiven Schneefallereignissen auf den Bundesfernstraßen, insbesondere Autobahnen. Grundlage hierfür ist die detaillierte Analyse der Zusammenhänge zwischen Schneefallereignis und Verkehrssituation bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen und Streckencharakteristika sowie des Einflusses der durchgeführten Winterdienst-Aktivitäten über zwei Winterperioden. Hieraus sollen unter Berücksichtigung nationaler und internationaler Erfahrungen sinnvolle Winterdienstmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation abgeleitet werden, für die auf Grundlage von Kosten-Nutzen-Analysen regional differenzierte Handlungsempfehlungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Eintretenswahrscheinlichkeiten für intensive Schneefallereignisse abgeleitet werden können.

Für die Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurden insgesamt sieben Arbeitspakete bearbeitet, die in diesem Bericht dokumentiert sind. Die Untersuchungen und Analysen beziehen sich zwar auf das bundesdeutsche Autobahnnetz; die Empfehlungen lassen sich aber auf weitere autobahnähnliche Straßen mit ähnlichen Randbedingungen übertragen. In Kapitel 2 ist der Stand der Technik auf Basis einer Literaturrecherche dokumentiert. Kapitel 3 enthält die Auswertung



einer bundesweit durchgeführten Umfrage bei den Leitern der Autobahn- (AM) sowie der Straßen- und Autobahnmeistereien (SAM), deren Ergebnisse durch ausgewählte Interviews ergänzt wurden, sowie weitere Erfahrungen. In Kapitel 4 sind die Analysen von Schneefallereignissen auf vier ausgewählten Untersuchungsstrecken zusammengestellt, für die Daten zu Schneefallereignis, Verkehrssituation und durchgeführten Winterdienst-Aktivitäten überlagert wurden.

Aufbauend auf den gesammelten Erkenntnissen, werden in Kapitel 5 mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes bei starkem Schneefall beschrieben. Um diese bewerten zu können, werden in Kapitel 6 Kenngrößen zur regionalen Häufigkeit starker Schneefallereignisse in Deutschland und zur zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen innerhalb eines Meistereinetzes dokumentiert, die aus der Analyse von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und von Messdaten von Straßenwetterstationen (SWS) abgeleitet wurden. Kapitel 7 enthält für ausgewählte Maßnahmen aus Kapitel 5 Nutzen-Kosten-Bewertungen. Abschließend werden in Kapitel 8 Empfehlungen zur Umsetzung der entwickelten Maßnahmen gegeben, die neben den Ergebnissen der Nutzen-Kosten-Bewertungen auch die regionale Häufigkeit sowie ggf. weitere betriebliche organisatorische Kriterien berücksichtigen. Ergänzende Unterlagen sind im Anhang als separates Dokument zusammengestellt.



2. Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Anforderungen an den Winterdienst

2.1.1 Deutschland

Die rechtlichen Grundlagen ergeben sich insbesondere aus der Verkehrssicherungspflicht nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB). Darüber hinaus wird im Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen empfohlen. *„Unter dem Gesichtspunkt der Verkehrsbedeutung, der Wirtschaftlichkeit und der technischen Durchführbarkeit des Winterdienstes empfiehlt es sich für alle Baulastträger, über die rechtlichen Anforderungen hinaus einen Rahmen für den Winterdienst als Anforderungsniveau selbst zu setzen und bekannt zu machen, um Klarheit für alle Beteiligten zu schaffen.“* [FGSV 2020] Dieses Anforderungsniveau für den Winterdienst im Bereich der Bundesfernstraßen wird im Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen definiert. Es erfüllt die gesetzlichen Vorgaben, geht aber auch teilweise darüber hinaus. [BMVI 2021] Für *„Bundesautobahnen (BAB) und Streckenabschnitte, die im Zusammenhang mit dem BAB-Netz eine herausragende Rolle spielen ...“* ist grundsätzlich eine Betreuung des Netzes 24 Stunden täglich vorzusehen. [BMVI 2021] In Abhängigkeit der Witterungssituation ist das in Tabelle 1 aufgelistete Qualitätsniveau gefordert. Dabei gelten folgende Definitionen:

Befahrbarkeit *„... schließt ein, dass mit Behinderungen durch Schneereste oder je nach Einsatzdauer des Winterdienstes stellenweise auch mit einer geschlossenen Schneedecke gerechnet werden muss. Desgleichen kann stellenweise Reif- oder Eisglätte nicht ausgeschlossen werden.“*

Benutzbarkeit *„... der Rastanlagen und befestigten Seitenstreifen bedeutet, dass die Zufahrten und Fahrstreifen der Rastanlagen und die befestigten Seitenstreifen bei einer den gegebenen Behinderungen angepassten Fahrweise befahren werden können und ein Abstellen der Fahrzeuge möglich ist.“*



Tabelle 1: Anforderungsniveau Winterdienst (Zeile 1), Auszug für BAB, nach [BMVI 2021]

Zeitraum des Qualitätsniveaus	Qualitätsniveau in Abhängigkeit von der Witterungssituation		
	Schneefall, Eisglätte, Reifglätte	Starker, langanhaltender Schneefall	Starke Schneeverwehungen, Lawinen, Eisregen
24 Stunden täglich	<p>Befahrbarkeit der durchgehenden Fahrbahnen, Rampen in Anschlussstellen und Knotenpunkten</p> <p>Benutzbarkeit der Rastanlagen und befestigten Seitenstreifen.</p>	<p>Befahrbarkeit mindestens eines Fahrstreifens je Fahrtrichtung, der wichtigen Rampen in Anschlussstellen und Knotenpunkten sowie der Zufahrten zu bewirtschafteten Rastanlagen, notfalls mit Schneeketten;</p> <p>Benutzbarkeit der unbewirtschafteten Rastanlagen ist nicht mehr gewährleistet</p>	<p>Befahrbarkeit ist nicht mehr gewährleistet</p>

Empfehlungen an den Winterdienst auf deutschen Straßen sind im Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen festgelegt. Dieses „... gibt den Verantwortlichen für den Winterdienst Empfehlungen für die praktische Durchführung des Winterdienstes von der Vorbereitung über die Ausführung bis hin zur Dokumentation ...“ [FGSV 2020]. Ziel des Winterdienstes muss es hiernach sein, das Straßennetz zur Wahrung der Verkehrssicherheit und zur Vermeidung volkswirtschaftlicher Schäden funktionsfähig zu halten. Dies beinhaltet in erster Instanz die Vermeidung von Glätte. Ist eine Vermeidung nicht möglich, muss versucht werden, diese zu beseitigen bzw. deren Auswirkungen auf den Verkehr so gering wie möglich zu halten.

Um einerseits die Umweltauswirkungen der ausgebrachten Tausalze möglichst gering zu halten, andererseits jedoch genügend Tauleistung zu gewähren, werden in [FGSV 2020] Anhaltswerte für Streudichten in Abhängigkeit von Fahrbahnzustand, Winterdienstmaßnahme (kurativ oder präventiv) und Fahrbahntemperatur gegeben. In der Regel kommt als Tausalz Natriumchlorid (NaCl) als Feuchtsalz (FS 30) oder bei Temperaturen bis – 6 °C als NaCl-Lösung (FS 100) zum Einsatz. Die Streudichten liegen für FS 30 zwischen 5 und 40 g/m² bzw. für FS 100 zwischen 10 und 60 ml/m². Letztendlich trifft die Entscheidung über die Streudichte derzeit der Fahrer in situ.

Da Wetterereignisse nur mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten vorhergesagt werden können und damit eine Unsicherheit besteht, ob, wann, wo und in welchem Umfang die Durchführung des Winterdienstes erforderlich sein wird, muss dieser umfassend und detailliert organisiert sein, insbesondere die Einsatzplanung. Dies soll einerseits sicherstellen, dass ein Einsatz schnell und reibungslos funktioniert, andererseits, dass dieser wirtschaftlich durchgeführt wird. Zudem wird so der Nachweis d [Hess et al. 2016]er Durchführung nach besten Kräften erbracht. [FGSV 2020]

Kern einer Einsatzplanung sind die folgenden Pläne:

- **Dringlichkeitspläne:** „... regeln die Einteilung des Streckennetzes in Dringlichkeitsstufen und legen fest, wo welche Streustoffe im Regel-Einsatzfall verwendet werden. Sie müssen keine gesonderten Pläne, sondern können auch integraler Bestandteil der Räum- und Streupläne sein.“ [FGSV 2020]



Die Einstufung nach Dringlichkeit orientiert sich an mehreren Kriterien, wie z. B. der Verbindungsfunktion der Straße/des Streckenabschnitts, dem Durchschnittlichen Täglichen Verkehr (DTV) auf den jeweiligen Streckenabschnitten oder besonders kritischen Streckenabschnitten, wie Steigungs- und Gefällestrecken oder Stellen mit besonderer Glättebildung (z. B. Brücken).

- **Räum- und Streupläne:** „... *regeln, welche Fahrzeuge welche Strecken räumen und streuen (bzw. welche Kolonnen welche Wege und Flächen), wobei Reihenfolge und Fahrtroute festgelegt sein sollen.*“ [FGSV 2020]

Die Pläne (in grafischer Form und/oder als Liste bzw. Routing-fähige Datei) sollten getrennt nach Räumen und Streuen ausgearbeitet sein, sie bilden die Dringlichkeitsstufen ab. „... *Einsatzpläne für häufig vorkommende Sondereinsätze (z.B. „kleiner Winterdienst“, Gefahrenstellen, Höhenlagen) [können] im Einzelfall sinnvoll sein.*“ [FGSV 2020] Bei der Aufstellung der Räum- und Streupläne sind sowohl die Streustoffkapazitäten der Fahrzeuge als auch die vorgegebenen maximalen Umlaufzeiten zu berücksichtigen (siehe unten).

- **Bereitschaftspläne (Personal-Einsatzpläne):** „... *regeln, in welchem Zeitraum (entsprechend dem Anforderungsniveau) Winterdienst durchgeführt wird, legen tage- oder wochenweise fest, welches Personal zu welchen Zeiten Ruf- oder Arbeitsbereitschaft hat, und regeln die Alarmierung. In der Regel werden dem Personal auch schon Fahrzeuge zugeordnet.*“ [FGSV 2020]

Generell wird zwischen dem reinen Streueinsatz und dem Räum- und Streueinsatz unterschieden. Für beide Leistungen werden unterschiedliche Umlaufzeiten seitens des BMVI vorgeschrieben. Die ‚Umlaufzeit‘ wird dabei definiert als „... *die Zeit, innerhalb der ein Winterdienstfahrzeug die ihm zugeteilte Räum- und Streuroute geräumt und gestreut bzw. nur gestreut hat, zum Startpunkt zurückgekehrt und auf den nächsten Einsatz vorbereitet ist.*“ [FGSV 2020]

Für den im Rahmen des Projektes relevanten Räum- und Streueinsatz gelten die folgenden Anforderungen gemäß im Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen [BMVI 2021]:

- „*Auf Bundesautobahnen sowie auf Bundesstraßen, die im Zusammenhang mit dem Netz der Bundesautobahnen eine herausragende Verkehrsfunktion erfüllen, ist bei Räum- und Streueinsätzen sicherzustellen, dass die Umlaufzeit für die Bedienung aller Fahrstreifen der Hauptfahrbahnen, sowie der Rampen und Parallelfahrbahnen von Autobahnknoten und Anschlussstellen sowie der Ein-, Aus- und Durchfahrten von Rast- und Parkplätzen maximal 3 Stunden beträgt. Die Routenplanung ist so zu gestalten, dass die durchgehenden Fahrbahnen innerhalb von 2 Stunden nach Einsatzbeginn geräumt sind.*
- *Das Räumen und Streuen von Autobahnknoten hat in der Regel Vorrang vor dem Räumen und Streuen von Anschlussstellen und Rastanlagen.*
- *Wenn bei starkem, lang anhaltendem Schneefall die leistbaren Umlaufzeiten nicht ausreichen, um auf mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen und Rampen alle Fahrstreifen weitgehend schneefrei zu halten, kann zur Verkürzung der Umlaufzeiten auf das Räumen eines oder mehrerer Fahrstreifen vorübergehend verzichtet werden.*“



Dabei ist nach [Hess et al. 2016] zu beachten, dass die erforderliche Umlaufzeit stark von der Temperatur und von der Intensität des Schneefalls abhängt. Bild 1 zeigt, „...dass die Umlaufzeit mit einer Streudichte von 20 g/m^2 , bei einer Temperatur von $-3,0 \text{ }^\circ\text{C}$ und der Schneefallintensität von $1,0 \text{ cm/h}$ maximal $1,7 \text{ Stunden}$ (ca. $1:45 \text{ h}$) betragen darf, um Schneeglätte zu verhindern und den Schnee räumfähig zu halten.“ [Hess et al. 2016] Bei höherer Intensität des Schneefalls nehmen die Maximalumlaufzeiten rapide ab, da die Wirkungsgrenzen der ausgebrachten Tausalzmengen früher erreicht werden. Werden diese Umlaufzeiten überschritten, kann eine effektive Verhinderung von Schneeglätte nicht zugesichert werden.

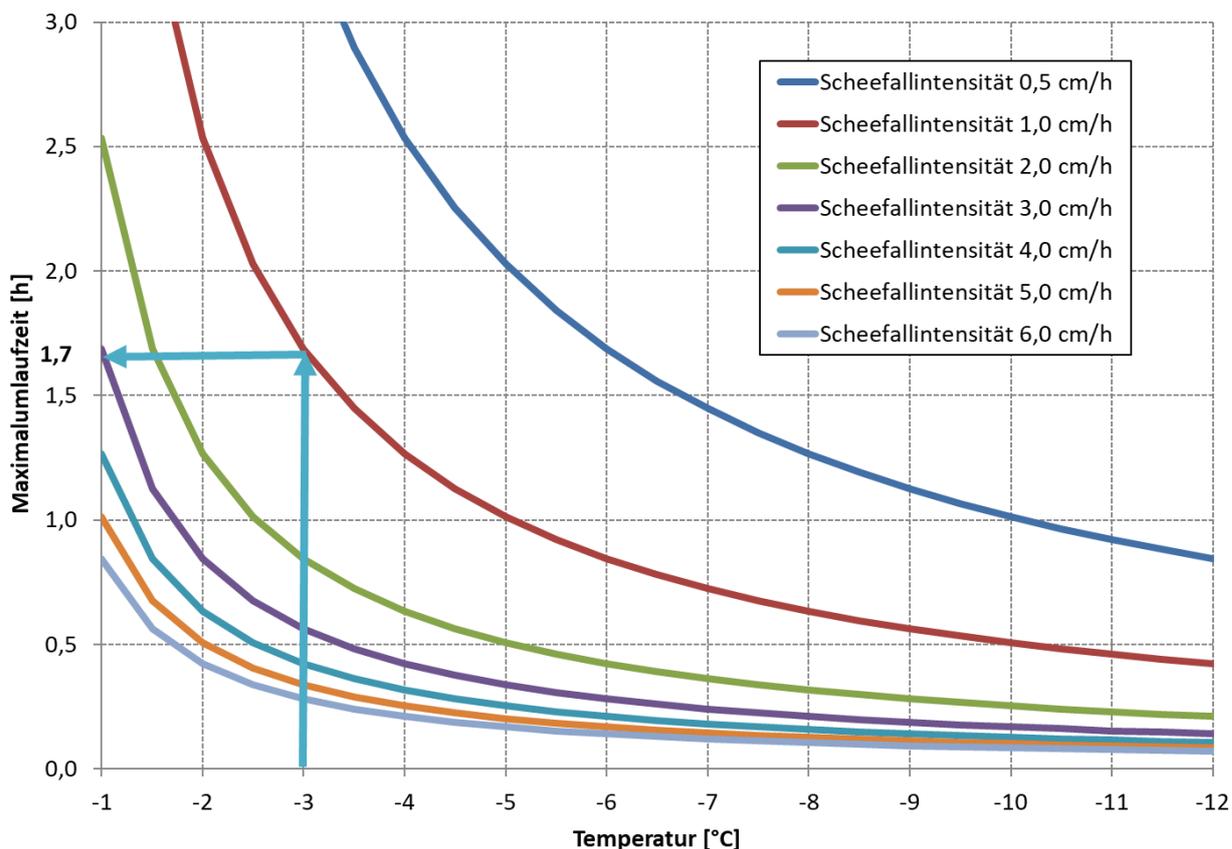


Bild 1: Maximalumlaufzeit bei Schneefall (Streudichte 20 g/m^2 FS30) [Hess et al. 2016]

2.1.2 International

Die nachfolgenden Angaben zu den einzuhaltenden Vorgaben bzw. Standards für den Winterdienst auf Autobahnen bzw. dem höchstrangigen Straßennetz basieren zum einen auf einer im Rahmen der europäischen COST Aktion 344 zusammengestellten Synopse aus dem Jahr 2002 (unveröffentlicht, s. Anhang 1) und dem Snow and Ice Databook der PIARC [PIARC 2018]. Ergänzend wurden im Rahmen einer schriftlichen Abfrage und Online-Interviews erhobene Informationen aus folgenden Ländern berücksichtigt:

- Belgien (Region Brüssel)
- Dänemark
- Frankreich
- Norwegen
- Österreich



- Schweiz
- **Bedien- und Umlaufzeit:** Der Winterdienst erfolgt rund um die Uhr, d.h. 24 h an allen Tagen, incl. Sonn- und Feiertagen. Die einzuhaltende Umlaufzeit ist nicht immer vorgeschrieben. Wenn es hierzu Vorgaben gibt, liegt sie in der Regel zwischen 2 und 3 h; in den Niederlanden für die Hauptverbindungsstrecken bei 1 h, in Norwegen bei 1,5 h. In Kanada soll nach einem Schneesturm innerhalb von 4 bis 12 h eine schwarze Fahrbahn wiederhergestellt sein. In Frankreich soll nach einem Schneefall der rechte Fahrstreifen nach 4 h und der linke Fahrstreifen innerhalb von 8 h schneefrei sein. In der Schweiz und Österreich werden über die rechtlichen Anforderungen hinaus für neuralgische Streckenabschnitte Umlaufzeiten von maximal 1 h angestrebt.
- **Schneehöhe auf der Fahrbahn:** Anforderungen an die maximale Schneehöhe auf der Fahrbahn, ab der ein Räumeeinsatz erfolgt, gibt es international nur teilweise. Diese ist insbesondere in Skandinavien, Kanada und vereinzelt in Mittel- und Osteuropa definiert. Wenn sie definiert ist, liegt sie in der Regel bei 2 bis 3 cm, Schweden räumt bereits bei einer Schneehöhe ab 1 cm. In Island, Lettland und Finnland ist auch auf den höchstrangigen Straßen, die jedoch eher mit deutschen Bundesstraßen vergleichbar sind, eine Räumung erst ab 4 bis 5 cm notwendig. In der Schweiz erfolgen Räumeeinsätze ab 3 cm Schneehöhe.
- **Griffigkeit:** Nur in wenigen Staaten, insbesondere in Skandinavien, werden Anforderungen an die Griffigkeit der Fahrbahn bei winterlichen Fahrbahnzuständen gestellt. Diese werden mit einzuhaltenden Grenzwerten in Abhängigkeit der Winterdienstklassifizierung konkretisiert.
- **Priorisierung von Fahrstreifen:** Es sind nur für ausgewählte Staaten konkrete Aussagen zur Priorisierung von Fahrstreifen bei Räumeeinsätzen zu finden; es ist aber davon auszugehen, dass bei mehrstreifigen Fahrbahnen in der Regel alle Fahrstreifen mit Räumstaffeln parallel geräumt werden. In Österreich und Slowenien werden wie in Deutschland beim Räumeeinsatz alle Fahrstreifen, incl. Seitenstreifen sowie Zu- und Abfahrten an Anschlussstellen sowie den Parkplätzen und Rastanlagen mit höchster Priorität geräumt. Bei starkem Schneefall sind hier zumindest ein Fahrstreifen je Fahrtrichtung sowie die Zu- und Abfahrten zu räumen. In Dänemark werden ebenfalls alle Fahrstreifen sowie Zu- und Abfahrten geräumt, die Standstreifen jedoch erst im Nachgang. In Frankreich wird wie folgt differenziert: 1. Priorität: durchgehende Fahrstreifen, 2. Priorität: Zu- und Abfahrten, 3. Priorität: Seitenstreifen und sonstige befestigte Sperrflächen. In der Schweiz werden mit erster Priorität die Fahrstreifen der Richtungsfahrbahnen und Anschlussstellen sowie mit 2. Priorität Standstreifen sowie Zu- und Abfahrten an den Rastplätzen geräumt.
- **Streustoffe:** Internationaler Standard ist auf den Autobahnen bei Schneefall der Einsatz von Tausalz. Überwiegend wird Feuchtsalz eingesetzt, zum Teil bei Schneefall auch Trockensalz. In Dänemark beispielsweise wird bei Räumeeinsätzen 20 g/m² Trockensalz gestreut. Der Soleanteil variiert, er liegt jedoch häufig wie in Deutschland bei 30 %. Der Einsatz von reiner Sole (FS 100) bei Schneefall wird in den verfügbaren Quellen nicht erwähnt. Als Trockensalz kommt NaCl zur Anwendung. Für die Sole werden auch CaCl₂ oder MgCl₂ verwendet, vor allem bei tieferen Temperaturen.



2.2 Probleme in der Praxis bei Schneefallereignissen

Störungen im Verkehrs- und/oder im Betriebsablauf können dazu führen, dass das Anforderungsniveau nicht eingehalten werden kann. Diese können wetterbedingte bzw. Wetterprognosebedingte, verkehrliche, organisatorische oder technische Ursachen bzw. eine Kombination daraus haben.

2.2.1 Wetterprognose-bedingte Ursachen

Der Prognose des Straßenwetters kommt ein hoher Stellenwert zu. Ist diese zeitlich und räumlich zuverlässig, können präventive Streueinsätze rechtzeitig durchgeführt, der Einsatz und die Einteilung des Personals frühzeitig geplant, die Einsatzfahrzeuge bedarfsgerecht ausgerüstet und beladen sowie kurative Einsätze zum richtigen Zeitpunkt gestartet werden. Der Winterdienst wird damit wirksam und wirtschaftlich. [FGSV 2020] Dabei spielt neben der Genauigkeit der verfügbaren Daten insbesondere auch deren Interpretierbarkeit durch die Nutzer eine entscheidende Rolle. [Holldorb et al. 2013] Unterschieden werden muss nach Informationen über das Straßenwetter und nach Informationen über den Straßenzustand. Den Winterdienst-Verantwortlichen stehen folgende Medien zur Verfügung [FGSV 2020]:

- Eigene Messstellen (SWS, meteorologische Wetterstationen),
- Straßenwetterprognosen von meteorologischen Diensten,
- Straßenwetterwarnungen,
- Niederschlagsradarbilder und deren voraussichtlicher Verlauf in der Zukunft,
- Satellitenbilder.

Ggf. werden diese ergänzt durch

- Daten von mobilen Messfahrzeugen bzw. Einsatzfahrzeugen,
- SWS-Daten benachbarter Bezirke oder Baulastträger,
- Informationsaustausch mit dem meteorologischen Dienst,
- Informationsaustausch mit anderen Winterdienstorganisationen (benachbarte Meistereien/ Bauhöfe), den Polizeidienststellen und Flughäfen.

SWS gelten dabei als die „wichtigste[n] Informationsquellen für die Überwachung des Straßenzustandes ...“. [FGSV 2020] Sie sind definiert als „...ortsfeste Anlagen mit Geräten zur Erfassung, Übertragung, Aufzeichnung und Darstellung aktueller Wetter- und Fahrbahnzustandsparameter. Die Parameter werden an einer oder mehreren Messstellen mit Hilfe von Sensoren auf und neben der Fahrbahn erfasst.“ [FGSV 2020] Sie werden an repräsentativen sowie neuralgischen Stellen im Streckennetz positioniert, um gezielte Einsätze des Winterdienstes durchzuführen. Des Weiteren dienen die Daten als „... Grundlage für Vorhersagen einer möglichen Glättebildung durch meteorologische Dienste im Rahmen eines Straßenzustands- und Wetterinformationssystems.“ [FGSV 2020]

Sogenannte ‚Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme‘ (SWIS) sind ein wichtiger Baustein für eine umfassende Prognose. „Um den verkehrlichen Anforderungen im Winter bei gleichzeitiger Verbesserung und Rationalisierung des Winterdienstes optimal gerecht werden zu können, ist die flächendeckende und länderübergreifende Nutzung eines Straßenzustands- und Wetterinformationssystems (SWIS) erforderlich.“ [FGSV 2020] Für den Bereich der

Bundesfernstraßen kommt SWIS.Info zur Anwendung, das in einer Kooperation zwischen den Straßenbauverwaltungen der Länder und dem Deutschen Wetterdienst (DWD) entwickelt wurde. Dieses liefert zum einen eine ‚allgemeine Straßenwettervorhersage‘, zum anderen eine Straßenwetterprognose – regional, die seit Mai 2021 die ‚detaillierte Straßenwettervorhersage‘ abgelöst hat sowie stationsbezogene Prognosen (Beispiel s. Bild 2). [DWD 2022] Die ‚allgemeine Straßenwettervorhersage‘, die von Meteorologen erstellt wird, gibt Auskunft über den „... erwarteten Wetterverlauf für die nächsten vier Tage und macht dabei auch Aussagen bezüglich Schneefälle, Glätte und Belagstemperatur.“ [DWD 2020] Die Gebiete, für die diese Vorhersagen getroffen werden, sind dabei eher als großräumig anzusehen (einzelne Bundesländer).

Die automatisiert erstellte ‚Straßenwetterprognose - regional‘ hingegen informiert deutlich kleinerer für ca. 190 Gebiete, differenziert nach Höhenstufen (200-Meter-Höhen-Intervalle). Die Prognose hat einen Horizont von 24 Stunden. Aufgrund der detaillierten Daten wird eine Genauigkeit der detaillierten Straßenwettervorhersage dargestellt, die jedoch durch die automatisierte Erstellung ohne Überprüfung durch einen Meteorologen nicht immer gewährleistet werden kann.

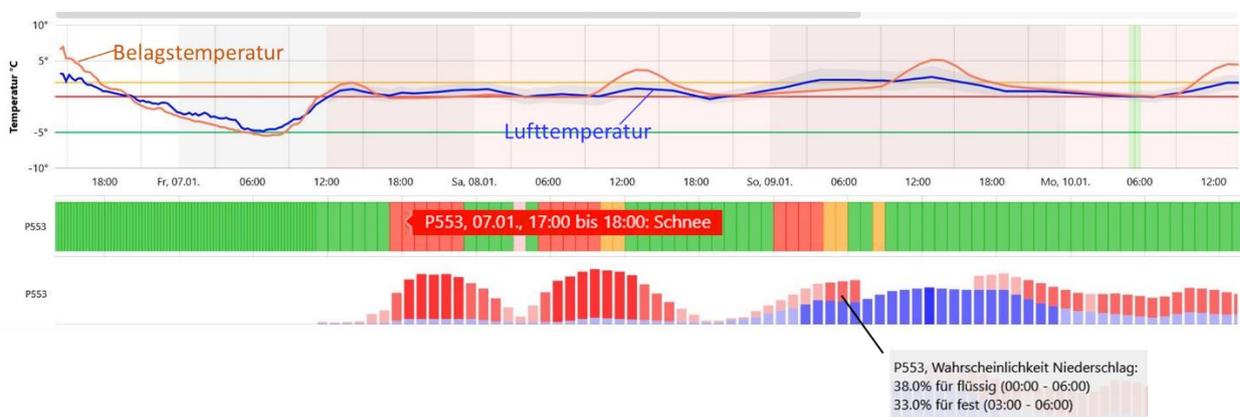


Bild 2: Beispiel für eine stationsbezogene Straßenwetterprognose für die Station P553 (München Nord Kreuz Rampe) des DWD [DWD 2022]

Zu beachten ist, dass jedoch sowohl die Sensoren zur Ermittlung des Fahrbahnoberflächenzustandes als auch die Sensoren zur Messung atmosphärischer Parameter Ungenauigkeiten aufweisen, die sich negativ auf eine robuste Prognose auswirken. Anforderungen an die Messwerte sind bereits 2011 in der DIN EN 15518 „Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme – Teil 3: Anforderungen an gemessene Werte der stationären Anlagen“ [DIN 15518-3 2011] zusammengestellt worden. Allerdings zeigen die Erfahrungen aus der Praxis sowie umfassende Untersuchungen der BAST, dass die derzeit verfügbare Sensorik diesen Anforderungen insbesondere bei den Fahrbahnparametern vielfach nicht gerecht wird [Badelt, Eimermacher 2020]. Daher werden in den Hinweisen für Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen - H PEB SWIS [FGSV 2019] folgende Hinweise zum Einsatz der Sensorik gegeben:

- „Fahrbahnoberflächentemperatur: ... Fazit: Für die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur werden derzeit die Bodensonden als die wesentlich genauere Alternative empfohlen. Geringe Differenzen zu einer tatsächlichen Temperatur müssen jedoch bei den Entscheidungen einkalkuliert werden.
- Fahrbahnzustand/ Wasserfilmdicke: ... Fazit: Die Bodensonden sind für die Angaben 'trocken' und 'nicht trocken' hinreichend genau. Für die Einschätzung einer genaueren



Wasserfilmdicke sind sie allerdings wenig geeignet. Sie können eine tatsächliche Glätte nicht sicher erkennen. ...

- *Gefriertemperatur: ... Fazit: Aus den genannten Gründen wird die Einbeziehung von Sensoren für das Erkennen von Taustoffen derzeit nicht empfohlen. ...*
- *Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Taupunkttemperatur: Für die Parameter Lufttemperatur und relative Luftfeuchte gibt es bewährte Sensoren aus der Meteorologie, die bei Test mit Referenzsensoren die Anforderungen der DIN EN 15518-3 erfüllen. ... Die Taupunkttemperatur lässt sich aus der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte berechnen.“*
- *Niederschlag: „Bei der Niederschlagsart müssen die Sensoren zwischen flüssigen und festen Niederschlag unterschieden. Nicht alle Sensoren können dies zuverlässig.“ Für die Messung der Niederschlagsintensität wird abweichend von der DIN EN 15518-3 eine Messwertauflösung von 0,01 mm/h anstatt 0,1 mm/h entsprechend dem Stand der Technik empfohlen.*
- *„Kameras: Für die Einschätzung des Fahrbahnzustandes und eines intensiveren Niederschlages ist auch die Installation einer Kamera sinnvoll.“*

2.2.2 Verkehrlich bedingte Ursachen

Die Kapazität einer Verkehrsanlage ist nach [FGSV 2015] definiert als „... die größte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom bei gegebener entwurfstechnischer Gestaltung und Verkehrssteuerung, trockener Fahrbahn und Helligkeit in einem Zeitintervall an einem Querschnitt erreichen kann.“ [FGSV 2015] Wie bereits aus dieser Definition hervorgeht, ist die Kapazität unter anderem vom Zustand der Fahrbahn und den vorherrschenden Sichtverhältnissen abhängig.

Nachweislich reduziert sich die Kapazität einer Verkehrsanlage bei ‚nicht-trockener‘ Fahrbahn. Anhaltswerte hierzu gibt z. B. [Cypra 2007], der von einem Rückgang der Kapazität bei leichten Schneefällen zwischen 10 und 20 %, bei kurzzeitig starken Schneefällen zwischen 30 bis 40 % und bei langanhaltenden starken Schneefällen von über 40 % ausgeht. Neuere Erkenntnisse liefern [Roos et al. 2012]. Diese geben die in Tabelle 2 aufgeführten Werte für den Rückgang der sogenannten angenäherten Kapazität an, die auf einem Rückgang der Verkehrsnachfrage sowie dem Rückgang der Geschwindigkeiten bei winterlichen Bedingungen basiert.

Tabelle 2: Rückgang der Kapazität bei winterlichen Bedingungen [Roos et al. 2012]

Zustand der Fahrbahn	Rückgang der angenäherten Kapazität auf	
	2-streifiger Richtungsfahrbahn um	3-streifiger Richtungsfahrbahn um
Regennasse Fahrbahn	10 bis 20 %	
Eisglätte	10 bis 40 %	
Schneeglätte	30 bis 50 %	20 bis 30 %
Schneefall	20 bis 40 %	10 bis 25 %

Auch dies sind lediglich Näherungswerte und sie können unter anderem stark durch die Maßnahmen des Winterdienstes beeinflusst werden. Deshalb schlagen die Autoren eine „...“



Überlagerung der automatisch erfassten Betriebsdienstdaten aus dem Winterdienst ... [vor], um dessen Einflüsse auf den Verkehr besser beurteilen zu können und somit das Verkehrsgeschehen im Winter und den Winterdienst besser aufeinander abstimmen zu können.“ [Roos et al. 2012]

„... Ein Simulationsverfahren für die Ermittlung von Streckenkapazitäten auf Bundesautobahnen (BAB) bei winterlichen Straßenzuständen ...“ haben [Kirschfink et al. 2012] erarbeitet. Anhand der Definition verschiedener Wetterklassen (gebildet anhand der Eingangsgrößen Fahr- bahnoberflächentemperatur, Fahrbahnzustand und Niederschlagsart) wurden anhand eines Mo- dells Abschlagsfaktoren ermittelt (vgl. Tabelle 3), die sich auch für 3- und 4-streifige Richtungs- fahrbahnen anwenden lassen.

Tabelle 3: Kapazitätsabschlagsfaktoren für verschiedene Wetterklassen und deren Referenz- werte [Kirschfink et al. 2012]

Klasse	Kurzbez.	NSI	WFD	FC	v(0)	v(krit.)	k(krit)	Kapazität	Abschlag
		mm/h	mm	--		2-streifig	2-streifig	2-streifig	2-streifig
1	Trocken	0	0	0,8	140	100	36	3.600	0 %
2	Nass_mRE	0,4	0,7	0,7	97	97	36	3.600	0 %
3	Glaette_mRE	0,4	0,7	0,2	65	65	36	2.952	-18 %
4	Nass_sRE	4	2	0,5	85	85	36	3.060	-15 %
5	Matsch_mSCH	0,4	1	0,4	97	97	36	3.492	-3 %
6	Schnee_mSCH	0,4	2	0,35	85	85	36	3.060	-15 %
7	Matsch_sSCHm	3	2	0,4	60	60	36	2.160	-40 %
8	Schnee_sSCHm	3	2	0,3	46	46	36	3.060	-15 %
9	Matsch_ssSCHm	10,7	2	0,35	46	46	36	1.656	-54 %
10	Schnee_ssSCHm	10,7	2	0,3	43	43	36	1.548	-57 %

Obwohl die unterschiedlichen Werte für den Rückgang der Kapazität teils stark voneinander ab- weichen und in allen Fällen lediglich Näherungswerte darstellen, ist zweifelsfrei festzustellen, dass winterliche Fahrbahnzustände bzw. Witterungen zu erheblichen Rückgängen bei der Ka- pazität eines Abschnittes der BAB führen können. Besonders kritisch sind hier Abschnitte, die bereits bei normalen Witterungsverhältnissen nahe der Kapazitätsgrenze agieren. *„Bereits eine kleine Behinderung im Verkehrsfluss führt ... [dann] zu Staubildung.“ [Durth et al. 2004]*

Ursachen für die Minderung der Kapazität sind reduzierte Geschwindigkeiten sowie größere Ab- stände zwischen den Fahrzeugen. [Roos et al. 2012] Reduzierte Geschwindigkeiten und größere Abstände können in diesem Kontext zweierlei Gründe haben. Zum einen werden die Verkehrs- teilnehmer bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen i. d. R. vorsichtiger und passen ihre Fahr- weise an, da eine glatte Fahrbahn vorliegt oder vermutet wird. Der Gleitbeiwert ist bei festgefah- renem Schnee oder Glätteis deutlich geringer (in der Regel kleiner 0,3) als bei trockener Fahr- bahn (in der Regel größer 0,8) [FGSV 2020]. Zum anderen können *„starke Niederschläge, ins- besondere Schneefälle, ... die Sichtweite erheblich herabsetzen.“ [Kirschfink et al. 2012]* Dabei spielen sowohl Niederschlagsart als auch -intensität eine Rolle, jedoch ist derzeit nicht abschlie- ßend untersucht, ob eine (vermeintlich) glatte Fahrbahn oder eine durch Niederschlag vermin- derte Sichtweite den größeren Einfluss auf die Reduzierung der Geschwindigkeiten hat. [Kirschfink et al. 2012]



Während bereits allein die Verkehrsmenge bzw. Verkehrsnachfrage bei winterlichen Bedingungen zu Behinderungen und dadurch zu Staubildungen führen kann, können Behinderungen, die durch z. B. liegengebliebene Fahrzeuge, querstehende Lkw oder Unfälle ausgelöst werden, die Staubildung rasant beschleunigen und einen Zusammenbruch des Verkehrs stark begünstigen. *„Die Praxis zeigt, dass sich die Winterdienstfahrzeuge dann häufig selbst im Stau befinden, da für die Räumfahrzeuge keine Räumgasse gebildet wird ...“* [Cypra et al. 2006]

Ein besonders kritischer Punkt für die Bildung von Stau bei winterlichen Bedingungen sind Steigungsstrecken, zum Teil auch Gefällestrecken. Nach [FGSV 2015] sind die Auswirkungen von Längsneigungen bis zu 2 % auf die Kapazität bei normalen Verhältnissen vernachlässigbar. Hier hat vor allem der Schwerverkehrs- (SV-)Anteil Einfluss auf die Kapazität einer Teilstrecke. Bei Längsneigungen größer 2 % ist der Einfluss der Gradienten auf die Kapazität jedoch schon bei normalen Verhältnissen deutlich, in erster Linie, weil sich die Geschwindigkeiten des Schwerverkehrs reduzieren.

Bei winterlichen Fahrbahnbedingungen kann sich ein hoher Schwerverkehrsanteil noch drastischer auf den Verkehrsablauf auswirken, aber auch einzelne Lkw können bereits zum Zusammenbruch des Verkehrs führen. [Roos et al. 2012] beschreiben die Problematik, die der Schwerverkehr auf diesen neuralgischen Stellen im Streckennetz mit sich bringt. Der Kraftschlussbeiwert verringert sich aufgrund winterlicher Fahrbahnzustände deutlich gegenüber der trockenen Fahrbahn (s. hierzu auch [Durth et al. 2004]). Dies bedingt unmittelbar eine verminderte Beschleunigung und Verzögerung eines Fahrzeugs. An Steigungsstrecken kann es dazu kommen, dass der Kraftschlussbeiwert so weit heruntergesetzt ist, dass er nicht mehr ausreicht, um die vom Antrieb aufgebrachte Kraft auf die Fahrbahn zu übertragen, der Lkw kommt zum Stehen oder stellt sich gar quer und blockiert (mindestens) den ersten Fahrstreifen. *„Oft werden „Hängengebliebene“ noch von anderen Lkw-Fahrern überholt, die die Situation ebenfalls unterschätzen und auf einem der Überholfahrstreifen hängen bleiben.“* [Roos et al. 2012] Die gesamte Fahrbahn ist dann blockiert, Stau entsteht und kann sich nicht mehr abbauen, bis diese Fahrzeuge abgeschleppt wurden. Wie oben beschrieben, stehen die Einsatzfahrzeuge des Winterdienstes dann unweigerlich selbst im Stau, was zum einen bedeutet, dass der Streckenabschnitt nicht mehr auf regulärem Weg betreut werden kann, zum anderen können Räumschleifen nicht mehr gefahren werden oder müssen von anderen Fahrzeugen übernommen werden, so dass auch andere Streckenabschnitte indirekt betroffen sind.

Neuralgische Punkte im Streckennetz können auch die Knotenpunkte und insbesondere die Autobahnkreuze (AK) und Autobahndreiecke (AD) sein. Während nach [FGSV 2020] alle Rampen in Anschlussstellen und Knotenpunkten bei normalem Schneefall, Eis- oder Reifglätte grundsätzlich befahrbar gehalten werden müssen, ist die Befahrbarkeit bei starkem, langanhaltendem Schneefall lediglich für die wichtigen Rampen sicherzustellen. Priorität hat hier stets die Hauptfahrbahn. Die Definition welche Rampen als wichtig eingestuft werden sollen, erfolgt in [FGSV 2020] nicht, da dies auch von den örtlichen Verhältnissen abhängig ist. In der Regel haben jedoch zumindest die AK und AD eine hohe verkehrliche Bedeutung. Dabei weisen Rampen häufig einstreifige Querschnitte auf, die nach [FGSV 2008] i. d. R. fahrdynamisch auf niedrige Geschwindigkeiten trassiert sind (demnach kleinere Radien aufweisen) und zudem höhere Längsneigungen als die Hauptfahrbahn aufweisen dürfen.

[Roos et al. 2011] haben hierzu Untersuchungen durchgeführt. Daraus ergab sich, dass *„eine Beeinträchtigung der Kapazität der [im Rahmen der Untersuchung] betrachteten Rampen bei*



winterlichen Randbedingungen ... nicht auszuschließen ... [ist]“, es sich bei einem Zusammenbruch des Verkehrs jedoch um sehr seltene Ereignisse handelt. Eine in diesem Rahmen durchgeführte Befragung in AM'en ergab, dass dies i. d. R. nur bei extremen Winterereignissen der Fall ist. Des Weiteren wurde seitens der Befragten ausgesagt, dass, wenn verkehrliche Probleme in AK auftreten, diese oftmals ganzjährig auftreten. Verkehrliche Probleme im Winter treten erwartungsgemäß am häufigsten bei jeglicher Art von Glätte auf, aber auch bei starkem Schneefall oder wenn der Schnee festgefahren wurde. [Roos et al. 2011] Kritisch werden diese Probleme insbesondere dann, wenn sich Rückstauungen auf die Richtungsfahrbahn ergeben.

Baustellen im Winter sind ebenfalls zu den neuralgischen Punkten im Straßennetz zu zählen. Meist wird hier der Verkehr mit geringen Radien verschwenkt, so dass bereits unter nicht-winterlichen Bedingungen eine Reduzierung der Geschwindigkeit notwendig wird. Zudem haben die Fahrstreifen i. d. R. reduzierte Breiten, die Richtungsfahrbahn ist von (transportablen) Schutzeinrichtungen eingesäumt, ein Seitenstreifen fehlt. Teilweise werden zudem nur einzelne Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn verschwenkt (z. B. 3+1 Führung). Winterliche Fahrbahnzustände verschärfen hier die bereits bestehende Problematik, die Durchfahrt für Einsatzfahrzeuge des Winterdienstes ist durch die reduzierte Breite erschwert, Schneemassen können nicht ohne weiteres zur Seite geräumt werden. Verkehrsstörungen in Baustellen wirken sich besonders stark auf den Verkehrsablauf aus und führen hier schnell zu einem Zusammenbruch des Verkehrs. [Cypra 2007]

Nach [Kirschfink et al. 2012] können auch Räum- und Streueinsätze des Winterdienstes kapazitätsmindernd wirken. Dabei ist die Auswirkung abhängig von der Art des Einsatzes sowie der Verkehrsbelastung. Allerdings erläutern die Autoren, dass die Auswirkungen eines Einsatzes auch bei langanhaltenden Schneefällen in der Regel lediglich von kurzer Dauer sind, weshalb sie im Weiteren auf eine Berücksichtigung in ihrem Prognosetool verzichteten.

2.2.3 Organisatorisch bedingte Ursachen

Organisatorisch bedingte Ursachen können vielfältiger Natur sein. Zum einen können Engpässe mangels vorhandener Ressourcen (Personal, Fahrzeuge, Geräte, Nachlademöglichkeiten, Salzreserven, Beladung) entstehen, zum anderen aufgrund fehlerhafter Einsatzplanung.

Personal

Vor jedem Winterbeginn sind nach [FGSV 2020] Personal-Einsatzpläne zu erstellen, abzustimmen und die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sollen darüber in Kenntnis gesetzt werden. Diese beinhalten Bereitschaftszeiten, Einsatzzeiten und Wege sowie Abläufe der Alarmierung der Mitarbeiter. Nach [FGSV 2020] muss auf BAB das geforderte Qualitätsniveau im Winterdienst 24 Stunden täglich erfüllt sein. Dies bedeutet, dass bei starken, langanhaltenden winterlichen Witterungsereignissen mehrere Schichten belegt werden müssen und hierfür eine ausreichend große Zahl an eigenen Mitarbeitern oder auch Fremdunternehmern zur Verfügung stehen muss, um die vorgegebenen Räum- und Streupläne sowie die damit einhergehenden Umlaufzeiten einhalten zu können.

Relevant ist, die gesetzlich vorgegebenen Arbeitszeiten, Ruhepausen und Ruhezeiten einzuhalten. Diese sind im Arbeitszeitgesetz (ArbZG) festgelegt. Danach darf die werktägliche Arbeitszeit 8 Stunden nicht überschreiten (§ 3), müssen Ruhepausen nach spätestens sechs Stunden mit



einer Dauer von mindestens 30 Minuten durchgeführt werden (§ 4) und müssen Ruhezeiten ununterbrochen sein und mindestens 11 Stunden betragen (§ 5). Die Arbeitszeit kann auf bis zu 10 Stunden verlängert werden, die Ruhezeiten können auf 10 Stunden verkürzt werden, wenn diese jeweils in den folgenden Wochen ausgeglichen werden. [ArbZG 2020] In begründeten Ausnahmefällen können diese Anforderungen im praktischen Einsatz über- bzw. unterschritten werden. [FGSV 2020]

In der Praxis werden im Winterdienst Einsatzpläne mit mehreren Schichten vorgesehen. Die Schichtpläne sind Grundlage der Rufbereitschaft, die bei winterlicher Witterung angeordnet wird. Ist ein Winterdiensteinsatz sicher vorhersehbar, kann auch eine Arbeitsbereitschaft angeordnet werden, bei der sich die Mitarbeiter auf der Meisterei befinden. Dies erfolgt vor allem bei extremer Witterung (starker Schneefall, Eisregen etc.).

Einsatzpläne im Zwei-Schicht-Betrieb sollten die Ausnahme bleiben, da diese Arbeitsbedingungen zum einen physisch und psychisch stark belastend sind, zum anderen eine Anhäufung von Überstunden in den Wintermonaten zu Kapazitätsengpässen im Sommerbetrieb führen können. Hinzu kommen dann noch Urlaubstage, die häufig nicht in den Wintermonaten genommen werden können, so dass außerhalb der Wintermonate massive Personalengpässe auftreten können. [Schmauder et al. 2014; Kirschfink et al. 2012]

Weiterhin sind auch freie Tage und der Wechsel der Schichten zu berücksichtigen, so dass ein Teil der Mitarbeiter nicht im Schichteinsatz ist. In der Praxis werden die Einsatzpläne meist mit maximal 3 Schichten im wöchentlichen Wechsel erstellt, wobei eine Schicht als „Freischicht“ eingeteilt ist. Fallen Mitarbeiter (krankheitsbedingt) aus oder sind Stellen nicht besetzt, kann dies auch im Winter zu Engpässen führen, die oftmals nicht ausgeglichen werden können. Für den Einsatz von Seitenpflügen werden die Winterdienstfahrzeuge in Abhängigkeit unterschiedlicher Randbedingungen (Verkehr, Querschnitt, Witterung) auch mit einem Beifahrer besetzt, so dass die größere Räumbreite der Fahrzeuge zu einem zusätzlichen Personalbedarf führen kann.

Beim Personal muss zudem der Einfluss des demografischen Wandels beachtet werden. Eine Altersstrukturanalyse (Stand 2013) zeigte, dass „... in der Mehrzahl der Bundesländer eine ungünstige Altersverteilung vorliegt, d. h. ein Großteil der Belegschaft ist aktuell in der Altersklasse der über 40-jährigen.“ [Pollack, Schulz-Ruckriegel 2017] Bild 3 zeigt die Verteilung der Straßenwärter (auch die der Straßen- und Mischmeistereien) über verschiedene Altersgruppen. Aktuellere Zahlen zur Verteilung der Altersstruktur beim Betriebsdienstpersonal sind nicht veröffentlicht. Demnach könnte es in Zukunft im Einzelfall schwierig sein, fortlaufend mehrere Schichten im Winterdienst mit eigenen Mitarbeitern zu besetzen. Alternativen sind Saisonarbeiter oder Fremdunternehmer.

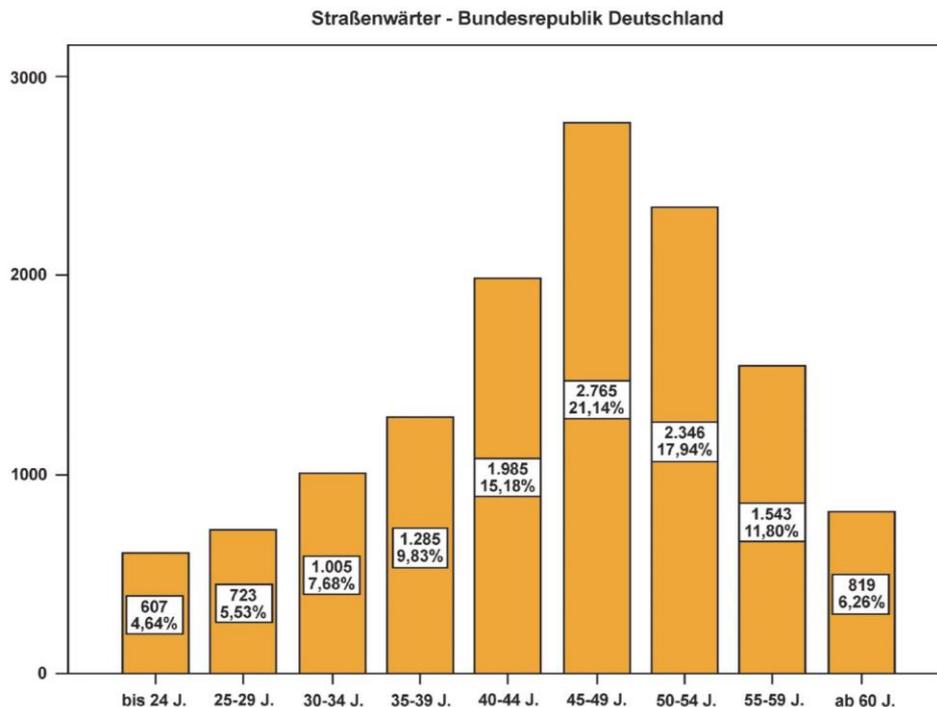


Bild 3: Verteilung der Straßenwärter in der Bundesrepublik über verschiedene Altersgruppen (Stand 2013) [Pollack, Schulz-Ruckriegel 2017]

Fahrzeuge und Geräte

Bei der Einsatzplanung und der Erstellung der Räum- und Streupläne muss einerseits der Einsatz von Räumstaffeln berücksichtigt werden, andererseits müssen auch die Umlaufzeiten gemäß Kapitel 2.1.1 sowie die Ladekapazitäten der Einsatzfahrzeuge eingehalten werden.

Ungeregelt ist der Umgang mit defekten Fahrzeugen und Geräten. Nicht immer steht ein Ersatzfahrzeug oder -gerät zur Verfügung, auch ist die Werkstatt nicht zwingend außerhalb der üblichen Arbeitszeiten besetzt, zum Teil werden durch das Werkstattpersonal Winterdienstfahrzeuge gefahren. Wie dies im Winter gehandhabt wird, ist nicht bundesweit geregelt. Fällt jedoch ein Fahrzeug oder Gerät während eines starken, langanhaltenden Schneefalls aus und ist kein Ersatz vorhanden, kann dies zu massiven Engpässen führen, da die restlichen Fahrzeuge dessen Streckenabschnitt mitbetreuen müssen und sich demnach die Umlaufzeiten aller Fahrzeuge deutlich verlängern. Des Weiteren können dadurch ggf. Räumstaffeln nicht mehr eingesetzt werden und nur ein Teil der Richtungsfahrbahn in einem Durchgang betreut werden. Ist bekannt, dass kein Ersatzfahrzeug/-gerät bei einem Defekt (oder auch Unfall) zur Verfügung steht, sollte dies in zusätzlichen Räum- und Streuplänen für reduzierte Fahrzeugausstattung geplant und festgehalten werden.

Nachlademöglichkeiten

Streustoffe und Sole werden auf dem Meistereigehöft gelagert. Des Weiteren kann es sinnvoll sein, weitere Nachlademöglichkeiten auf Stützpunkten zu haben. Dies ist vor allem abhängig von der Charakteristik des betreuten Streckennetzes. Gibt es Abschnitte, die sehr weit von der Meisterei entfernt sind, sind die Anfahrwege der Einsatzfahrzeuge sehr lange und der Anteil der Leerfahrten an der Umlaufzeit sehr hoch. Auch kann die Einrichtung von Nachlademöglichkeiten in



der Nähe von neuralgischen Streckenabschnitten (Steigungsstrecken oder Streckenabschnitte in besonderen Höhenlagen) sinnvoll sein. Wenn die Nachlademöglichkeiten von mehreren Einsatzfahrzeugen oder gar mehreren Meistereien genutzt werden können, sind diese wirtschaftlicher als Nachlademöglichkeiten, die nur einzelnen Einsatzfahrzeugen dienen. Neben der Möglichkeit des Nachladens kann geprüft werden, ob auch die Stationierung einzelner Fahrzeuge an Stützpunkten weitere Vorteile bringt. *„Alternativ ist zu prüfen, ob durch eine Veränderung der Routen oder eine Erhöhung der Ladekapazität die Nachladenotwendigkeit vermieden oder in die Nähe des Zentrallagers verschoben werden kann.“* [FGSV 2020]

Probleme können in diesem Zusammenhang auftreten, wenn diese Nachlademöglichkeiten trotz Notwendigkeit nicht zur Verfügung stehen oder nicht optimal genutzt werden können, da beispielsweise die Beladetechnik nicht auf eine ‚Ein-Mann-Bedienung‘ ausgelegt oder keine ausreichende Solebevorratung vorhanden ist.

Salzreserven

In der Vergangenheit kam es bei langanhaltenden winterlichen Witterungsperioden in weiten Teilen Deutschlands zu massiven Engpässen in der Versorgung mit Tausalz. Besonders der Winter 2009/2010 sowie der Dezember 2010 waren hier auffällig. [Holldorb et al. 2016b] Im Rahmen des FE-Vorhabens FE 04.0288/2015/KRB ‚Konzeption bedarfsgerechter Tausalzlagerkapazitäten (TAUSALA)‘ wurde ein Bemessungsmodell für die bedarfsgerechte Ermittlung der Lagerkapazitäten entwickelt [Holldorb et al. 2016b], welches mittlerweile als ‚Leitfaden für die Dimensionierung von Tausalzlager – Leitfaden TAUSALA‘ vom [BMVI 2019] herausgegeben wurde.

Zwar liegt die Bemessungsgrundlage nun vor, jedoch ist nicht zu erwarten, dass die Tausalzlager aller AM zeitnah dementsprechend erweitert oder umgebaut werden. Demnach können Engpässe in der Salzversorgung nach wie vor auftreten, vor allem bei starken, langanhaltenden und wiederkehrenden Schneefallereignissen.

Belade- und Betankungsvorgänge

Die Dauer der Beladung von Einsatzfahrzeugen im Winterdienst ist von mehreren Faktoren abhängig, dies sind:

- **Beladetechnik:** Als Beladetechniken kommen meist Silo oder Radlader in Frage. Die Beladung unter einem Streustoffsilo geht zwar etwas schneller als mit dem Radlader, allerdings ist der limitierende Zeitfaktor in der Regel die Solebetankung, die für den Einsatz von Feuchtsalz erforderlich ist (s. Tabelle 4). Daher sollten nach Möglichkeit Streusalz und Sole parallel beladen werden können, so dass mehrere Ladeplätze mit Anschlüssen für die Solebetankung vorzusehen sind. Bei Lagerkapazitäten deutlich über 500 t empfiehlt sich in der Regel die Lagerung in einer Streustoffhalle und die Beladung mit einem Radlader; für geringere Lagerkapazitäten bis ca. 500 t sind vielfach Streustoffsilos wirtschaftlicher. [Holldorb et al. 2021]



Tabelle 4: Mittlere anzusetzende Beladezeiten für die Streustoffbeladung mit einem Fassungsvermögen von 5 bis 8 m³ Trockenstoff und 2,5 bis 3,5 m³ Solebehälter unter Berücksichtigung von Teil- und Vollfüllungen [Holldorb et al. 2021]

	Beladung mit Radlader	Beladung mit Streustoffsilo
Parallelbeladung	14 min	14 min
Separatbeladung		
Streusalzbeladung	8 min ¹⁾	6 min ²⁾
Solebetankung	12 min	12 min
Umsetzen des Lkw	2 min	2 min
Gesamt	22 min	20 min

1) bei für den Radlader optimierter Fahrzeugposition

2) bei Ladevorgang durch 2. Mitarbeiter: 4 min

- **Personaleinsatz:** Sowohl bei Silo- als auch Radladerbeladung kann der Fahrer den Beladungsvorgang aus (sicherheits-)technischen Gründen alleine durchführen. Werden Seitenpflüge eingesetzt oder ist ein weiterer Mitarbeiter auf dem Gehöft der Meisterei verfügbar, kann er beim Beladevorgang unterstützen, wodurch insbesondere die Silobeladung beschleunigt werden kann. Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass eine Beladung mit dem Streustoffsilo einen Zeitvorteil von bis zu 4 min bringt, wenn der Fahrer Unterstützung bei der Beladung durch einen zweiten Mitarbeiter erhält, gegenüber der Beladung mit dem Radlader. [Holldorb et al. 2021]
- **Konzeption der Meistereianlagen:** Ein ebenfalls ausschlagkräftiger Punkt ist die Konzeption der Meisterei, genauer gesagt die Anordnung der Plätze zum Nachladen und Nachtanken. Im besten Fall sollte es möglich sein, zwei oder drei Fahrzeuge gleichzeitig zu beladen und zu betanken. Aus einer repräsentativen Umfrage im Jahr 2018 geht hervor, dass über die Hälfte der Autobahn- und Mischmeistereien über zwei und mehr parallel zu nutzende Beladeplätze auf dem Gehöft verfügt. Die Wahrscheinlichkeit, dass in diesem Fall Wartezeiten beim Nachladen auftreten, ist deutlich geringer als bei nur einem Ladeplatz. Tendenziell sind sie bei der Silobeladung bzw. der kombinierten Silo- und Radladerbeladung geringer, da dann meist parallel beladen werden kann. [Holldorb et al. 2021]
- **Kapazität der Fahrzeuge/Anbaugeräte:** Die benötigte Zeit zum Beladen und Betanken ist direkt abhängig von der Kapazität bzw. dem Volumen der Salz- und Solebehälter der eingesetzten Fahrzeuge. Je geringer das Volumen, desto schneller ist das Fahrzeug beladen und betankt, desto früher muss dieses jedoch auch wieder nachladen. Die Analyse von über 1.000 Beladevorgängen in ausgewählten Standorten hat jedoch gezeigt, dass gerade bei Nachladevorgängen Streustoffbehälter und Soletank häufig nicht leer sind, so dass sie nur teilgefüllt werden müssen. [Holldorb et al. 2021]



Einsatzplanung

Räum- und Streupläne können Mängel aufweisen, die erst im praktischen Einsatz bemerkt werden. Um solche Mängel zu beseitigen oder auf Änderungen im Netz zu reagieren, sind die Räum- und Streupläne „... *regelmäßig vor Winterbeginn zu aktualisieren.*“ [FGSV 2020]

Während die Aktualisierung der Räum- und Streupläne regulär vor Winterbeginn durchgeführt wird, können direkt während des Winters ebenfalls Ursachen für einen gestörten Ablauf vorliegen. Ein strukturiertes Einsatzmanagement ist daher wichtig. Verantwortung für Organisation und Durchführung trägt die Einsatzleitung (Meistereileiter oder Mitarbeiter), die hat nach [FGSV 2020] folgende Aufgaben hat:

- Überwachung und Einschätzung der Wetterlage und der Wetterentwicklung
- Überwachung und Einschätzung des Zustandes der Verkehrsflächen
- Auslösung des Einsatzes mit Alarmierung des Personals und der Fremdunternehmer
- Festlegung des Einsatzfalles (Einsatzplan und Umfang des Einsatzes)
- Vorgaben zur anzuwendenden Streudichte
- Überwachung des Einsatzes
- Sicherstellung stichprobenartiger Kontrollen vor Ort
- Ansprechpartner für Polizei und Dritte
- Eingreifen bei besonderen Ereignissen (z.B. Ausfall eines Fahrzeugs), Regelung besonderer Einsätze, Einteilung der Fahrzeuge und des Personals in diesen Fällen
- Dokumentation des Winterdiensteinsatzes und der Maßnahmen der Einsatzleitung

Viele der oben genannten Aufgaben sind stark abhängig von der Wetterprognose. Sowohl Wetter als auch Fahrbahnzustand können stets nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden. Dies kann zu verspäteter Auslösung der Einsätze führen aber auch zu einem Fehlalarm. Nach [FGSV 2020] sollten kurative Einsätze „... *möglichst unmittelbar nach Glättebildung bzw. bei einsetzendem Schneefall beginnen.*“ Hierfür sollten die Fahrzeuge ausgerüstet und betankt bereitstehen.

Schwieriger scheint die Wahl des richtigen Zeitpunkts zum Auslösen eines präventiven Einsatzes beim Einsatz von FS30. Dieser sollte ausgelöst werden, wenn mit hoher Wahrscheinlichkeit Glätte entstehen wird und der Zeitpunkt relativ genau bekannt ist. Ein Verpassen des richtigen Zeitpunktes kann dazu führen, dass die Glätte nicht verhindert werden kann, sondern kurativ behandelt werden muss, da nach aktuellen Erkenntnissen die Taustoffverluste bereits nach 60 min über 80 % betragen. Werden präventive Einsätze mit FS100 durchgeführt, entfällt diese zeitkritische Komponente. Die Taustoffverluste betragen nach 60 min lediglich rund 34 % und selbst 22 h nach Ausbringung sind noch rund 40 % des ausgebrachten Salzes auf der Fahrbahn vorhanden. [Bunoza 2020]

Präventive Streuung kann des Weiteren zur Erhaltung der Räumfähigkeit des Schnees eingesetzt werden. Die Salzlösung setzt den Gefrierpunkt des Salz-Wasser-Schmutzgemisches auf der Fahrbahn herab, wodurch der erste gefallene Schnee in Lösung übergeht und daraus eine Trennschicht zur sich aufbauenden Schneedecke des darauffolgenden Schneefalls bildet. Diese



Trennschicht verhindert ein Anfrieren. Wird hierbei der richtige Zeitpunkt verpasst, kann dies zu einem größeren Aufwand im Räumeeinsatz führen, da es zu einer Verbackung zwischen festgefahrener Schneedecke und Fahrbahnoberfläche kommt.

Betriebsumfahrten

Fehlende oder falsch platzierte Betriebsumfahrten können zu zusätzlichen Leerfahrten und damit zu Verlustzeiten führen. Bei starken, langanhaltenden Schneefällen summieren sich diese über die große Anzahl an Umläufen und schaffen Verzögerungen beim Räum- und Streueinsatz. Bei Betriebsumfahrten, die innerhalb einer Rastanlage angeordnet sind, ist zu beachten, dass diese ggf. nicht genutzt werden können, da die Fahrwege insbesondere nachts durch parkende Lkw stark eingeengt sind. [Cypra et al. 2006]

2.2.4 Technisch bedingte Ursachen

Fahrbahnoberflächen

Einige Abschnitte neigen dazu stärker oder früher auszukühlen als angrenzende Fahrbahnen. Dies kann zu vorzeitigem Vereisung führen und hat zur Folge, dass hier ein intensivierter Winterdienst mit kürzeren Umlaufzeiten und höheren Streumengen notwendig wird. [Hanke 2019; BAST 2020]

Zu diesen sensiblen Bereichen gehören zum einen Brücken, insbesondere Stahlbrücken, da diese keinen direkten Kontakt zum Untergrund haben. Aufgrund der relativ geringen Masse des Brückenüberbaus und der damit verbundenen reduzierten Wärmekapazität tritt hier früher und häufiger Glätte auf [Feldmann et al. 2012], insbesondere „... an ungünstigen Standorten wie in der Nähe von Gewässern oder in Einschnitten ...“ [Eilers et al. 2020] Diese Bereiche müssen intensiv beobachtet und betreut werden. Eine Möglichkeit, einer frühzeitigen Glättebildung ohne intensivierten Einsatz von Personal und Fahrzeugen entgegenzuwirken, sind Taumittelsprühanlagen (TMS) (s. Kapitel 2.3.4).

Ein weiterer sensibler Bereich sind Beläge aus Offenporigem Asphalt (OPA). Durch den großen Anteil an Hohlräumen kühlt die Deckschicht schneller und stärker aus. Die Oberflächentemperatur liegt um ca. 1 bis 2 °C unter der eines dichten Belags, diese sinkt zudem früher unter den Gefrierpunkt und wärmt sich auch erst verzögert wieder auf. Weiterhin wird das Streumittel zusammen mit dem getauten Schnee in die Hohlräume gespült und dort gespeichert. Dies bedingt ein häufigeres Streuen der Fahrbahn. Durch den Sog der Reifen bei Überfahrt wird das Wasser immer wieder an die Oberfläche gebracht, die Fahrbahn trocknet langsamer. Bei abnehmendem Salzgehalt besteht hier demnach länger die Gefahr von Glätte, auch können sogenannte ‚Eispilze‘ aus dem Belag herauswachsen. [Holldorb 1997; FGSV 2013] Nach derzeitigem Kenntnisstand bietet eine präventive Streuung mit reiner Salzlösung (FS100) Vorteile, da die Oberfläche flächig benetzt wird [Hanke 2019]. Dennoch bleibt durch die frühere Abkühlung der Oberfläche Schneefall früher auf der Fahrbahn liegen, weshalb diese Abschnitte in der Erarbeitung der Räum- und Streupläne besonders berücksichtigt werden müssen. In der Praxis zeigt sich, dass „... im Mittel eine Erhöhung der insgesamt ausgebrachten Streustoffmenge auf OPA-Strecken um ca. 50 % erfolgt.“ [Hess et al. 2016] Diese Erhöhung wird zum großen Teil durch eine Erhöhung der Streueinsätze erreicht und nicht durch eine Erhöhung der Streumenge je Umlauf. [Hess et al. 2016]



Streckenabschnitte mit OPA-Belägen werden auch in Frankreich gesondert beachtet und betreut. Zum einen sind die im Mittel ausgebrachten Streumengen auf diesen Abschnitten zwischen 50 und 100 % größer als auf Abschnitten mit dichten Belägen, zum anderen werden diese deutlich öfter betreut. Bei Schneefall werden hier Betreuungsintervalle von 20 min angestrebt. [PIARC 2018]

Streutechnik

Zur Vorbeugung vor Glätte oder zur Erhaltung der Räumfähigkeit des gefallenen Schnees werden in der Praxis präventive Streuungen durchgeführt. [FGSV 2020] empfiehlt hierfür den Einsatz von reiner Salzlösung (FS100). Jedoch ist nicht davon auszugehen, dass derzeit alle Meistereien und alle Einsatzfahrzeuge mit der entsprechenden Technik ausgestattet sind. Eine Streuung mit Feuchtsalz (FS30) kann alternativ eingesetzt werden, jedoch besteht hier die Gefahr, dass das eingesetzte FS30 bis zum Zeitpunkt des Einsetzens der Glätte bzw. des Schneefalls vom Verkehr zu einem größeren Teil in den Straßenrandbereich verbracht wurde.

2.3 Optimierung des Winterdienstes bei starkem Schneefall

2.3.1 Wetterprognose / Prognose des Fahrbahnzustands

Erfassung des Fahrbahnzustandes

Für eine optimierte Steuerung des Winterdienstes sind SWS ein wichtiger Baustein. Einen hohen Stellenwert hat in diesem Zusammenhang die Sicherung einer hohen Datenqualität der Messparameter der SWS, um kritische Fahrbahnzustände oder einsetzenden Schneefall rechtzeitig erkennen zu können [FGSV 2019]. Dazu gehören der Bau und der Betrieb der Anlagen, aber auch deren regelmäßige Wartung. [Claußen 2019]

Für eine zuverlässige Erkennung des Fahrbahnzustandes, außer für trocken und nass, bedarf es in der Regel einer kombinierten Betrachtung mehrerer Parameter. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist die Erkennung des Fahrbahnzustandes glatt, hier ausgelöst durch Schneefall, von Bedeutung. Da dieser Fahrbahnzustand für eine Bodensensorik kaum zuverlässig erkennbar ist, ist zur Detektion und Glättewarnung eine Kombination aus Niederschlagssensorik und Parametern der Fahrbahnsonde notwendig. Auch die Hinweise für Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen - H PEB SWIS [FGSV 2019] empfehlen zur Validierung die Analyse von Webcam-Bildern. Daher sollten SWS standardmäßig mit Kameras ausgestattet sein. Neben Fahrbahnzustand und Schneefall können die Kamerabil-der in der Regel auch zur Einschätzung des aktuellen Verkehrsablaufs genutzt werden.

Weiteres Verbesserungs- und Optimierungspotential im Bereich der Erfassung des Fahrbahnzustandes wird derzeit vor allem im Bereich der präventiven Streueinsätze gesehen. So ist zu erwarten, dass künftig mobile Sensoren an Einsatzfahrzeugen oder anderen patrouillierenden Fahrzeugen in Kombination mit verbesserten Algorithmen beispielsweise die Streumenge automatisiert bestimmen und so eine Minimierung der ausgebrachten Streustoffe möglich machen. Die derzeitige Sensortechnik erfüllt diese Aufgabe jedoch nur bedingt, insbesondere bei Schnee- und Eisglätte. Werden diese Sensoren leistungsfähiger, ist zu erwarten, dass diese einen Beitrag zu einem wirtschaftlicheren Winterdienst leisten können. [Hausmann 2019]



In Quebec (Kanada) sind 230 Fahrzeuge der Streckenkontrolle mit mobilen Wetterstationen ausgestattet, die in Ergänzung der Daten der stationären Stationen Messwerte entlang der Strecken liefern sollen. Diese beschränken sich auf die Parameter Lufttemperatur, relative Feuchtigkeit, atmosphärischer Druck, Fahrbahntemperatur und eine Berechnung des Taupunkts. [PIARC 2018]

Neben mobilen Sensoren an Einsatzfahrzeugen erwartet [Claußen 2019] zukünftig eine höhere Datenqualität durch zunehmende Automatisierung der Fahrzeuge aller Verkehrsteilnehmer und Übertragung derer Daten (Floating Car Data).

Prognosemodelle

Staatliche und private Wetterdienste arbeiten seit langen an der Optimierung der kleinräumigen Wettervorhersage und der Prognostizierung des Fahrbahnzustandes. Da die Straßenwettervorhersage ein sehr komplexes System darstellt, können hundertprozentige Genauigkeiten nicht erwartet werden. [FGSV 2019]

[Kirschfink et al. 2012] entwickelten ein Prognosemodell der witterungsbedingten Kapazitätseinschränkungen und deren Auswirkung auf den Verkehrsablauf auf Grundlage der Prognose des Wetters sowie der Prognose des Fahrbahnzustands. Zum einen könnte dieses Modell dazu dienen, die längerfristige Einsatzplanung zu unterstützen, zum anderen als Entscheidungshilfe für Maßnahmen des Verkehrsmanagements, des Winterdienstes sowie des Arbeitsstellenmanagements dienen. Dies geschieht durch die beiden Risikostufen „Warnung“ und „Alarm“ und soll laut den Autoren betriebsnah interpretiert werden und als Auslösekriterium für weitere Maßnahmen genutzt werden können. [Kirschfink et al. 2012]

[Nutz et al. 2018] stellen ein in Österreich entwickeltes Simulationsmodell vor, welches zu einer Optimierung des Zeitpunkts der Streuung beitragen soll. Dieses besteht aus vier Teilmodulen: Restsalzgehalt, Gefrierpunkt, Wasserfilmdicke und Griffbarkeit. Es soll einerseits dazu dienen, den optimalen Zeitpunkt zu finden, um Reifglätte frühzeitig mit einer einzelnen Streuung zu vermeiden. Andererseits soll das Modell helfen, den Zeitraum, in dem Schneeglätte vorliegt, zu verkürzen. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung 2018 lag laut den Autoren ein Modell vor, das eine ganzheitliche Simulation der Griffbarkeit erlaubt, wobei es für alle Module noch Verbesserungspotential gibt. Das Modell soll vorerst dazu dienen, Maßnahmen des Winterdienstes und deren Auswirkungen auf die Griffbarkeit der Fahrbahnoberfläche zu simulieren. Weiteren Forschungsbedarf sehen die Autoren in der Implementierung des Modells in automatisierte Streueinheiten. [Nutz et al. 2018]

2.3.2 Verkehrsbeeinflussende und -beschränkende Maßnahmen

Die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen sind auch organisatorischer Natur, werden jedoch an dieser Stelle beschrieben, da durch diese direkt in den Verkehr eingegriffen wird.

Temporäre Fahrverbote

In einigen Bundesländern gibt es für extreme Witterungslagen spezielle Katastrophenpläne, die in Zusammenarbeit verschiedener Behörden, Institutionen und Hilfskräfte stufenweise in Kraft gesetzt werden können. Diese werden aktiviert, wenn ein Volleinsatz des Winterdienstes nicht mehr



ausreicht, um extremen Wetterereignissen zu begegnen. Zur Vermeidung von Zusammenbrüchen des Verkehrs bzw. zur Verringerung der Auswirkungen können bei starken, langanhaltenden Schneefällen oder anderen Extremereignissen beispielsweise verschiedene Arten von temporären Fahrverboten angeordnet werden. Die Befugnis liegt in Deutschland hierfür bei der Polizei. [Cypra et al. 2006]

Bevor massiv in den Verkehr eingegriffen wird, gibt es die Möglichkeit, ein temporäres Lkw-Überholverbot anzuordnen. Dieses kann beispielsweise durch Wechselverkehrszeichen (WVZ) einer Verkehrsbeeinflussungsanlage eingerichtet werden. [Cypra et al. 2006] beschreiben, dass diese Maßnahme in der Praxis meist keinen merklichen Effekt bringt. Insbesondere wenn Lkw an Steigungsstrecken, wie in Kapitel 2.2.2 erläutert, zum Stillstand kommen, wird häufig der Versuch unternommen an diesen vorbeizufahren. [Cypra et al. 2006]

Ergeben sich witterungsbedingt Staus, die sich in absehbarer Zeit nicht auflösen werden, so kann eine Sperrung der Zufahrten in den Anschlussstellen in Frage kommen, um den Zufluss zu reduzieren und die entstandenen Staus nicht zu vergrößern. Die Zufahrten werden durch das Aufklappen von Klappschildern gesperrt, i. d. R. durch Unterstützung weiterer Hilfskräfte. [Cypra et al. 2006]

Eine weitere Maßnahme kann eine temporäre Fahrbahnspernung im Bereich neuralgischer Abschnitte sein, teils verbunden mit Ausleitungen des Pkw-Verkehrs in das nachgeordnete Netz. Die betroffenen Abschnitte können mit dieser Maßnahme intensiver betreut werden, auch ist eine Räumung entgegen der Fahrtrichtung möglich, falls die Einsatzfahrzeuge keine Chance haben, eine Rettungs-/Räumgasse zu nutzen, um durch den Stau zu kommen. Damit können betroffene Abschnitte schneller geräumt und die Auswirkungen der Fahrbahnspernung reduziert werden. [Cypra et al. 2006]

Teils ergeben sich Fahrbahnzustände, die für den Pkw-Verkehr zu bewältigen sind, nicht jedoch für Lkw. In diesen Fällen werden lediglich Lkw vor neuralgischen Abschnitten angehalten und ggf. ausgeleitet, sofern es der Zustand des nachgeordneten Netzes zulässt. [Cypra et al. 2006]

Tropfenzählersystem in der Schweiz

[Cypra et al. 2006] beschreiben ein verkehrslenkendes System, das auf der schweizerischen A 2 eingerichtet wurde, um primär die Verkehrssicherheit im Gotthardtunnel zu erhöhen, jedoch auch im Winter zur Unterstützung des Winterdienstes genutzt wird. Vor dem Nordportal wurden hierfür Warteräume für Lkw eingerichtet. Diesen wird über eine Lichtsignalanlage nur einzeln die Zufahrt zum Tunnel gewährt. Generell ist die Verkehrsdichte im Tunnel auf 1000 Pkw-E/h pro Richtung beschränkt, abhängig vom Pkw-Verkehr werden so lediglich 60 bis 150 Lkw pro Stunde und Richtung durch den Tunnel zugelassen.

Besteht im Winter aufgrund anhaltender Schneefälle die Gefahr, dass im 13 km langen Streckenabschnitt vor dem Nordportal, der teils hohe Längsneigungen sowie Abschnitte ohne Seitenstreifen durch kurze Tunnel, Galerien und über Brücken aufweist, Lkw liegenbleiben, so wird das System adaptiert und an der Anschlussstelle (AS) Amsteg innerhalb von 30 min eingerichtet. Dort wird ein mobiler Warteraum für Lkw mit Klappschildern, schwenkbaren Signalgebern und Leitbaken installiert, zusätzlich werden Lkw durch Beamte eingewiesen. Bei hohen Lkw-Zahlen können im Vorlauf weitere Warteräume für Lkw eingerichtet werden, um eine Überlastung zu vermeiden. Abhängig von der vorherrschenden Witterung und Situation können Lkw pulkweise



den Einsatzfahrzeugen des Winterdienstes folgen. Kann der Streckenabschnitt aufgrund von Schneeglätte von allen Fahrzeugklassen nicht befahren werden, ist auch hier eine temporäre Fahrbahnspernung mittels Lichtsignalanlagen möglich. [Cypra et al. 2006] Dieses System ist auch unter der Bezeichnung ‚Block-abfertigung‘ bekannt.

Blockabfertigung

Das bereits oben beschriebene System verfolgt den Grundgedanken der Vermeidung von liegendebliebenen oder querstehenden Lkw aufgrund winterlicher Fahrbahnzustände im Bereich neuralgischer Streckenabschnitte. Die Einrichtung solcher verkehrslenkenden Systeme bedarf eines großen Aufwands zur Abstimmung zwischen den Behörden bei der Planung und zwischen den Einsatzkräften im praktischen Einsatz. Im Rahmen einer Pilotstudie wurden an zwei Streckenabschnitten im Zuge der BAB A 8 in Baden-Württemberg und Bayern die Grundlagen für die Einrichtung einer Blockabfertigung erarbeitet. Bild 4 zeigt den theoretischen Ablauf der Maßnahme mit den jeweiligen Zuständigkeiten in Baden-Württemberg. Bei der Auswahl, Planung und Durchführung solcher Maßnahmen sind die jeweils vorliegenden, örtlichen Rand- und Rahmenbedingungen zwingend zu beachten. [Roos et al. 2012] Aufgrund fehlender Witterungszustände und Personalressourcen wurde die Maßnahme bisher nicht in die Praxis umgesetzt.

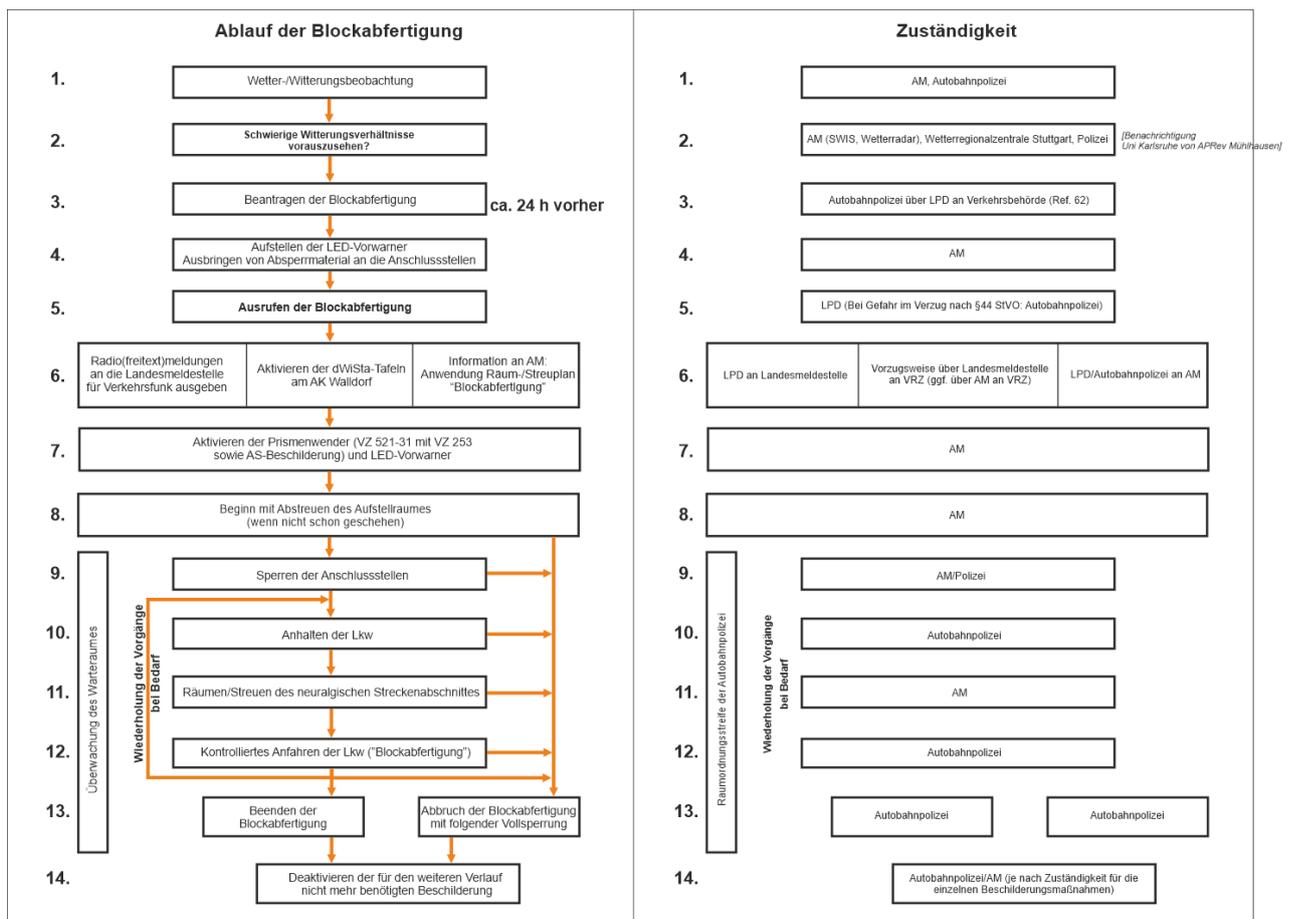


Bild 4: Theoretischer Ablaufplan der Blockabfertigung inklusive des Zuständigkeitsbereiches in Baden-Württemberg [Roos et al. 2012]



Stop & Go Strategie in Japan

[Kitajou et al. 2018] beschreiben für einbahnige Landstraßen eine Strategie, um Verkehrsbehinderungen durch starke Schneefälle möglichst gering zu halten. Dabei wird ein neuralgischer Streckenabschnitt gesondert betreut und bei sehr starken Schneefällen sogar zeitweise gesperrt. Der Verkehr wird in beide Fahrtrichtungen angehalten, zwei Räumfahrzeuge betreuen den Abschnitt und wenden am Ende des Abschnitts. Daraufhin betreuen die Fahrzeuge die Gegenrichtung und führen die Fahrzeuge durch den neuralgischen Abschnitt. Nachfolgende Fahrzeuge werden wieder angehalten und müssen auf den nächsten Umlauf warten (s. Bild 5, mitte und unten). Dabei wird Fahrzeugen mit Sommerreifen die Durchfahrt verboten, diese müssen umkehren. Nimmt die Intensität des Schneefalls weiter zu, wird der Abschnitt länger gesperrt und so lange intensiv betreut, bis sich der Fahrbahnzustand verbessert hat bzw. die Schneefälle wieder nachlassen (s. Bild 5, oben). [Kitajou et al. 2018]

Diese Strategie lässt sich prinzipiell auch auf zweibahnige Streckenabschnitte und die Betreuung mit Räumstaffeln übertragen, allerdings ist hier die Lage bzw. Anordnung von Betriebsumfahrten für eine Durchführung entscheidend.

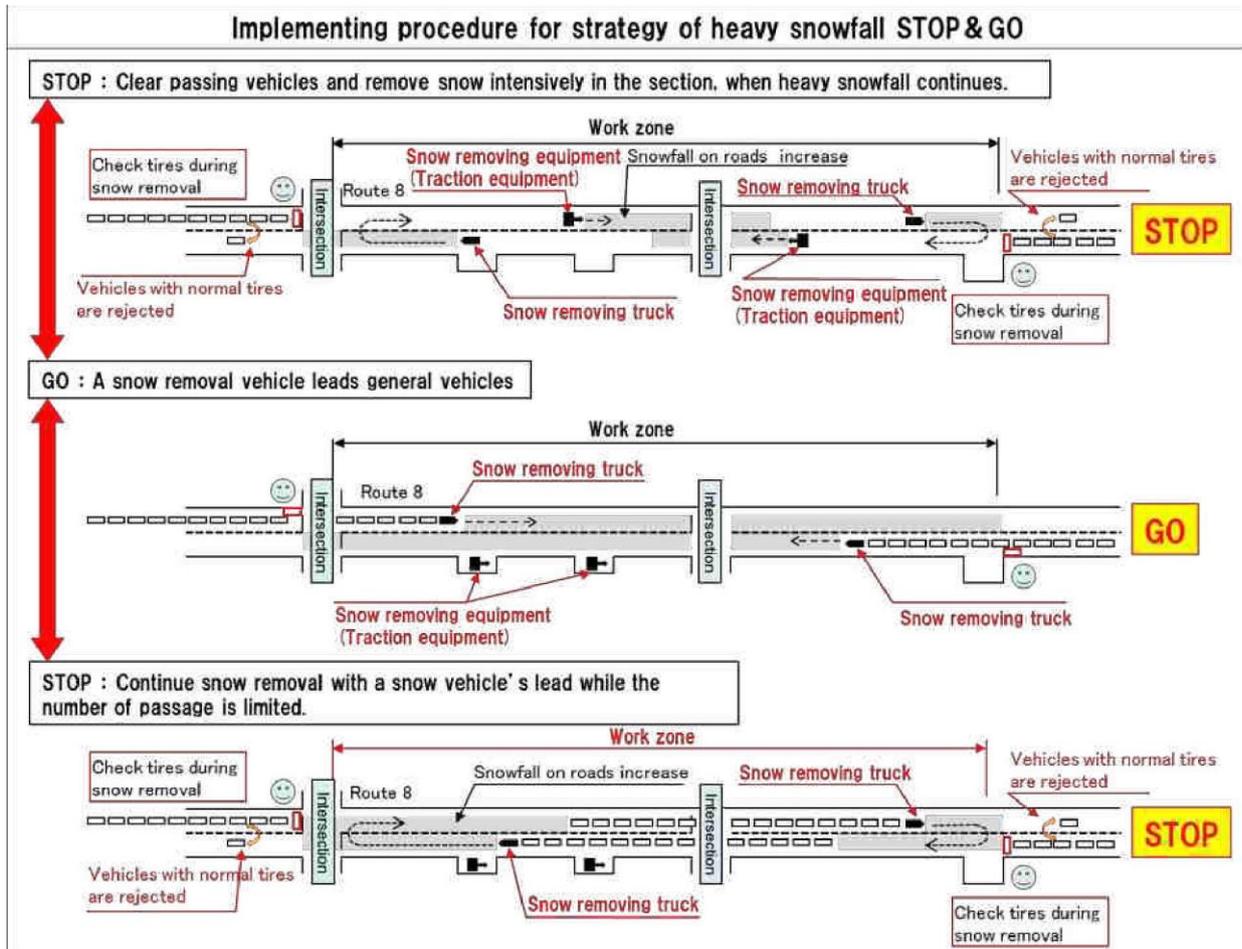


Bild 5: Stop & Go Strategie bei starkem Schneefall in Japan (Fukui Präfektur) [Kitajou et al. 2018]

„White Convoys“ in Frankreich

In Frankreich wird es dem Schwerverkehr bei entsprechenden Wetterlagen ebenfalls untersagt, Abschnitte mit hohem Gefälle zu benutzen. In der Regel wird dieses Verbot über variable Verkehrszeichen und Radio kommuniziert. Auf Netzabschnitten ohne variable Verkehrszeichen gibt es zudem die sogenannten ‚White Convoys‘. Dabei werden Lkw angehalten und können im Rahmen eines Einsatzes des Winterdienstes dem jeweiligen Einsatzfahrzeug pulkweise (ca. 10 Lkw) folgen, unterstützt und eingewiesen durch die Polizei. Die Autoren nennen aber auch Schwierigkeiten bei einem hohen SV-Anteil und weisen darauf hin, dass eine gute Koordination zwischen Straßenbetriebsdienst und Polizei notwendig ist. [PIARC 2018]

Großräumige Umfahrung von Bereichen mit hoher Längsneigung

Um potenziellen Problemen mit Lkw an Steigungsstrecken vorzubeugen, ist die Einrichtung von Umfahrungen dieser Streckenabschnitte möglich. Eine Umfahrung ist dabei nach [Roos et al. 2012] in der Regel nur innerhalb des Autobahnnetzes umsetzbar, da das nachgeordnete Netz unter kritischen, winterlichen Bedingungen ebenfalls früh an seine Kapazitätsgrenzen stößt. Hierbei sind insbesondere großräumige Umfahrungen denkbar, die über sogenannte ‚Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen‘ (dWiSta) eingerichtet und kommuniziert werden können. Ein Beispiel zeigt Bild 6.

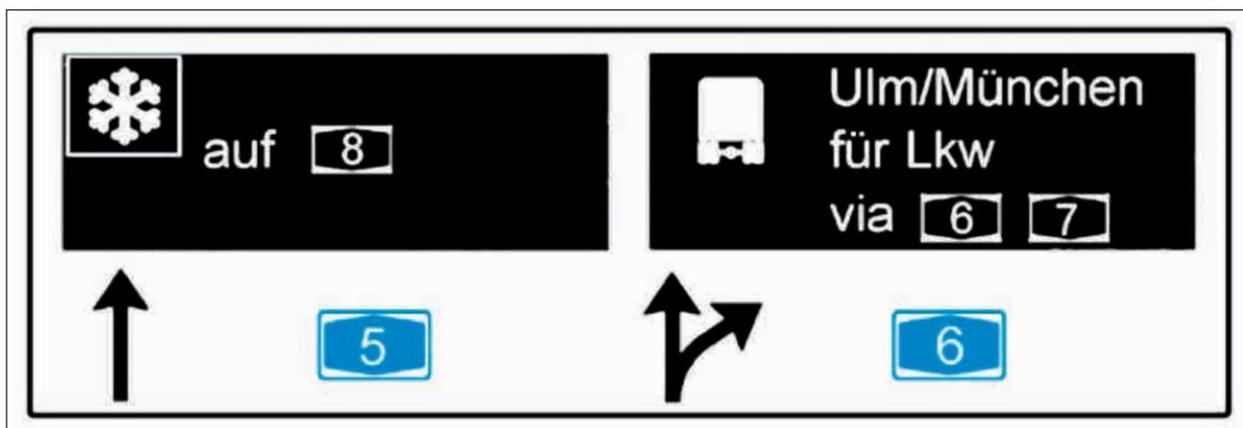


Bild 6: dWiSta-Anzeige am Walldorfer Kreuz zur Umfahrung des Albaufstiegs für Lkw im Winter [Roos et al. 2012]

2.3.3 Organisatorische Ansätze

Blaues Blinklicht und Einsatzhorn

Wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, kommt es insbesondere auf stark belasteten Streckenabschnitten bei Schneefall zu einem Rückgang der Kapazität, der schnell zu einem Zusammenbruch des Verkehrs führt. Auch Steigungsstrecken gelten als staukritisch, da hier die Kapazität durch liegende oder querstehende Lkw reduziert wird. Wird keine Rettungsgasse gebildet, die die Einsatzfahrzeuge des Winterdienstes nutzen können, stehen auch diese im Stau. Die gelben Rundumleuchten der Einsatzfahrzeuge zeigen dabei erfahrungsgemäß keine oder nur eine geringe Wirkung auf die Verkehrsteilnehmer, so dass häufig ein Einsatz der Polizei notwendig wird, um eine Gasse für die Räumfahrzeuge zu bilden. Kritisch hierbei sind zwei Punkte: Erstens wird



dadurch wertvolle Zeit für den Räumeeinsatz verloren und zweitens ist ein Einsatz der Polizei häufig praktisch nicht möglich, da diese infolge eines erhöhten Unfallaufkommens nicht zur Verfügung steht. [Cypra et al. 2006]

Einige Bundesländer nutzen deswegen die Möglichkeit, ein Fahrzeug (meist das des Einsatzleiters) oder mehrere Fahrzeuge mit blauen Blinklichtern und Einsatzhorn mittels Ausnahmegenehmigung nach § 70 StVZO auszustatten. Aufgrund praktischer Erfahrungen ist dies als sehr wirkungsvolle und kostengünstige Lösung anzusehen, damit schnell die erforderliche Gasse gebildet wird und so zu einer zügigeren Auflösung des Staus durch Beseitigung der Schneeglätte beigetragen werden kann. Wichtig ist hier jedoch eine korrekte Benutzung der Warnsignale und dass diese ausschließlich im Ausnahmefall angewendet werden. [Cypra et al. 2006]

Zusätzliches Einsatzfahrzeug

Aus den Randbedingungen des jeweils zu betreuenden Straßennetzes einer Meisterei und unter Berücksichtigung einer möglichst ganzjährigen Auslastung des Fuhrparks ergibt sich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Fahrzeuge. Beim Einsatz unter Vollast kann es dazu kommen, dass die geforderten Umlaufzeiten nach [BMVI 2021] überschritten werden. Durch den Einsatz eines zusätzlichen Einsatzfahrzeuges kann dies ggf. vermieden werden. Dieses Ziel kann über verschiedene Ansätze verfolgt werden. Zum Beispiel kann das Fahrzeug standardmäßig in die Räum- und Streupläne integriert werden, entweder mit fester Route oder mit einem definierten Einsatzbereich (z. B. Räumen der AS oder Rastanlagen). Des Weiteren kann das Fahrzeug als sogenannter „Springer“ flexibel eingesetzt werden. Je nach vorhandener Situation kann der Einsatzleiter entscheiden, wo das Fahrzeug eingesetzt werden soll (z. B. wenn ein anderes Einsatzfahrzeug im Stau gebunden ist). Vorteilhaft hierbei ist zudem, dass defekte Fahrzeuge auf diesem Weg kompensiert werden können. Zuletzt kann ein zusätzliches Fahrzeug dazu eingesetzt werden, um neuralgische Abschnitte intensiver und/oder schneller zu betreuen. [Cypra et al. 2006]

Grundsätzlich kann das Fahrzeug ein meistereieigenes Fahrzeug sein oder das Fahrzeug eines Fremdunternehmers, jedoch sind meistereieigene Fahrzeuge flexibler und i. d. R. schneller einsetzbar. Hierfür müssen jedoch ausreichend große Personalkapazitäten zur Verfügung stehen. Der volkswirtschaftliche Nutzen ist nach [Cypra et al. 2006] als positiv zu werten.

Winterdienstzentrale (WDZ)

Nach [Rauch-Liebich 2015] hat sich die Einrichtung von WDZ bewährt, die die einzelnen Meistereien unterstützen sollen. Dies geschieht durch eine zentrale Sammlung von winterdienstrelevanten Informationen (durchgängige Überwachung der Wetterentwicklung und des Straßenzustandes) sowie deren Interpretation durch geschultes Personal. Die Meistereien werden mit den notwendigen Informationen versorgt, notwendige Maßnahmen sollen damit frühzeitig eingeleitet werden können. In der Praxis ist die WDZ während der Wintermonate durchgehend besetzt, die AM richten auf Empfehlung der WDZ bei Bedarf eine Rufbereitschaft ein und bereiten die Fahrzeuge für einen potenziellen Einsatz vor. Neben der Auslösung von Einsätzen gibt die WDZ Empfehlungen zu Umfang und Schwerpunktbildung des anstehenden Einsatzes ab. Dadurch wird eine höhere Qualität der relevanten Informationen erreicht, letztendlich bleibt die Entscheidungskompetenz der AM aber vollumfänglich erhalten. [FGSV 2007] [Cypra et al. 2006]



Ein großer Vorteil einer WDZ ist, dass der Winterdienst meistereiübergreifend organisiert werden kann, was insbesondere bei starken, langanhaltenden Schneefallereignissen Vorteile bringt. Sind nicht alle AM gleichermaßen betroffen, kann die WDZ beispielsweise Fahrzeuge, Geräte und Personal auf die Abschnitte der betroffenen AM verlagern und so Engpässe ausgleichen. Des Weiteren können angrenzende Streckenabschnitte von einer benachbarten, bereits im Einsatz befindlichen Meisterei vorübergehend betreut werden, bis die zuständige AM einsatzbereit ist. Ein weiterer Vorteil ist die Koordinierung von Spezialgeräten, die von mehreren Meistereien gemeinsam genutzt werden, z. B. Schneeräummaschinen. [Cypra et al. 2006]

Betriebsumfahrten

„Bei Autobahnen haben Betriebsumfahrten eine hohe sowohl betriebliche als auch wirtschaftliche Bedeutung. Für den Straßenbetriebsdienst bieten Betriebsumfahrten die Möglichkeit, auch zwischen weit auseinander liegenden Anschlussstellen zu wenden und schneller den zu betreuenden Autobahnabschnitt zu erreichen.“ [Cypra et al. 2006] Dies gilt generell ganzjährig für den Straßenbetriebsdienst, aber insbesondere im Winterdienst bieten Betriebsumfahrten Vorteile. Zum einen können hierdurch generell Leerfahrten vermieden werden, zum anderen können neu-ralgische Abschnitte ggf. besser betreut werden oder Einsätze flexibler gestaltet werden. [Cypra et al. 2006]

In [Cypra et al. 2006] wurden hierzu entwurfstechnische Hinweise erarbeitet. Insbesondere bei Wintern mit vielen Räum- und Streueinsätzen zeigen sich sowohl volkswirtschaftliche als auch betriebswirtschaftliche Vorteile.

Streumenge und Umlaufzeiten

[Hess et al. 2016] haben unter anderem untersucht, wie die Vorgaben des Technischen Regelwerks in der Praxis umgesetzt werden. Sowohl bei Räum- und Streueinsätzen auf OPA-Belägen als auch bei anhaltendem Schneefall wird tendenziell eine geringere Streumenge ausgebracht und die Umlaufzeiten werden verkürzt. Da diese Aussagen nur auf der Auswertung weniger Einsätze beruhen, wurde seitens der Autoren empfohlen, die Beobachtungen durch weitere Untersuchungen zu validieren, um dies bei erfolgreicher Validierung in das Technische Regelwerk zu übernehmen. Dies würde dann eine Prüfung der Fahrzeug- und Geräteausstattung der betroffenen Meistereien bedingen. Neben einer Erhöhung der Anzahl an Fahrzeugen und Geräten in der AM könnten zur Verkürzung der Umlaufzeiten auch folgende Maßnahmen dienen: Auflösung von Räumstaffeln, Verlagerung von Fahrzeugen (die z. B. die Betreuung der AS übernehmen oder die aufgrund der topografischen Lage des zugeteilten Streckennetzes dort nicht in derselben Intensität betreuen müssen) oder Verkürzung von Touren. [Hess et al. 2016] Zusammengefasst wäre es also sinnvoll, die Einsatzplanung, insbesondere die Räum- und Streupläne, differenzierter auszuarbeiten, um flexibel auf verschiedene Winterereignisse reagieren zu können.

Berge- und Abschleppkonzepte

[Kitajou et al. 2018] beschreiben eine Strategie zur Vermeidung liegengeliebener Lkw an Steigungsstrecken. Im Zulauf der Steigungsstrecken werden zum einen Standflächen für Winterdienstfahrzeuge angelegt und ausgewiesen, die dort dann in Bereitschaft stehen können. Zum anderen werden hier Flächen zur Evakuierung von Fahrzeugen geschaffen.



Ein ähnliches Vorgehen zur Bereitstellung von Abschleppdiensten findet sich bei der ASFINAG in Österreich. Während externe Abschleppunternehmen dort bereits in der Vergangenheit bei entsprechender Wetterprognose in Bereitschaft versetzt wurden, jedoch noch einen Anfahrtsweg hatten, konnten in den 2010er Jahren gute Erfahrungen damit gemacht werden, Abschleppfahrzeuge gleich im Autobahnnetz „kreisen“ zu lassen. Nach [Maier-Farkas 2015] konnte damit die Problematik mit hängengebliebenen und querstehenden Lkw deutlich entschärft werden, da diese Lkw schneller entfernt werden konnten, was zu einer Staureduzierung führte und die Verfügbarkeit des Streckennetzes erhöhte. [Maier-Farkas 2015]

In Deutschland ist diese Vorgehensweise aus der Literatur nicht bekannt. Generell sind nach § 44 Abs. 1 StVO die Straßenverkehrsbehörden zur Ausführung der StVO zuständig. § 44 Abs. 2 StVO regelt den Einsatz und die Befugnisse der Polizei an Stelle der zuständigen Behörden tätig zu werden im Falle, dass Gefahr im Verzug ist. [StVO 2021] Als Beispiele für Gefahr im Verzug werden in [BMVBS 2017] Schadenstellen, Unfälle und unvorhergesehene Verkehrsbehinderungen genannt. Hier *„... ist es Aufgabe der Polizei, auch mit Hilfe von Absperrgeräten und Verkehrszeichen den Verkehr vorläufig zu sichern und zu regeln.“* Die Polizei ist nach dem Polizeigesetz des jeweiligen Bundeslandes zur ‚unmittelbaren Ausführung einer Maßnahme‘ berechtigt (z. B. § 8 Abs. 1 PolG oder Art. 9 Abs. 1 PAG). Verursacher sind grundsätzlich zum Ersatz verpflichtet, falls der Polizei durch die unmittelbare Ausführung einer Maßnahme Kosten entstehen (z. B. § 8 Abs. 2 PolG oder Art. 9 Abs. 2 PAG). [Bayerische Staatskanzlei 1990; MIDM BW 1992]

2019 schuf Bayern die rechtlichen Grundlagen für *„das Anbieten und Bereitstellen von Hilfeleistungen durch private Hilfsdienste sowie das Patrouillieren auf der Fahrbahn und das Bereitstellen in Anschlussstellen oder sonstigem Straßengrund ...“* [STMI & STMB 2019] Zudem wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen dafür geschaffen, dass sich die beauftragten Unternehmen nicht rechtswidrig verhalten müssen (z. B. beim Rückwärtsfahren, Benutzen von BU), um ihrer Aufgabe nachgehen zu können. [STMI & STMB 2019]

Winterdienststeuerung durch Echtzeitdarstellung

Die Automatische Einsatzdatenerfassung (AEDE) wird in mehreren Bundesländern genutzt, wenn auch teilweise nicht flächendeckend. Teil einer AEDE sind zum einen die satellitenbasierte Bestimmung der Position der Einsatzfahrzeuge mittels z. B. Global Positioning System (GPS), zum anderen die Erfassung verschiedener Parameter (Pflugstellung, Streumenge etc.) mittels verschiedener Sensoren, die aufgezeichnet und in Echtzeit oder zeitverzögert zur Einsatzzentrale/Meisterei übertragen werden. Diese Technik wird beispielsweise auch in Österreich für eine optimierte Steuerung der Einsätze im Winterdienst genutzt. Hierbei kann der Einsatzleiter der AM die Einsatzfahrzeuge im Streckennetz lokalisieren und diese über Zusammenführung mit den Daten der SWS effizienter einsetzen und steuern. Über die GPS-Ortung der Fahrzeuge werden in Österreich des Weiteren die Umlaufzeiten für einzelne, vorher definierte Räumabschnitte gemessen. Bei Abweichungen wird der Einsatzleiter informiert und kann zeiteffizient organisatorisch eingreifen. Zugleich kann sichergestellt werden, dass die Qualitätsanforderungen eingehalten sind. [Maier-Farkas 2015]

Auch im Bundesland Bayern wurde ein ähnliches Konzept im Rahmen des WDMS-BY umgesetzt. Hierbei sind die Winterdiensteinsätze in Echtzeit (alle 2 Minuten werden die Daten übermittelt) für den Einsatzleiter einsehbar. Detaillierte Informationen zur Tätigkeit (Räumen/Streuen), Richtung des Fahrzeugs auf der Route und bereits betreute Streckenabschnitte



werden dabei lediglich der eigenen Meisterei übermittelt. Die Einsatzleiter erhalten somit eine schnelle Übersicht über den laufenden Einsatz und können bei Bedarf frühzeitig eingreifen. Nachbarameistereien erhalten lediglich aggregierte Daten. Aufgrund der hohen Anforderungen an den Datenschutz werden Echtzeitdarstellungen allerdings nur in Absprache mit dem örtlichen Personalrat im WDMS-BY für die jeweilige Meisterei freigeschaltet. [Kordon 2017]

Öffentlichkeitsarbeit

Zu den Aufgaben der öffentlichen Verwaltungen und Betriebe kommt immer stärker die Öffentlichkeitsarbeit hinzu. Auf verschiedenen Wegen sollen dabei die Akzeptanz und das Verständnis für die Tätigkeiten im Straßenbetriebsdienst kommuniziert werden. [Morlock 2017] Als besonders wichtig im Bereich Winterdienst ist ein frühzeitiges Werben für die richtige Ausrüstung und Fahrweise im Winter vor dem ersten Wintertag. Je mehr Verkehrsteilnehmer, insbesondere Lkw-Fahrer, entsprechend sensibilisiert und ihre Fahrzeuge ausgerüstet sind, desto geringer scheint das Risiko eines Verkehrszusammenbruchs infolge liegengebliebener Fahrzeuge. Ein Verständnis für die Arbeit der Straßenwärter im Winterdienst kann der Akzeptanz der Einsätze dienen.

Z. B. die österreichische ASFINAG setzt dabei verstärkt auf soziale Medien (Facebook, Twitter, etc.), ergänzt durch eine ansprechende und übersichtliche Website und einen Blog, in dem Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen verschiedene Themen vorstellen. Daraus hat sich zudem eine Art Kommunikationsplattform mit den Kunden entwickelt. [Maier-Farkas 2019] Derzeit sind jedoch keine Untersuchungen dazu bekannt, wie sich die Qualität der Öffentlichkeitsarbeit quantitativ auswirkt.

Parkraummanagement für Lkw

Wie mehrfach beschrieben gibt es insbesondere Probleme mit Lkw bei andauerndem Schneefall und daraus resultierender Schneeglätte. Unterstützend zu temporären Fahrverboten bzw. in Kombination mit diesen kann ein Parkraummanagement für Lkw zielführend sein, wie es beispielsweise in Ungarn eingeführt wurde. Werden hierbei Informationen zur Belegung erhoben und via variable Verkehrszeichen und/oder über andere Wege übermittelt, kann dazu beigetragen werden, die Anzahl der Lkw vor kritischen Streckenabschnitten zu reduzieren. [PIARC 2018]

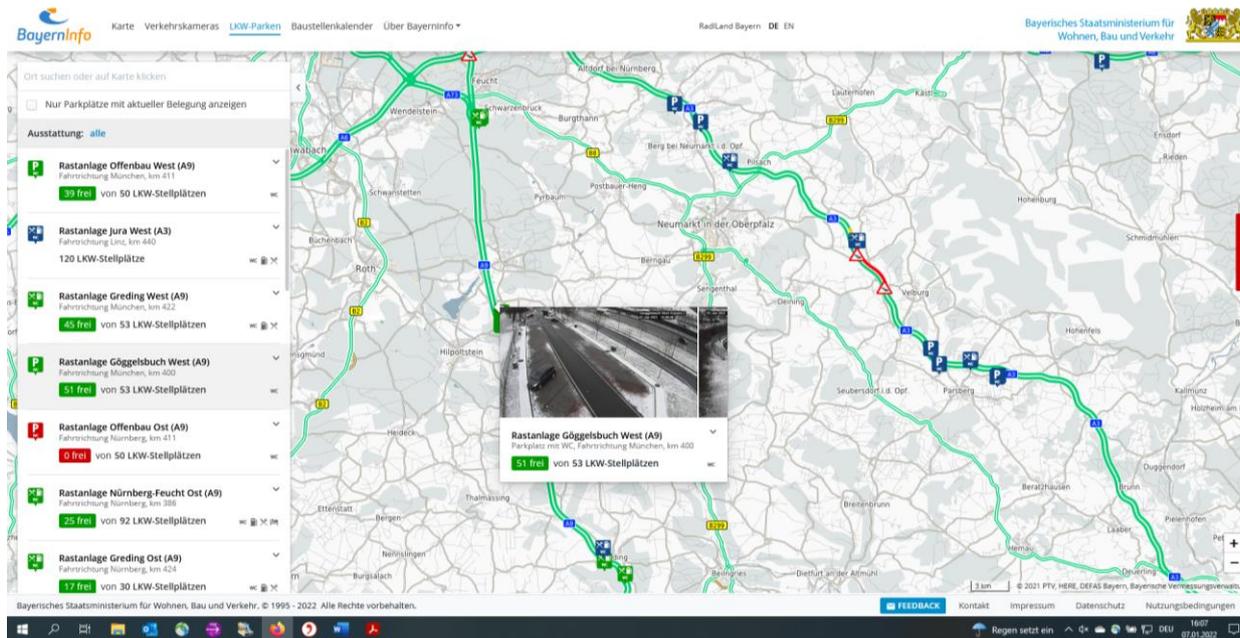


Bild 7: Information zu Lkw-Parkplätzen an Autobahnen am Beispiel Bayern [BYSTMWBV 2022]

In Deutschland werden beispielsweise in Bayern der Belegungsgrad der Lkw-Parkplätze an den Autobahnen erfasst. Die Informationen sind frei im Internet über das Portal BayernInfo abrufbar (s. Bild 7).

2.3.4 Technische Ansätze

Taumittelsprühanlagen (TMS)

Nach [BMVI 2021] steht bei starkem, langanhaltendem Schneefall die Befahrbarkeit der Richtungsfahrbahnen im Vordergrund, jedoch dürfen zumindest die wichtigen Rampen in Anschlussstellen und Knotenpunkten in der Einsatzplanung nicht vernachlässigt werden. Hier kann die Installation und der Einsatz von TMS unterstützend wirken, indem diese zur präventiven Streuung ausgelöst werden, um den gefallenen Schnee räumfähig zu halten, während die Hauptfahrbahn betreut wird. Allerdings sind hier witterungsbedingte Probleme im Winter nach [Roos et al. 2011] eher seltene Ereignisse, so dass von einem geringen volkswirtschaftlichen Nutzen ausgegangen wird. Je nach Lage und örtlichen Randbedingungen kann die Maßnahme jedoch grundsätzlich in einen Abwägungsprozess für geeignete Maßnahmen des Winterdienstes einer spezifischen Meisterei einbezogen werden.

Winterbaustellen sind, wie eingangs beschrieben, neuralgische Punkte im Streckennetz. Bei einer 3+1-, 5+1- oder 6+2-Führung sind für diese neben der Problematik mit eingeschränkten Querschnitten ein Mehraufwand in der Betreuung aufgrund der geteilten Richtungsfahrbahn zu nennen. Hier kann der unterstützende Einsatz von mobilen TMS sinnvoll sein. In Kombination mit dem standardmäßigen Winterdienstesinsatz können diese Abschnitte so zu einem früheren Zeitpunkt betreut werden (beispielsweise bereits durch Auslösung der TMS bei Betreuung der Gegenfahrbahn). Bei starken Schneefällen kann so der Schnee länger räumfähig gehalten werden, bis der eigentliche Räum- und Streueinsatz durchgeführt wird. [Cypra et al. 2006]



Wie in Kapitel 2.1.2 ausgeführt, neigen insbesondere Brücken zu einer früheren Vereisung. Hier zeigt sich auch eine höhere Anfälligkeit gegenüber schnellen Temperaturwechseln. Eine Möglichkeit die Situation zu verbessern und die Häufigkeit der Einsätze im Winterdienst zu reduzieren, ist die Installation und der Betrieb von TMS. Nach [Roos et al. 2011] haben TMS Vorteile bei präventiven Einsätzen, jedoch ersparen sie nicht das Räumen und Streuen bei Schneefall, insbesondere wenn dieser stark und langanhaltend ist. Hier kann, wie von der präventiven Streuung bekannt, jedoch die Räumfähigkeit des Schnees verbessert bzw. erhalten werden. Im Merkblatt für Planung, Bau und Betrieb von Taumittelsprühanlagen wird nur der Schneefall geringer Ergiebigkeit als Einsatzbereich genannt. *„TMS können dazu beitragen, frisch gefallenen Schnee bis zum Eintreffen der Schneepflüge räumfähig zu halten und damit die Räumarbeit leichter und effektiver zu machen.“* [FGSV 2009]

TMS auf Brücken sind jedoch aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht umstritten, da sie einerseits bei Einrichtung und Betrieb teuer sind, andererseits das Streumittel die Lebensdauer der Brücke durch erhöhtes Korrosionsrisiko senkt und die Umwelt belastet. [Eilers et al. 2020; Feldmann et al. 2012] Allerdings bringt auch ein konventionell durchgeführter Streueinsatz die Problematik des erhöhten Korrosionsrisikos und der Umweltbelastung mit sich. Die Methodik zur Bedarfsermittlung, zur Kosten-Nutzen-Abschätzung und zur Wirksamkeitskontrolle ist in [FGSV 2009] umfassend beschrieben. Es gibt derzeit jedoch keine Untersuchungen zu TMS auf Brücken oder anderen besonderen Streckenabschnitten, die zeigen, ob und unter welchen Randbedingungen diese im Vergleich bzw. in Ergänzung zum Einsatz von Winterdienstfahrzeugen mit FS30 oder FS100 ökologisch und ökonomisch sinnvoll sind.

Hochleistungsfahrzeuge

Eine Möglichkeit Räumereinsätze zu optimieren, ist der Einsatz von Hochleistungsfahrzeugen, die zusätzlich zum Frontpflug mit einem sogenannten Kehrblass-Aggregat ausgerüstet sind. Dieses wird im Zwischenachsbereich des (speziellen) Lkw angeordnet und besteht aus einer großen, rotierenden Bürste und einem Gebläse. Diese Fahrzeuge wurden ursprünglich für den Einsatz auf Flughäfen mit dem Ziel entwickelt, die Räumgeschwindigkeit zu erhöhen und eine verbesserte Räumqualität zu erreichen (Schwarzräumung). Ein umgebauter Prototyp wurde erstmals 1987 in der Schweiz eingesetzt, weitere folgten. Weitere Fahrzeuge waren auch in Russland und Griechenland im Einsatz. [Cypra et al. 2006]

Die wissenschaftliche Begleitung zweier Pilotversuche in Deutschland ergab, dass die Räumgeschwindigkeiten deutlich erhöht werden können und dadurch kürzere Umlaufzeiten möglich sind. Auch wurde festgestellt, dass die Räumqualität entscheidend verbessert wird. Dies wird insbesondere auf neuralgischen (staukritischen) Streckenabschnitten als großer Vorteil gewertet, da die Gefahr eines winterbedingten Staus reduziert wird. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigte jedoch auch, dass sich jährliche Mehrkosten von ca. 180.000 € je Fahrzeug im Vergleich zu einem Standard-Winterdienstfahrzeug ergeben. Wird diesen Mehrkosten der volkswirtschaftliche Nutzen durch eine Reduzierung von Staus und Unfällen gegenübergestellt, bleibt festzuhalten, dass die Fahrzeuge nicht für einen flächendeckenden Einsatz in Frage kommen, an neuralgischen Streckenabschnitten jedoch ihre Vorteile ausspielen können. Negativ zu betrachten ist, dass die Fahrzeuge ggf. Schwierigkeiten haben, im Staufall durch eine Rettungs-/ Räumgasse zu fahren. Dies muss bei der Einsatzplanung meistereiübergreifend berücksichtigt werden. Weitere Empfehlungen der Studie sind der Einsatz als Räumstaffel sowie eine zukünftig stärkere Modifizierung der Geräte auf die Straßeninfrastruktur. [Cypra et al. 2006]



Im Falle von anhaltendem Schneefall ist zu überprüfen, inwiefern sich durch den Einsatz der Fahrzeuge Vorteile gegenüber einem Standard-Einsatzfahrzeug ergeben, da hier die Fahrbahn schnell wieder mit Schnee bedeckt ist.

Temperierung der Sole

Die ursprüngliche Idee einer Temperierung der Sole entstand in Italien, um die exothermen Eigenschaften von Calciumchlorid-Lösungen zu nutzen. Dabei kann die Salzlösung durch einfaches Hinzufügen von Calciumchlorid in Form von Schuppen oder Kristallen in einen gefüllten Wassertank auf dem Einsatzfahrzeug hergestellt werden und erreicht je nach Reinheitsgrad Temperaturen von über 55 °C. Mittels einer speziellen Sprühvorrichtung kann die Sole sowohl konventionell aufgesprüht werden als auch mit erhöhtem Druck (7 bar), um Eis und Schnee durchschneiden zu können. [Christillin 2011]

Ein ähnliches Fahrzeug (ähnlich dem ursprünglichen Prototypen aus Italien) kommt in Österreich (Stand 2015) in einer Meisterei zum Einsatz. Hier werden wie in Italien die exotherme Reaktion der (direkt im Tank) hergestellten Sole sowie ein auf 7 bar erhöhter Sprühdruck genutzt. Dieser Solesprühaufbau wird lediglich im Bedarf anstelle der Streumaschine innerhalb von 10 min am Einsatzfahrzeug montiert. Der Lkw ist ansonsten ein gängiges Winterdienstfahrzeug mit Front- und Seitenpflug und wird auch in Räumstaffeln eingesetzt. *„Durch die Kombination der thermischen, mechanischen und chemischen Reaktion entsteht eine verbesserte Tauleistung. Das Fahrzeug kommt an ca. 20 Schneefalltagen im Jahr zum Einsatz.“* [Maier-Farkas 2015]

Während der vergangenen Winter wurde ein ähnlicher Fahrzeugtyp auch im niederländischen Straßennetz eingesetzt und erprobt. Nach mehreren Evolutionsschritten kommt derzeit ein Fahrzeug zum Einsatz, das drei Arten der Schneeräumung und Enteisung kombiniert. Dabei wird ein Frontpflug in Kombination mit einer rotierenden Bürste eingesetzt. Als drittes Werkzeug sind die Fahrzeuge mit einem Sprühsystem ausgestattet, welches die Calciumchlorid-Lösung zusätzlich zur exothermen Reaktion aktiv auf rund 90 °C erhitzt und mit Hochdruck auf die Fahrbahn sprüht. Bei normalem Druck können damit drei Fahrstreifen besprüht werden, bei Hochdruck (16 bar resp. 50 bar) jeweils nur ein Fahrstreifen. Dabei können auch dicke Eisschichten zerschnitten werden und die aufgebrachte Sole wirkt sowohl von der Ober- als auch von der Unterseite. [Donker 2018]

Temperierung der Fahrbahn

Aufgrund der Umweltbelastung durch Tausalze und deren korrosiven Wirkung wurde ein weiterer Ansatz entwickelt [Feldmann et al. 2012], der in einem Pilotprojekt angewendet und untersucht wurde [Eilers et al. 2020]. Dabei wird die Fahrbahn mittels externer Energiezufuhr temperiert, diese stammt vorzugsweise aus Geothermie. Dies kann einen Beitrag dazu leisten, Reif- oder Eisglätte zu verhindern und damit präventive und teilweise kurative Einsätze des Winterdienstes zu vermeiden. Auch bei Schneefall und mäßigem Frost reicht die Erwärmung der Fahrbahn nach [Mackert et al. 2016] aus, die Fahrbahn schnee- und eisfrei zu halten. Physikalisch bedingt reicht das System nicht aus, um die Oberfläche auch bei starkem Schneefall schnee- und eisfrei zu halten, da in diesem Fall ein erhöhter Kälteeintrag in die Fahrbahn erfolgt. [Mackert et al. 2016] Es ist zu vermuten, dass das System bei starkem, langanhaltenden Schneefall jedoch zumindest die Räumfähigkeit des Schnees begünstigt, auf Räum- und Streueinätze des Winterdienstes jedoch nicht verzichtet werden kann.



Neben dem Einsatz auf Strecken und Bauwerken, die zu einer früheren Glättebildung neigen, kann es auch auf Streckenabschnitten, die durch sensible Bereiche der Umwelt führen, sinnvoll sein, eine Temperierung der Fahrbahn anzustreben. [Oeser et al. 2019] haben untersucht, wie eine solche Temperierung technisch umsetzbar ist. Im Ergebnis wurde ein Gesamtsystem entwickelt, welches zukünftig auf dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal der Bundesanstalt für Straßenwesen (duraBAST) praktisch erprobt werden soll. Die zur Temperierung notwendige Energie wird durch ein erdwärmebasiertes Wärmepumpensystem bereitgestellt und verspricht auch im Sommer Vorteile. In den Wintermonaten soll Erdwärme entnommen werden, in den Sommermonaten soll Wärme von der Fahrbahnoberfläche in den Boden zurückgeführt werden. Ganzheitlich betrachtet soll dies die Nutzungsdauer der Verkehrsfläche verlängern, da Temperaturschwankungen zwischen den Jahreszeiten verringert werden. [Oeser et al. 2019] In Bezug auf den Winterdienst ergäbe sich ein Ersparnis sowohl an Tausalz als auch an Einsätzen, auf eine präventive Streuung könnte im besten Fall verzichtet werden. Bei Räum- und Streueinsätzen im Zuge starker, langanhaltender Schneefälle wäre es tendenziell möglich, diese Streckenabschnitte in der Räum- und Streuplanung später zu betreuen, da der fallende Schnee später liegen bleibt und länger räumfähig bleiben sollte.

Ähnliche Ansätze für eine Temperierung der Fahrbahn mittels Geothermie, Sonnenenergie o. ä. gibt es auch in Island, Japan und China. Des Weiteren gibt es Ansätze der Deckschicht beim Einbau spezielle Materialien zuzusetzen, die beim Überfahren bzw. auf Druck mit der Generierung von Wärme reagieren. Jedoch sind diese Materialien unverhältnismäßig teuer, die Unterhaltung der Straßen ist schwierig und durch Alterung lässt der Effekt mit der Zeit nach. [PIARC 2018]



3. Aktuelle Erfahrungen

3.1 Online-Umfrage

3.1.1 Übersicht

Für eine bundesweite Erhebung zu den Einsatzerfahrungen bei starken bzw. langanhaltenden Schneefällen sowie innovativen bzw. standarderhöhenden Maßnahmen technischer oder organisatorischer Art in der Praxis wurde eine Online-Umfrage bei allen AM sowie SAM erarbeitet. Die Befragung bei den Meistereien erfolgte im Zeitraum Februar bis April 2020. Es wurden Rückmeldungen bis einschließlich 30. April 2020 berücksichtigt. Im Rahmen der Umfrage wurden die Themen vorhandene Ressourcen, Einsatzplanung, innovative Maßnahmen zur Verbesserung, kritische Witterungssituationen (Dauer, Intensität, Ausdehnung) und kritische Randbedingungen (Verkehr, Topografie, Trassierung etc.) mit dem Fokus auf starke Schneefallereignisse abgefragt. Ziel war es, zum einen weitergehende Erkenntnisse über mögliche Problembereiche und besondere operative, verkehrslenkende oder technische Maßnahmen zu erlangen, zum anderen eine Grundlage für vertiefende Interviews zu schaffen, die im Nachgang durchgeführt wurden.

Der Fragebogen wurde in 4 Themenfelder aufgeteilt:

1. Fragegruppe: Allgemeine Angaben
2. Fragegruppe: Strecken- und Meistereicharakteristik
3. Fragegruppe: Wetterdienst- und SWIS-Prognosen
4. Fragegruppe: Besondere Maßnahmen im Winterdienst bei starkem Schneefall

Der gesamte Fragebogen befindet sich in Anhang 2.

Insgesamt wurden 178 AM (inkl. Öffentlich-Private-Partnerschaften, ÖPP-Projekte) ermittelt, wovon 121 Rückmeldungen eingingen. Dies entspricht einem Rücklauf von rund 68 %. Von 26 ermittelten SAM füllten 15 den Fragebogen aus, was einer Beteiligung von rund 58 % entspricht. Auf die Gesamtanzahl von AM und SAM (in Summe 204) bezogen belief sich die Rücklaufquote mit 136 ausgefüllten Umfragen auf 67 %.

3.1.2 Strecken- und Meistereicharakteristik

Fragen zur Strecken- und Meistereicharakteristik, wie Streckenlängen, Anzahl der Knotenpunkte, DTV, Anzahl Stützpunkte sowie Winterdienstfahrzeuge etc. dienten im Rahmen der Umfrage für eventuelle Rückschlüsse auf bestimmte Strecken- bzw. Meistereicharakteristiken. Im Folgenden sind die für die Fragestellung relevanten Ergebnisse als Übersicht zusammengestellt.

Winterdienststützpunkte

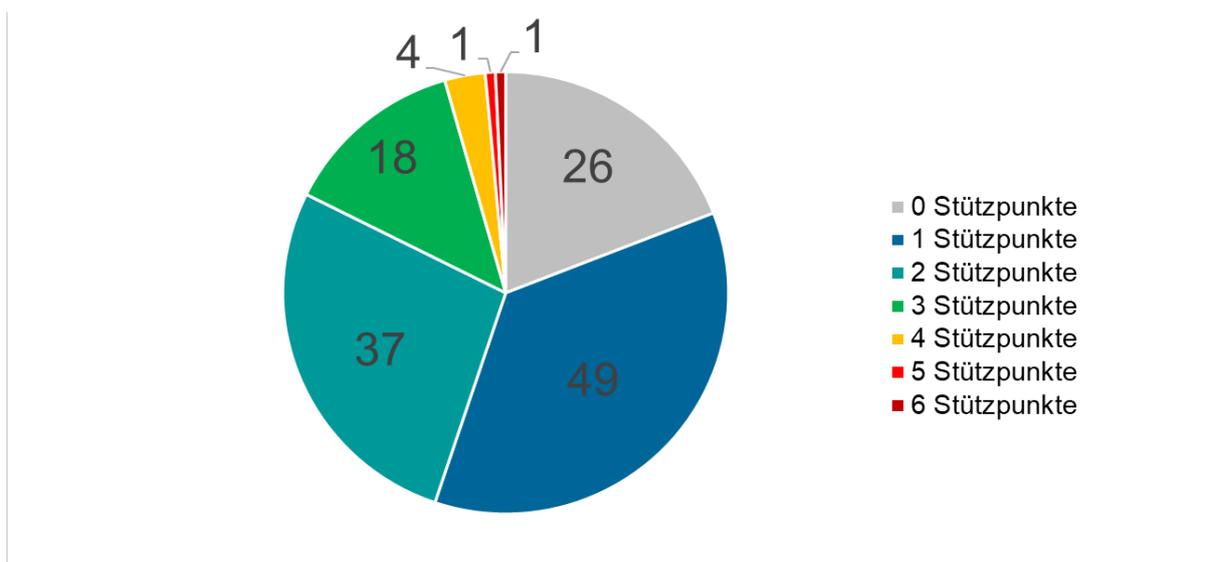


Bild 8: Verteilung der Anzahl der Stützpunkte je Meisterei

Rund 19 % (26) der Meistereien haben keine Winterdienststützpunkte, 63 % (86) der Meistereien haben 1 oder 2 Stützpunkte. Knapp 18 % (24) der Meistereien haben 3 oder mehr Stützpunkte, wovon lediglich rund 4 % 4 oder mehr Stützpunkte vorweisen (s. Bild 8). Es ist keine Korrelation zwischen Meistereityp und Anzahl der Stützpunkte zu erkennen. Die Anzahl erklärt sich aus Lage des Meistereigehöfts, topographischer Situation des Streckennetzes bzw. Betreuung von neuralgischen Streckenabschnitten. Die Ausstattung der Stützpunkte wurde nicht abgefragt.

Fahrzeug- und Geräteausstattung

Bild 9 und Bild 10 zeigen die Verteilung der mit Seitenpflügen bzw. überbreitem Frontpflug standardmäßig eingesetzten Fahrzeuge bei Räumeeinsätzen in den befragten Meistereien. Die Anzahl der Fahrzeuge beinhaltet auch den Einsatz von Fremdunternehmer-Fahrzeugen. Bei rund 30% der Meistereien sind Fahrzeuge mit solchen Ausstattungen standardmäßig nicht im Einsatz, ansonsten ist der Einsatz von Seitenpflügen verbreiteter als das Räumen mit überbreiten Frontpflügen.

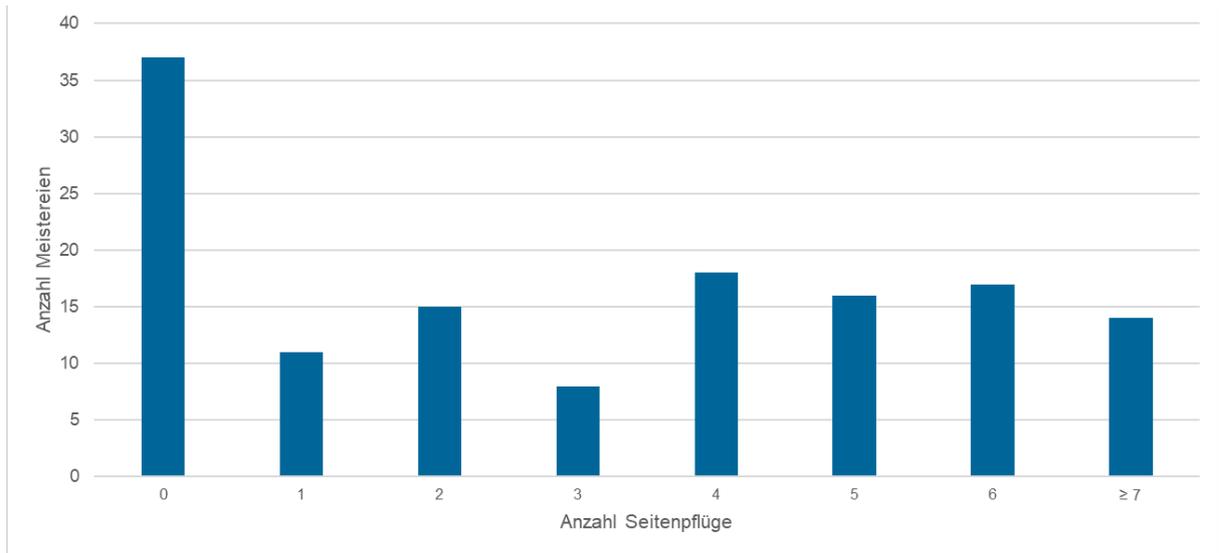


Bild 9: Anzahl der mit Seitenpflügen standardmäßig eingesetzten Fahrzeuge im Räumeeinsatz in den Meistereien

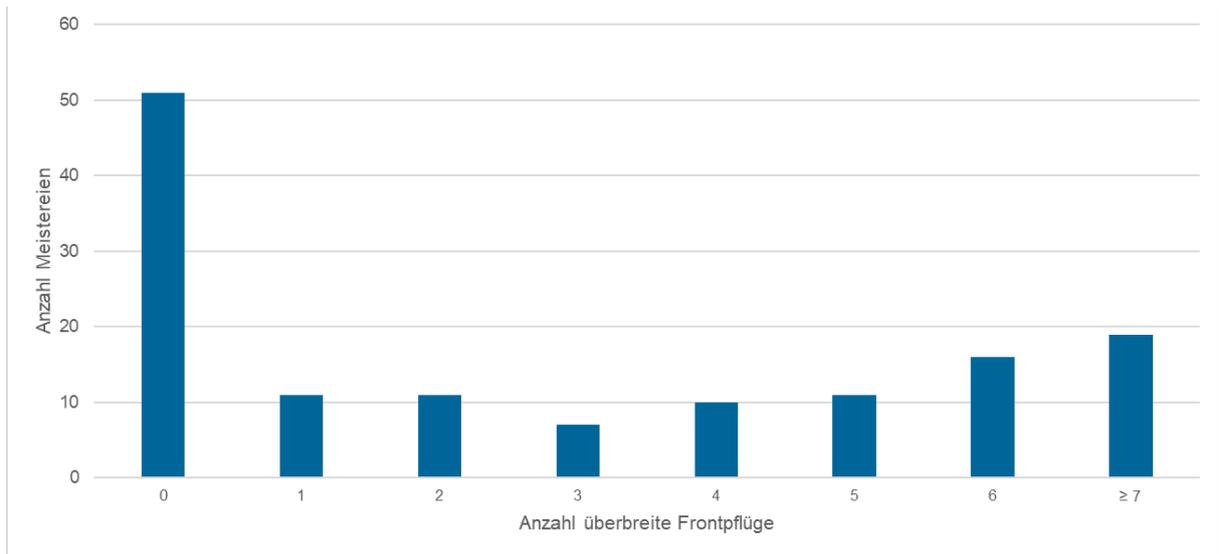


Bild 10: Anzahl der mit überbreitem Frontpflug standardmäßig eingesetzten Fahrzeuge im Räumeeinsatz in den Meistereien

In der Regel werden standardmäßig ein oder zwei Mehrzweck-Geräteträger beim Räumeeinsatz in den Meistereien eingesetzt (s. Bild 11). Knapp 15 % (20) der Meistereien gaben an, keine Mehrzweck-Geräteträger standardmäßig im Räumeeinsatz zu haben.

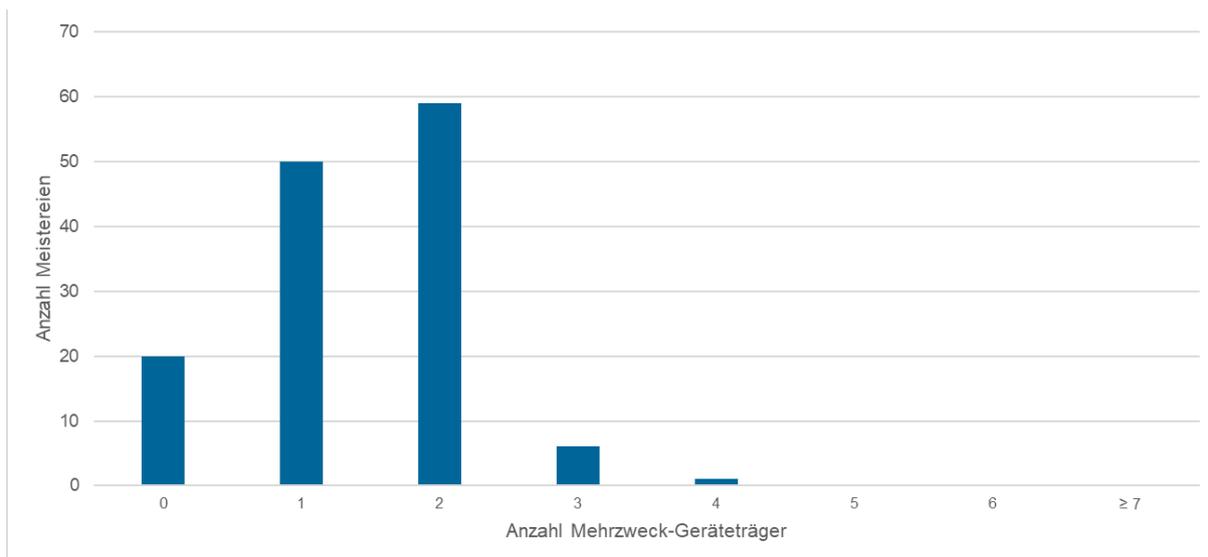


Bild 11: Anzahl der standardmäßig eingesetzten Mehrzweck-Geräteträger im Räumeeinsatz in den Meistereien

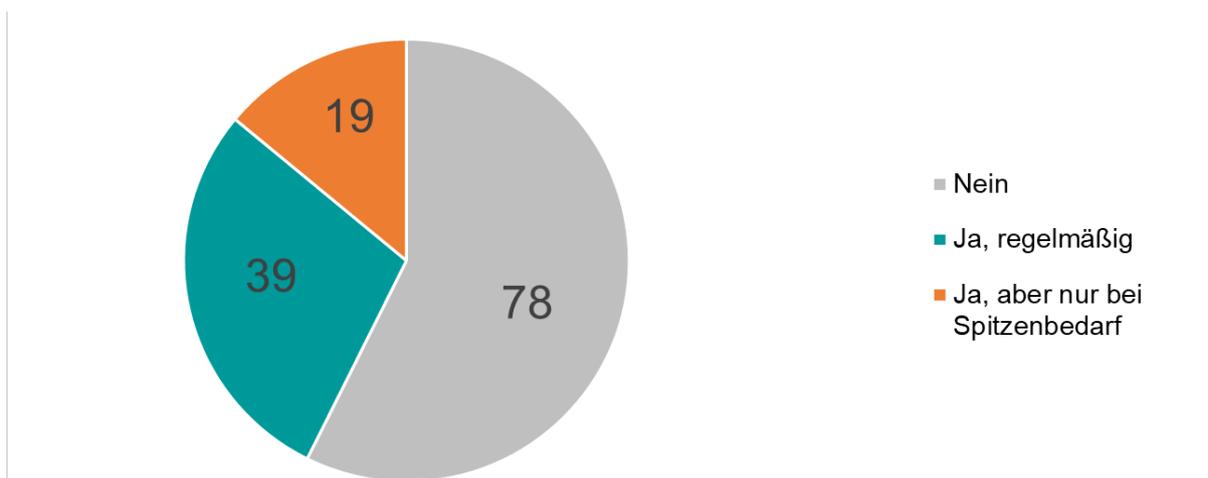


Bild 12: Einsatz von Fremdunternehmer-Fahrzeugen

Bild 12 zeigt, dass mehr als die Hälfte der Meistereien die Räumeeinsätze ausschließlich mit eigenen Fahrzeugen durchführen. Rund 29 % setzen regelmäßig Fremdunternehmer-Fahrzeuge im Winterdienst ein, während knapp 14 % der befragten Meistereien nur bei Spitzenbedarf Fremdunternehmer bei Räumeeinsätzen im Winterdienst zur Unterstützung einsetzen. Von den 39 Meistereien, die regelmäßig Fremdunternehmer-Fahrzeuge einsetzen, haben die meisten 2 Fahrzeuge von Fremdunternehmern zur Unterstützung im Räumeeinsatz (s. Bild 13). 5 und mehr Fremdunternehmer-Fahrzeuge neben den eigenen Fahrzeugen sind nur bei wenigen Meistereien im Einsatz. Die meisten Rückmeldungen dabei stammen aus Bayern und Schleswig-Holstein. Von den 19 Meistereien, bei denen Fremdunternehmer-Fahrzeuge nur bei Spitzenbedarf zum Einsatz kommen, sind in der Regel 1 oder 2 Fahrzeuge im Einsatz.

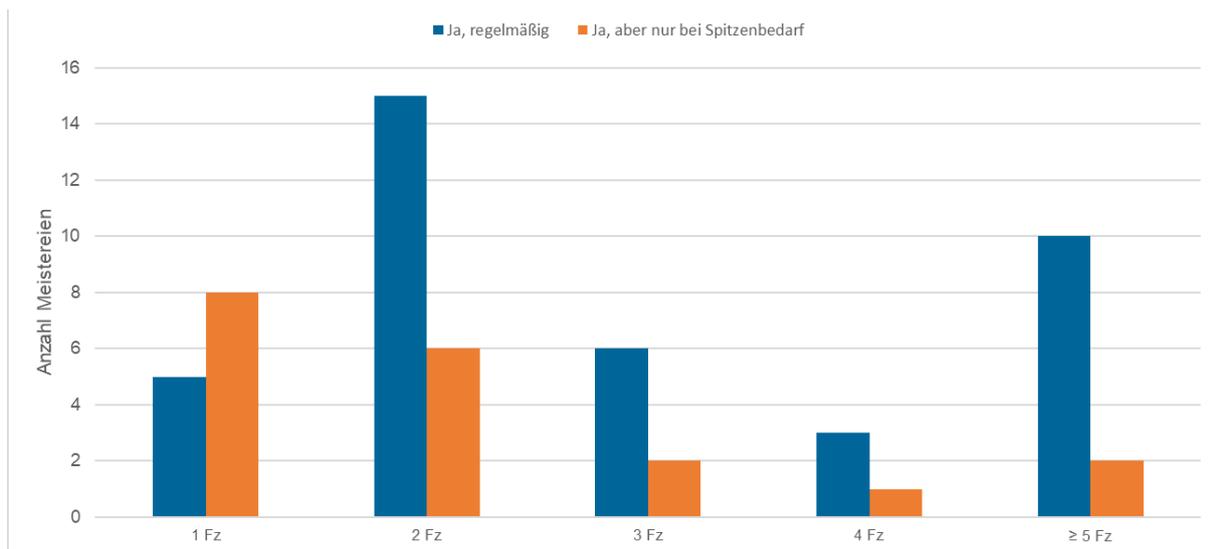


Bild 13: Anzahl der eingesetzten Fremdunternehmer-Fahrzeuge in den 39 Meistereien, die regelmäßig Fremdunternehmer-Fahrzeuge einsetzen

Bei der Frage nach dem Bestand von rotierenden Schneeräummaschinen (Schneeschildern, Schneefräsen und Frässhildern) gaben rund 35 % (48) der Meistereien an, keine Schneeräummaschine zu besitzen (s. Bild 14). Jedoch haben mit 46 % (63) fast die Hälfte aller Meistereien eine Schneeräummaschine. Rund 17 % (23) sind sogar mit 2 Schneeräummaschinen, 2 Meistereien sind mit 3 Schneeräummaschinen ausgestattet.

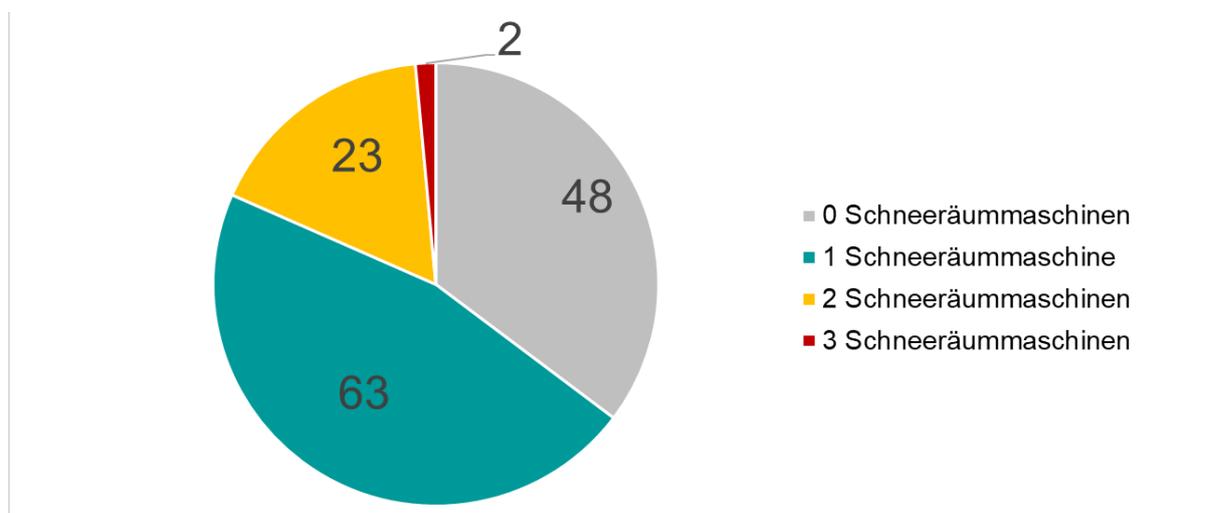


Bild 14: Bestand von Schneeräummaschinen je Meistereien

Neuralgische Streckenabschnitte

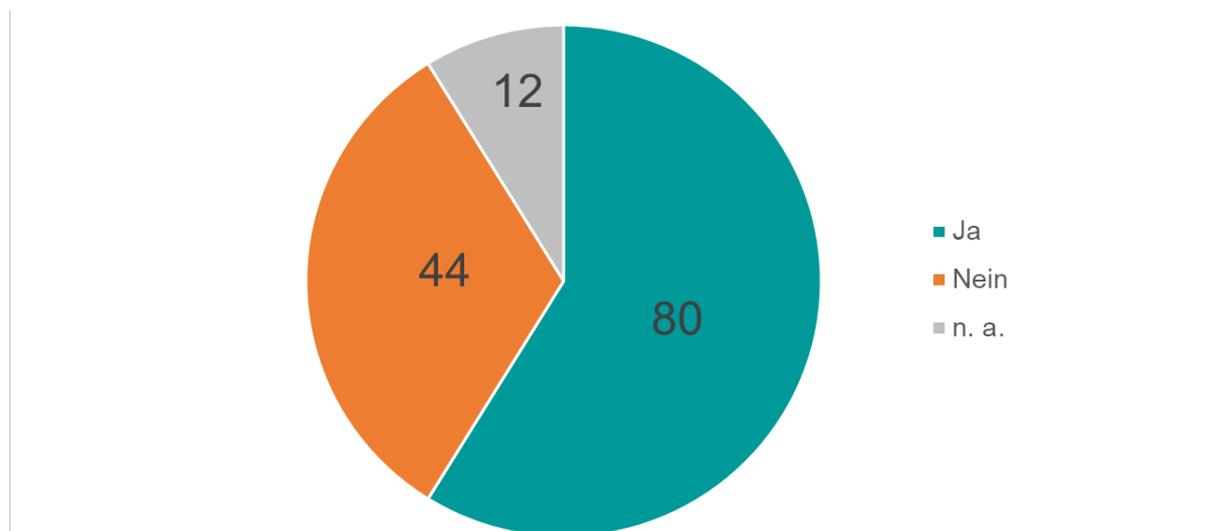


Bild 15: Anzahl der Meistereien mit neuralgischen Streckenabschnitten

Bei starken bzw. langanhaltenden Schneefällen kann es im Bereich von neuralgischen Streckenabschnitten häufig zu winterbedingten Verkehrsproblemen bis hin zum Verkehrszusammenbruch mit stundenlangen Stauereignissen kommen. Etwa 59 % der Meistereien gaben an, dass es in Ihrem Meistereigebiet neuralgische Streckenabschnitte gibt, die bei winterlichen Fahrbahnbedingungen durch Schneefall erhebliche Verkehrsprobleme verursachen (s. Bild 15). Bild 16 zeigt einen Überblick, welche Ursachen für die winterbedingten Verkehrsprobleme verantwortlich sind und wie schwerwiegend die dadurch ausgelösten Verkehrsprobleme bewertet werden (Mehrfachnennungen waren dabei möglich).

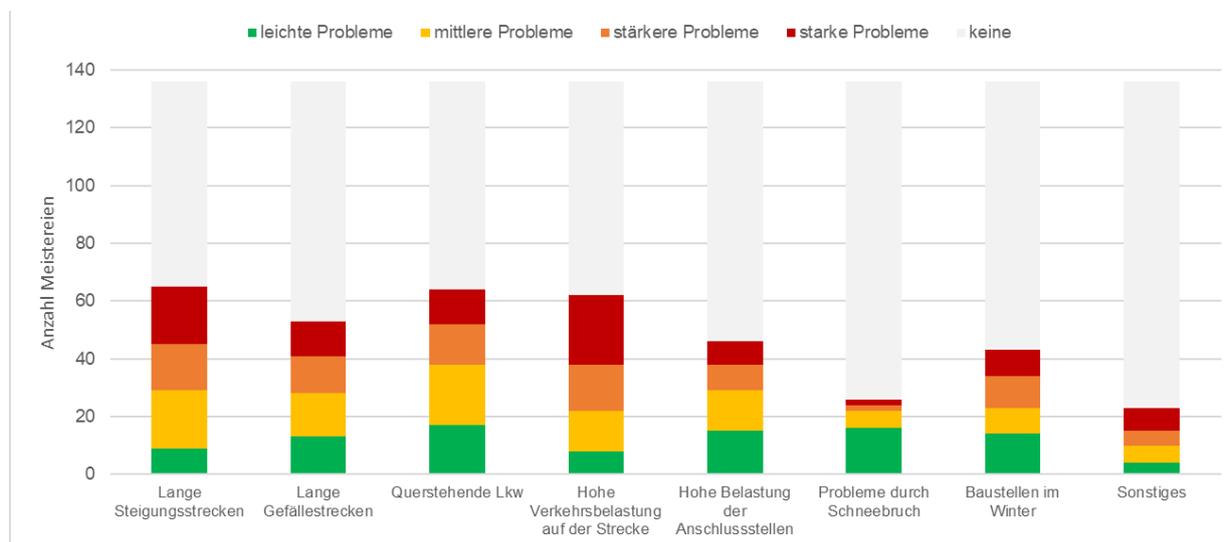


Bild 16: Bewertung der winterbedingten Probleme mit neuralgischen Streckenabschnitten

Die drei häufigsten Nennungen (jeweils über 60-mal) waren ‚Lange Steigungsstrecken‘, ‚Querstehende Lkw‘ und eine ‚hohe Verkehrsbelastung auf der Strecke‘. Eine ‚hohe Verkehrsbelastung auf der Strecke‘ wurde bei knapp 2/3 der Meistereien als Ursache für ‚stärkere Probleme‘ bzw. ‚starke Probleme‘ genannt. Zwischen ‚Lange Steigungsstrecken‘ und ‚Querstehende Lkw‘ besteht erwartungsgemäß eine gewisse Korrelation. So wurden von den 65 Meistereien, die



„Lange Steigungsstrecken“ zwischen leicht und stark eingestuft haben auch 60-mal „Querstehende Lkw“ genannt, wobei diese Ursache in ihrer Problematik tendenziell weniger schwer eingestuft wurde. Ebenso wurde von diesen 65 Meistereien in 61 Fällen auch eine „hohe Verkehrsbelastung“ genannt, welche in der Regel in ihrer Auswirkung als problematischer eingestuft wurde. 48 Meistereien (entspricht rund 35 % aller teilnehmenden Meistereien) haben alle drei der häufigsten Nennungen als problematisch angegeben. Bei einer vertieften Untersuchung der AM'en, die bei Steigungsstrecken winterbedingte Probleme haben, waren es meist Streckenabschnitte mit einer Länge von mehr als 2 km Länge und einer Längsneigung von 4 % und mehr sowie hohen Lkw-Anteilen. Vereinzelt wurden in diesem Zusammenhang auch Probleme bei Anschlussstellen genannt, wenn sich der Verkehr auf der Rampe winterbedingt auf die Autobahn zurückstaut. Als Ursachen wurden unter anderem liegendegebliebene Lkw auf der Rampe genannt, die wegen fehlender Fahrbahnbreite der Rampe von anderen Lkw nicht umfahren werden können und damit die Rampe blockieren oder verringerte Leistungsfähigkeiten von Knotenpunkten an Rampen mit Steigungen, da die Lkw wegen winterlicher Fahrbahnbedingungen Probleme beim Anfahren haben.

„Probleme mit Schneebruch“ treten insgesamt in nur 26 Meistereien (19 %) auf. Schneebruch wird dabei von knapp zwei Drittel dieser Meistereien als „leichtes“ Problem eingestuft. Insgesamt gab es neun Meistereien, die alle Ursachen genannt haben.

Unter „Sonstiges“ konnten die Meistereien zusätzliche Kommentare zu den Problemen im Bereich der neuralgischen Streckenabschnitte abgeben. Neben einzelnen Nennungen von Problematiken mit Schneeverwehungen und Brückenbauwerken war die meistgenannte Problematik der Winterdienst bei Streckenabschnitten mit offenporigem Asphalt (OPA). Rückfragen bei den entsprechenden Meistereien ergaben, dass offenporige Asphaltbeläge jedoch im Wesentlichen bei der Glättebekämpfung erhebliche Mehraufwendungen verursachen. Zum einen würde durch die Funktion des offenporigen Asphaltbelags ein Teil der Salzlösung in den Asphaltkörper verbracht und wirke damit nicht mehr an der Fahrbahnoberfläche, zum anderen bestünde die Gefahr, dass bei tiefen Fahrbahntemperaturen und Niederschlägen Eis aus den Poren an die Fahrbahnoberfläche hochwächst. Um Glättebildung zu vermeiden, wird ein Mehrfaches an auftauenden Streustoffen im Vergleich zu Streckenabschnitten mit Standardbelägen in kürzeren Abständen ausgebracht. Sehr gute Erfahrungen haben die Meistereien mit dem Einsatz von FS100 im präventiven Einsatz bei der Glättebekämpfung gemacht, da ein gleichmäßiger Salzlösungsfilm auf die Fahrbahnoberfläche aufgebracht wird und dort zur Wirkung kommt. Bei prognostizierten Schneefallereignissen wird bei Streckenabschnitten mit offenporigen Asphaltbelägen in der Regel präventiv FS100 gestreut und während der Räumeeinsätze auf FS30 umgestellt. Einzelne Meistereien gaben an, FS100 auch bei Schneefallereignissen mit wenig Verkehr erfolgreich einzusetzen. Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass bei Schneefallereignissen bei Streckenabschnitten mit offenporigen Asphaltbelägen mit Querneigung nach Außen der Schnee zeitnah ganz an den rechten Fahrbahnrand zu räumen sei, da es ansonsten durch gefrierendes Schmelzwasser im OPA-Belag zu Eisbildungen bis in den Fahrbahnbereich kommen kann. Diese Aussagen bestätigen weitgehend den in der Literatur dokumentierten Wissensstand (s. Kapitel 2.2.4).



Umfang der Räumeeinsätze

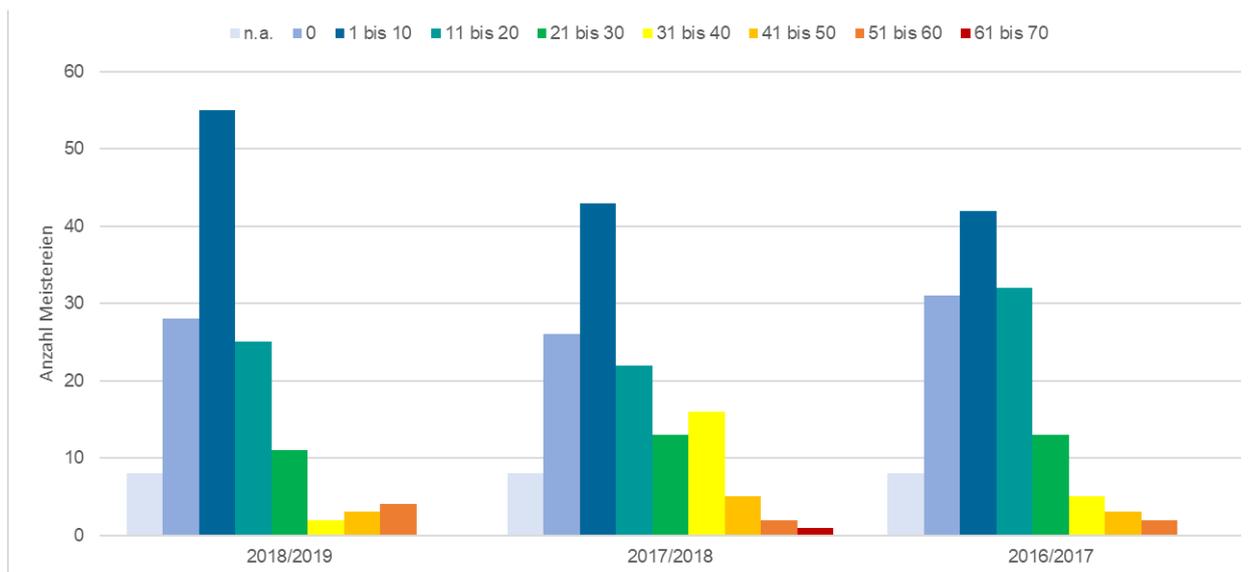


Bild 17: Anzahl der Meistereien mit n Schneefalltagen mit Räumeeinsätzen der Winter 2016/17, 2017/18 und 2018/19

Die Anzahl der Schneefalltage mit Räumeeinsätzen in den Wintern 2016/17, 2017/18 und 2018/19 variiert in Deutschland zwischen 0 und 70 (s. Bild 17). Mehr als 75 % der Meistereien hatten in den vergangenen Wintern zwischen 0 und 30 Schneefalltage mit Räumeeinsätzen pro Winter. Je nach betrachtetem Winter hatten die meisten Meistereien (30 % bis 40 %) zwischen 1 und 10 Schneefalltage mit Räumeeinsätzen. Eine Tendenz ist hierbei nicht zu erkennen, hierfür ist der abgefragte Zeitraum zu kurz.

Schneekettenanlegeplätze

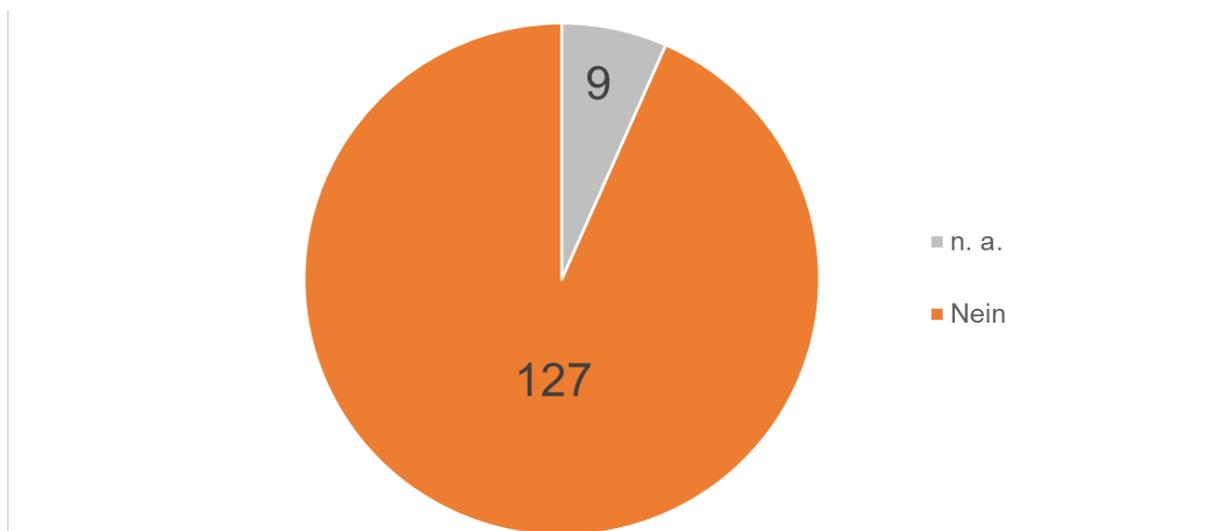


Bild 18: Schneekettenanlegeplätze vor neuralgischen Streckenabschnitten

Keine der an der Umfrage beteiligten Meistereien hat in ihrem Streckennetz Schneekettenanlegeplätze, auch nicht vor neuralgischen Streckenabschnitten (s. Bild 18).



3.1.3 Wetterdienst- und SWIS-Prognosen

Der Großteil der Meistereien nutzen die Informationsquellen geschlossene SWIS-Nutzergruppe des DWD und SWS (in der Umfrage als GMA = Glättemeldeanlage bezeichnet) als Grundlage für die Einsatzplanung (s. Bild 19). Dabei betrachten 116 Meistereien (rund 85 %) das SWIS des DWD als wichtige Informationsquelle, bzw. nutzen diese häufiger (s. Bild 19). SWS werden von knapp 76 % der Meistereien häufig bzw. häufiger zur Einsatzplanung genutzt. Kontrollfahrten (57 %) oder Internet / andere Medien, wie Fernsehen, Radio (52 %) werden von mehr als der Hälfte der Meistereien ebenfalls häufig oder häufiger als Informationsquelle für die Winterdienst-Einsatzplanung herangezogen. Hier ist davon auszugehen, dass diese im Wesentlichen ergänzend zu den SWIS-Prognosen und SWS-Daten bzw. zur besseren Betreuung von kritischen Streckenabschnitten verwendet werden. Kamerabilder kommen mit 35 %, bezogen auf die Rückmeldungen in Relation zu anderen Informationsquellen, weniger zur Einsatzplanung zur Anwendung. Bemerkungen der Meistereien bzw. Rückfragen bei den Meistereien zeigen aber deutlich, dass der Bedarf hierzu hoch ist, aber den Meistereien Kamerabilder in vielen Fällen aufgrund fehlender Kameras nicht zur Verfügung stehen. Kamerabilder können die Winterdienstleiter bei der Beurteilung des Fahrbahnzustandes und der Verkehrslage unterstützen. Weit weniger häufig dienen Meldungen Dritter oder private Wetterdienstleister als wichtige Informationsquelle zur Einsatzplanung. Informationen privater Wetterdienstleister wurden hier nur von 11 Meistereien (in 7 Bundesländern) mit häufig/wichtig bzw. häufiger in der Nutzung genannt.

Als weitere Informationsquellen unter „Sonstiges“ wurden von vier Meistereien die Abstimmung mit der Nachbarmeisterei genannt, weitere zwei Meistereien nannten die Erfahrung der Mitarbeiter. Als weitere relevante Informationsquellen wurden die Warn Wetter App des DWD oder auch das WDMS (Winterdienstmanagementsystem) in Bayern aufgeführt.

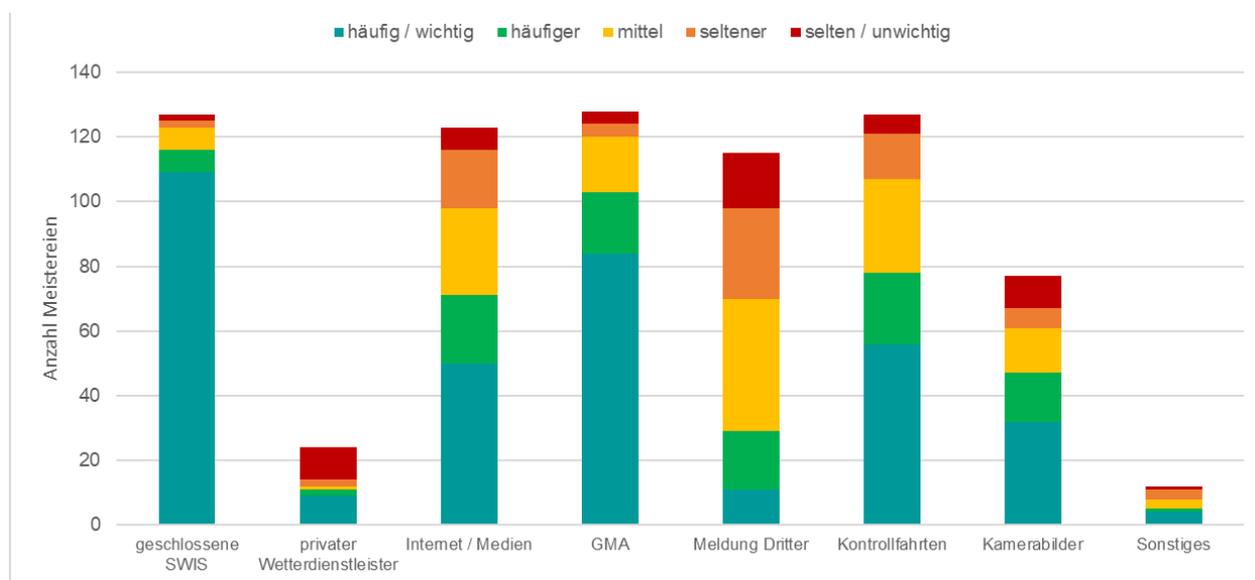


Bild 19: Nutzung von Informationsquellen zur Einsatzplanung

Die Qualität der Prognosen von SWIS wird in über 50 % der Fälle als zuverlässig bzw. hoch zuverlässig bewertet, die Qualität von Internet/Medien immerhin in rund 43 % der Fälle (s. Bild 20). Für private Wetterdienstleister, die weitaus seltener genutzt werden, wird die Qualität der Prognosen durch etwa die Hälfte der Meistereien als zuverlässig oder hoch zuverlässig bewertet.



Die ergänzenden Interviews mit ausgewählten Meistereien haben weiterhin gezeigt, dass die Verwendbarkeit der SWIS-Prognosen nach Umstellung des Systems zu einer automatisierten Prognoseerstellung beim DWD für die Einsatzplanung problematischer geworden sei, da die Vorhersagetexte allgemeiner formuliert seien, die dann bei der Entscheidungsfindung für die Einsatzplanung nicht mehr hilfreich seien.

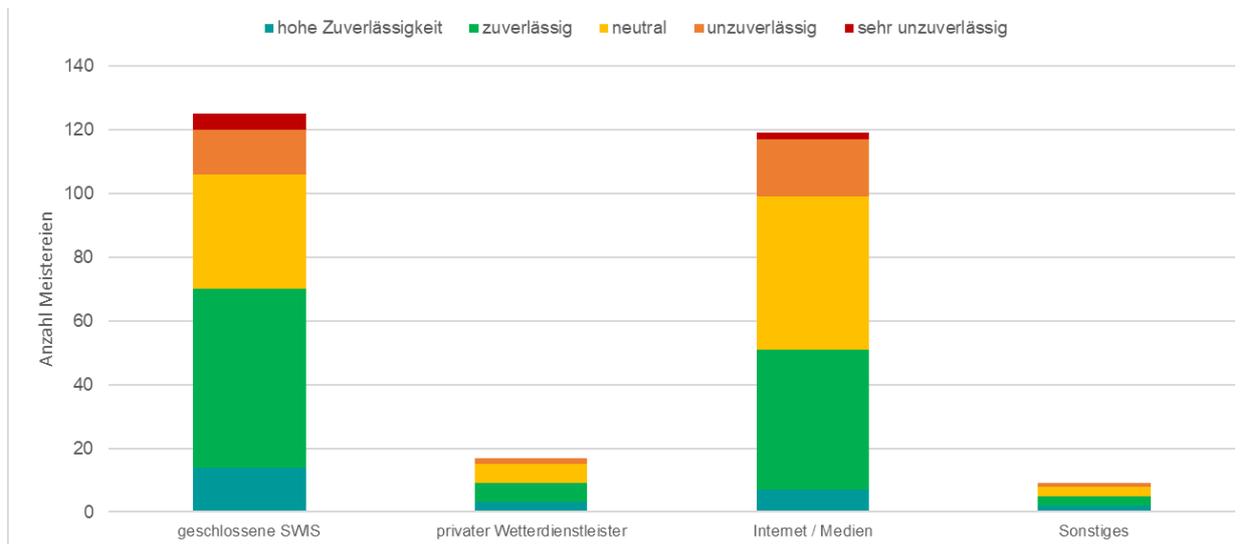


Bild 20: Einschätzung der Qualität der Wetterprognosen

Bild 21 zeigt, in welchen Fällen nach Einschätzungen der Meistereileiter bzw. Einsatzleiter die Ungenauigkeiten bei der Prognose von Schneefallereignissen auftreten. Sowohl die Prognose des Beginns als auch der Dauer des Schneefallereignisses werden von rund einem Drittel der Meistereien als genau oder sehr genau eingestuft, lediglich 20 % bzw. 17 % schätzen sie als ungenau oder sehr ungenau ein. Schlechter werden die Prognosen im Hinblick auf den Zeitpunkt des Übergangs von Regen in Schneefall und die Örtlichkeit des Schneefallereignisses bewertet. Diese bewerten rund ein Drittel der Meistereien als ungenau oder sehr ungenau, weniger als 20 % beurteilen für diese Fälle die Prognosen als genau. Am schlechtesten wird die Genauigkeit bei der Prognose der Intensität des Schneefallereignisses bewertet. Rund 40 % bewerten die Vorhersagen im Hinblick auf die Intensität als ungenau oder sehr ungenau. Knapp 20 % schätzen die Prognosen als genau oder sehr genau ein.

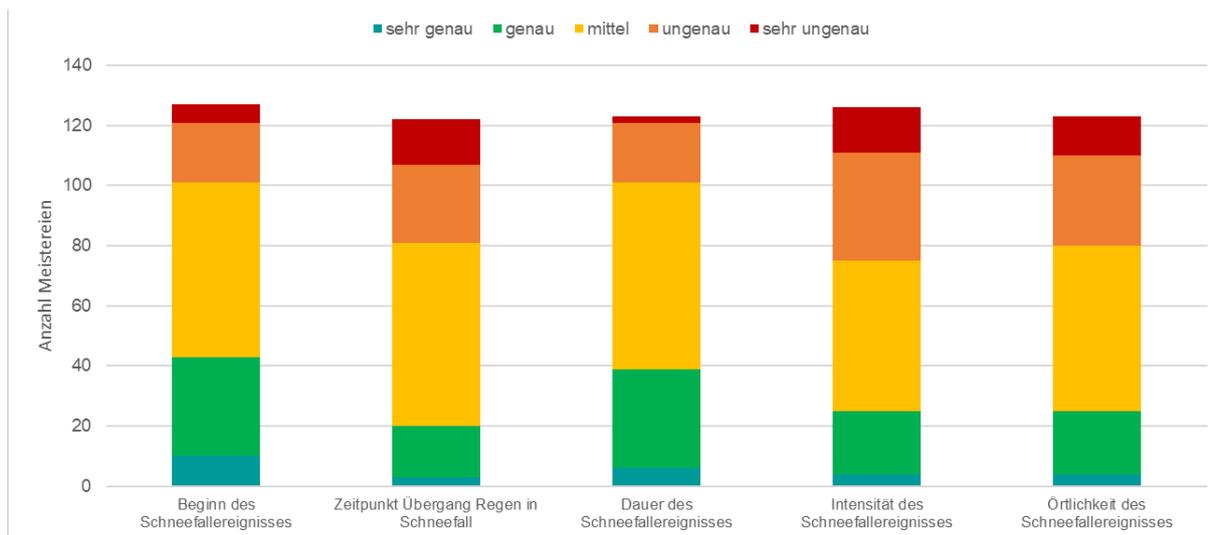


Bild 21: Ungenauigkeiten bei Prognosen von Schneefallereignissen

3.1.4 Besondere Maßnahmen im Winterdienst bei starkem Schneefall

Aufgaben des Einsatzleiters

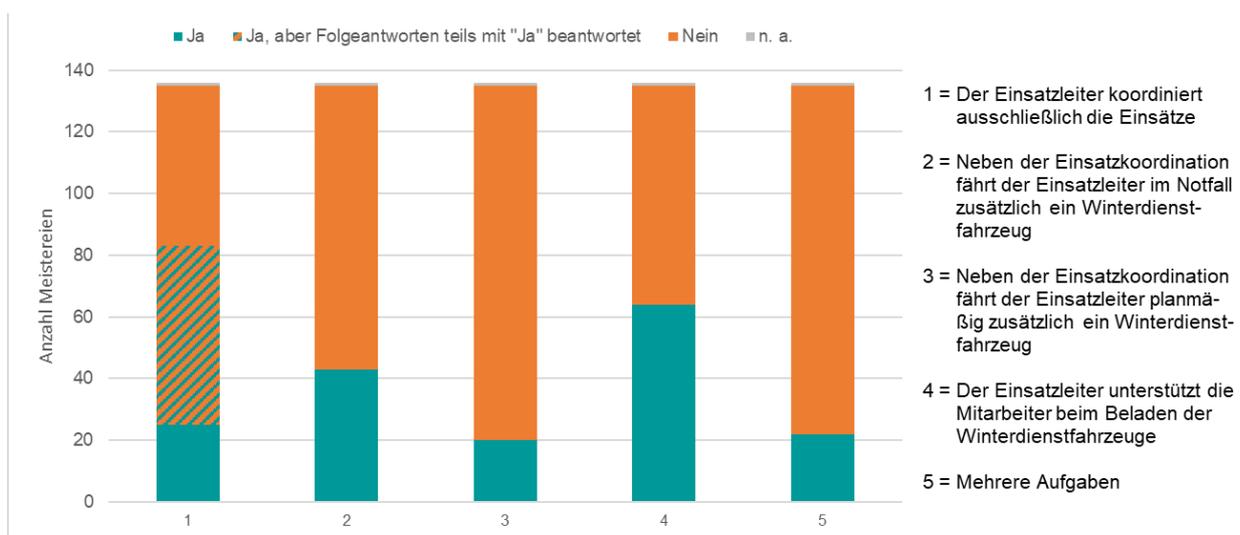


Bild 22: Aufgaben des Einsatzleiters während der Winterdiensteinsätze bei starken Schneefallereignissen

Die Frage, ob der Einsatzleiter **ausschließlich** Einsätze koordiniert, haben 83 von 136 Meistereien (61 %) mit ‚Ja‘ beantwortet (s. Bild 22). Allerdings haben hiervon 58 Meistereien eine oder mehrere der Folgefragen, welche Aufgaben der Einsatzleiter neben der Koordination zusätzlich hat, ebenfalls mit ‚Ja‘ beantwortet. 4 dieser Meistereien haben alle Folgefragen mit ‚Nein‘ beantwortet, jedoch in den Kommentaren zusätzliche Aufgaben angegeben (Befüllung des Soleerzeugers, Beifahrer Seitenpflug, Streckenkontrolle und Unfalldienste). Demnach hat der Einsatzleiter zu rund 82 % zusätzliche Aufgaben neben der Koordination der Einsätze. Am häufigsten wurde die Unterstützung beim Beladen der Winterdienstfahrzeuge (47 %) genannt. In rund 32 % der Meistereien fährt der Einsatzleiter im Notfall zusätzlich ein Winterdienstfahrzeug, in knapp 15 %



der Meistereien macht er dies planmäßig bei Winterdiensteinsätzen. In rund 16 % der Meistereien hat der Einsatzleiter mehrere der genannten Aufgaben.

Dies spiegelt sich auch bei Differenzierung nach Meistereitypen wider (s. Bild 23). In lediglich rund 17 % der AM, rund 27 % der SAM und 29 % der Meistereien der ÖPP-Projekte koordiniert der Einsatzleiter ausschließlich die Einsätze.

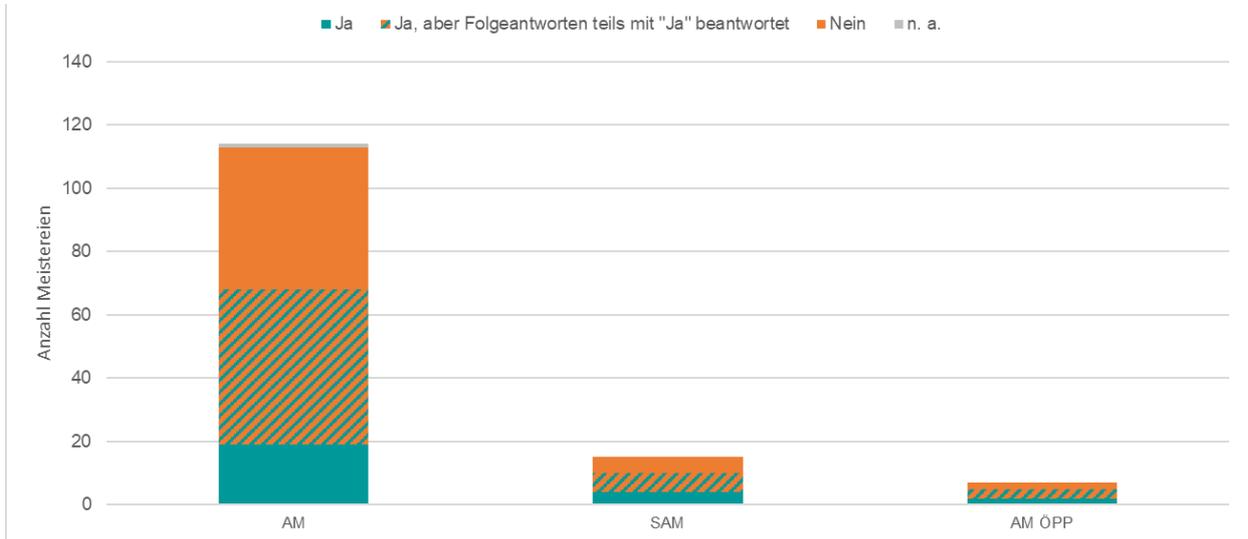


Bild 23: Anzahl Antworten, ob der Einsatzleiter ausschließlich Einsätze koordiniert, nach Meistereityp

Bild 24 zeigt, dass nur in AM'en der Einsatzleiter planmäßig ein zusätzliches Winterdienstfahrzeug fährt (rund 18 %). Im Notfall fährt der Einsatzleiter jedoch in Meistereien der PPP-Projekte in mehr als 50 % der Fälle ein zusätzliches Winterdienstfahrzeug. Unterstützung beim Beladen der Winterdienstfahrzeuge leisten hingegen in der Regel nur Einsatzleiter an AM und SAM. Dass ein Einsatzleiter mehrere der genannten Aufgaben erfüllen muss, ist in der Regel nur in rund 18 % der AM'en der Fall.

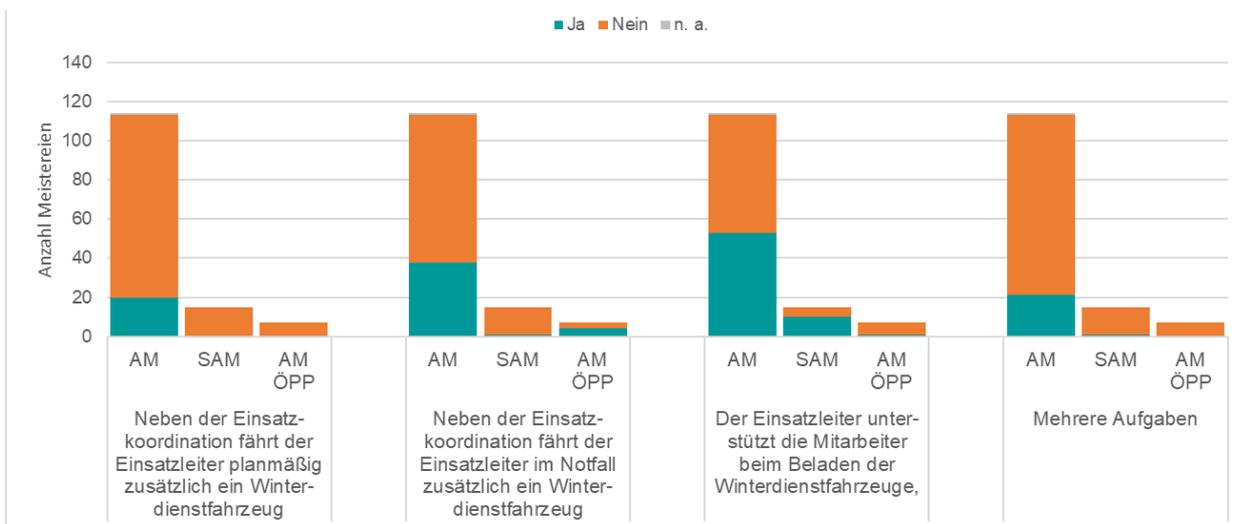


Bild 24: Zusätzliche Aufgaben des Einsatzleiters während der Winterdiensteinsätze

Einhaltung von Umlaufzeiten

Aufgrund verkehrlicher, betrieblicher oder anderer Gründe kommt es bei starken Schneefallerignissen vor, dass die planmäßige Umlaufzeit im Winterdienst erheblich überschritten wird. Nach Einschätzungen der Meistereien werden die Umlaufzeiten in rund 31 % der befragten Meistereien (41) bei starken Schneefallereignissen häufig bzw. sehr häufig/regelmäßig erheblich überschritten (s. Bild 25). Bei knapp 42 % der Meistereien (57) kommt es lediglich teilweise bzw. nie/selten zu einer erheblichen Überschreitung.

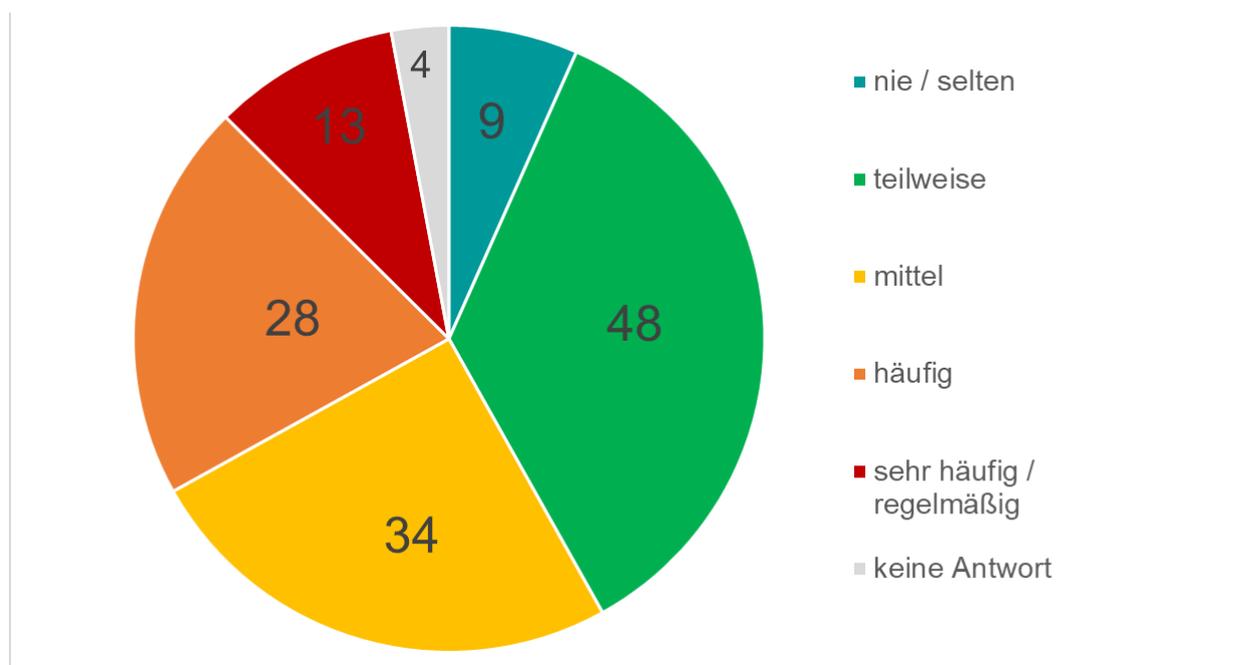


Bild 25: Überschreitung der Umlaufzeiten im Winterdienst bei starken Schneefallereignissen

Bei den 41 Meistereien, bei denen es häufig bzw. sehr häufig/regelmäßig zu einer erheblichen Überschreitung der Umlaufzeiten im Winterdienst bei starken Schneefallereignissen kommt, ist keine direkte Abhängigkeit zum DTV im Bereich von neuralgischen Streckenabschnitten, zur Länge des Streckennetzes, zur Anzahl AK/AD/AS oder zum Vorhandensein neuralgischer Streckenabschnitte abzulesen. Allerdings haben diese Meistereien bei der Frage nach der Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Meisterei bei Schneefallereignissen mit rund 65 % überdurchschnittlich häufig die Anzahl der Mitarbeiter als ‚zu wenig‘ oder ‚deutlich zu wenig‘ bemängelt, so dass als wesentliche Ursache für die Überschreitung der Umlaufzeiten ein unzureichende Personalausstattung eingestuft werden kann. Weiterhin wurden als Gründe für eine Überschreitung Störungen bei der Schneeräumung durch Unfälle und Staus sowie fehlende Rettungs- bzw. Räumgassen genannt. Vereinzelt wurden Probleme durch Rückstau aus dem untergeordneten Netz, aber auch Schneeverwehungen oder Schichtwechsel aufgelistet.

Bewertung der Leistungsfähigkeit

Generell wurde seitens der Meistereien die Anzahl der verfügbaren Mitarbeiter am kritischsten im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit der Meisterei bei Schneefallereignissen bewertet (s. Bild 26). Rund 55 % aller Meistereien gaben diese als ‚zu wenig‘ (23 %) oder gar ‚deutlich zu

wenig‘ (32 %) an. Lediglich 21 % der Meistereien bewerten die Anzahl der verfügbaren Mitarbeiter als ‚ausreichend‘ bzw. ‚völlig ausreichend‘.



Bild 26: Bewertung der Leistungsfähigkeit der Meisterei bei Schneefallereignissen

Als ‚ausreichend‘ bzw. ‚völlig ausreichend‘ betrachten 56 % der Meistereien die zur Verfügung stehende Anzahl an Fahrzeugen, rund 63 % die Kapazität der Streumaschine. Jedoch etwa 24 % der Meistereien schätzen die Anzahl der Winterdienstfahrzeuge als zu gering (zu wenig und deutlich zu wenig) ein. Am zufriedensten sind die Meistereien bezüglich der Größe der Schneepflüge sowie die Lage und Anzahl der Stützpunkte. 76 % (Größe der Schneepflüge) resp. 68 % (Lage und Anzahl der Stützpunkte) der Meistereien sehen diese als ausreichend bzw. völlig ausreichend an.

Zu dieser Frage konnten ergänzende Kommentare abgegeben werden. Auch hier wurde sehr häufig die Anzahl der verfügbaren Mitarbeiter kritisiert. Dies wird laut den Kommentaren insbesondere bei starken bzw. langanhaltenden Schneefällen zum Problem, in denen ein Mehrschichtbetrieb nötig wird, so dass notwendige Ruhezeiten nach dem Arbeitsschutzgesetz nicht mehr eingehalten werden können. Besonders kritisch wird es demnach, wenn zusätzlich Mitarbeiter krank werden. Weiterhin seien Stellen oft vakant. Um die Leistungsfähigkeit der Meistereien zu erhöhen, wurde des Weiteren vorgeschlagen, dass ein Reservefahrzeug zur Verfügung stünde, kleinere Pflüge für den Einsatz bei Stausituationen bereitstünden sowie mehr Stützpunkte mit Silos zur sicheren Beladung durch einen Mitarbeiter ausgestattet würden.

Über den Standard hinausgehende Maßnahmen

Bild 27 zeigt, welche Maßnahmen auch über den Standard für den Winterdienst (s. Kapitel 2.1) hinaus, insbesondere bei starken Schneefallereignissen, in der Praxis zum Einsatz kommen. Fast immer (130 Meistereien) werden präventive Streueinsätze durchgeführt, rund 74 % der Meistereien führen diese ‚häufig‘ oder ‚häufiger‘ durch. Häufig (112 Meistereien) kommen auch Räumstaffeln fortlaufend zum Einsatz. Lediglich 24 Meistereien (rund 18 %) nutzen diese Maßnahme nach eigenen Angaben nie, fast 50 % jedoch ‚häufiger‘ oder ‚häufig‘. Die Verkürzung der Umlaufzeiten oder kürzere Räumschleifen durch zeitweisen Verzicht auf die Räumung des linken Fahrstreifens (Auflösen der Räumstaffel) nutzen insgesamt 110 Meistereien (81 %), rund 26 %



nutzen diese Maßnahme ‚häufig‘ oder ‚häufiger‘. Bei 29 % der Meistereien werden zusätzliche Fahrzeuge oder Geräte eingesetzt, um kürzere Umlaufzeiten zu erzielen.

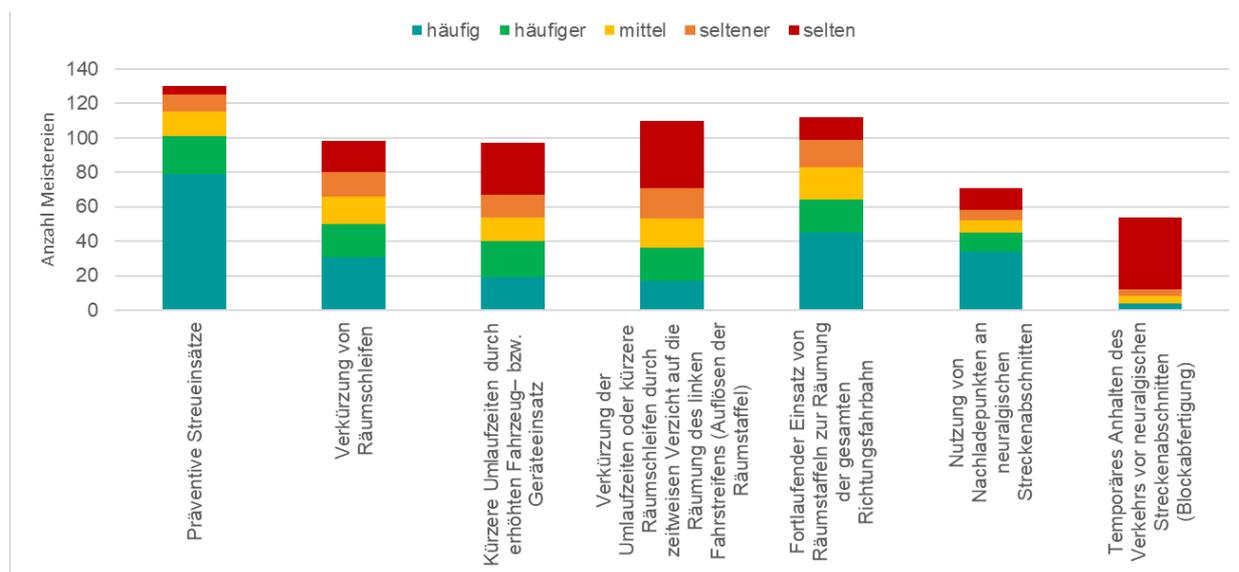


Bild 27: Durchgeführte Maßnahmen, die über den Winterdienst-Standard hinausgehen

Knapp 40 % der Meistereien (54 Meistereien) gaben an, dass sie das ‚Temporäre Anhalten des Verkehrs vor neuralgischen Streckenabschnitten (Blockabfertigung)‘ nutzen, auch wenn dies im Regelfall aufgrund der geringen Eintretenswahrscheinlichkeit entsprechender Witterungsereignisse selten vorkommt. Diese neuralgischen Streckenabschnitte sind in der Regel Steigungsstrecken. Die Interviews mit den Meistereien ergaben, dass der Verkehr beim Auftreten kritischer Verkehrssituationen im Regelfall mit Hilfe der Polizei, teilweise mit Unterstützung von THW und Feuerwehr, vor der Steigungsstrecke angehalten wird. Teilweise wird die Autobahn mit Hilfe von Lichtsignalanlagen vor Tunneln oder Einhausungen für den Verkehr gesperrt, wenn diese direkt vor neuralgischen Streckenabschnitten liegen. Im Bereich der AM Kirchheim-Teck kann der Schwerverkehr vor dem Alaubstieg durch eine dynamische Beschilderung angehalten werden (vgl. Kapitel 2.3.2). Nach Anhalten des Verkehrs kann der neuralgische Streckenabschnitt intensiv geräumt und gestreut werden, teilweise auch entgegen der Fahrtrichtung, um ihn dann bei vertretbaren Fahrbahnverhältnissen wieder für den Verkehr freizugeben. Bei der Umsetzung ist dabei zu beachten, dass der Verkehr nicht auf andere kritische Streckenabschnitte ausweicht und dort zu Problemen führt.

Gut die Hälfte der Meistereien (71 Meistereien) nutzt Nachladepunkte an neuralgischen Streckenabschnitten, wovon rund 33 % diese Maßnahme häufiger oder häufig anwenden. Unter den 78 Meistereien, die Nachladepunkte nicht oder nur selten nutzen, befinden sich 41 Meistereien, die keine neuralgischen Abschnitte haben oder keine Antwort hierzu abgegeben haben.

Als weitere, über den Winterdienst-Standard hinausgehende Maßnahmen, die Meistereien bei vorhergesagten starken Schneefallereignissen durchführen, wurden unter anderem genannt:

- Das Personal, das für die Nacht vorgesehen ist, wird frühzeitig heimgeschickt, damit zum Beginn des Schneefallereignisses alle Mitarbeiter zur Verfügung stehen (Arbeitsschutz).
- Mehr Personal in Rufbereitschaft versetzen.



- Erweiterung des Schichtdienstes auf 12 h, um eine Vollbesetzung der Fahrzeuge zu ermöglichen / gewährleisten.
- Werkstatt wird auf Rufbereitschaft gesetzt bzw. rund um die Uhr besetzt.
- Einsatzfahrzeuge sollten vor dem Beginn des Schneefalls auf dem zugewiesenen Abschnitt sein.
- Frühzeitige Aktivierung der Fremdunternehmer vor dem Schneefall, so dass Räumstaffeln schon vor Beginn kritischer Fahrbahnsituationen im Einsatz sind.
- Vorhalten von Ersatz-Schneepflügen und Ersatzteilen, um Ausfälle und Defekte schnell kompensieren zu können.
- Gemeinschaftlicher Katastrophenschutzplan des Landkreises mit Beteiligung von AM, SM, Landratsamt, Polizei, Abschleppdiensten, THW, Rettungskräften usw.
- Nutzung der Streckenbeeinflussungsanlage (SBA), speziell abgestimmte Schaltungen.
- Ergänzende Räum- und Streupläne für den Fall des Ausfalls eines Fahrzeugs bzw. Fahrers (Notfallpläne).
- Warnung der Lkw-Fahrer vor einer Steigungsstrecke über CB-Funk in mehreren Sprachen mit der Aufforderung, eine Räumgasse zu bilden.
- Auflösen der Räumstaffeln an Steigungsstrecken.

Maßnahmen bei Räumereinsätzen im Staufall

Bei winterlichen Straßenverhältnissen kann bereits bei geringeren Verkehrsstärken früher als üblich Stau entstehen (s. Kapitel 2.2.2). Bild 28 zeigt eine Übersicht, welche Maßnahmen im Staufall bei Räumereinsätzen zum Einsatz kommen, dabei waren Mehrfachnennungen möglich.

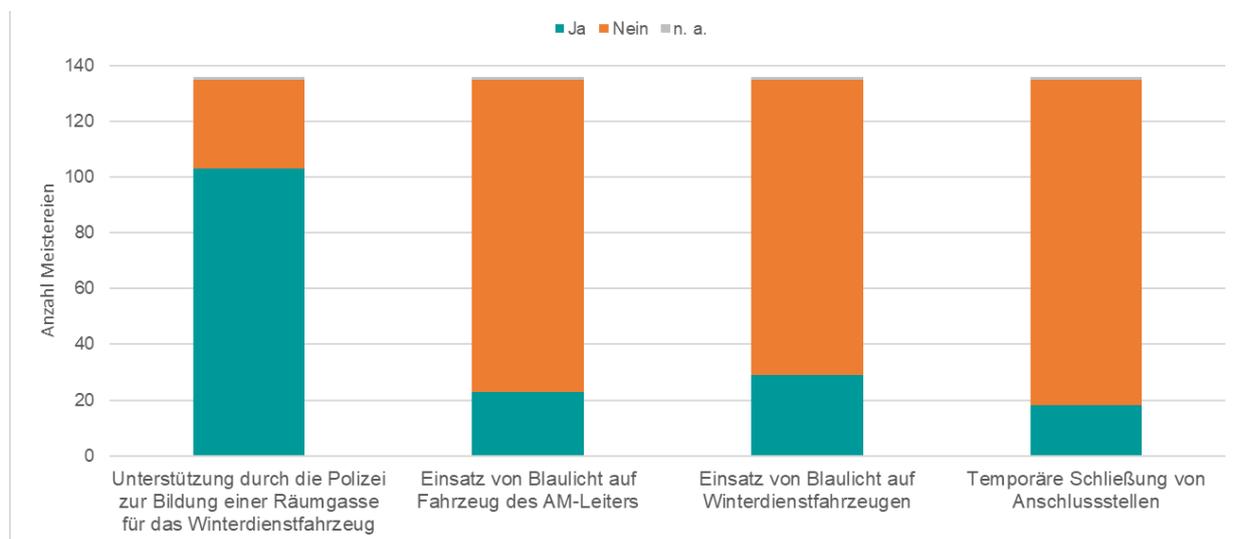


Bild 28: Zusätzliche Maßnahmen bei Räumereinsätzen im Staufall

Demnach brauchen rund 76 % der Meistereien die Unterstützung der Polizei zur Bildung einer Räumgasse für die Winterdienstfahrzeuge. Diese Maßnahme scheint in allen Bundesländern durchgängig häufig Anwendung zu finden.

Der Einsatz von blauen Blinklichtern (Blaulicht) und Einsatzhorn kann je nach Bundesland auf dem Fahrzeug des Meistereileiters oder/und auf den Winterdienstfahrzeugen selbst unter strengen Auflagen (Einsatz nur im Staufall im Winterdiensteinsatz) erlaubt sein. Der Einsatz von Blaulicht auf den Winterdienstfahrzeugen erfolgt aktuell derzeit lediglich in Baden-Württemberg,



Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Blaulicht auf dem Fahrzeug der Meistereileitung kommt derzeit in den Ländern Baden-Württemberg, Brandenburg, Hessen und Thüringen zum Einsatz. Die Interviews mit den Meistereien zeigten deutlich und mehrheitlich eine Forderung des Einsatzes von Blaulicht und Martinshorn auf Winterdienstfahrzeugen zur Unterstützung des Winterdienstes im Staufall.

Eine temporäre Schließung der Anschlussstellen wird lediglich von 13 % der Meistereien angewendet und wird in vielen Bundesländern teils nur von einzelnen Meistereien benutzt. Anwendung findet diese Maßnahme in Baden-Württemberg, Bayern, Hamburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland und Schleswig-Holstein. Ziel des Sperrrens der Zufahrtsrampen der Anschlussstellen mit Hilfe von Klappschildern ist es, bei winterbedingten Staus auf Autobahnen, die sich innerhalb kürzerer Zeit auch nicht wieder auflösen, ein weiteres Einfahren von Verkehrsteilnehmern in den Stau zu vermeiden.

In 21 von insgesamt 32 Kommentaren wurde gewünscht, dass das Fahrzeug des Einsatzleiters und/oder die Winterdienstfahrzeuge mit Blaulicht und Sondersignal ausgestattet werden sollen, da wie oben beschrieben die gelben Rundumleuchten im Staufall nicht ausreichen, um die Verkehrsteilnehmer dazu zu bringen, eine Räumgasse zu bilden und die Polizei unter winterlichen Bedingungen durch Einsätze meist schwer verfügbar sei. Zweimal wurde bemängelt, dass beim vorhandenen Querschnitt das Bilden einer Rettungsgasse nicht möglich sei. Des Weiteren wurde genannt, dass im Staufall mit einem kleineren Räumfahrzeug und/oder einem schmaleren Pflug geräumt wird. Eine Meisterei stellt schwere Traktoren an Steigungen bereit, um liegengebliebene Lkw abschleppen zu können, eine andere regelt dies durch Einsatz des THW. Eine Meisterei schickt einen Mannschaftswagen durch den Stau, um liegengebliebene Lkw eine Anfahrhilfe mit manueller Salzestreuung zu geben.

Umgang mit liegengebliebenen Fahrzeugen

Im Umgang mit liegengebliebenen Fahrzeugen ergibt sich ein eindeutiges Bild (s. Bild 29). Über 96 % der Meistereien gaben an, dass liegengebliebene Lkw von Abschleppdiensten oder anderen geborgen werden. Bei 90 % der Meistereien werden die Abschleppunternehmen durch andere Stellen (z. B. die Polizei) beauftragt. Insgesamt haben 32 Meistereien angegeben, dass erst Abschleppdienste beauftragt werden, sobald Fahrzeuge liegenbleiben, davon haben 26 auch angegeben, dass die Beauftragung durch andere Stellen koordiniert wird. In 17 Meistereien werden Feuerwehr und THW frühzeitig zur Unterstützung herangezogen. Nur in einer Meisterei stehen Abschleppdienste an neuralgischen Stellen bereit.

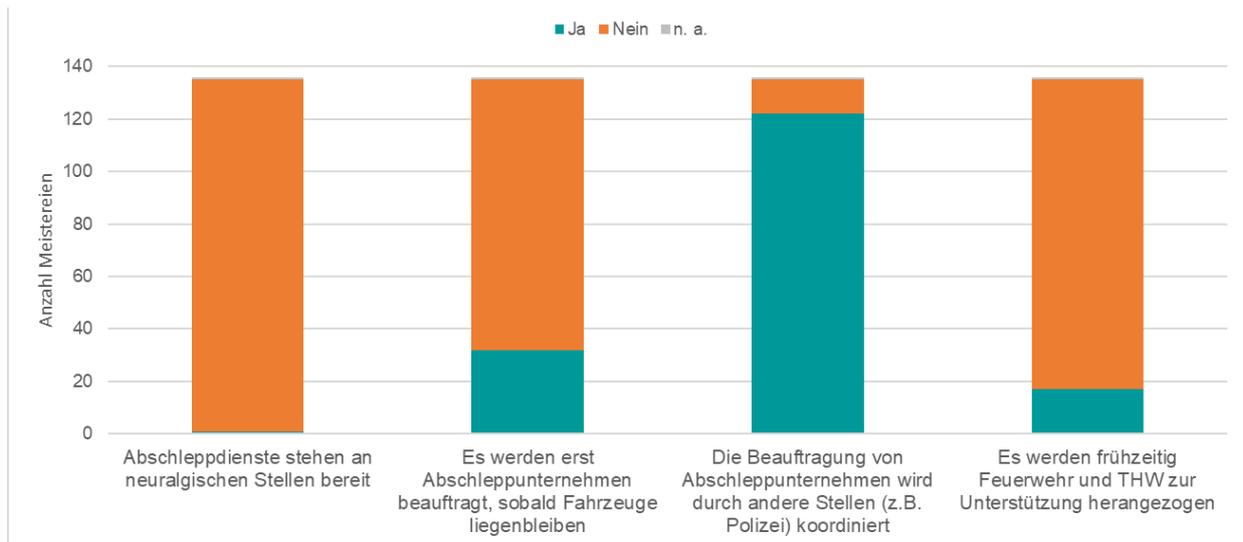


Bild 29: Umgang mit liegengebliebenen Fahrzeugen

Teils wurde angemerkt, dass die Meistereien gar nicht dazu befugt sind Abschleppunternehmen zu beauftragen bzw. dass die Rückforderung der Kosten problematisch sei. Bei Gesprächen gaben mehrere Meistereien an, liegengebliebene Fahrzeuge mit eigenen Lkw auf den Standstreifen zu ziehen oder die liegengebliebenen Lkw bei angehaltenem Verkehr rückwärts auf den Standstreifen zu lotsen.

Die abgegebenen Kommentare gleichen oft den Kommentaren zu dem Räumeeinsätzen im Stau-fall. Teils greifen bei kritischen Wetterlagen auch spezielle Einsatzkonzepte, die zusammen mit den Behörden (z. B. Polizeipräsidium) erarbeitet wurden bzw. es wurden solche Notfalleinsatz-pläne seitens der Meisterei gewünscht.

Behandlung von unbewirtschafteten Rastanlagen

Nach dem Anforderungsniveau [BMVI 2021] muss bei starken, langanhaltenden Schneefällen die „Benutzbarkeit der unbewirtschafteten Rastanlagen ... nicht mehr gewährleistet“ sein. Die Abfrage über ‚Freitext‘ ergab zusammengefasst die in Bild 30 dargestellten Angaben darüber, wie die Betreuung in der Praxis abläuft.

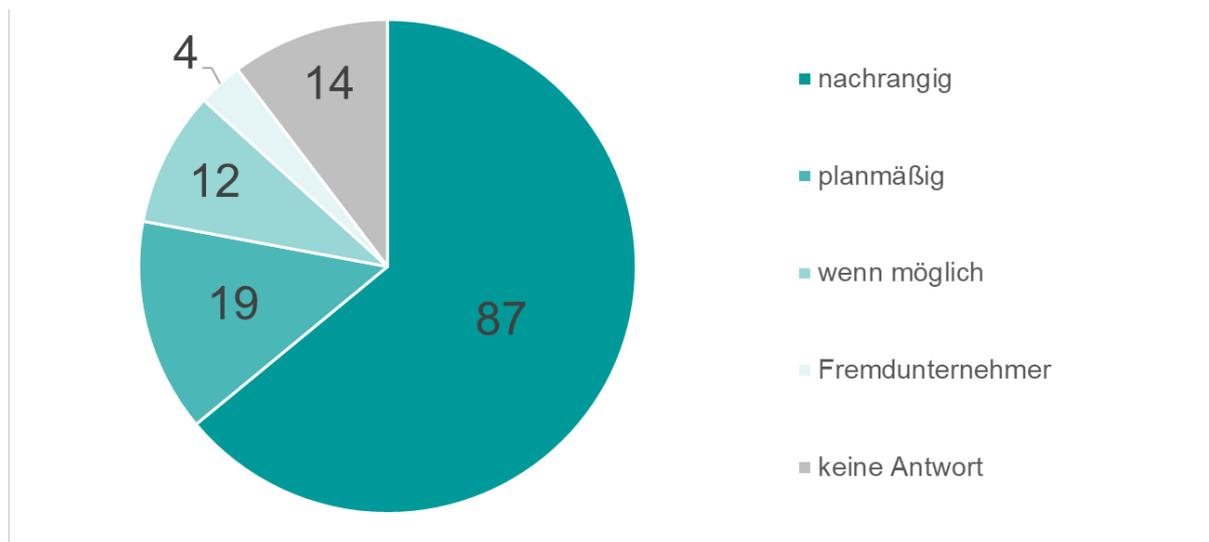


Bild 30: Behandlung der (unbewirtschafteten) Rastanlagen bei starkem Schneefall

In rund 64 % der Fälle werden Rastanlagen nachrangig geräumt und gestreut. 14 % der Meistereien betreuen Rastanlagen planmäßig, teils jedoch nur Teile davon wie z. B. die Fahrgassen oder die Ein- und Ausfahrten. Oft sind diese nur durch Fahrzeuge mit kleinerem Pflug anfahrbar (z. B. Geräteträger) und meist nur am Tag, da nachts die Rastanlagen häufig überbelegt sind und auch die Fahrgassen zugeparkt sind. Weitere rund 9 % betreuen die Rastanlagen planmäßig, wenn dies sowohl personaltechnisch als auch bedingt durch die Parksituation möglich ist. Teilweise kommen zusätzlich Fremdunternehmer zum Einsatz, um Gehwege, etc. freizuhalten. Bei 4 Meistereien werden die Rastanlagen komplett von einem Fremdunternehmer betreut.

Allgemeine Empfehlungen

Zuletzt wurde abgefragt, welche weiteren Empfehlungen die Meistereien haben, um den Winterdienst in Bezug auf Schneefallereignisse zu verbessern. Als Ausstattung wurde auch hier sehr oft wiederholt die Ausstattung der Fahrzeuge mit Blaulicht und Signalhorn gewünscht. Des Weiteren wurden Reservefahrzeuge, sowohl schmalere als auch breitere Pflüge, Seitenpflüge oder Kleingeräte für Rastanlagen gewünscht.

Ein mehrfach genanntes Thema bei der Umfrage als auch bei den Interviews mit den Meistereien war die Kritik, dass die Winterdienstfahrzeuge aufgrund der Achslastbeschränkungen oft nicht voll beladen werden dürften. Dies nehme entsprechend Einfluss auf die Reichweite der Fahrzeuge und führe zu Verlustzeiten durch häufigeres Beladen.

Zudem sollte das Netz aus SWS und Webcams verdichtet werden und die Wetterprognosen sollten verbessert oder besser zugänglich gemacht werden (sowohl als großräumiges Niederschlagsradar für Europa als auch regional zugeschnittene Daten). Die bereits oben genannte Aufstockung des Personals wurde ebenfalls nochmals thematisiert. Gewünscht wurden auch die ‚Live-Verfolgung‘ der Einsatzfahrzeuge (Ort, Geschwindigkeit, Streumenge) sowie mehr Öffentlichkeitsarbeit über die Medien. Da insbesondere Lkw Probleme bei winterlichen Straßenverhältnissen verursachen, wurden auch Wünsche nach einer größeren Parkraumkapazität für Lkw geäußert. Zudem wurden mehrfach mehr Kontrollen und härtere Strafen gefordert, z. B. bei Nichteinhaltung des Lkw-Überholverbots oder allgemein für den Kfz-Verkehr Strafen für das Nicht-Bilden einer Rettungs-/Räumgasse oder das Rechtsüberholen von Einsatzfahrzeugen.



Weiterhin wurde bei den Interviews mit den Meistereien zahlreich eine Verdichtung bzw. der Aufbau eines Kameranetzes entlang der Strecken gefordert, um eine permanente Überwachung des Fahrbahnzustandes und der Verkehrssituation zu ermöglichen. Damit könnten beispielsweise Einsätze präziser koordiniert werden oder Winterdienstfahrzeuge vor einem neu gebildeten Stau rechtzeitig ausfahren. Neben dem Ausbau der Kamertechnik wurde auch immer wieder die nicht ausreichende Netzabdeckung/Bandbreite für notwendige Internetanwendungen genannt.

3.2 Bewertung des extremen Schneefallereignisses im Februar 2021 in Norddeutschland

Am Sonntag, 07.02.2021 zog ein massives Schneefallgebiet über Norddeutschland. Besonders betroffen war hiervon das Autobahnnetz im Zuständigkeitsbereich der Niederlassung Westfalen der Autobahn GmbH. Um die Situation zu analysieren, wurde mit dem Leiter der Abteilung Betrieb und den Leitungen der Meistereien Holdorf, Werl und Gelsenkirchen (s. Bild 31) am 15.03.2021 ein Online-Workshop durchgeführt. Detaillierte Daten zu den Einsätzen, zur Witterungs- und Verkehrssituation wurden hierfür jedoch nicht analysiert.

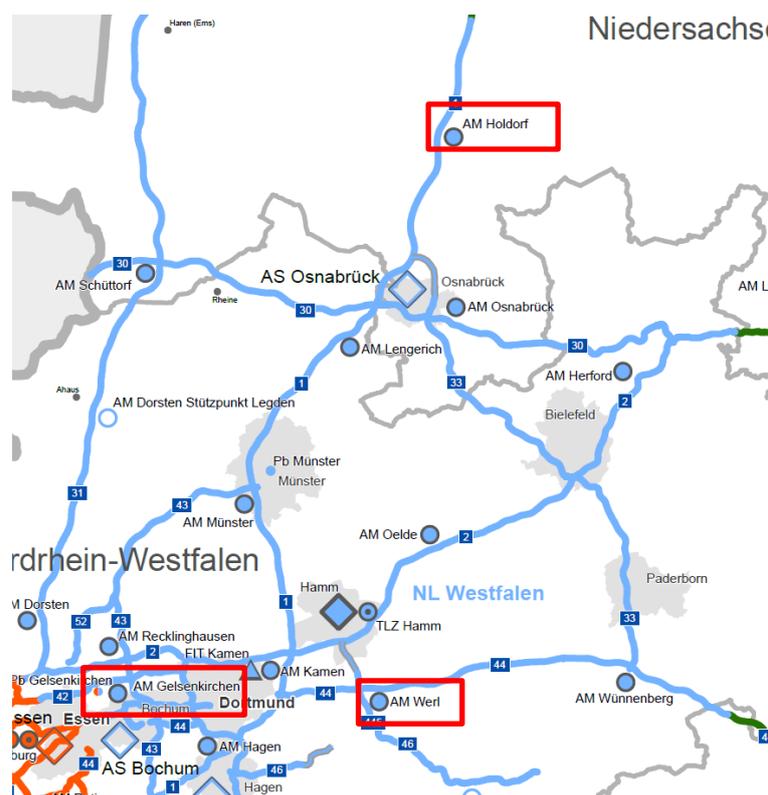


Bild 31: Am Workshop beteiligte AM'en der Niederlassung Westfalen, Kartengrundlage: [Autobahn GmbH des Bundes 2021]

Die Witterung war von Dauerfrost ab dem 06.02.2021 mittags geprägt. In den frühen Morgenstunden des 07.02.2021 fing es stark und andauernd an zu schneien; am 08.02.2021 schneite es erneut. Ab 09.02.2021 wurde es sonnig, die Temperaturen blieben jedoch unter dem Gefrierpunkt. In Bild 32 ist exemplarisch der Witterungsverlauf der Wetterstation Diepholz des DWD dargestellt, die ca. 7 km östlich der AM Holdorf liegt. Hier betrug die Niederschlagsmenge am 07.02.2021 6,6 mm und am 08.02.2021 4,4 mm; der Niederschlag fiel ausschließlich als Schnee.

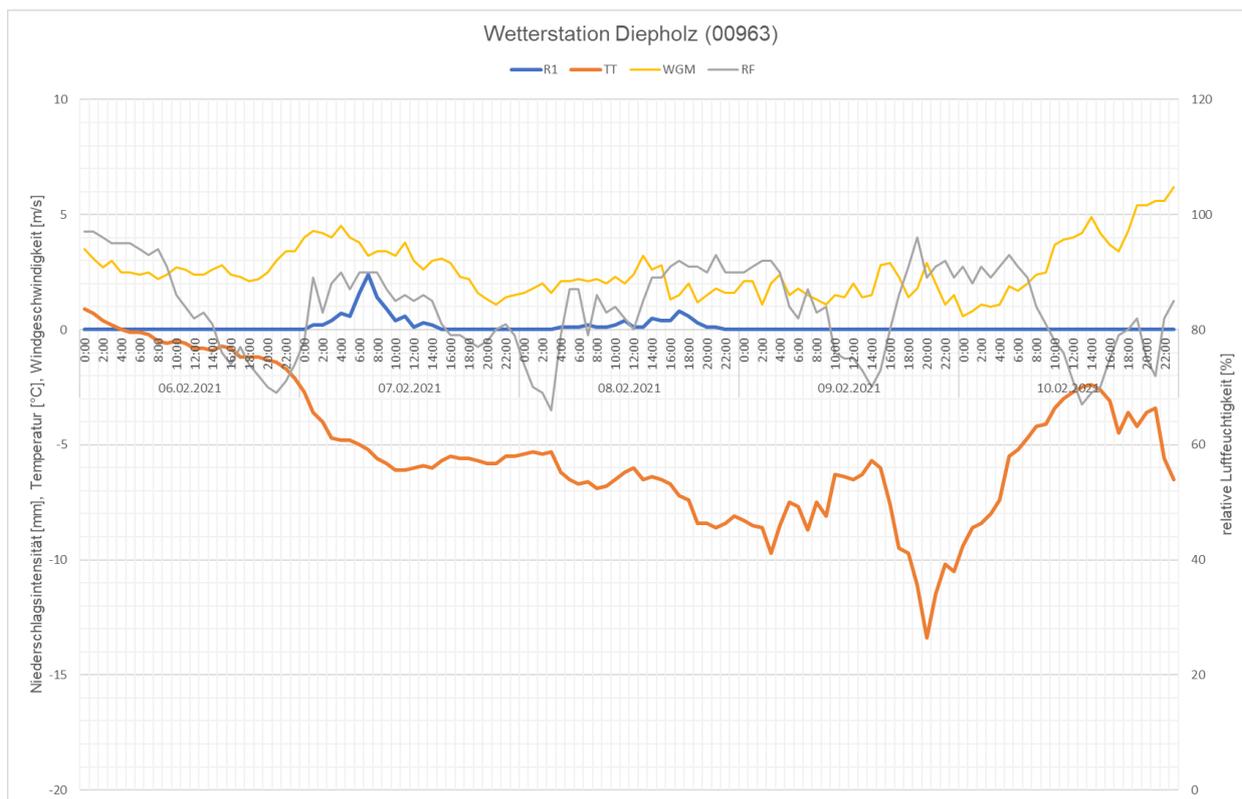


Bild 32: Wetterdaten der Wetterstation Diepholz für den 06.02.2021 bis 10.02.2021 [DWD 2021b]

Durch den starken Schneefall kam es in weiten Teilen des Autobahnnetzes zu starken Beeinträchtigungen, vielfach war am 07.02. in den Vormittagsstunden die gesamte Richtungsfahrbahn schneebedeckt, zumindest der linke Fahrstreifen. Aufgrund des Sonntags und der bereits Tage vorher angekündigten Witterungssituation war der Verkehr sehr gering. Auch am Montagmorgen waren die Fahrbahnen in weiten Teilen weiterhin schneebedeckt. (s. Bild 33). Am Dienstag waren bei sonniger und kalter Witterung weiterhin zahlreiche Fahrbahnen schneebedeckt, obwohl die Niederschläge bereits am Tag vorher aufgehört hatten, wodurch der Verkehr weiterhin massiv beeinträchtigt war (s. Bild 34).



Bild 33: Schneebedeckte Fahrbahnen auf der BAB A 1 am Sonntag, 07.02.2021 (links) und Montag, 08.02.2021 (rechts) [Verkehrszentrale NRW 2021]



Bild 34: Schneebedeckte Fahrbahnen auf der BAB A 1 (links) und der BAB A2 (rechts) am Dienstag, 09.02.2021 [Verkehrszentrale NRW 2021]

Die Situation wurde durch die Meistereileiter stichwortartig wie folgt beurteilt:

- AM Holdorf (Strecken in Höhenlagen bis 100 müNN):
 - Es wurden auch CaCl_2 -Flocken im Streusalz untergemischt, es wurde überwiegend Trockenstoff gestreut.
 - Eisplatten auf der Fahrbahn konnten bei den tiefen Temperaturen nicht entfernt werden.
 - Es kam am Sonntag nur zu geringen Problemen, die Fahrstreifen waren in der Regel befahrbar.
 - Am Montag kam es durch den Lkw-Verkehr zu Staus.
 - Personal wurde in 3 Schichten je 9 h eingesetzt.
 - Nachrangige Flächen auf Parkplätzen wurden erst am Dienstag betreut.
 - Die Tauwirkung des Streusalzes war bei den tiefen Temperaturen deutlich geringer, was auch auf den geringen Verkehr zurückgeführt wurde.
- AM Gelsenkirchen (Strecken in Höhenlagen bis 100 müNN im Ballungsgebiet)
 - Aufgrund der tiefen Temperaturen und wenig Verkehr war die Tauleistung in der Nacht unzureichend.
 - Enge Rampen zwischen Betonschutzwänden im Baustellenbereich konnten nicht geräumt werden, so dass diese gesperrt werden mussten. Sie wurden später mit Radladern geräumt.
- AM Werl (Strecken in Höhenlagen bis 450 müNN):
 - Aufgrund der sehr geringen Verkehrsmengen, auch Lkw, war die Tauwirkung des Streusalzes deutlich schlechter.

Aufgrund der guten Wetterprognosen war man auf das Schneefallereignis gut vorbereitet. In allen Meistereien wurden die Räumereinsätze entsprechend den Einsatzplänen mit Räumstaffeln gefahren. Eine Auflösung der Staffeln zur Reduktion der Umlaufzeiten erfolgte nicht, da es als wichtig angesehen wird, alle Fahrstreifen befahrbar zu halten, auch wenn die Umlaufzeiten dann höher sind. Wichtig war auch die kontinuierliche Besetzung der Werkstätten, um Fahrzeugausfälle zu minimieren. Ersatzfahrzeuge sind im Fuhrpark nicht vorgesehen. Sinnvoll wären zwei Schlosser je Meisterei, um die Werkstatt in zwei Schichten kontinuierlich besetzen zu können.



Befürwortet wird auch das Vorhalten von Ersatzfahrzeugen, indem alte Fahrzeuge nicht sofort ausgesondert, sondern weiterhin vorgehalten werden.

Eine mögliche Unterstützung durch zusätzliche Fahrzeuge aus angrenzenden Meistereien wird nicht befürwortet, da auch in diesen Meistereien Winterdienstesätze erforderlich waren und die Fahrer über keine ausreichenden Ortskenntnisse verfügen.

Zum Teil sind Schneeverwehungen problematisch, allerdings wird das Aufstellen von Schneezäunen nicht befürwortet, da

- starke Schneeverwehungen sehr seltene Ereignisse sind,
- infolge der wechselnden Windrichtungen Schneezäune häufig an falschen Abschnitten stehen,
- der Aufwand sehr hoch ist.

Auch bei lang andauernden Verkehrsstaus sollten die Lkw nicht von der Autobahn abgeleitet werden, da dadurch das nachgeordnete Netz überlastet wird. Auch sind die Lkw-Fahrer für langanhaltende Staus in der Regel ausreichend ausgerüstet und können bei Bedarf einfacher auf der Autobahn betreut werden.

Für den Streckenabschnitt Bielefelder Berg auf der BAB A2, auf dem es bei winterlicher Witterung erfahrungsgemäß häufig zu starken Verkehrsbeeinträchtigungen infolge liegengebliebener und querstehender Lkw kommt, wurde bis 08.02.2021, 22.00 Uhr ein Lkw-Fahrverbot verhängt, das jedoch nicht vollständig beachtet wurde, so dass es hier zu massiven Verkehrsbeeinträchtigungen kam.

3.3 Internationale Erfahrungen

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden auch ein internationaler Erfahrungsaustausch in Form von Experteninterviews durchgeführt. Schwerpunkt bildeten dabei die eingesetzten Maßnahmen bei starken und langanhaltenden Schneefällen. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Workshops mit Österreich (ASFiNAG) und Norwegen zusammengefasst.

Österreich

Die ASFiNAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) plant, finanziert, baut und betreibt das komplette österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz von rund 2.200 km Länge.

Zur Planung und Steuerung des Winterdienstes ist bei der ASFiNAG das Managementtool „Wetter 2.0“ ein zentrales Werkzeug. Bei diesem Tool werden österreichweit die Daten der SWS, die Wetterprognosen, das Niederschlagsradar, aktuelle Verkehrssituation sowie die Winterdienstfahrzeuge auf einer Oberfläche dynamisch visualisiert und es können Detailinformationen abgerufen werden. Es sind auch die Meistereigrenzen auf der Karte eingezeichnet, damit meistereübergreifende Einsätze koordiniert werden können.

Der Winterdienst ist der Bemessungsfall für die Dimensionierung der Fahrzeuge und Ressourcen. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Normalschneefall durch eigenes Personal und



eigene Fahrzeuge abgedeckt werden kann. Die Spitzen, rund 10 % der Einsätze, werden durch Fremdunternehmer abgedeckt.

Die ASFiNAG ist verpflichtet, das Autobahnnetz innerhalb von 3 Stunden inklusive Anschlussstellen zu betreuen. Als Ziel setzt sich die ASFiNAG aber eine Umlaufzeit von 90 bis 120 Minuten im Standardfall und 30 bis 45 Minuten bei der Betreuung von neuralgischen Streckenabschnitten oder bei starkem Schneefall. Für neuralgische Streckenabschnitte bestehen besondere Einsatzpläne.

Im Bereich der AM Alland (A21) gibt es neuralgische Streckenabschnitte mit großen Längsneigungen. Bei extrem starken Schneefallereignissen wird der neuralgische Streckenabschnitt gesperrt und eine Umleitung nördlich um Wien herum eingerichtet. Nach Einrichtung der Sperrung befinden sich in der Regel noch rund 300 Lkw im neuralgischen Streckenabschnitt, ca. 20 % ohne Winterausrüstung. Zur Vermeidung von Verkehrszusammenbrüchen stehen Lkw-Abschleppfahrzeuge vor dem Einsetzen des Schneefalls bereit, welche dann auch teilweise mit den Räumstaffeln mitfahren, um bei blockierenden Lkw sofort vor Ort eingreifen zu können.

Die Praxis zeigt, dass die Akzeptanz bei den Lkw-Fahrern, sich Abschleppen zu lassen, sehr hoch ist, da das Abschleppen von professionellen Unternehmen durchgeführt wird und die ASFiNAG die Kosten des Abschleppens trägt.

Weiterhin stellt die Öffentlichkeitsarbeit ein wichtiges Element in der Winterdienststrategie dar. Im Vorfeld von zu erwartenden Extremereignissen wird eine massive Präsenz in allen Medien gesucht, um die Verkehrsteilnehmer über die zu erwartenden Verhältnisse zu informieren und für angepasste Verhaltensweisen zu sensibilisieren.

Norwegen

In Norwegen ist Statens vegvesen für den Bau und Betrieb von rund 10.700 km Nationalstraßen verantwortlich. Der Winterdienst wird seit 2003 an Fremdunternehmen vergeben. In Abhängigkeit der Winterdienstklasse, die im Wesentlichen auf den DTV der jeweiligen Strecken basiert, ist ein bestimmter Griffigkeitswert (0,2 bis 0,3) einzuhalten. Durch die staatliche Straßenbauverwaltung werden dazu stichprobenartig Griffigkeitsmessungen nach einer bestimmten Zeit des Winterereignisses durchgeführt.

Als besondere Maßnahme bei extremen und langanhaltenden Schneefällen werden in Norwegen im Bereich von langen Steigungsstrecken bzw. Pässstraßen Blockabfertigungen durchgeführt. Dabei fahren die Lkw im Konvoi, wobei Winterdienstfahrzeuge am Anfang und Ende des Konvois den Streckenabschnitt räumen. Damit soll gewährleistet werden, dass sich Lkw kontrolliert im Streckenabschnitt befinden und der Schwerverkehr den Streckenabschnitt nur auf einer befahrbaren und betreuten Fahrbahnoberfläche befährt. Weiterhin wird der Schwerverkehr an eingerichteten Kontrollstellen durch die Polizei angehalten und überprüft, so dass Lkw mit Sommerreifen die neuralgischen Streckenabschnitte während der Schneefälle nicht befahren.

Wenn Pässstraßen durch Winterereignisse nicht befahrbar sind, werden durch die Verkehrsleitzentrale Umleitungsstrecken für den Verkehr ausgewiesen. Zusätzlich können sich die Verkehrsteilnehmer auf der Internetseite www.175.no über Straßensperrungen und Fahrbahnzustände (inkl. Webcam-Bilder) informieren und ihre Reiseroute planen.



4. Analyse von Schneefallereignissen auf ausgewählten Untersuchungsstrecken

4.1 Untersuchungsansatz

Die Analyse von Schneefallereignissen hat zum Ziel, Zusammenhänge zwischen Witterungsereignis und Verkehrssituation bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen und Streckencharakteristika sowie den Einfluss der durchgeführten Winterdienst-Aktivitäten zu analysieren. Da Schneefallereignisse und insbesondere die starken Schneefallereignisse selten auftretende und zeitlich nicht zuverlässig vorhersehbare Ereignisse sind, ist eine unmittelbare Beobachtung der Verkehrs- und Witterungssituation durch Erfassungspersonal im Rahmen des Forschungsprojektes vor Ort nicht möglich. Daher wird auf umfassende, während der gesamten Winterperiode erfasste Daten der Straßenbauverwaltungen zurückgegriffen. Hiermit lassen sich Aussagen zur Auswirkung von Schneefallereignissen auf die Verkehrsqualität unter Berücksichtigung des durchgeführten Winterdiensteinsatzes treffen.

Für die Untersuchungen sollen daher alle verfügbaren Daten und Informationen im Zusammenhang analysiert werden:

- Informationen zur Witterungssituation und zum Fahrbahnzustand („Straßenwetter“)
- Informationen zum Verkehrsgeschehen
- Informationen zu durchgeführten Winterdiensteinsätzen

Zur Verfügung stehen generell folgende Informationsquellen:

- SWS (als GMA und Umfeldmessstationen bei SBA): Niederschlagsart und -intensität, Fahrbahntemperatur, Fahrbahnzustand, Gefriertemperatur, Wind
- Daten der Dauerzählstellen und der Verkehrserfassung bei SBA: Verkehrsmenge, SV-Anteil, Geschwindigkeit, je Fahrstreifen
- Winterdienst-Aktivitäten:
 - Automatisierte Einsatzdatenaufzeichnung: Zeit und Streckenabschnitte der Winterdienstfahrzeuge aus den GPS-Daten, Streudichte und -breite, Einsatzgeschwindigkeit oder
 - manuelle Einsatzdatenaufzeichnung: Zeitraum und betreute Abschnitte des Winterdiensteinsatzes, mittlere Streudichte, Art des Einsatzes
- Bilddateien von Kameras zur Verkehrsbeobachtung:
 - Qualitative Beurteilung der Verkehrsqualität und des Fahrverhaltens von Individualfahrzeugen
 - Beurteilung der Fahrbahnverhältnisse bzgl. vollständig schneebedeckt, teilweise schneebedeckt, differenziert nach allen Fahrstreifen
 - Plausibilisierung der Einsatzdaten bei Räumereinsätzen, betreute Fahrstreifen, Einsatz als Räumstaffel. In der Regel ist der Einsatz selbst nicht im Bild sichtbar, aber bei Schneefallereignissen kann der Räumereinsatz anhand des geänderten Fahrbahnzustandes detektiert werden.



Da die Bilddateien in der Regel nicht über einen längeren Zeitraum archiviert wurden und da es bei der manuellen Einsatzdatenaufzeichnung zweckmäßig war, weitere untersuchungsrelevante Kenngrößen mit zusätzlichen Einsatzprotokollen zu erfassen, konnte nicht auf standardmäßig archivierte Daten zurückgegriffen werden. Die Verfügbarkeit der Daten wurde daher vor Beginn der Untersuchungen mit den beteiligten Straßenbauverwaltungen abgestimmt.

Um eine möglichst große Auswahl an Schneefallereignissen zu berücksichtigen, waren die beiden Winterperioden 2019/2020 und 2020/2021 für die Untersuchungen vorgesehen. Aufgrund des extrem milden Witterungsverlaufs traten auf den ausgewählten Untersuchungsstrecken im Winter 2019/2020 keine relevanten Schneefallereignisse auf. Für den Winter 2020/2021 konnten jedoch zahlreiche Schneefallereignisse ausgewertet werden.

Zur Auswertung der Ereignisse wurde ein Programm auf Basis von VBA in Microsoft Excel® entwickelt. Hiermit können die Informationen aus den verschiedenen Datenquellen zusammengeführt und überlagert werden (s. Bild 35). Mit Hilfe dieses Tools stehen alle relevanten Daten zur Analyse übersichtlich zur Verfügung. In diesem Tool werden die Daten der SWS und der Verkehrserfassung sowie die Informationen zu den Winterdienstesätzen in einem Ereignisdiagramm automatisch angezeigt (rechter Teil in Bild 35). Für das Diagramm kann der betrachtete Zeitraum beliebig gewählt werden (oberer Teil in Bild 35). Bilder der Verkehrskameras werden im linken Teil angezeigt und den Daten minutengenau zugeordnet. Die Auswahl der jeweiligen Auswerteziträume und der zu berücksichtigenden Daten ist somit sehr flexibel, so dass für die Analyse sowohl Übersichts- als auch Detaildaten unmittelbar zur Verfügung stehen.



Diagramm erstellen		NS	WMO Code
Datum von:	25.01.2021 Montag	FBZ	0 = trocken, 32 = feucht / mass, 64 = gefroren (glatt)
Uhrzeit von:	14:00		
Datum bis:	25.01.2021 Montag		
Uhrzeit bis:	19:00		
Diagramme erstellen			
Bilder anzeigen			
Datum:	25.01.2021 Uhrzeit:	ID	
	17:41	5211_210125_1741	
<<< Bild zurück		Bild vor >>>	
Bild laden			
Bild löschen			
Diagramm erstellen			
Diagramm löschen			
Diagramm auswählen			

Bild 35:

Benutzeroberfläche des entwickelten VBA-Tools



Die so überlagerten Daten wurden hinsichtlich der Kriterien Witterung, Verkehr und Winterdienst analysiert und bewertet. Die Analyseergebnisse wurden in der Regel mit den Leitern der Meistereien und den Mitarbeitern der Straßenbauverwaltungen bzw. Autobahn GmbH abgestimmt. Alle analysierten Ereignisse sind in Form von ‚Fact Sheets‘ in Anhang 4 zusammengestellt. Besonders relevante Zeiträume und Ereignisse werden in Kapitel 4.3 dargestellt und bewertet.

4.2 Ausgewählte Untersuchungsstrecken und verfügbare Daten

4.2.1 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Um einerseits den Aufwand für die beteiligten Straßenbauverwaltungen und andererseits auch den Auswerteaufwand auf ein vertretbares Maß zu begrenzen, wurden insgesamt vier Untersuchungsstrecken in Abstimmung mit der Betreuergruppe ausgewählt. Folgende Kriterien wurden zur Auswahl der Untersuchungsstrecken herangezogen:

- hohe Eintretenswahrscheinlichkeit für starke Schneefälle, d. h. insbesondere Mittelgebirgslagen und Voralpengebiet
- Streckenabschnitte mit hohen Verkehrsmengen und SV-Anteilen, d. h. insbesondere Ballungsräume oder „Transitautobahnen“
- Streckenabschnitte mit unterschiedlichen Längsneigungen, d. h. insbesondere Mittelgebirgslagen und Voralpengebiet
- Streckenabschnitte mit vorhandenen Kameras zur Verkehrsbeobachtung: vielfach in Ballungsgebieten, auf Strecken zur temporären Seitenstreifenfreigabe oder anderen kritischen Streckenabschnitten.
- Streckenabschnitte mit umfassenden Zählquerschnitten: Zählstellen sind generell zwischen zwei Anschlussstellen vorhanden; im Bereich von SBA und bei temporärer Seitenstreifenfreigabe werden die Verkehrsdaten an jedem Anzeigequerschnitt erfasst.
- Streckenabschnitte mit SWS: SWS sind häufig an winterdienstkritischen Streckenabschnitten stationiert, im Bereich von SBA sind zusätzliche SWS stationiert.

Auf Grundlage dieser Auswahlkriterien wurden in Abstimmung mit der Betreuergruppe vier Untersuchungsstrecken ausgewählt; sie sind in Tabelle 5 zusammengestellt.



Tabelle 5: Übersicht über die vier Untersuchungsstrecken zur Analyse von Schneefallereignissen

Parametername	BAB A4, Testfeld BAST	BAB A8 Alaufstieg/ Althochfläche	BAB 8 Irschenberg	BAB A9 München-Nord
Länge	nur Abschnitt der Sensorik	nur Abschnitt der Sensorik	8,5 km	5 km
Richtung	Fahrtrichtung Köln	Fahrtrichtung München	beide Richtungen	beide Richtungen
Höhenlage	100 müNN	770 müNN	520 – 720 müNN	485 müNN
Längsneigung	gering	ca. 3 %	ca. 5 %	gering
Anzahl Fahrstreifen	2 ¹⁾	2 ²⁾	6	8
DTV-Wert [Fz/24h]	38.000 ¹⁾	37.500 ²⁾	83.000	150.000
SV-Anteil	8,3 % ¹⁾	16,3 % ²⁾	14,6 %	8,8 %
Anzahl Standorte SWS	1	1	3	3
Anzahl Messquerschnitte Verkehrsdaten	1	1	11	9
Anzahl Kameras	1	1	6	4
Einsatzdatenaufzeichnung	manuell mit Zusatzprotokoll	manuell mit Zusatzprotokoll	automatisiert	automatisiert

¹⁾ nur Fahrtrichtung Köln, ²⁾ nur Fahrtrichtung München

4.2.2 BAB A4 Testfeld BAST

Auf der BAB A4 wird durch die BAST ein Testfeld für SWS unterschiedlicher Hersteller betrieben. Das Testfeld befindet sich bei km 92,5 zwischen der AS Bergisch Gladbach-Frankenforst und der AS Bergisch Gladbach-Refrath in Fahrtrichtung Köln auf einer Höhe von ca. 100 müNN (s. Bild 36). Die Richtungsfahrbahn verfügt über zwei Fahrstreifen und einen befestigten Seitenstreifen. Der DTV-Wert Fahrtrichtung Köln betrug 2018 38.053 Fz/24 h, der SV-Anteil 8,3 % (Daten der Dauerzählstelle 5015 „Bensberg-Frankenforst“) [BAST 2018]. Im Bereich des Testfeldes liegt ein Messquerschnitt, an dem die Verkehrsmenge und Geschwindigkeit pro Minute erfasst werden.

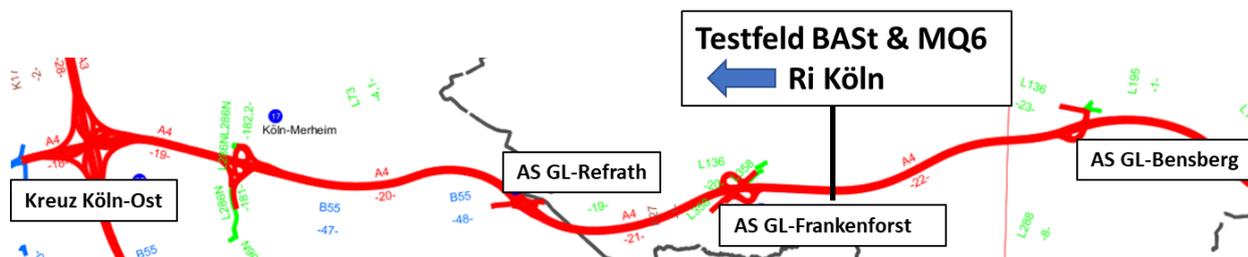


Bild 36: BAB A4, Testfeld BAST: Lage der Untersuchungsstrecke (Kartengrundlage: Straßen.NRW)



Bild 37: BAB A4 Testfeld BAST: Für die Analyse verwendeter Bildausschnitt mit Messsensorik im linken Fahrstreifen (Bild: BAST)

Tabelle 6: BAB A4, Testfeld BAST: Für die Analyse verwendete Parameter der SWS

Parametername	Sensorhersteller, Sensortyp, Parameter nach TLS	TLS DE-Typ	Einheiten oder Inhalte
Fahrbahnoberflächentemperatur	MicKS_ARS31-1_FTB	49	°C
Gefriertemperatur	MicKS_ARS31-1_GT	65	°C
Fahrbahnzustand nach EN 15518-3	Vaisala_DSC111_FZW	79	0=trocken, 16=feucht, 32=nass, 48=extrem nass, 64=glatt
Niederschlagsart	Thies_LNM_NS	71	Codiert nach WMO Code 4680
Niederschlagsintensität	Thies_LNM_NI	53	mm/h
Wasserfilmdicke	Vaisala_DSC111_WFD	72	mm
relative Luftfeuchte	Vaisala_HMP155_RLF	55	%
Taupunkttemperatur	Vaisala_HMP155_TPT	66	°C
Lufttemperatur	Vaisala_HMP155_LT	48	°C
Kraftschluss (Griffigkeit)	Vaisala_DSC111_GR	77	dimensionslos zwischen 0 und 1
Restsalz	Vaisala_DRS511-1_RS	52	%
Taustoffmenge je m ²	Vaisala_DRS511-1_TSQ	74	g/m ²
Fahrbahnzustand	Vaisala_DSC111_FBZ	70	Codierung nach TLS DE-Typ 70
Schneefilmdicke	Vaisala_DSC111_SFD	75	mm
Eisfilmdicke	Vaisala_DSC111_EFD	76	mm
Windrichtung	MicKS_WS600_WR	56	°
Windgeschwindigkeit Mittel letzten 10 min	MicKS_WS600_WGM	57	m/s
Windgeschwindigkeit Spitze in den letzten 10 min	MicKS_WS600_WGS	64	m/s
Luftdruck	MicKS_WS600_LD	54	hPa
Sichtweite	Vaisala_PWD12_SW	60	M

Die atmosphärischen Parameter werden an rechts neben der Fahrbahn installierten Masten, die Fahrbahnparameter in der Mitte des linken Fahrstreifens bzw. rechten Fahrstreifens gemäß TLS erfasst (s. Bild 37). In Abstimmung mit der BAST als Betreiber des Testfeldes werden die in Tabelle 6 zusammengestellten Parameter der installierten SWS für die Analyse herangezogen; sie liegen ebenfalls als Minutenwerte vor.

Der Winterdienst im Bereich des Testfeldes erfolgt durch die AM Overath, deren Gehöft ca. 14 km östlich an der AS Overath liegt. Die Winterdienstesätze werden manuell mit Hilfe von Einsatzprotokollen erfasst. In Abstimmung mit Leitung und Personal der AM Overath wurde ein Zusatzprotokoll zum Einsatzbericht erstellt, das jedoch nur bei Räumeeinsätzen für den Abschnitt AS GI-Bensberg – AK Köln-Ost, Richtung Köln auszufüllen ist. Mit diesem Protokoll wurden ergänzende Angaben zum Räumeeinsatz, zur Verkehrssituation, zum Fahrbahnzustand und zu liegengebliebenen Fahrzeugen in den dem Testfeld nachfolgenden Streckenabschnitten erfasst, um mögliche Auswirkungen, z.B. Rückstau, auf den Abschnitt des Testfeldes erkennen zu können. Muster von Winterdienstesatzprotokoll und Zusatzprotokoll sind in Anhang 3 dokumentiert.

4.2.3 BAB A8 Albaufstieg/Albhochfläche

Die Untersuchungsstrecke Albaufstieg/Albhochfläche der BAB A8 liegt zwischen Stuttgart und Ulm unmittelbar östlich der AS 60 Hohenstadt (km 150,8) in Fahrtrichtung Ulm (s. Bild 38) auf einer Höhe von 770 müNN. Sie hat eine Steigung von ca. 3 % und schließt unmittelbar an den Albaufstieg an, bei dem ein Höhenunterschied von ca. 200 m überwunden wird. Im Anschluss an die Untersuchungsstrecke verläuft die BAB A8 auf der Albhochfläche mit geringen Längsneigungen und ist 6-streifig ausgebaut.

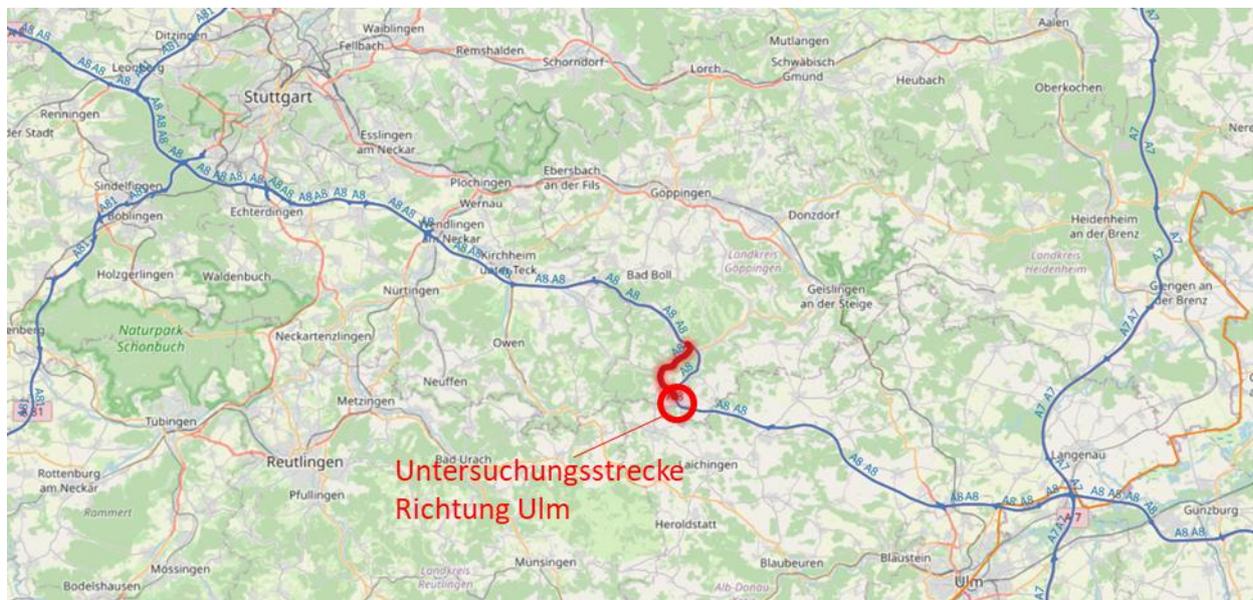


Bild 38: BAB A8 Albaufstieg/Albhochfläche mit Albaufstieg, Kartengrundlage: [OpenStreet-Map Foundation 2021]

Es stehen Daten der Kamera am Kabelhaus Hohenstadt nahe der AS Hohenstadt sowie Verkehrs- und Umfelddaten des AQ/MQ 02 bei km 150,140 zur Verfügung, die wie in Bild 39

dargestellt, angeordnet sind. Weiterhin sind die Schaltzustände des AQ 02 protokolliert und stehen für die Auswertung zur Verfügung.

Der DTV auf dem betrachteten Abschnitt lag 2019 zwischen rund 37.300 Kfz/24h mit ca. 16,8 % SV-Anteil an der Dauerzählstelle 8181 ‚Kirchheim unter Teck‘ und 37.750 Kfz/24h mit ca. 15,7 % SV-Anteil an der Dauerzählstelle 8068 ‚Merklingen‘. Im betrachteten Streckenabschnitt ist die Richtungsfahrbahn zweistreifig ausgeführt, am Alaufstieg bis zur AS Hohenstadt ohne Seitenstreifen, anschließend mit Seitenstreifen.

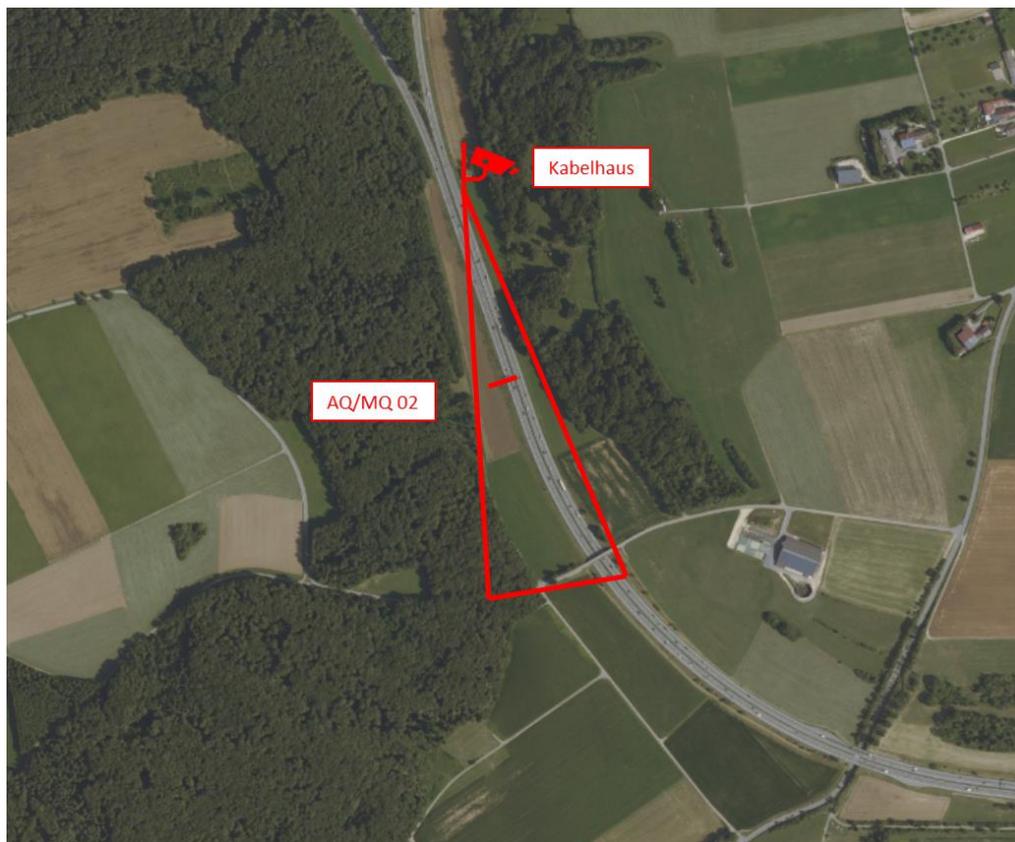


Bild 39: Lage und Ausrichtung der Verkehrskamera und AQ/MQ 02 an der BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche, Bild: [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019]

Der Winterdienst erfolgt durch die AM Ulm/Dornstadt mit Sitz an der AS Ulm/Elchingen, ca. 26 km östlich. Winterdiensteseinsätze werden in diesem Streckenabschnitt auch am besetzten Stützpunkt Merklingen, der ca. 9 km östlich der Untersuchungsstrecke liegt, begonnen. Aufgrund des unmittelbar anschließenden Alaufstiegs wird die Untersuchungsstrecke im Winterdienst mit zum Teil sehr kurzen Umlaufzeiten intensiv betreut.

Die Winterdiensteseinsätze werden in der AM Ulm/Dornstadt ebenfalls manuell mit Hilfe von Einsatzprotokollen erfasst. Mit Hilfe eines Zusatzprotokolls wurden analog zur Untersuchungsstrecke BAB A4 ergänzende Angaben zum Räumeeinsatz, zur Verkehrssituation, zum Fahrbahnzustand und zu liegengelassenen Fahrzeugen im Abschnitt zwischen der AS Hohenstadt und der AS Merklingen erfasst. Muster von Winterdiensteseinsatzprotokoll und Zusatzprotokoll sind in Anhang 3 dokumentiert.

4.2.4 BAB A8 Irschenberg

Der Abschnitt Irschenberg der BAB A8 liegt südlich von München auf der Autobahn München Salzburg auf einer Höhe von 520 bis 720 m_N [GOOGLE 2020]. In die Untersuchung einbezogen sind beide Richtungsfahrbahnen zwischen km 37,4 und km 45,9. Der DTV-Wert betrug 2018 83.014 Fz/24 h, der SV-Anteil 14,6 % (Daten der Dauerzählstelle 9227 „AS Irschenberg“) [BAST 2018]. Der ca. 8,5 km lange Abschnitt ist sechsstreifig ausgebaut, allerdings zum Großteil ohne befestigten Seitenstreifen und geprägt durch längere Steigungs- und Gefällestrecken mit ca. 6 % Längsneigung (s. Bild 40).

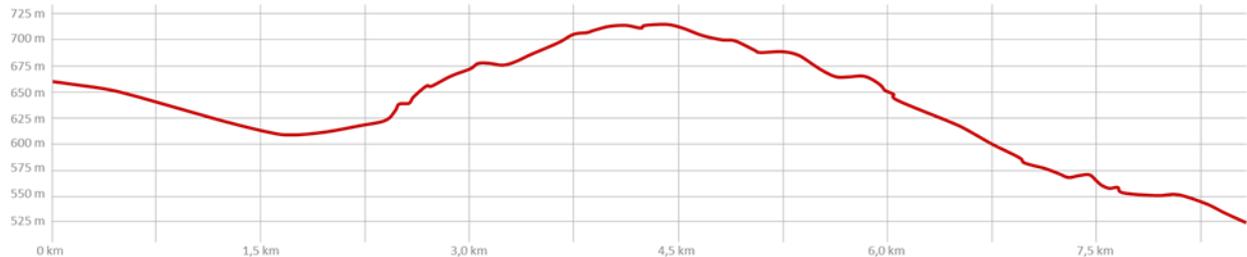


Bild 40: BAB A8 Irschenberg: Längsprofil in West-Ost Richtung

Auf dem Streckenabschnitt sind an folgenden Stationen Kameras zur Verkehrsüberwachung installiert:

- km 39,020: Ri. Salzburg
- km 39,860: beide Richtungen
- km 40,880: Ri. Salzburg
- km 42,580: beide Richtungen

Verkehrsdaten werden an insgesamt elf Messquerschnitten auf den Richtungsfahrbahnen erfasst. SWS sind bei km 39,050, km 41,227 und km 44,300 installiert. Verkehrsdaten und Daten der SWS wurden durch die Zentralstelle für Verkehrsmanagement des Landes Bayern als Minutenwerte zur Verfügung gestellt. Zusätzlich kann auf Contour-Plots zurückgegriffen werden, in denen die mittlere Geschwindigkeit zeit- und stationsabhängig dargestellt wird (Beispiel s. Bild 41).

Der Untersuchungsabschnitt wird im Winterdienst durch die AM Holzkirchen bei km 25,7 westlich des Untersuchungsabschnittes betreut. Aufgrund der hohen Anforderungen an den Winterdienst im Bereich des Untersuchungsabschnitts verfügt die AM über einen Stützpunkt an der AS Irschenberg bei km 41,4. Die Fahrzeuge der Meisterei sind mit einer automatisierten Einsatzdatenaufzeichnung ausgerüstet.

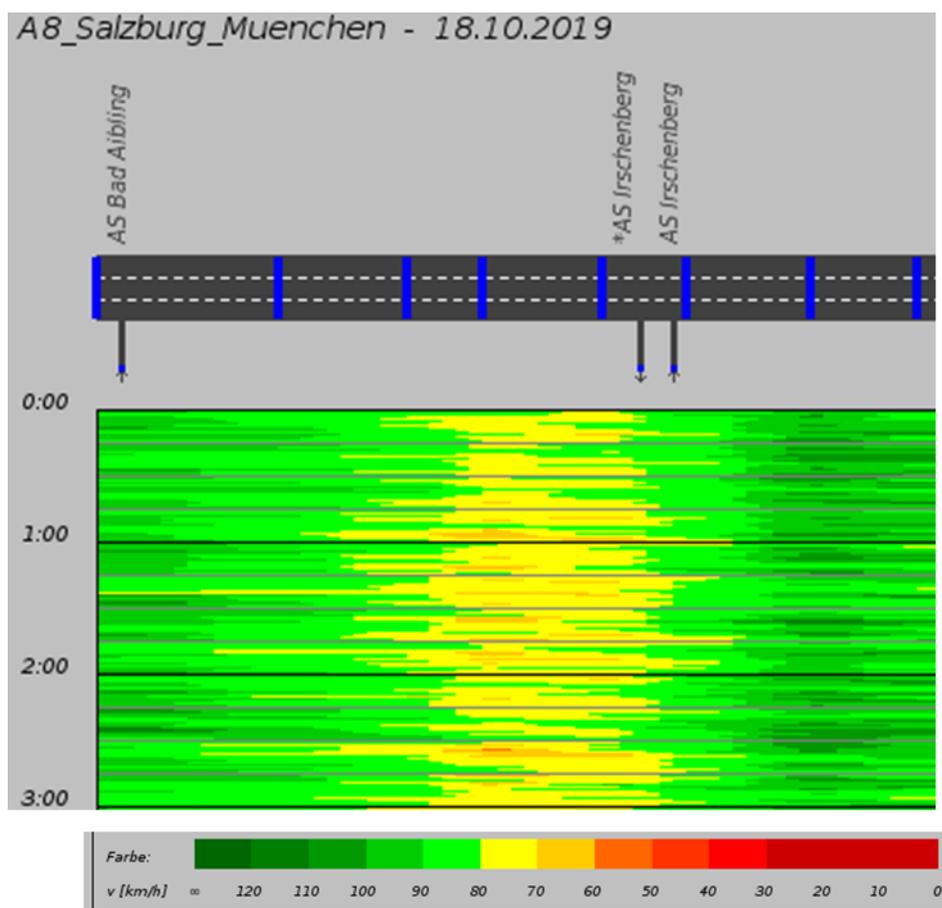


Bild 41: BAB A8 Irschenberg: Beispiel für einen Contour-Plot der Zentralstelle für Verkehrsmanagement Bayern [STMB 2021]

4.2.5 BAB A9 München-Nord

Die Untersuchungsstrecke München-Nord umfasst den Abschnitt zwischen der AS Garching-Nord (km 518,8) und dem AK München-Nord (km 523,8) und hat eine Länge von 5 km. Der Streckenabschnitt ist achsstreifig ausgebaut. Der Abschnitt liegt auf einer mittleren Höhe von 485 müNN; die Längsneigungen sind gering [GOOGLE 2020]. Der Abschnitt ist durch hohen Pendlerverkehr geprägt; die Verkehrsbelastung lag 2015 bei 146.700 Fz/24 h (AS Garching-Nord – AS Garching-Süd) bzw. 153.100 Fz/24 h (AS Garching-Süd – AK München-Nord) mit einem SV-Anteil von 8,7 % bzw. 8,9 % [BAST 2017]. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastung ist der Abschnitt mit einer SBA ausgerüstet. 2015 wurde ein offenporiger Asphaltbelag (OPA) eingebaut.

Verkehrskameras sind bei km 520 und km 522 an Masten auf dem Mittelstreifen jeweils für beide Fahrtrichtungen installiert (s. Bild 42). SWS befinden sich bei km 520,290 (Ri. Nürnberg), km 519,625 (Ri. München) und km 523,600 (Ri. München). An insgesamt neun Messquerschnitten werden Verkehrsdaten erfasst. Wie für die Untersuchungsstrecke auf der A 8 stehen Contour-Plots zur Verfügung.



Bild 42: BAB A9, München-Nord: Bild der Verkehrskamera bei km 520, Blickrichtung Norden [STMB 2021]

Der Winterdienst erfolgt durch die AM München-Nord, die an der AS München-Freimann ca. 3 km südlich der Untersuchungsstrecke liegt. Die Einsatzdaten im Winterdienst werden automatisch aufgezeichnet.

4.3 Analyse der Schneefallereignisse

4.3.1 BAB A4 Testfeld BAST

Beim betrachteten Abschnitt handelt es sich nicht um einen neuralgischen Streckenabschnitt, es liegt keine hohe Längsneigung vor, der Abschnitt liegt lediglich auf 100 m üNN, die Strecke ist nicht überproportional stark befahren und der SV-Anteil ist eher gering. Räumereinsätze werden aufgrund des eher geringen Schneefalls vielfach nicht mit Räumstaffeln, sondern durch einzeln fahrende Fahrzeuge durchgeführt.

Im Winter 2020/2021 konnten zwei Ereignisse ausgewertet werden (s. Anhang 4.1).

Ereignis 1 von Samstag, 16.01.2021 bis Sonntag, 17.01.2021

Das Schneefallereignis begann am 16.01.2021 gegen 20:00 Uhr und lässt sich in zwei Teilereignisse unterteilen (s. Bild 43). Das erste Teilereignis endete gegen 03:00 Uhr des Folgetages. Die Niederschlagsintensität ist als leicht bis mäßig einzuordnen. Vor Einsetzen des Niederschlags wurde die Fahrbahn zwischen 15.30 und 17.30 Uhr präventiv mit FS100 betreut. Es erfolgen kontinuierlich Räum- und Streueinsätze auf Fahrstreifen 1, gegen Ende des Schneefalls und im Nachgang erfolgt die Betreuung des Fahrstreifens 2, d. h. es sind keine Räumstaffeln im Einsatz. Aufgrund der Abend- und Nachstunden am Wochenende sind nur vereinzelt Lkw detektiert, so dass lediglich Aussagen über den Pkw-Verkehr gemacht werden können. Mit Einsetzen des Schneefalls wird der Pkw-Verkehr langsamer, die mittleren Geschwindigkeiten reduzieren sich auf beiden Fahrstreifen auf ca. 80 km/h. Nach Rückgang der Niederschlagsintensität steigen die



Geschwindigkeiten langsam, aber kontinuierlich. Aufgrund des niedrigen Verkehrsaufkommens schwanken die Geschwindigkeiten teils stark, da teilweise nur ein oder zwei Fahrzeuge je 5 min detektiert wurden. Unter den beschriebenen Bedingungen kam es zu keinem Zusammenbruch des Verkehrs oder einzelnen Staus, der Verkehrsfluss konnte mit der eingesetzten Winterdienstpraxis bei reduzierten Geschwindigkeiten aufrechterhalten werden.

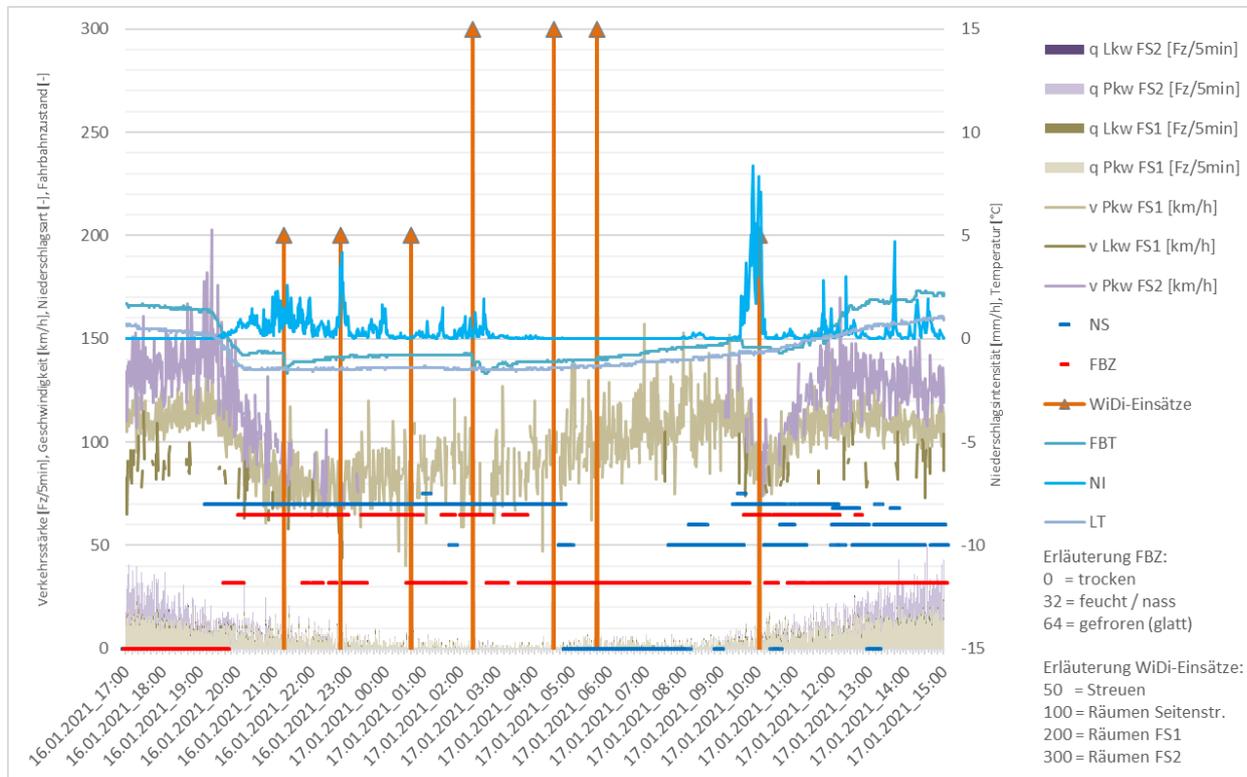


Bild 43: Ereignisdiagramm BAB A4 Testfeld BASt – Ereignis 1

Das zweite Teilereignis ereignete sich am 17.01.2021 gegen 09:30 Uhr, endete jedoch bereits gegen 10:15 Uhr. Ab ca. 09:50 Uhr wurden Niederschlagsintensitäten von bis zu 8 mm/h detektiert, die Fahrbahn war in diesem Zuge innerhalb kurzer Zeit schneebedeckt (s. Bild 44).



Bild 44: **Schneebedeckte Fahrbahn BAB A4 Testfeld BASt, Teilereignis 1.2 am 17.01.2021, Bild: BASt**

Daraus resultierte eine schnelle und starke Reduzierung der Geschwindigkeiten, aufgrund der geringen Verkehrsnachfrage kommt es aber weder zu Stauungen noch zu einem Verkehrszusammenbruch. Aus den zur Verfügung gestellten Protokollen geht lediglich ein einziger Winterdienstesinsatz während dieses Ereignisses hervor, welcher um 10:03 Uhr durchgeführt wurde. Nach Rückgang der Niederschlagsintensität in Folge des Räumeeinsatzes ist die Fahrbahn zeitnah zu großen Teilen schneefrei, die Geschwindigkeiten steigen schnell wieder auf das übliche Niveau.

Ereignis 2 am Sonntag, 24.01.2021

Ein zweites Ereignis wurde am Sonntag, den 24.01.2021 detektiert. Aus den Protokollen geht nicht hervor, ob ein präventiver Streueinsatz durchgeführt wurde. Gegen 03:00 Uhr ging der Niederschlag von Regen in Schnee über und dauerte bis ca. 10:00 Uhr an. Bis ca. 05:30 Uhr ist die Intensität als mäßig einzustufen, anschließend bis ca. 07:30 Uhr als stark mit Niederschlagsintensitäten von bis zu 15 mm/h. Infolgedessen wurde die Kamera eingeschneit und erst ab ca. 07:00 Uhr stehen wieder Bilder zur Verfügung (s. Bild 46). Diese zeigen eine stark schneebedeckte Fahrbahn. Da die Niederschlagsintensität zu diesem Zeitpunkt bereits abnahm, ist davon auszugehen, dass die Fahrbahnverhältnisse ab 05:30 Uhr durchgängig ähnlich waren.

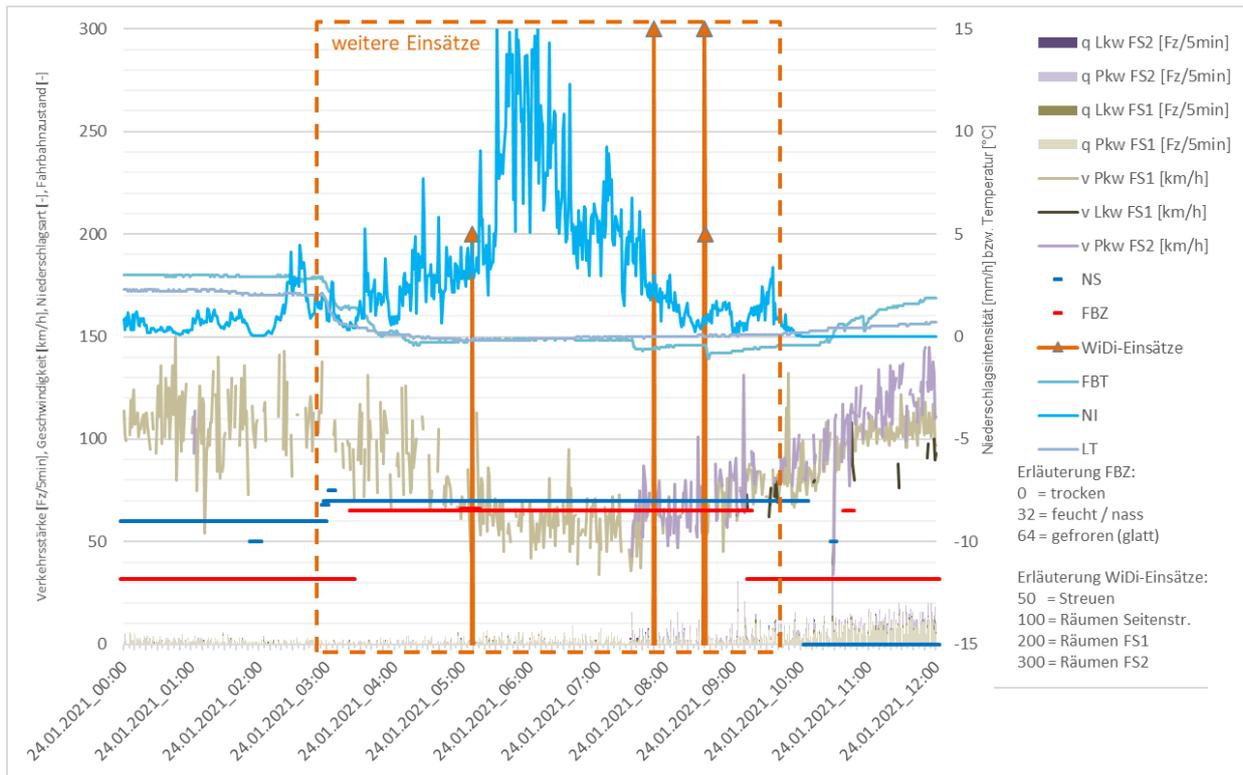


Bild 45: Ereignisdiagramm BAB A4 Testfeld BASt – Ereignis 2



Bild 46: Stark schneebedeckte Fahrbahn und teils eingeschneite Verkehrskamera BAB A4 Testfeld BASt am 24.01.2021, Bild: BASt

Wie in Bild 45 ersichtlich wird, sind die Pkw-Geschwindigkeiten im Mittel bereits bei Regen geringer als bei trockener Fahrbahn. Mit dem Übergang zu Schnee verringern sich die Geschwindigkeiten weiter kontinuierlich. Mit der Steigerung der Niederschlagsintensität reduzieren sich die Geschwindigkeiten weiter stark und bleiben während des starken Schneefalls im Mittel zwischen 50 und 70 km/h. Erst mit Abnahme der Schneefallintensität und den durchgeführten Winterdienstesinsätzen steigen die Geschwindigkeiten kontinuierlich über mehrere Stunden hinweg an, bis



gegen 11:00 Uhr wieder mittlere Geschwindigkeiten größer 100 km/h auf beiden Fahrstreifen erreicht werden. Neben den in Bild 45 dargestellten Einsätzen haben weitere Einsätze stattgefunden, diese wurden jedoch nicht dokumentiert und konnten aufgrund der verschneiten Kamera auch nicht identifiziert werden. Aufgrund der sehr geringen Verkehrsnachfrage und dem Fehlen des Schwerverkehrs ergeben sich keine Staus oder Verkehrszusammenbrüche.

4.3.2 BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche

Grundsätzlich wird der betrachtete Streckenabschnitt durch Einzelfahrzeuge betreut, die mit einem Seitenpflug ausgestattet sind und ohne Beifahrer unterwegs sind. Hiermit können der 1. Fahrstreifen komplett sowie ein Großteil des 2. Fahrstreifens in einem Durchgang geräumt werden. Häufig wird bei anhaltenden Schneefallereignissen eine kurze Räumschleife von ca. 6 km Länge zwischen der AS Hohenstadt und AS Mühlhausen eingerichtet.

Bei Bedarf (z. B., wenn Rückstau vor Ende des 6-streifigen Ausbaus erwartet wird) wird zudem eine ca. 5 km lange Räumschleife zwischen der Betriebsumfahrt bei km 146 und der AS Hohenstadt (km 151) eingerichtet. Dies war nach Aussage der Meistereileitung aufgrund des Pandemie-bedingten, verringerten Verkehrsaufkommens sowie der überwiegend nachts auftretenden Schneefallereignisse im Winter 2020/2021 jedoch nicht notwendig.

Im Winter 2020/2021 konnten insgesamt 16 Ereignisse mit teils intensiven Schneefallereignissen ausgewertet werden (s. Tabelle 7). Allerdings haben sich zahlreiche Schneefälle zu verkehrsschwachen Zeiten (Nachtstunden, Feiertage) ereignet, bei keinem der Ereignisse ist es aufgrund des Fahrbahnzustandes zu Stauungen gekommen, nur eine Reduktion der Geschwindigkeiten konnte vielfach festgestellt werden. Bei länger andauerndem Schneefall wurden die Fahrstreifen in der Regel in einem Turnus von 1 bis 2 h wiederholt geräumt. Wenn Präventiveinsätze aus den Protokollen identifiziert werden konnten, sind diese beschrieben und/oder in die Diagramme integriert. Eine vollständige Beschreibung aller ausgewerteten Ereignisse findet sich in Anhang 4 auf die zusammenfassende Bewertung wird im Kontext mit den weiteren Untersuchungsstrecken in Kapitel 4.3.5 eingegangen.


Tabelle 7: Übersicht der ausgewerteten Ereignisse auf der BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche

Ereignis	Datum von	Datum bis	Dauer [h]	Neuschnee [cm]
1	Di, 01.12.2020	Di, 01.12.2020	8,0	12,0
2	So, 06.12.2020	Mo, 07.12.2020	9,5	8,0
3	Do, 24.12.2020	Fr, 25.12.2020	18,0	7,5
4	Mo, 28.12.2020	Mo, 28.12.2020	2,0	3,0
5	Fr, 01.01.2021	Fr, 01.01.2021	7,0	1,5
6	Mi, 06.01.2021	Mi, 06.01.2021	21,0	8,4
7	Di, 12.01.2021	Di, 12.01.2021	14,5	17,3
8	Mi, 13.01.2021	Do, 14.01.2021	8,5	6,5
9	So, 17.01.2021	Mo, 18.01.2021	32,0	14,3
10	Sa, 23.01.2021	So, 24.01.2021	5,5	5,0
11	Mo, 25.01.2021	Mo, 25.01.2021	17,0	13,5
12	Di, 26.01.2021	Di, 26.01.2021	5,0	1,7
13	So, 07.02.2021	So, 07.02.2021	10,0	nicht ermittelbar
14	Mo, 08.02.2021	Mo, 08.02.2021	7,0	3,2
15	Mi, 10.02.2021	Mi, 10.02.2021	20,0	9,5
16	So, 14.03.2021	So, 14.03.2021	5,0	6,5

Im Folgenden werden die Ereignisse 7 und 9 exemplarisch analysiert, beide weisen eine lange Dauer und hohe Niederschlagsmengen auf.

Ereignis 7 am Dienstag, 12.01.2021

Das Schneefallereignis am Dienstag, den 12.01.2021 trat gegen 07:30 Uhr ein und dauerte ca. 14,5 h an. Für die Analyse wird das Ereignis in zwei Teilereignisse aufgeteilt.

Das erste Teilereignis deckt den Zeitraum von 07:30 Uhr bis 20:00 Uhr ab und beinhaltet die morgendliche und abendliche Spitzenstunde, die jedoch wenig ausgeprägt ist (s. Bild 47). Die dargestellten Winterdienstseinsätze gehen eindeutig aus den Protokollen hervor, nach Rücksprache mit dem Meistereileiter wurden jedoch weitere Einsätze durchgeführt. Eine Betreuung mit verkürzter Räumerschleife war nicht notwendig. Mit Einsetzen des Niederschlags ist ein Rückgang der Pkw-Geschwindigkeiten auf dem 2. Fahrstreifen zu erkennen, der Lkw-Verkehr scheint vorerst unbeeinflusst. Es ist auf den Kamerabildern zu erkennen, dass sich leichter Nebel bildet (s. Bild 48). Bis ca. 11:00 Uhr bewegen sich die Pkw-Geschwindigkeiten im Mittel bei ca. 80 km/h, die Niederschlagsintensität liegt unter 2 mm/h und sinkt bis ca. 11:00 Uhr auf 0 mm/h. Ab 11:00 Uhr steigt die Intensität des Niederschlags kontinuierlich auf 2 bis 3 mm/h und bleibt bis ca. 16:00 Uhr nahezu konstant hoch. Die Hauptfahrbahn ist teilweise schneebedeckt. Infolgedessen sinken die Lkw-Geschwindigkeiten auf 40 bis 60 km/h, die Pkw-Geschwindigkeiten auf 50 bis 70 km/h. Trotz der hohen Verkehrsnachfrage an einem Werktag und des hohen SV-Anteils sind keine Staus oder ein Zusammenbruch des Verkehrs zu erkennen. Gemäß den Zusatzprotokollen der Winterdienstfahrer ist gegen 14 Uhr ein Stau wegen Überlastung eingetreten, der sich jedoch aus den Verkehrsdaten nicht erkennen lässt.

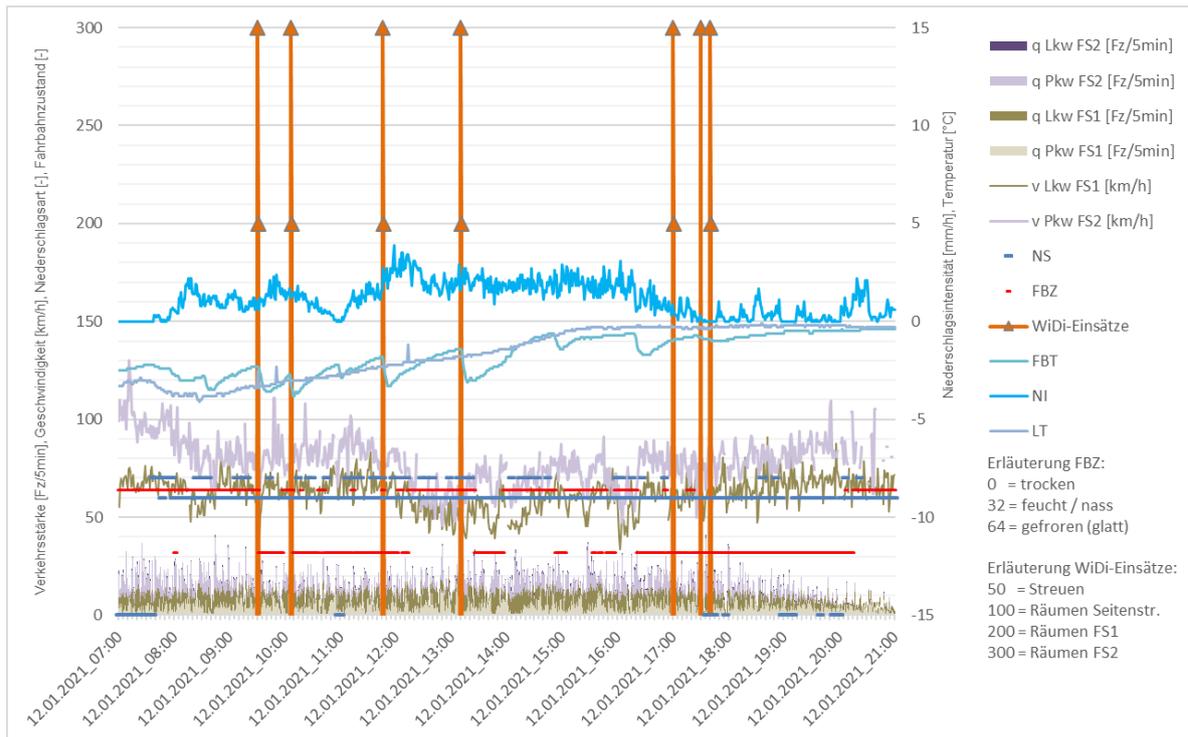


Bild 47: Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Teilereignis 7.1

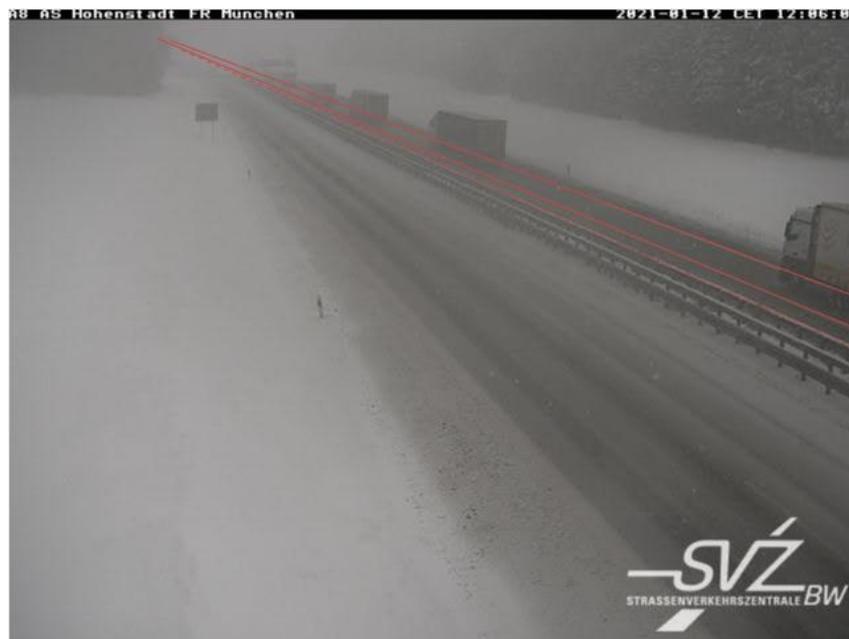


Bild 48: Teilweise schneebedeckte Fahrbahn, Schneefall und Nebel BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 12.01.2021 (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]

Beim zweiten Teilereignis ab 20:00 Uhr bis ca. 22:15 Uhr fallen weitere 2,5 cm Schnee, die Intensität des Niederschlags ist als leicht und mäßig einzustufen (s. Bild 49). Auch hier ist die Fahrbahn weiterhin teilweise schneebedeckt und die Geschwindigkeiten sind reduziert. Gegen 22:00 Uhr ist ein rapider Rückgang der Geschwindigkeiten bis zum Stillstand zu erkennen. Trotz der niedrigen Verkehrsnachfrage bildet sich ein Stau, vermutlich als Folge eines Unfalls oder

eines liegengebliebenen Fahrzeuges. Der Stau ist lediglich von kurzer Dauer. Winterdienstleistungen wurden für diesen Zeitraum nicht protokolliert.

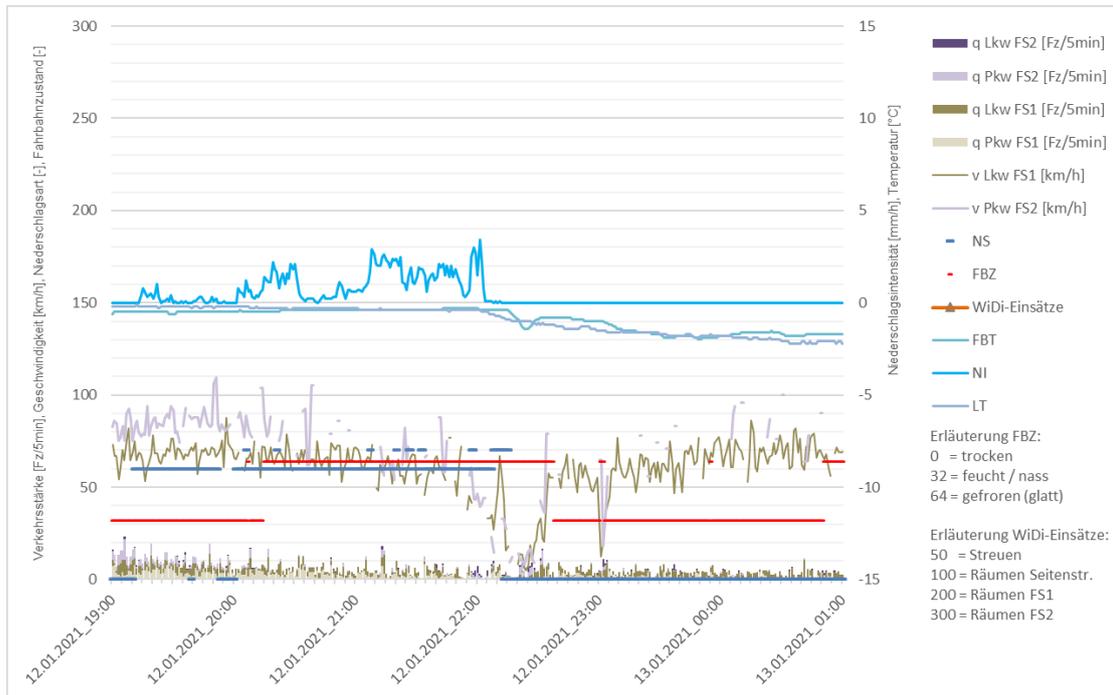


Bild 49: Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Teilereignis 7.2



Bild 50: Teils schneebedeckte Fahrbahn und blaues Blinklicht BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 12.01.2021, 22:13 Uhr (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]

Ereignis 9 von Sonntag, 17.01.2021 bis Montag, 18.01.2021

Ein langes Schneefallereignis von insgesamt rund 32 h Dauer ereignete sich am Sonntag, 17.01.2021 bis Montag, 18.01.2021 (s. Bild 51). Beginn war gegen 00:45 Uhr, Ende gegen 08:45 Uhr des Folgetages. Die Niederschlagsmenge lag insgesamt bei ca. 15 cm. Es sind zwar

nur vier Räumereinsätze zeitlich zuordenbar, insgesamt wurden aber ca. 20 Einsätze durchgeführt, so dass die Umlaufzeit bei 1 bis 2 h lag. Die Niederschlagsintensität ist die meiste Zeit als leicht einzustufen, zwischen 15:00 Uhr und 00:00 Uhr tendenziell als mäßig, wobei nur in wenigen Fällen mehr als 2 mm/h detektiert wurden.

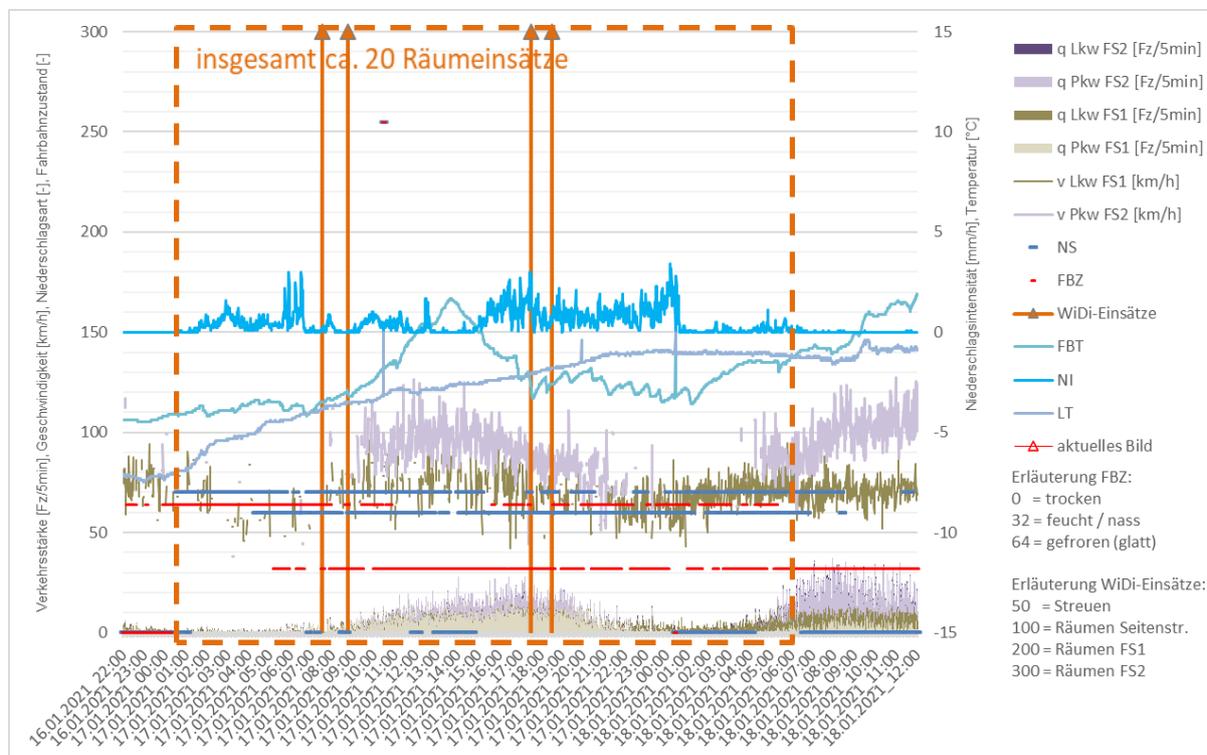


Bild 51: Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Ereignis 9

Am Sonntag befuhren lediglich einzelne Lkw den Streckenabschnitt, die größte Nachfrage des Pkw-Verkehrs wurde am Sonntag zwischen 15:00 Uhr und 18:00 Uhr detektiert. Ab 04:37 Uhr ist die SBA auf ‚Glätte‘ geschaltet und die Geschwindigkeit auf 80 km/h beschränkt, ab 15:52 Uhr sind wieder 100 km/h erlaubt. Es ist zu beobachten, dass die Pkw trotz Geschwindigkeitsbegrenzung während des leichten Schneefalls zwischen 80 und 110 km/h fahren. Die Fahrbahn ist in diesem Zeitraum durchgehend schneefrei. Mit Zunahme der Niederschlagsintensität gegen 15:30 Uhr ist die Fahrbahn teilweise schneebedeckt, was konstant abnehmende Geschwindigkeiten des Pkw-Verkehrs auf dem 2. Fahrstreifen zur Folge hat. Gegen 20:00 Uhr liegen diese lediglich noch zwischen 50 und 70 km/h (s. Bild 52). Der ab 22:00 Uhr zunehmende Lkw-Verkehr auf dem 1. Fahrstreifen scheint weniger beeinträchtigt und kann Geschwindigkeiten zwischen 50 und 70 km/h fahren. Dies kann mit der Räumpraxis zusammenhängen, bei der ein Fahrzeug mit Seitenpflug den gesamten 1. Fahrstreifen sowie einen Großteil des 2. Fahrstreifens räumt.

Ab ca. 01:00 Uhr fällt nur noch leichter Niederschlag geringer 0,5 mm/h, was zu steigenden Geschwindigkeiten aller Verkehrsteilnehmer führt. Pkw auf dem 2. Fahrstreifen erreichen erst nach dem morgendlichen Berufsverkehr gegen 08:00 Uhr wieder Geschwindigkeiten über 100 km/h, was jedoch vermutlich nicht an den Fahrbahnverhältnissen liegt (in den frühen Morgenstunden erscheint die Fahrbahn schneefrei), sondern an der höheren Verkehrsnachfrage im Berufsverkehr. Höhere Geschwindigkeiten werden lediglich vereinzelt gefahren, da teilweise die SBA eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h vorschreibt.



Bild 52: Teils schneebedeckte Fahrbahn BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 17.01.2021, 20:00 Uhr (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]

4.3.3 BAB A8 Abschnitt Irschenberg (Bayern)

Um den Verkehrsfluss im Abschnitt Irschenberg und den daran angrenzenden Abschnitten bei starkem, langanhaltendem Schneefall aufrecht zu erhalten, hat sich bei der AM Holzkirchen in der Vergangenheit folgende Einsatzstrategie bewährt: Der Abschnitt wird wechselseitig durch zwei Einsatzfahrzeuge betreut, die sich in der Regel zwischen den Betriebsumfahrten bei km 39,1 und km 46,7 bewegen. Ziel ist es, den 1. Fahrstreifen intensiv und in kurzen Intervallen (Zielgröße: 10 bis 15 min) zu betreuen, die anderen Fahrstreifen werden lediglich betreut, wenn dies Verkehr und Witterung zulassen. Somit wird bestmöglich sichergestellt, dass Lkw den Abschnitt mit im Mittel 6 % Steigung befahren können. Pkw können den 2. und 3. Fahrstreifen nutzen. Neben der Befahrbarkeit der Steigungsstrecken wird dadurch erreicht, dass der Verkehr nicht durch Räumstaffeln ausgebremst wird und dann in den nachfolgenden Abschnitten die positive Walkwirkung der Reifen auf die schneebedeckte Fahrbahn zeitweise fehlen würde, so dass hier ebenfalls ein höherer Betreuungsaufwand nötig wäre.

Im Winter 2020/2021 konnten zwei Ereignisse am 06.01.2021 sowie am 17.01.2021 ausgewertet werden. Ein weiteres Ereignis am 25.01.2021 fiel in dieser Region eher schwach aus und ist für die vorliegende Fragestellung nicht von Relevanz. Eine vollständige Beschreibung der beiden ausgewerteten Ereignisse findet sich in Anhang 4.3. Wenn Präventiveinsätze aus den Protokollen identifiziert werden konnten, sind diese beschrieben und/oder in die Diagramme integriert.

Das Schneefallereignis am 06.01.2021 beginnt in den Nachtstunden mit starkem Niederschlag zwischen 0:00 h und 02:00 h, der sich mit geringer Intensität bis ca. 08:00 h fortsetzt. Aufgrund der geringen Verkehrsmenge in den Nachtstunden eines Feiertags nimmt die mittlere Geschwindigkeit für Pkw und Lkw nur geringfügig ab. Bis in die Morgenstunden ist der linke Fahrstreifen



schneebedeckt, was aber keine Auswirkungen auf die Verkehrsqualität hat. Durch die zahlreichen Winterdienstesätze in der Nacht können die Fahrstreifen 1 und 2 durchgehend befahrbar gehalten werden.

Am Sonntag, 17.01.2021 beginnt der Schneefall in den frühen Morgenstunden gegen 05:00 Uhr und hält bis 10:00 Uhr an. Nach einer Pause setzt sich der Schneefall gegen 13:30 Uhr bis Mitternacht fort. Fahrbahn- und Lufttemperatur liegen durchgehend unter dem Gefrierpunkt. Es werden zahlreiche Räumesätze auf dem 1. Fahrstreifen gefahren, die weiteren Fahrstreifen werden nur vereinzelt betreut und bleiben bis in die Vormittagsstunden schneebedeckt (s. Bild 53). Der 1. Fahrstreifen ist trotz der sehr kurzen Räumintervalle aufgrund der tiefen Temperaturen von ca. -7 °C teilweise schneebedeckt (s. Bild 54). Der Verkehr konzentriert sich auf den 1. Fahrstreifen und kann bei reduzierter Geschwindigkeit aufrechterhalten werden, wozu die geringe Verkehrsbelastung an einem Sonntagmorgen beiträgt.

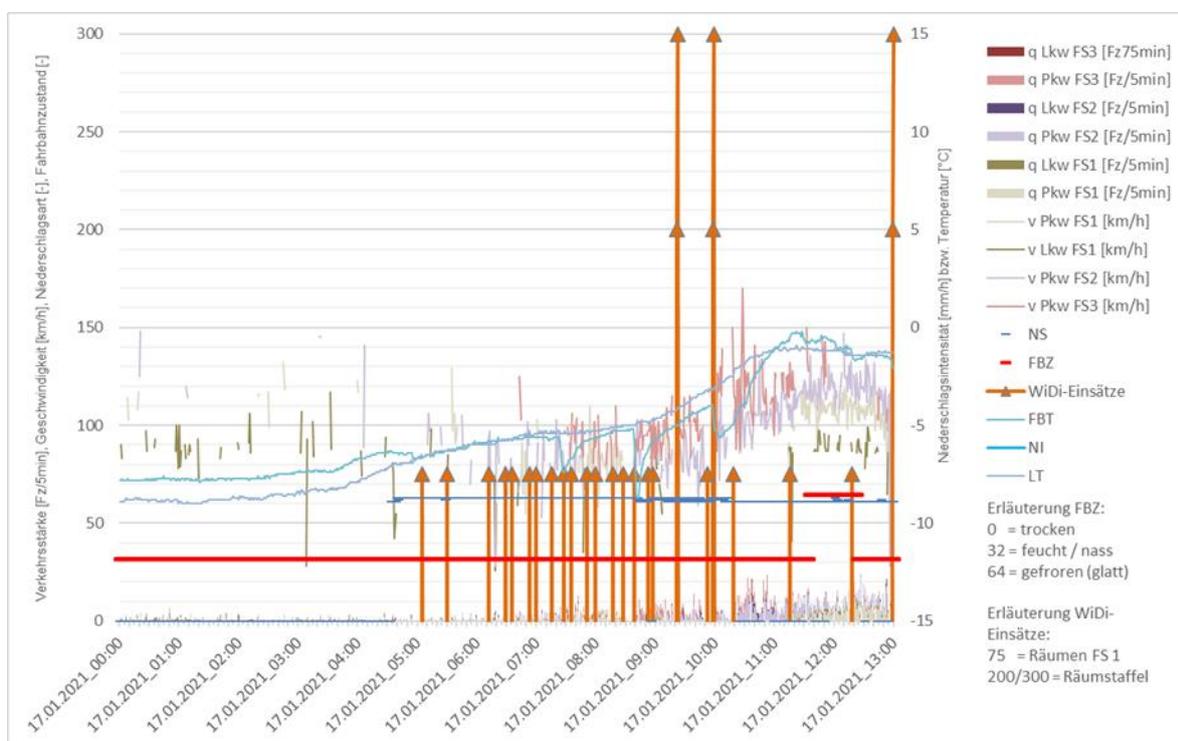


Bild 53: Ereignisdiagramm BAB A8 Irschenberg – Teilereignis 2.1



Bild 54: **Schneebedeckte Fahrbahn BAB A8 Irschenberg am 17.01.2021, 08:00 Uhr [STMB 2021]**

Mit dem Wiedereinsetzen des Schneefalls gegen 13.00 Uhr, der in den Abendstunden zunimmt, werden auch die Räumereinsätze wieder in kurzer Abfolge mit einem Fahrzeug durchgeführt, wobei auch Teile des 2. Fahrstreifens besser befahrbar sind (s. Bild 55). Der Verkehr kann hierdurch weiterhin aufrechterhalten werden, die Geschwindigkeiten der Pkw auch auf dem 1. und 2. Fahrstreifen sind zwar etwas reduziert, liegen aber immer noch zwischen 70 und 110 km/h.



Bild 55: **Fahrbahnzustand nach Räumung mit einem Fahrzeug auf der BAB A8 Irschenberg am 17.01.2021, 17:00 Uhr [STMB 2021]**



4.3.4 BAB A9 München – Nord (Bayern)

Der Abschnitt der BAB A9 im Bereich der AM München-Nord ist durch starken Pendlerverkehr im Ballungsgebiet und geringeren Lkw-Anteil geprägt. Die Gradienten weisen keine nennenswerten Längsneigungen auf. In der Regel wird eine präventive Streuung mit FS100 vor Einsetzen des Schneefalls durchgeführt. Sobald der Schnee räumfähig ist, werden die Räumeesätze gestartet und sukzessive Fahrzeuge hinzugezogen, so dass im Idealfall Räumstaffeln bestehend aus drei bis vier Einsatzfahrzeugen im gesamten Netz unterwegs sind und alle Fahrstreifen inkl. Seitenstreifen in einem Durchgang geräumt werden. Im Volleinsatz befinden sich 18 Fahrzeuge in der AM München-Nord im Einsatz. Mit Abschwächen des Schneefalls werden die Fahrzeuge wieder sukzessive abgezogen.

Im Winter 2020/2021 konnten drei Ereignisse am 06.01.2021, am 17.01.2021 sowie am 25.01.2021 ausgewertet werden. Eine vollständige Beschreibung der ausgewerteten Ereignisse findet sich in Anhang 4.4.

Am 06.01.2021 beginnt der Schneefall in den frühen Morgenstunden und hält bis ca. 14:00 Uhr an, In den Nacht- und frühen Morgenstunden werden nicht alle Fahrstreifen geräumt, erst ab ca. 10:00 Uhr werden alle Fahrstreifen durch Räumstaffeln betreut. Die Umlaufzeit liegt bei ca. 1 h. Aufgrund des Feiertags ist die Kapazität der geräumten Fahrstreifen ausreichend, um den Verkehrsfluss aufrechtzuerhalten; es kommt nur zu einem Rückgang der Geschwindigkeiten, wobei kurzzeitig auch Geschwindigkeiten unter 50 km/h gemessen wurden.

Am Sonntag, 17.01.2021 ist die Witterungssituation mit dem 06.01.2021 vergleichbar, der Schneefall dauert aber den gesamten Tag an. Zu Beginn werden in der Nacht mit reduzierter Fahrzeuganzahl nicht alle Fahrstreifen geräumt, ab den Morgenstunden kommen dann Räumstaffeln, die alle Fahrstreifen räumen, zum Einsatz. Aufgrund des stark reduzierten Lkw-Verkehrs und des fehlenden Berufsverkehrs ist auch bei diesem Schneefallereignis die Kapazität der verbleibenden Fahrstreifen ausreichend, um den Verkehrsfluss zu gewährleisten. Die Geschwindigkeiten sind in den Morgenstunden teilweise noch reduziert, ab ca. 11:00 Uhr sind jedoch keine signifikanten Rückgänge mehr erkennbar.

Am Montag, 25.01.2021 beginnt der Schneefall gegen 9:00 Uhr und dauert mit wechselnder Intensität über den gesamten Tag an. Die Lufttemperatur steigt in den Mittagstunden über den Gefrierpunkt. Es kommen Räumstaffeln zum Einsatz, die bis ca. 15:00 Uhr die gesamte Fahrbahn räumen, danach ist der Einsatz von weniger Fahrzeugen ausreichend. Zu Beginn des Schneefalls gehen die Geschwindigkeiten kurzzeitig stark zurück, der 4. Fahrstreifen ist zeitweise auch schneebedeckt (s. Bild 56). Der Verkehrsfluss kann auch bei den höheren Verkehrsbelastungen an einem Werktag durchgehend gewährleistet werden.



Bild 56: Teilweise schneebedeckte Fahrstreifen BAB A9 München-Nord am 25.01.2021, 09:30 Uhr [STMB 2021]

4.3.5 Zusammenfassende Bewertung

Bei der Gesamtbewertung der Schneefallereignisse auf den vier Untersuchungsstrecken sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Zahlreiche Schneefallereignisse fanden zu verkehrsschwachen Zeiten in der Nacht und/oder an Wochenenden/Feiertagen statt.
- Die Verkehrsbelastungen im Winter 2020/2021 waren Pandemie-bedingt geringer als in anderen Wintern.
- Trotz Zusatzprotokollen und spezifischer Einweisung der Fahrer konnten nicht immer alle Einsätze auf den Untersuchungsstrecken eindeutig zugeordnet werden, wenn die Einsatzdaten nicht digital erfasst wurden.
- Im Untersuchungszeitraum konnten auf den ausgewählten Untersuchungsstrecken keine starken Schneefallereignisse beobachtet werden, obwohl sie bis auf die BAB A 4 in eher schneereichen Regionen liegen.

Die Analyse der Schneefallereignisse im Zusammenhang mit Verkehrsgeschehen und Winterdienstseinsätzen lassen jedoch folgende Schlussfolgerungen zu:

- Auf allen Untersuchungsstrecken werden auch bei leichten und mittleren Schneefällen nicht durchgehend Räumstaffeln eingesetzt. Dies führte jedoch zu keinen Stauungen oder Verkehrszusammenbrüchen, wozu sicherlich auch die geringen Verkehrsmengen beigetragen haben.
- Auf den beiden Untersuchungsstrecken der BAB A8 (Alaufstieg/Albhochfläche bzw. Irschenberg) in größere Höhenlage bzw. mit starker Längsneigung hat sich die Einsatzstrategie bewährt, die Fahrbahn durch Einzelfahrzeuge mit sehr kurzer Umlaufzeit (1 h und auch deutlich geringer) zu räumen.



- Trotz der zum Teil geringen Umlaufzeiten können auch bei mittlerer Schneefallintensität teilweise schneebedeckte Fahrstreifen kurzzeitig nicht vermieden werden, insbesondere bei Fahrbahntemperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt. Auch bei höheren Streudichten kann dies nicht vermieden werden, da das wiederholte Ausbringen der auftauenden Streustoffe vor allem zum Ziel hat, den Schnee räumfähig zu halten und nicht ihn vollständig zu tauen.
- Wenn die einzeln fahrenden Räumfahrzeuge mit Front- und Seitenpflug ausgerüstet sind, kann neben dem 1. Fahrstreifen auch der 2. Fahrstreifen so weit geräumt werden, dass er vom Pkw-Verkehr eingeschränkt mitgenutzt wird.
- Zu Beginn eines Schneefallereignisses kommt es in der Regel zu einer Reduktion der Geschwindigkeiten, diese kann sowohl auf die schlechten Sichtbedingungen als auch die reduzierte Griffbarkeit bei schneebedeckter Fahrbahn zurückgeführt werden. Bei beginnendem Schneefall haben die Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit somit witterungsbedingt angepasst.
- Die Räumqualität beim ersten Räumeinsatz ist gut. Dies ist in der Regel auf eine ausreichende Restsalzmenge aus einem vorbeugenden Einsatz vor Beginn des Schneefalls zurückzuführen, so dass der Schnee auch bei geringer Verkehrsbelastung auf der Fahrbahnoberfläche nicht anfriert.
- Auch auf der hochbelasteten BAB A9 München-Nord ist es nicht unmittelbar notwendig, alle Fahrstreifen mit einer Räumstaffel zu räumen, sondern es reicht bei Beginn des Schneefalls aus, die Fahrbahn teilweise zu räumen, insbesondere wenn der Schneefall zu verkehrsschwächeren Zeiten einsetzt. Somit kann bei der Personaleinsatz- und Bereitschaftsplanung eine reduzierte Fahrzeuganzahl zu verkehrsschwachen Zeiten ausreichend sein, wenn keine extremen Schneefallereignisse vorhergesagt sind.



5. Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes

Auf Grundlage der meteorologischen und verkehrlichen Analysen im Bereich der Untersuchungsstrecken sowie ergänzt durch nationale und internationale Praxiserfahrungen im Winterdienst wurden mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes systematisiert. Sie werden im Folgenden jeweils kurz beschrieben und es wird darauf eingegangen, welche Randbedingungen für eine hohe Nutzenwirkung vorliegen sollten.

Die aufgeführten Maßnahmen stellen sowohl operative Winterdienstmaßnahmen bzw. Maßnahmen im Wintermanagement als auch verkehrsbeeinflussende bzw. –beschränkende Maßnahmen zur Unterstützung des Winterdienstes dar.

5.1 Umfahrungsempfehlungen mit stationären Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)

Bei starken oder langanhaltenden Schneefällen kommt es insbesondere bei neuralgischen Streckenabschnitten, wie langen Steigungsstrecken, immer wieder zu winterbedingten Verkehrsproblemen. Ziel der Umfahrungsempfehlungen ist es, insbesondere den überregionalen Schwerverkehr bei Prognose entsprechender Winterereignisse im Bereich von neuralgischen Streckenabschnitten großräumig um das betroffene Gebiet herum zu lenken. Es gibt in Deutschland einige Streckenabschnitte, bei denen eine Umleitung, z.B. über eine Parallelautobahn möglich ist. Diese Maßnahme ist an den Lkw-Fernverkehr adressiert, dem für seine Gesamtfahrstrecke entsprechende Alternativrouten zur Verfügung stehen. Regionaler Schwerverkehr bzw. Fernverkehr mit Start oder Ziel im Umfahrungsgebiet werden der Umfahrungsempfehlung nicht folgen.

Die Umsetzung der Maßnahme kann im Rahmen der Netzbeeinflussung über die dWiSta-Tafeln erfolgen. Auf den BAB ist bereits ein Netz mit entsprechenden dWiSta-Tafeln vorhanden und es werden zukünftig vermehrt neue NBA zur Verkehrslenkung zur Verfügung stehen. Die Routenempfehlungen sollen im weiteren auch an Navigationssysteme gesendet werden [Roos et al. 2012].

Durch die Maßnahme soll die Verkehrsmenge auf dem neuralgischen Abschnitt im kritischen Zeitfenster reduziert werden und damit die Wahrscheinlichkeit von winterbedingten Staus bzw. das Risiko von Streckenblockaden durch liegengebliebene oder querstehende Fahrzeuge reduziert werden. Für die Umsetzung der Maßnahme ist es zwingend notwendig, dass die empfohlene Umfahrungsstrecke durch die umgeleiteten Fahrzeuge nicht überlastet wird bzw. durch andere Ereignisse (z.B. Fußballspiel, Messe) bereits zu hoch ausgelastet sein wird. Zudem dürfen auf den Umfahrungsstrecken keine kritischen Streckenabschnitte oder zeitgleich problematische Winterereignisse vorliegen.

Voraussetzung zur Durchführung der Maßnahme ist, dass eine NBA mit dWiSta-Tafeln vorhanden ist. Weiterhin müssen entsprechende Algorithmen für Prognosemodelle für die winterbedingten Umfahrungsempfehlungen erweitert oder erstellt werden sowie Reisezeitdifferenzen berechnet und übermittelt werden. Es ist auch ein Entscheidungsablauf zu erarbeiten, der die Zusammenarbeit und Entscheidungszeitpunkte zwischen Winterdienststeuerung und Verkehrsleitzentrale koordiniert.

5.2 Umfahrungsempfehlungen durch temporäre dynamische Anzeigen

Die Maßnahme ähnelt der Maßnahme, die in Kapitel 5.1 beschrieben wurde, unterscheidet sich jedoch darin, dass diese Maßnahme auf Strecken ohne bestehende NBA über dynamische Anzeigetafeln eingesetzt werden kann. Es handelt sich zwar auch um eine Art Netzbeeinflussung, die jedoch nur kleinräumiger umgesetzt werden kann. Hierfür werden temporär dynamische Anzeigen während der gesamten Winterperiode im Zulauf neuralgischer Streckenabschnitte platziert, über die bei Bedarf eine Umleitung des neuralgischen Abschnitts für Lkw ausgeschildert werden kann. Diese temporären dynamischen Anzeigen werden z.B. auch bei Großveranstaltungen oder Arbeitsstellen längerer Dauer mit Staugefährdung eingesetzt. Diese Technik ist praxiserprobt und kann auch autark, z. B. mit Solarpanels betrieben werden (s. Bild 57).

Für den Einsatz während des Winters ist zu beachten, dass die dynamischen Anzeigen auch bei Schneefall noch erkennbar sind, d.h. die Anzeige darf weder durch fallenden Schnee noch durch geräumten Schnee verdeckt werden. Eine Aufstellung hinter passiven Schutzeinrichtungen kann daher nicht nur zum Schutz vor Fahrzeuganprall sinnvoll sein. Aufstellen, Betreuen und Abbauen der dynamischen Anzeigen kann durch Dienstleister erfolgen, die diese auch für andere Anwendungsfälle anbieten. Die Schaltung der Anzeigen kann über ein Online-Portal durch die zuständige Dienststelle durchgeführt werden.



Bild 57: Beispiel für die Verkehrslenkung mit dynamischer Anzeige bei Veranstaltungen [B.A.S 2021]

Durch die Maßnahme soll die Verkehrsmenge auf dem neuralgischen Abschnitt und damit die Wahrscheinlichkeit von winterbedingtem Stau oder querstehenden Fahrzeugen reduziert werden. Die Maßnahme ist insbesondere für den Schwerverkehr nutzbar. Durch die im Vergleich zu Kapitel 5.1 ggf. auch kleinräumigere Umfahrungsempfehlung kann auch ein größerer Anteil der Verkehrsteilnehmer angesprochen werden, den kritischen Streckenabschnitt zu umfahren.

Die Maßnahme kann im Zuge eines prognostizierten Schneefallereignisses zum Einsatz kommen. Die dynamischen Anzeigen sind auf der Umfahrungsstrecke vor Beginn der Wintersaison aufzustellen, über den Winter vorzuhalten und am Ende wieder abzubauen. Für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme ist es zwingend notwendig, dass die Umfahrungsstrecke durch die umgeleiteten Fahrzeuge nicht überlastet wird. Zudem dürfen auf den Umfahrungen keine kritischen Streckenabschnitte oder Winterereignisse vorliegen. Auch hier sind Abläufe und

Entscheidungsprozesse zu definieren, wer bei welchem Ereignis die dynamischen Anzeigen schalten darf.

5.3 Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt

Bei zu erwartenden langanhaltenden starken Schneefällen kommt es immer wieder zu winterbedingten Verkehrsproblemen, da der Schwerverkehr bei neuralgischen Streckenabschnitten im Fall von langsam fahrenden oder stehenden Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen auch die linken Fahrstreifen nutzt. Dies führt in der Folge häufig dazu, dass alle Fahrstreifen durch liegengebliebene Lkw blockiert werden. Im Zuge dessen hat auch der Winterdienst keine Chance mehr, den neuralgischen Streckenabschnitt entsprechend zu betreuen und eine verkehrssichere Befahrbarkeit wiederherzustellen.

Erfahrungen in der Praxis zeigen, dass das Signalisieren eines Lkw-Überholverbots in solchen Situationen nicht beachtet wird und die linken Fahrstreifen dennoch vom Lkw-Verkehr genutzt werden mit der Begründung, am Hindernis vorbeizufahren und nicht zu überholen. In diesem Fall handelt es sich rechtlich jedoch nicht um ein „Vorbeifahren“, denn ein "Vorbeifahren" liegt nur an nicht verkehrsbedingt haltenden Verkehrsteilnehmern vor. Stau- oder witterungsbedingt haltende Fahrzeuge halten jedoch verkehrsbedingt, somit wird auch in diesem Fall überholt.

Daher erscheint es wirkungsvoller, bei starken Schneefallereignissen im kritischen Streckenabschnitt die Überholfahrstreifen durch das Zeichen 253 StVO für den Lkw-Verkehr zu sperren (s. Bild 58). Die Umsetzung kann durch WVZ von SBA erfolgen



Bild 58: Verkehrszeichen 253 StVO [BASt 2021]

5.4 Fahrstreifensperrungen für alle Fahrzeuge

Die Maßnahme Fahrstreifensperrung für alle Fahrzeuge ist eine Ausweitung der Maßnahme in Kapitel 5.3. Ziel dieser Maßnahme ist eine intensivierete Betreuung im Winterdienst auf dem rechten Fahrstreifen durch verkürzte Umlaufzeiten durch Auflösung von Räumstaffeln [BMVI 2021]. Die Sperrung der linken Fahrstreifen kann mit Hilfe von WVZ angezeigt werden. Alternativ, gerade wenn keine SBA auf dem Streckenabschnitt vorhanden ist, kann die Verlagerung des Verkehrs durch Nichträumen der linken Fahrstreifen erreicht werden. Sobald die Schneedecke der nichtbetreuten Fahrstreifen eine gewisse Höhe erreicht hat, werden diese Fahrstreifen von den



Verkehrsteilnehmern nicht mehr genutzt. Der Beginn der nicht mehr betreuten Fahrstreifen sollte dann aus Gründen der Verkehrssicherheit an übersichtlichen bzw. für die Verkehrsteilnehmer plausiblen Stellen erfolgen.

Da durch Reduktion des Verkehrsablaufs auf nur noch einen Fahrstreifen die Kapazität des Streckenabschnitts stark vermindert ist, sollte die Maßnahme nur bei ausreichenden Kapazitätsreserven durchgeführt werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass, sobald es die Wetterlage zulässt, mit Hilfe einer Staffellärmung die gesamte Fahrbahn von links nach rechts geräumt wird.

5.5 Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt

Im Bereich von langen Steigungsstrecken kommt es bei Schneefallereignissen immer wieder zu Fahrbahnblockaden durch querstehende Fahrzeuge. Insbesondere sind hierbei Lkw problematisch, da sie nicht einfach geborgen und in einen nichtbehindernden Bereich gezogen werden können.

Für diesen Einsatzfall hat es sich an geeigneten Stellen bewährt, dass der Lkw-Verkehr beim Auftreten kritischer Verkehrssituationen mit Hilfe der Polizei, teilweise mit Unterstützung von THW und Feuerwehr, vor der Steigungsstrecke angehalten wird. Dazu werden bestehende dynamische Beschilderungen oder mobile Anzeigetafeln in Form von Vorwarnanhängern genutzt. Durch [Roos et al. 2012] wurde ein entsprechendes Beschilderungskonzept ausgearbeitet, welches eine sichere Erkennbarkeit für die Verkehrsteilnehmer ermöglicht sowie international verständlich ist.

Nach Anhalten des Schwerverkehrs kann der neuralgische Streckenabschnitt intensiv geräumt und gestreut werden, der weiterhin fahrende Pkw-Verkehr wird zur schnelleren Wirkung des Salzes genutzt. Wenn die Fahrbahnverhältnisse eine allgemeine Befahrbarkeit auch für Lkw erlauben, wird der Streckenabschnitt wieder für den gesamten Verkehr freigegeben.

5.6 Temporäre Fahrbahnsperrung vor dem kritischen Streckenabschnitt

Bei vorhersehbaren kritischen Fahrbahnzuständen oder weiter anhaltenden Schneefällen kann eine temporäre Fahrbahnsperrung für den Gesamtverkehr durchgeführt werden, um den Zufluss in den neuralgischen Streckenabschnitt zu stoppen. Eine Fahrbahnsperrung soll somit einen unkontrollierbaren Stau in neuralgischen Streckenabschnitten verhindern, indem bereits der gesamte Verkehr im Vorfeld des Streckenabschnitts kontrolliert angehalten wird. Hierzu sollte der Verkehr z.B. vor einer Betriebsumfahrt oder Anschlussstelle angehalten werden, um die ungehinderte Zufahrt der Einsatzfahrzeuge zu ermöglichen. Es ist dabei anzumerken, dass der Verkehr nicht ins nachgeordnete Netz ausgeleitet werden sollte, da dort die Fahrbahnzustände in der Regel nicht besser sind, aber die Streckenverhältnisse zum Fahren bei winterlichen Verhältnissen ungeeigneter und eine Versorgung bei einem Verkehrszusammenbruch schwieriger sind.

Die Organisation einer temporären Fahrbahnsperrung ist im Rahmen eines Katastrophenplanes zu definieren. Die Durchführung erfolgt in der Regel durch die Polizei oder in enger Abstimmung mit ihr. In Kapitel 7.4.5 wird detaillierter auf die notwendigen Ressourcen auf Seiten der Autobahnmeisterei eingegangen. Die Dauer der Vollsperrung orientiert sich an der Dauer des starken Schneefallereignisses. Der Nutzen liegt in einer kontrollierten Verkürzung der Staudauer und der



Möglichkeit den neuralgischen Streckenabschnitt im Winterdienst intensiv zu betreuen. Eine Vollsperrung kann je nach Situation eine Betreuung eines Streckenabschnitts ggf. erst möglich machen.

Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Vollsperrung nicht frühzeitig aufgehoben wird, bevor der neuralgische Abschnitt zum einen intensiv betreut wurde und zum anderen die starken Schneefälle in ihrer Intensität nachgelassen haben.

5.7 Sperrung der Anschlussstelle

Besteht bereits ein winterbedingter Stau, der in absehbarer Zeit nicht abgebaut wird, soll mit Sperrungen der Anschlussstellen verhindert werden, dass noch mehr Fahrzeuge auf die Autobahnen auffahren und den Stau vergrößern. Bislang sind keine Untersuchungen zur Wirksamkeit der Maßnahme bekannt. Durchgeführt wurde die Maßnahme bereits in Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg [Cypra et al. 2006].

Die Maßnahme wird als kritisch betrachtet und nicht weiterverfolgt, da das nachgeordnete Straßennetz bei extremen Winterereignissen in der Regel weniger gut betreut als das Autobahnnetz ist und es somit dort früher zu winterbedingten Verkehrsbehinderungen bis hin zu Verkehrszusammenbrüchen kommt. Weiterhin ist davon auszugehen, dass in Extremsituationen die Versorgung der Verkehrsteilnehmer mit warmen Getränken, Kraftstoff und Decken auf Autobahnen, geregelt durch entsprechenden Katastrophenpläne, sichergestellt werden kann, im nachgeordneten Netz jedoch nicht.

5.8 Kameras in kritischen Abschnitten

Wie Experteninterviews mit zahlreichen AM'en gezeigt haben, wird eine Optimierung in der Koordinierung der Winterdiensteinsätze gesehen, wenn ein detaillierter Überblick über das aktuelle Verkehrsgeschehen insbesondere bei den kritischen Streckenabschnitten mit Hilfe von Kameras ermöglicht wird. Bei Detektion eines Verkehrsstaus können die nachfolgenden Winterdienstfahrzeuge ggf. noch vor dem Stauende ausgeleitet werden, um nicht im Stau gefangen zu werden. Neben der optischen Kontrolle der Verkehrssituation kann auch der Fahrbahnzustand und der Niederschlag (Art und Intensität) kleinräumig erfasst werden. Gerade bei sich kritisch einstellenden Fahrbahnverhältnissen dienen die Kamerabilder einer Validierung der Daten und Alarmmeldungen der SWS und des Niederschlagsradars. Auch die Hinweise für Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen (H PEB SWIS) [FGSV 2019] empfehlen nachtsichtfähige Kameras als Stand der Technik bei der Ausstattung von SWS für die Fahrbahnzustandskontrolle. Neben den Kameras der SWS können zusätzliche Kameras zwischen den SWS eine lückenlose Überwachung des Verkehrsgeschehens sowie des aktuellen örtlichen Fahrbahnzustandes ermöglichen.

5.9 Zusätzliches Winterdienstfahrzeug

Sofern keine neuralgischen Abschnitte im Meistereinetz vorhanden sind, dient ein zusätzliches Fahrzeug dazu den Standard auf z. B. hochbelasteten Autobahnen generell zu erhöhen. Durch eine netzweite Verkürzung der Umlaufzeiten kann bei starkem Schneefall dazu beigetragen



werden, dass der Verkehr höhere Geschwindigkeiten fahren kann, die Kapazität weniger stark reduziert und damit die Wahrscheinlichkeit eines winterbedingten Staus geringer wird. Durch ein zusätzliches Fahrzeug ist zudem eine Betreuung der Rastanlagen tendenziell besser möglich, so dass Lkw bei zu starkem Schneefall auch ausfahren können.

Ein anderer Einsatzzweck für ein zusätzliches Winterdienstfahrzeug ist der Einsatz auf neuralgischen Streckenabschnitten, um dort die Umlaufzeiten deutlich, z.B. bis auf 30 Minuten oder geringer, zu verkürzen, insbesondere bei Extremwetterereignissen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Infrastruktur, z. B. durch das Vorhandensein von Betriebsumfahrten die Möglichkeiten bietet, die kurzen Umlaufzeiten praktisch umzusetzen.

Je nach Lage der neuralgischen Streckenabschnitte ist zu prüfen, ob zusätzliche Winterdienstfahrzeuge bereits an Anschlussstellen oder Parkplätzen im Bereich des kritischen Streckenabschnitts bereitgestellt werden, damit die Fahrzeuge mit Einsetzen des Schneefallereignisses unmittelbar vor Ort starten können.

5.10 Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen

Wie bereits bei anderen Maßnahmen erläutert, kommt es bei extremen Winterereignissen im Bereich von neuralgischen Streckenabschnitten zu erheblichen Behinderungen bis hin zu Fahrbahnblockaden durch liegengebliebene oder querstehende Lkw. Diese Fahrbahnblockaden führen zu extremen Stauereignissen und der Winterdienst hat keine Chance mehr, in diesem Bereich Einsätze durchzuführen.

Daher ist es von hoher Bedeutung, behindernde Fahrzeuge so schnell wie möglich in einen Bereich zu schleppen, wo sie den Verkehrsablauf nicht mehr stören. Um die Zeit zwischen Liegengeblieben und Abschleppen so kurz wie möglich zu halten, muss sich ein Abschleppfahrzeug bereits in unmittelbarer Nähe befinden.

Die Durchführung folgt den Erfahrungen aus Österreich, die bereits seit vielen Jahren Lkw-Abschleppfahrzeuge bei entsprechender Wetterprognose in Bereitschaft versetzen. In den vergangenen Jahren hat sich dort auch das Vorgehen bewährt, dass diese bereits bei den Einsätzen zirkulieren, um zusätzlich Zeit zu sparen, da die Anfahrtszeit wegfällt bzw. stark verkürzt wird. Die Kosten für diese Einsätze werden durch die ASFiNAG getragen, für die infolge der besseren Verkehrssituation höhere Mauteinnahmen anfallen. [Maier-Farkas 2015] Auch in Dänemark werden Abschleppfahrzeuge privater Unternehmen eingesetzt, um havarierte Lkw von der Fahrbahn zu bergen. Die Kosten werden dort von der dänischen Straßenbauverwaltung getragen.

In Bayern ist 2019 eine Regelung im Interesse der Rechtssicherheit zum Einsatz privater Hilfsdienste und Abschleppunternehmen auf Autobahnen und Kraftfahrstraßen (PannenhilfeBek) [STMI & STMB 2019] erlassen worden. Damit kann privaten Abschleppunternehmen von der Straßenbauverwaltung die Sondernutzung genehmigt werden, nach Aufforderung an Anschlussstellen für Einsätze bereitzustehen. Liegengebliebene Lkw sollen zur nächstmöglichen Stelle abgeschleppt werden, an der sie den Verkehr nicht mehr beeinträchtigen und/oder die Fahrbahn verlassen werden kann.



5.11 Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit

Bei starken bzw. langanhaltenden Schneefällen sowie bei Schnee- und Eisglätte kommt es insbesondere auf den hoch belasteten Streckenabschnitten schnell zu winterbedingten Stauungen. Die Praxis zeigt, dass sich die Winterdienstfahrzeuge dann häufig selbst im Stau befinden, da für die Räumfahrzeuge trotz der Verpflichtung bei Staubildung eine Rettungsgasse zu bilden, keine Räumgasse gebildet wird und der Einsatz der gelben Rundumleuchten bei den Verkehrsteilnehmern nicht den gewünschten Warneffekt hat. Durch Einsatz von Blaulicht und Einsatzhorn auf Winterdienstfahrzeugen kann das Winterdienstfahrzeug selbstständig eine Räumgasse im Stau einfordern und somit ohne zusätzliche Zeitverluste durch Warten auf Unterstützung durch die Polizei den Winterdiensteinsatz beschleunigen. Der Einsatz von Blaulicht auf Winterdienstfahrzeugen kann auch beim Ausnahmefall „Räumen entgegen der Fahrtrichtung“ bei Blockabfertigung Verwendung finden. Die Maßnahme wurde von [Cypra et al. 2006] untersucht und wie folgt bewertet: *„Die betriebswirtschaftlichen Aufwendungen zur Umsetzung dieser Maßnahme sind sehr gering, der volkswirtschaftliche Nutzen durch zügige Räumgassenbildung im Staufall und schnellere Auflösung eines Staus ist hingegen recht hoch.“* Eine quantitative Bewertung erfolgte hier nicht. In einer aktuelleren Studie aus Österreich erfolgt die Einschätzung von Einsatzkräften, *„... dass das Einsetzen aller verfügbaren optischen und akustischen Mittel, wie Folgetonhorn und Blaulicht, in der Regel auch all jene Kfz-LenkerInnen, die noch keine Rettungsgasse gebildet haben, rasch dazu animiere, die Rettungsgasse zu bilden.“* [KFV 2014]

Die Wirkung ist jedoch von mehreren Faktoren abhängig. So ist zum Beispiel ausschlaggebend, ob aufgrund des Querschnitts (kein Seitenstreifen, Baustellenbereich) eine ausreichende hohe Breite für eine Räumgasse überhaupt zur Verfügung stehen kann. Was für Rettungsfahrzeuge ausreichend sein kann, kann dem Platzbedarf von Räumfahrzeugen mit Frontpflug (und ggf. Seitenpflug) ggf. nicht genügen. Andere Faktoren sind z.B. auch die Sensibilisierung der Verkehrsteilnehmer für das Erkennen einer kritischen Situation. Beispielsweise wird in [KFV 2014] beschrieben, dass *„Im Stop-and-go-Verkehr aufgrund von Überlastung ... die Rettungsgasse weniger oft [funktioniert] als dort, wo klar ist, dass ein Unfall passiert ist.“* Des Weiteren ist die Wirkung auch davon abhängig, welcher Fahrzeugtyp die Räumgasse blockiert, Lkw haben hier einen deutlich eingeschränkteren Bewegungsspielraum als Pkw.

Die Investitionen für die Ausrüstung eines Fahrzeuges sind relativ gering und liefern bereits bei Einzelereignissen und auch schon bei lediglich geringer Verkürzung von Staudauern ein deutlich positives Kosten-Nutzen-Verhältnis. Auch aus der Umfrage bei den AM'en ging hervor, dass die Meisterei-/Einsatzleiter die Ausstattung der Fahrzeuge sehr befürworten.

Wie schon [Cypra et al. 2006] beschrieben, ist Voraussetzung für eine dauerhafte Wirkung ohne negative Rückkopplungseffekte für Polizei, Rettungsdienste oder Feuerwehr allerdings der äußerst restriktive Einsatz des blauen Blinklichts im Winterdienst. Gemäß § 38, Absatz (1) StVO darf *„Blaues Blinklicht zusammen mit dem Einsatzhorn [...] nur verwendet werden, wenn höchste Eile geboten ist, um Menschenleben zu retten oder schwere gesundheitliche Schäden abzuwenden, eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung abzuwenden, flüchtige Personen zu verfolgen oder bedeutende Sachwerte zu erhalten.“* [StVO 2021]. Daher müssen klare Handlungsanweisungen für die Fahrer erstellt, jährlich Schulungen für den Umgang des Blaulichteinsatzes im Winterdienst durchgeführt sowie alle Einsätze durch Fahrer protokolliert werden.



Als Alternative wurde in Bayern das sogenannte „verbesserte Gelblichtkonzept“ entwickelt und getestet. Hierbei werden die Verkehrsteilnehmer insbesondere durch den Einsatz sehr heller Blitzbalken, die unterhalb der Windschutzscheibe am Winterdienst-Lkw angebracht sind, und ein prägnantes 2-Tonsignal darauf aufmerksam gemacht, dass sich ein Einsatzfahrzeug von hinten nähert. Auch die Autobahn GmbH verfolgt primär verbesserte Gelblichtkonzepte.

5.12 Schmalen Frontpflug

Schmale Frontpflüge sind für die Einsatzsituationen vorgesehen, wenn ein Winterdienstfahrzeug mit Standard-Frontpflug auf Grund der Durchfahrtsbreite nicht eingesetzt werden kann. Hierbei können auch Teleskop-Frontpflüge zum Einsatz kommen, deren Arbeitsbreite durch Aus- bzw. Einfahren einer Pflugschar variabel einstellbar ist. Es sind insbesondere zwei Einsatzfälle für den Einsatz schmaler Frontpflüge zu nennen, zum einen Einsatz im Stauffällen und zum anderen Winterdienst in Autobahnbaustellen. Ergänzend können Winterdienstfahrzeuge mit schmalen Frontpflug häufig auch besser Tank- und Rastanlagen sowie Parkplätze betreuen. Der Nutzen wäre hier einerseits, dass Lkw weiterhin die Rastanlagen anfahren können, andererseits, dass Stausituationen früher aufgelöst werden könnten.

Es ist dabei die Einsatzstrategie zu definieren, welche Einsatzaufgaben den Winterdienstfahrzeugen ausgestattet mit schmalen Frontpflug zugeordnet ist. So könnten sie standardmäßig für die Betreuung der Tank- und Rastanlagen sowie Parkplätze bzw. Winterbaustellen eingesetzt werden. Im Fall einer sich abzeichnenden Staubildung könnten sie dann für die Betreuung des neuralgischen, staugefährdeten Streckenabschnitts abgezogen werden. Weiterhin ist zu prüfen, ob im Einsatzbereich dieser Fahrzeuge ein kleines Tausalzlager (z.B. kleines Tausalzsilos) installiert werden sollte, um Verlustzeiten für Nachladefahrten zu vermeiden.

5.13 Betriebsumfahrten

Betriebsumfahrten bieten dem Betriebsdienst und Einsatzfahrzeugen die Möglichkeit, auch zwischen weit auseinanderliegenden Anschlussstellen zu wenden und somit schneller den zu betreuenden Autobahnabschnitt zu erreichen. Im Winterdienst dienen Betriebsumfahrten im Wesentlichen der Verkürzung bzw. Vermeidung von Leerwegen während der Einsätze. Die reduzierten Verlustzeiten im Winterdienst schlagen sich in einem beschleunigten Winterdienst nieder. Im Betriebsdienst kommen Betriebsumfahrten an entsprechenden Stellen wie Meistereigrenzen, AK bzw. AD oder vor und hinter neuralgischen Streckenabschnitten besonders zum Tragen, wenn keine Wendemöglichkeiten durch nahegelegene Anschlussstellen gegeben sind.

In der Untersuchung von [Cypra et al. 2006] sind Angaben zu Standortwahl und entwurfstechnische Hinweise ausführlich dargelegt worden.

5.14 Winterbaustellen

Baustellen auf Autobahnen sollten nach Möglichkeit nicht während des Winters betrieben werden. Wenn allerdings eine Baustelle über den Winter aufrechterhalten werden muss, sollten bei der Planung der Baustelle die Anforderungen des Winterdienstes zwingend beachtet werden, da es ansonsten zu erheblichen Problemen auf Grund der Durchfahrtsbreite der Winterdienstfahr-

zeuge kommen kann. In Baustellen werden die Fahrstreifen einer Richtungsfahrbahn häufig getrennt, z.B. 3+1- oder 4+2-Führung, angeordnet. Wenn einzeln geführte Fahrstreifen wegen der zu geringen Breite im Winterdienst nicht betreut werden können, sind diese in der Folge für den Verkehr zu sperren, wenn die Verkehrssicherheit nicht gewährleistet werden kann. Während bereits starke Kapazitätsverluste durch den Schneefall zu beobachten sind, verstärkt das Wegfallen eines Fahrstreifens das Problem weiter, da der Verkehr auf den verbleibenden Fahrstreifen gedrängt wird.

Bei getrennt geführten Fahrstreifen in der Baustelle ist die Fahrtrichtung ggf. durch ein zusätzliches Fahrzeug zu betreuen, um die erforderlichen Umlaufzeiten einhalten zu können. Ist es nicht möglich, die Durchfahrtsbreite so zu dimensionieren, dass Winterdienstfahrzeuge mit Standard-Frontpflug durchfahren können, ist ein Fahrzeug mit schmalen Frontpflug einzusetzen. Bei der Planung der Baustellen ist weiterhin zu berücksichtigen, dass bei der Schneeräumung eine Ablagerung in den Seitenraum möglich sein muss.

5.15 Schneezäune

Schneezäune sollen verhindern, dass fallender und insbesondere bereits gefallener Schnee durch Wind auf die Fahrbahn transportiert wird (Triebsschnee). Dies vermeidet einerseits Sichtbehinderungen, andererseits reduziert dies die Menge des Schnees auf der Fahrbahn während des Schneefallereignisses, aber auch, je nach Witterung, Tage und Wochen danach. Schnee- verwehungen, die so bis in den Fahrbahnbereich hineingetragen werden, müssen kontinuierlich geräumt werden.

Das Aufstellen von Schneezäunen ist keine adäquate Maßnahme für ganze Meistereinetze. Vielmehr kommen sie an windanfälligen Stellen zum Einsatz, i. d. R. in eher flachen Bereichen bzw. auf der Sogseite von Bergen, Geländerücken oder Böschungskanten [Durth et al. 2004]. Die Höhe der Schneezäune ist abhängig von den regional zu erwartenden Schneemengen und der Größe des sogenannten Aufnahmevorfeldes, sie liegt in der Regel zwischen 1,15 und 2,25 m. Die Höhe des Zauns kann reduziert werden, indem mehrere niedrigere Elemente gestaffelt hintereinander aufgestellt werden. Der durch Wind transportierte Schnee sammelt sich in Windrichtung gesehen zum größeren Teil hinter dem Schneezäun, also zwischen Schneezäun und Straße (s. Bild 59). [FGSV 2020]

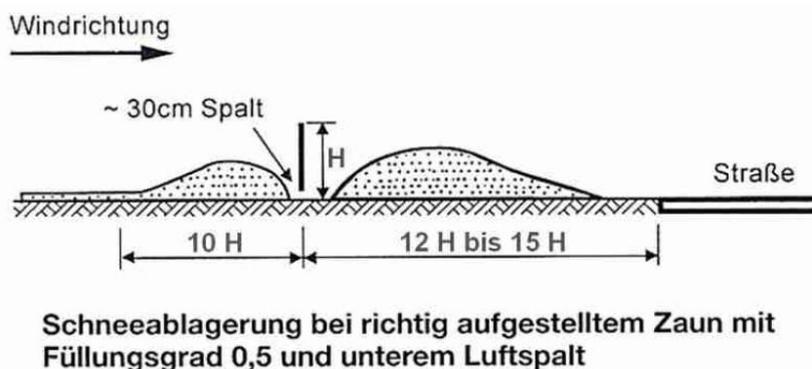


Bild 59: Schneeablagerung bei richtig aufgestelltem Schneezäun [FGSV 2020]



Von Seiten der Straßenbauverwaltung sollten Genehmigungen bei den Grundstückbesitzern eingeholt werden, dass für den Winterzeitraum Schneezäune auf der Grundstücksfläche aufgebaut werden können. An Autobahnen gilt hingegen § 11, Absatz (1) Fernstraßengesetz, nach dem der Eigentümer die Aufstellung dulden muss [FGSV 2020].

5.16 Rotierende Schneeräummaschinen

Rotierende Schneeräummaschinen zeigen ihren Nutzen erst nach dem eigentlichen Schneefallereignis zur Beseitigung von Schneeablagerungen/Randwällen an den Straßenrändern und dienen nach [Dirnhofer 2019] vor allem der Verkehrssicherheit durch

- Freiräumen von Sichtfeldern,
- Entfernen von Schneerampen insbesondere vor Schutzeinrichtungen und dadurch Vermeidung von Fahrzeugen, die von der Fahrbahn abkommen sowie
- Vermeidung von Schmelzwasser, das wiederum auf der Fahrbahn gefriert.

Während kleinere Schneeablagerungen außerhalb des Autobahnnetzes auch mit Radladern oder Baggern beseitigt werden können [Dirnhofer 2019], ist dies auf der Autobahn nur mittels Schneeräummaschinen durchführbar.

Je häufiger starke Schneefallereignisse auftreten, desto wichtiger ist es, dass die AM Möglichkeiten hat, auf eine Schneeräummaschine zugreifen zu können. In Gebieten, in denen der Einsatz von Schneeräummaschinen unwahrscheinlicher ist, kann eine gemeinsame Verwendung von mehreren Meistereien sinnvoll sein.

5.17 Winterdienstzentrale (WDZ)

Eine WDZ, wie sie z.B. in Nordrhein-Westfalen im Einsatz ist, sammelt winterdienstrelevante Informationen zu Wetter, Verkehr und Winterdiensteinsätzen meistereiübergreifend und steht den Einsatzleitern 24/7 zur Verfügung. Da eine WDZ während der gesamten Winterzeit mit geschultem Personal zur Verfügung steht, kann eine solche Zentrale Daten der SWS und Wetterprognosen und -warnungen permanent überwachen und die Einsatzleiter der Meistereien bei sich ankündigenden Winterereignissen rechtzeitig informieren, damit diese dann Bereitschaftsdienste alarmieren bzw. Winterdiensteinsätze auslösen können. Aufgaben und Ausstattung von WDZ sind im AP „Aufbau und Betrieb von Winterdienstzentralen“ [FGSV 2007] dokumentiert. Der Arbeitsablauf einer WDZ zur Winterdienststeuerung ist ausführlich auch in [Cypra et al. 2006] beschrieben.

Weiterhin eröffnet der Einsatz einer WDZ durch die Bündelung der Kompetenzen vereinfacht die Möglichkeit, Einsätze effizient meistereiübergreifend zu koordinieren. Beispiele hierfür wären die Koordinierung von rotierenden Schneeräummaschinen in mehreren Meistereien oder die Verlagerung von Fahrzeugen und Personal in Nachbarmeistereien. So ist denkbar, dass Netzgrenzen bei extremen Wetterereignissen so verschoben werden könnten, dass Meistereien mit kritischen Streckenabschnitten durch eine temporäre Verkleinerung der zu betreuenden Streckenabschnitte entlastet werden.



5.18 Automatisierte Einsatzdatenerfassung (AEDE)

Ziel einer AEDE ist in erster Linie die Optimierung der Betriebskostenrechnung, um Einsätze im Sommer- und Winterdienst sowohl effektiver als auch effizienter gestalten zu können [Hollдорf et al. 2013]. Ein weiterer Nutzen der Einsatzdatenerfassung ist die Visualisierung von Echtzeitdaten, wie sie in manchen Bundesländern und auch in Österreich eingesetzt wird. Hierbei werden alle erfassten Daten (z.B. Position, Tätigkeit, Streudichte) an den zuständigen Einsatzleiter übertragen, so dass er ohne Rückfragen an die Fahrer einen kompletten Überblick über die Positionen der Fahrzeuge sowie über die bereits betreuten Streckenabschnitte erhält. Mit Überschneidung von Verkehrs- und Wetterdaten kann der Einsatzleiter dann bei Bedarf auf akute Ereignisse kurzfristig reagieren und den Einsatz dynamisch steuern, was insbesondere bei starken Schneefallereignissen von Bedeutung ist.

5.19 Systematische Ereignisanalyse

Mit Hilfe umfassender Daten der AEDE ist auch eine systematische Ereignisanalyse möglich. So kann bspw. die Messung von Umlaufzeiten der Qualitätssicherung dienen [Maier-Farkas 2015], dies hat aber eher einen indirekten Einfluss auf eine Verbesserung verschiedener Abläufe und dem Betriebsdienst im Allgemeinen. Durch Auswertung dieser Daten kann z.B. analysiert werden, was bei einem starken Schneefallereignis ggf. nicht funktioniert hat und Einsatzpläne können dahingehend optimiert werden. Diese Analysen besonderer Winterdienstereignisse werden im Sinne von „Best Practice“ u.a. durch die ASFiNAG und auch die Niederlassung Südbayern der Autobahn GmbH durchgeführt.

5.20 Öffentlichkeitsarbeit

Öffentlichkeitsarbeit ist heutzutage in allen Branchen ein wichtiger Bestandteil, um Verbraucher bzw. Nutzer zu informieren bzw. zu sensibilisieren. Gerade im Bereich des Straßenbetriebsdienstes resp. Winterdienstes ist es wichtig, Akzeptanz und Verständnis für die Tätigkeiten des Betriebsdienstes bei den Verkehrsteilnehmern zu erlangen [Maier-Farkas 2019], da die Wirksamkeit der Winterdienstmaßnahmen auch erheblich von den Verhaltensweisen der Verkehrsteilnehmer abhängt. In diesem Zusammenhang sollten die Baulastträger verstärkt auch für die richtige Ausrüstung der Fahrzeuge, z. B. Winterreifen, ggf. Schneeketten, und angepasste Fahrweisen, z. B. Bilden von Gassen für die Räumfahrzeuge, im Winter werben.



Bild 60: Beitrag der ASFiNAG in Instagram am 14.01.2021 während eines Winterereignisses

Neben dem Einsatz klassischer Quellen für die Öffentlichkeitsarbeit in Printmedien, Radio und Fernsehen findet heutzutage immer mehr Kommunikation im Social Media Bereich statt. Ziel dabei ist es, durch geeignete Sprache und Aufmachung der Beiträge eine größere Gruppe der Verkehrsteilnehmer zu erreichen und für die Arbeit des Winterdienstes zu sensibilisieren. So zeigt zum Beispiel die ASFiNAG am 14.01.2021 in ihrem Beitrag mit Videoclips eindrucksvoll den laufenden Winterdiensteseinsatz, verbunden mit Verhaltensregeln für die Verkehrsteilnehmer (s. Bild 60), die nicht belehrend wirken.



6. Analyse der Häufigkeit und Verteilung von Schneefallereignissen

6.1 Ermittlung der regionalen Häufigkeit mäßiger oder starker Schneefallereignisse

Zur Ermittlung der regionalen Häufigkeit von Schneefallereignissen wurden die historischen Daten des hauptamtlichen Netzes des DWD herangezogen. Dieses beinhaltet 207 hauptamtlich betreute Wetterstationen und Wetterwarten [DWD 2021a]. Ehrenamtlich betreute Klima- und Niederschlagsstationen wurden aufgrund fehlender Durchgängigkeit der Messdaten nicht in die Betrachtung einbezogen. Anhang 5 zeigt einen Überblick über das hauptamtliche Messnetz des DWD.

Aus diesem Netz wurde eine Vorauswahl an Wetterstationen und -warten getroffen, die möglichst nahe an den Autobahnen liegen. Andere wurden aussortiert, bspw. Wetterstationen/-warten in der Nord- und Ostsee und in Gipfellagen (Zugspitze, Feldberg). Auf Grundlage der zwölf Naturräume mit unterschiedlicher klimatischer Ausprägung des DWD (s. Anhang 5) wurden mit besonderem Fokus auf die topografische Lage der Autobahnen insgesamt 16 Regionen definiert, für die Kenngrößen zur Häufigkeit starker Schneefallereignisse bestimmt werden sollen. Diesen Regionen wurden die vorausgewählten Wetterstationen/-warten zugeordnet, so dass deren Messdaten repräsentativ für die jeweilige Region sind.

Der DWD gibt die Niederschlagsintensität stets in mm/h an. Für eine Abschätzung der gefallen Neuschneemenge ist demnach zuerst eine Umrechnung in cm notwendig. Nach [Milbrandt et al. 2012] kann die Dichte von Schnee stark variieren. Die sogenannte ‚snow-to-liquid ratio‘ (SLR) liegt für durchschnittlich dichten Schnee zwischen einem Wert von 9 und 15, schwerer Schnee kann Werte bis zu 1 annehmen, leichter Schnee ein deutlich größeres Volumen aufweisen. Die SLR ist definiert als Verhältnis des Volumens von Schnee zu dem Volumen des geschmolzenen Schnees. Langzeituntersuchungen in den USA zeigten eine Spanne von $SLR = 1,9$ bis $SLR = 46,8$ und einen Mittelwert von $SLR = 15,6$ [Milbrandt et al. 2012]. Der [DWD 2021c] unterscheidet verschiedene Schneearten und weist diesen ein spezifisches Wasseräquivalent zu. Dieses ist definiert als *„Höhe der Wasserschicht in mm, die sich nach dem Schmelzen der Schneedecke ausbilden würde, wenn das Schmelzwasser ohne Infiltration oder Verdunstung auf einer horizontalen Fläche verbliebe.“* [DWD 2021c] Für Neuschnee (frisch gefallener Schnee, der nicht länger als 3 Tage liegt) wird hier ein Wert zwischen 0,5 und 1,5 mm/cm angegeben. Für die Auswertungen wird ein spezifisches Wasseräquivalent von 1,0 mm/cm angesetzt, was einem SLR von 10 entspricht.

Generell stellt der DWD historische Messdaten mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung zur Verfügung. 1- und 10-minütige Intervalle lassen für die vorliegende Fragestellung keinen Mehrwert gegenüber stündlichen Werten erwarten. Die längsten Zeitreihen finden sich bei den Tageswerten, diese reichen teilweise zurück bis in das 19. Jahrhundert, Stundenwerte reichen hingegen bestenfalls zurück bis in die 1990er-Jahre [DWD 2021a]. Es liegt demnach nahe, dass eine Analyse der Tageswerte bei Betrachtung sehr vieler und auch weit zurückliegender Winter einen Vorteil bietet und damit auch die Möglichkeit, zeitliche Veränderungen zu erkennen. Eine Analyse der Stundenwerte verspricht hingegen genauere Ergebnisse aufgrund der zeitlichen Auflösung der Einzelwerte.



Um zu prüfen, ob die langen Zeitreihen der Tageswerte zur Hochrechnung der Stundenwerte benutzt werden können, wurde für vier Messstationen des hauptamtlichen Messnetzes (02319 Holzkirchen, 02814 Merklingen, 03490 Bad Neuenahr und 03857 Oy-Mittelberg) überprüft, ob und wie gut Stunden- und Tageswerte korrelieren.

Für die Korrelationsanalyse wurden die Daten von Oktober 2005 bis Dezember 2011 zugrunde gelegt, da diese durchgängig vorlagen. Bei den Stundenwerten wurde danach unterschieden, ob lediglich alle Werte mit dem Parameter WRTR = 7 (gefallener Niederschlag nur in fester Form, entspricht WMO-Code-Zahl 12 bzw. RSKF = 7) oder auch Werte mit dem Parameter WRTR = 8 (gefallener Niederschlag in fester und flüssiger Form, entspricht WMO-Code-Zahl 13 bzw. RSKF = 8) berücksichtigt werden. Zur Korrelationsanalyse wurden die Werte jeweils zu Monats- bzw. Jahreswerten kumuliert. Bei den Tageswerten wurde analog danach unterschieden, ob alle Werte mit dem Parameter RSKF = 7 oder auch Werte mit RSKF = 8 berücksichtigt werden. Dabei wurden im Weiteren die jeweiligen Werte zu Monats- und Jahreswerten (Summen) kumuliert und gegenübergestellt.

Der Vergleich der Summen von Neuschnee ergibt bei Berücksichtigung des Parameters WRTR = 7 die in Bild 61 dargestellten Wertepaare und Regressionsgeraden. Ein Punkt der Reihe ‚Monatswerte‘ entspricht dabei der Summe des gefallenen Neuschnees eines Monats an einer Messstation, ein Punkt der Reihe ‚Jahreswerte‘ dementsprechend der Summe des gefallenen Neuschnees eines Jahres an einer Messstation. Es zeigt sich, dass Tages- und Stundenwerte nur bedingt korrelieren und teils stark streuen. Die ermittelten Regressionsgeraden weichen sowohl bei den Monats- als auch bei den Jahreswerten deutlich von der ‚Sollgeraden‘ $y = x$ ab.

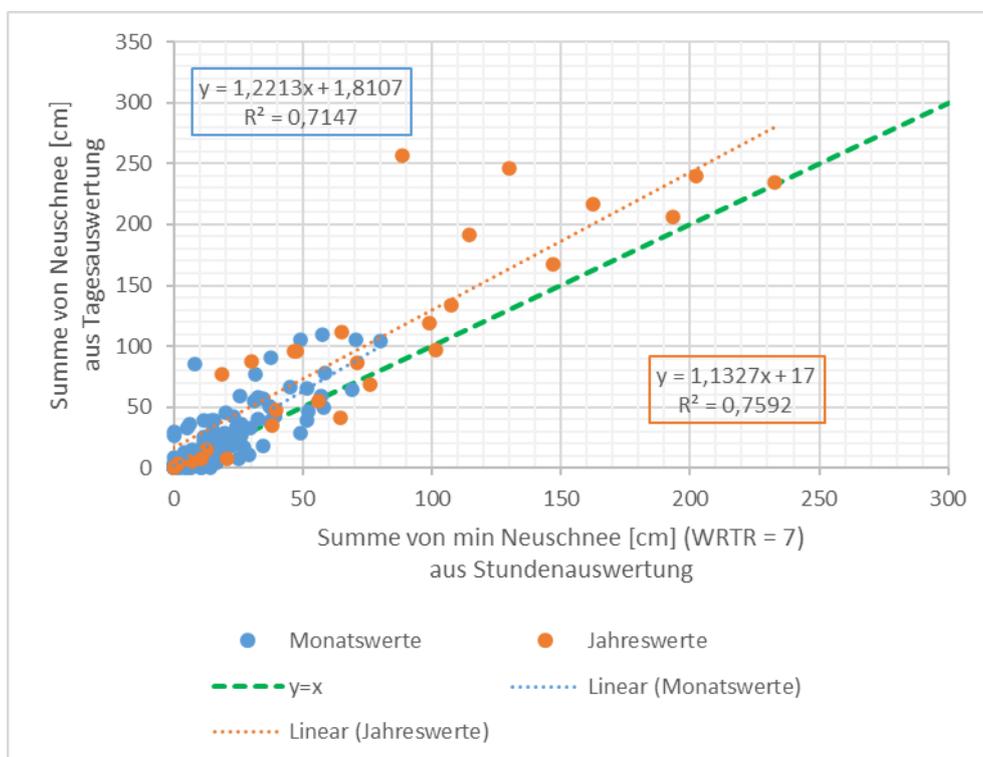


Bild 61: Vergleich der Summen von Neuschnee bei Berücksichtigung des Parameters WRTR = 7 (Berücksichtigung der vier Messstationen 02319 Holzkirchen, 02814 Merklingen, 03490 Bad Neuenahr und 03857 Oy-Mittelberg im Zeitraum Oktober 2005 bis Dezember 2011)



Die Berücksichtigung von WRTR = 7 oder 8 zeigt ein ähnliches Ergebnis (s. Bild 62). Die Regressionsgerade der Monatswerte weist ein ähnliches Bestimmtheitsmaß wie in Bild 61 auf, das Bestimmtheitsmaß der Jahreswerte ist nochmals geringer.

Auffällig ist zudem, dass bei beiden Korrelationen die Summe des Neuschnees aus der Tagesauswertung höher als die aus der Stundenauswertung ist. Beinahe alle Punkte liegen oberhalb der ‚Sollgeraden‘ $y = x$. Während diese Abweichungen bei Berücksichtigung von WRTR = 7 oder WRTR = 8 (s. Bild 62) darauf zurückgeführt werden können, dass bei den Tageswerten auch Stunden mit vollständig flüssigem Niederschlag dem Tages- aber nicht dem Stundenwert zugeordnet werden, ist dies bei ausschließlicher Berücksichtigung von WRTR = 7 (s. Bild 61) nicht direkt plausibel.

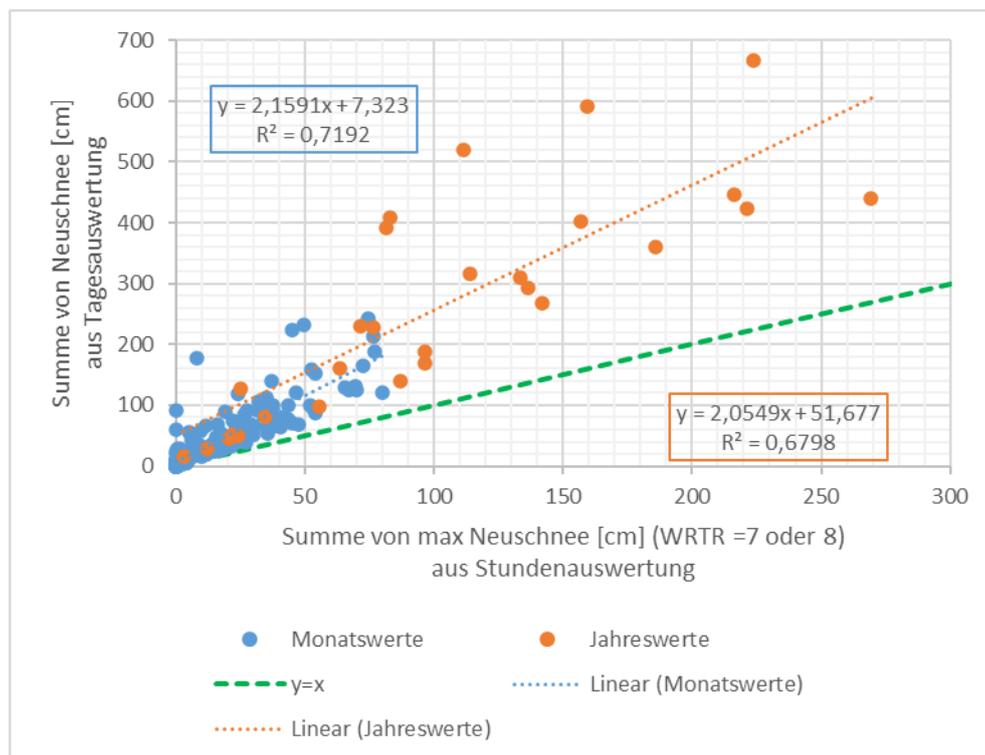


Bild 62: Vergleich der Summen von Neuschnee bei Berücksichtigung der Parameter WRTR = 7 oder 8 (Berücksichtigung der vier Messstationen 02319 Holzkirchen, 02814 Merklingen, 03490 Bad Neuenahr und 03857 Oy-Mittelberg im Zeitraum Oktober 2005 bis Dezember 2011)

Eine Hochrechnung der gewünschten Stundenwerte auf einen längeren Zeitraum auf Basis von Tageswerten ist aufgrund der geringen Korrelationen damit unzureichend und wird nicht weiterverfolgt. Grundlage der weiteren Berechnungen sind daher die Stundenwerte als einheitliche Datenbasis.

Für die vorausgewählten Wetterstationen/-warten stehen neben den historischen Daten (Stundenwerte) aus synoptischer Messung auch Werte aus Augenbeobachtung zur Verfügung. Eine Auswertung der Werte aus Augenbeobachtung ist jedoch nicht zielführend, da die Grunddaten häufig viele Fehlwerte aufweisen und dadurch keine durchgängige Verfügbarkeit der Werte sichergestellt ist. Eine Überprüfung der Messwerte der synoptischen Messung zeigte ebenfalls eine hohe Zahl an Fehlwerten, insbesondere systematische Fehlwerte zu jeder 3. Stunde, da nach Aussage des DWD eine durchgehend stündliche Speicherung nicht möglich ist. Um die



systembedingten Fehlwerte zu jeder 3. Stunde zu reduzieren, wurden diese durch den WRTR-Wert ersetzt, der in der Stunde vor und nach der 3. Stunde vorliegt, wenn dieser gleich belegt ist. Lag keine Übereinstimmung vor, wurde der Fehlwert belassen. Dieser Bearbeitungsschritt reduziert die Anzahl an der Gesamtzahl an Fehlern (systematisch und andere) um 7 bis 22 %. Diese Glättung kann im Einzelfall auch dazu führen, dass Werte falsch belegt werden; Stichproben zeigen aber, dass in der Regel andere Parameter ein Niederschlagsereignis zum entsprechenden Zeitpunkt aufweisen und diese Glättung plausibilisieren. Weitere Algorithmen zur Reduzierung der Fehlern (z. B. Ableitung von WRTR-Werten über Werte der Augenbeobachtung) wurden überprüft, zeigten jedoch lediglich Verbesserungen im unteren, einstelligen Prozentbereich. Diese Algorithmen wurden daher nicht angewendet.

Um Schneefallereignisse zu identifizieren, wurden für die 16 Regionen Mittelwerte der Jahressummen für folgende Parameter bestimmt:

- Stunden mit mäßigem oder starkem Schneefall [h/Winter]
- Anzahl der Schneefallereignisse mit mäßigem oder starkem Schneefall [-/Winter].

Eine Differenzierung nach der Stärke des Niederschlags erfolgt in drei Kategorien entsprechend der Definition des [DWD 2021d]:

- leicht: Niederschlagshöhe in 60 min $< 1,0$ mm
- mäßig: Niederschlagshöhe in 60 min $\geq 1,0$ mm bis $< 5,0$ mm
- stark: Niederschlagshöhe in 60 min $\geq 5,0$ mm

Für die Ermittlung der Mittelwerte wurden für alle zugeordneten Wetterstationen/-warten jeder Region die jeweiligen Werte für die zur Verfügung stehenden Winter ermittelt und anhand der verbliebenen Zahl an Fehlern entsprechend extrapoliert. Daten lagen durchgängig erst ab dem Winter 2001/2002 vor, der jüngste betrachtete Winter war der Winter 2018/2019. Maximal standen somit 18 Winterperioden zur Verfügung. Einbezogen wurden alle Wetterstationen/-warten, für die mindestens zehn Winter ausgewertet werden konnten. In diesem Schritt wurden die vorausgewählten Wetterstationen/-warten überprüft, bei zu großer Zahl an Fehlern aussortiert und deren Zuordnung zur jeweiligen Klimaregion plausibilisiert. Bei Bedarf wurden weitere Wetterstationen/-warten untersucht und zugeordnet.

In die Auswertungen wurden neben den starken Niederschlagsereignissen auch die mäßigen Niederschlagsereignisse einbezogen, da starke Niederschlagsereignisse als Schneefall seltene Ereignisse sind und die Ergebnisse somit sehr stark vom zufälligen Auftreten abhängen würden. Die Untersuchung zeigte, dass bei 5 bis 10 Ereignissen mit mäßigem oder starkem Schneefall lediglich ein Ereignis mit starkem Schneefall auftritt.

Bild 63 zeigt die Stunden mit mäßigem oder starkem Schneefall pro Winter. Bild 64 zeigt die Anzahl der Ereignisse mit mäßigem oder starkem Schneefall pro Winter. Als Ereignis zählen zusammenhängende Stunden mit Schneefall, ihre Dauer wird hier nicht dargestellt. Berücksichtigt wurden nur Ereignisse, in denen mindestens eine der enthaltenen Stunden mäßigem oder starkem Schneefall aufwies. Beide Karten sind explizit auf das Autobahnnetz bezogen, die Werte sind für autobahnähnliche Straßen bei vergleichbaren Höhenlagen sinngemäß anzuwenden.

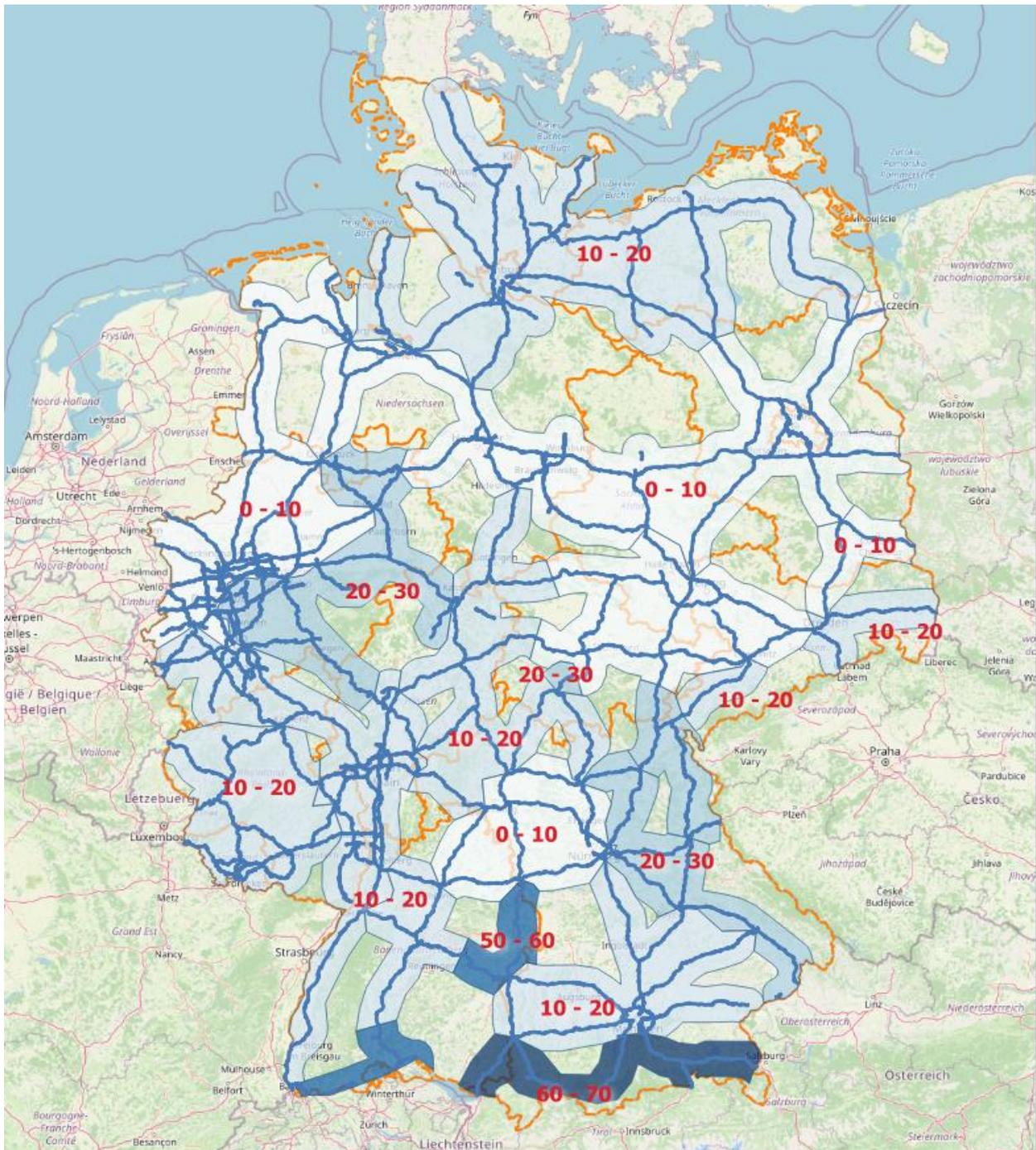


Bild 63: Stunden mit mäßigen oder starkem Schneefall pro Winter im BAB Netz (Erwartungswerte), Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

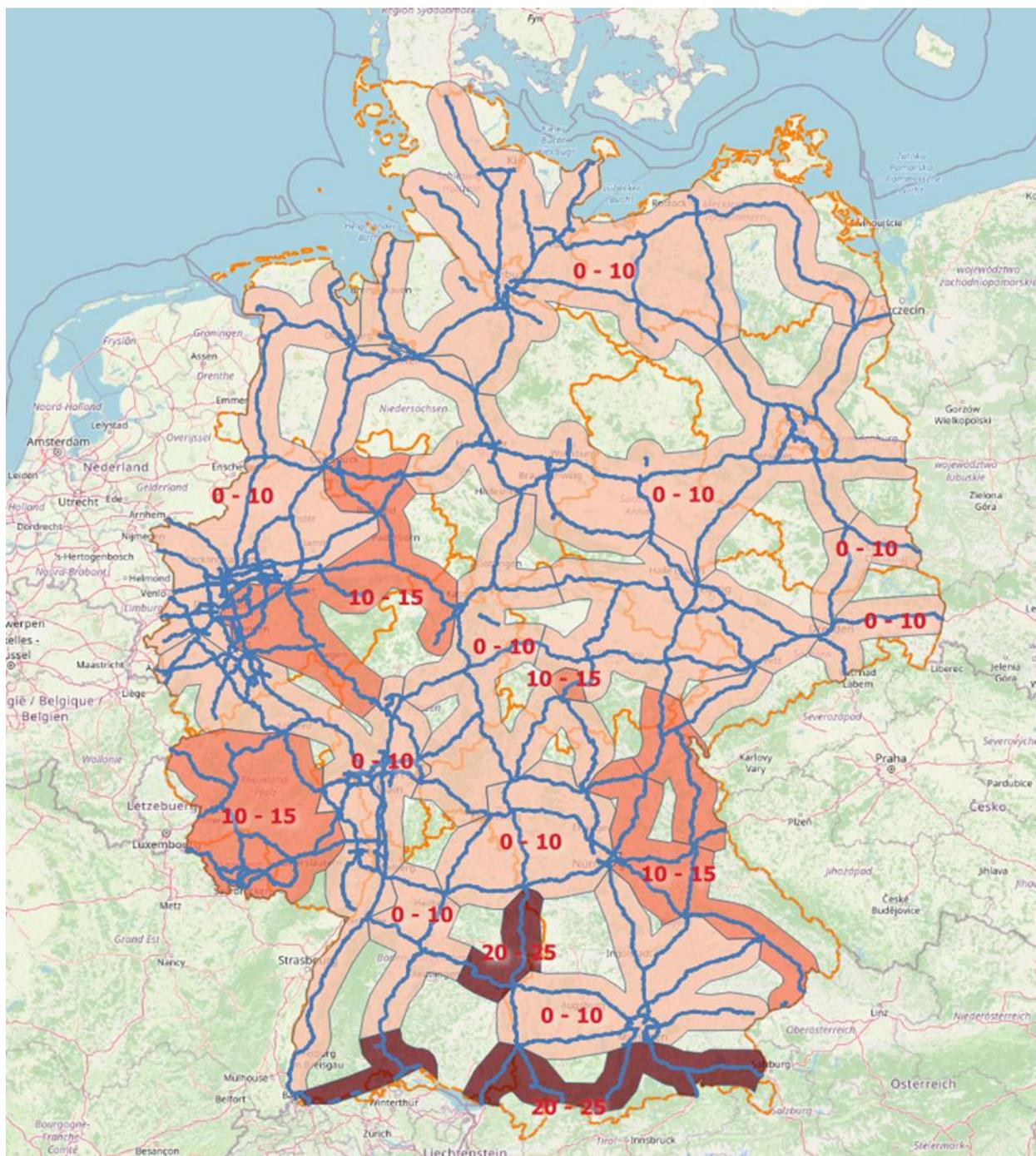


Bild 64: Anzahl der Ereignisse mit mäßigen oder starkem Schneefall pro Winter im BAB Netz (Erwartungswerte), Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

Die vorgenannten Erwartungswerte basieren auf Witterungsdaten aus der Vergangenheit. Infolge der globalen Erwärmung können diese nicht mehr unmittelbar für die Zukunft übertragen werden. Im Rahmen des FE-Vorhabens „Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)“ [Holldorb et al. 2016a] wurden u.a. die Auswirkungen für zwölf über das gesamte Bundesgebiet verteilte Meistereien abgeschätzt. Im Ergebnis ist davon auszugehen, dass für die Zeitperiode 2011 bis 2030 die Neuschneehöhe um ca. 6 % und die Anzahl der Schneefalltage um ca. 19 % zunehmen. Für die Zeitperiode von 2031 bis 2050 wurden hingegen eine um 22 % reduzierte Neuschneehöhe und ein Rückgang der Schneefalltage um 13 % gegenüber der Referenzperiode 1991 bis 2010 abgeschätzt. Neben diesen mittleren Werten sind



auch extreme winterliche Witterungslagen von Interesse. Hierfür wurde als maßgebender Parameter die Anzahl von Dauerschneeperioden, definiert als Neuschnee an mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen, betrachtet. Diese nimmt 2011 bis 2030 um 26 % zu, und fällt dann für 2031 bis 2050 unter den Wert der Ausgangsperiode (1991 bis 2010). Im Ergebnis kann somit zwar für die Periode 2011 bis 2030 von tendenziell stärkeren und häufigeren Schneefallereignissen als in Bild 61 und Bild 62 dargestellt ausgegangen werden, für die weitere Periode hingegen von etwas geringeren Werten. Diese Abweichungen liegen jedoch weiterhin innerhalb der angegebenen Erwartungswerte, so dass diese für die Nutzen-Kosten-Analysen in Kapitel 7 zugrunde gelegt werden.

6.2 Ermittlung der zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen innerhalb eines Meistereinetzes

6.2.1 Methodik

Für die Bewertung einzelner Maßnahmen ist es, abhängig von der jeweiligen Maßnahme, auch von Bedeutung, ob sich Schneefallereignisse häufig auf gesamte Meistereinetze (regional) erstrecken oder sich auf nur kleine Teilnetze (lokal) beschränken. Für regionale Ereignisse ist zudem von Interesse, ob die Schneefallereignisse häufig zeitlich differenziert auftreten.

Hierzu wurden von den Straßenbauverwaltungen aus Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen, den Betreibern der Nutzerportale bzw. der Autobahn GmbH SWS-Daten vergangener Winter zur Verfügung gestellt, im Idealfall umfassten diese fünf Winterperioden. Nach einer Sichtung verfügbarer Daten aus den Ländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen wurden die Auswertungen exemplarisch für folgende AM'en im Detail durchgeführt:

- AM Overath (NRW, BAB A4, in West-Ost-Richtung)
- AM Freudenberg (NRW, BAB A45 in Mittelgebirgslage)
- AM Heidenheim (B.-W., BAB A7 in Nord-Süd-Richtung in Mittelgebirgslage)

Zur Auswertung wurden die SWS-Daten ‚Niederschlagsart‘ und ‚Lufttemperatur‘ genutzt und in einer Excel-Datei zusammengeführt. Die Daten standen akkumuliert in 6 min-Intervallen zur Verfügung. Die Daten der ‚Niederschlagsart‘ alleine erschienen oft als fehlerhaft und mussten deshalb durch die zusätzliche Einbeziehung der ‚Lufttemperatur‘ plausibilisiert werden. Als Bedingungen für Schneefall wurde daher vorausgesetzt, dass im jeweiligen Intervall eine beliebige Niederschlagsart detektiert wurde und die Lufttemperatur $\leq 2,0$ °C war. Lagen beide Bedingungen für ein Intervall und eine SWS vor, wurde eine ‚1‘ ausgegeben und die entsprechende Zelle blau eingefärbt (s. Bild 65 rechts). Um als Schneefallereignis zu gelten, wurde zudem festgesetzt, dass mindestens in zwei aufeinanderfolgenden Intervallen eine ‚1‘ ausgegeben wurde.



Lufttemperatur				Niederschlag				NS und LT <= Zelle(M2) °C						
#1	#90	#94	#92	#1	#90	#94	#92	#1	#90	#94	#92			
02.12.2019-22:42	#NV	-0,20	0,40	0,30	02.12.2019-22:42	#NV	10	0	0	02.12.2019-22:42	#NV	1	0	0
02.12.2019-22:48	#NV	-0,30	0,50	0,30	02.12.2019-22:48	#NV	0	-999	0	02.12.2019-22:48	#NV	0	0	0
02.12.2019-22:54	#NV	-0,30	0,40	-0,10	02.12.2019-22:54	#NV	0	-999	0	02.12.2019-22:54	#NV	0	0	0
02.12.2019-23:00	#NV	-0,10	0,40	-0,10	02.12.2019-23:00	#NV	10	0	0	02.12.2019-23:00	#NV	1	0	0
02.12.2019-23:06	#NV	-0,10	0,40	-0,20	02.12.2019-23:06	#NV	10	15	-15	02.12.2019-23:06	#NV	1	1	1
02.12.2019-23:12	#NV	0,00	0,40	-0,40	02.12.2019-23:12	#NV	0	-15	-15	02.12.2019-23:12	#NV	0	1	1
02.12.2019-23:18	#NV	0,00	0,20	-0,40	02.12.2019-23:18	#NV	0	-15	-999	02.12.2019-23:18	#NV	0	1	0
02.12.2019-23:24	#NV	0,00	0,20	-0,50	02.12.2019-23:24	#NV	0	-15	-15	02.12.2019-23:24	#NV	0	1	1
02.12.2019-23:30	#NV	0,00	0,20	-0,40	02.12.2019-23:30	#NV	0	15	-999	02.12.2019-23:30	#NV	0	1	0
02.12.2019-23:36	#NV	0,00	0,00	-0,40	02.12.2019-23:36	#NV	0	15	0	02.12.2019-23:36	#NV	0	1	0
02.12.2019-23:42	#NV	0,00	-0,10	-0,30	02.12.2019-23:42	#NV	0	-999	0	02.12.2019-23:42	#NV	0	0	0
02.12.2019-23:48	#NV	0,00	-0,10	-0,30	02.12.2019-23:48	#NV	0	0	0	02.12.2019-23:48	#NV	0	0	0

Bild 65: Beispiel zur Auswertung der zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen innerhalb eines Meistereinetzes auf Basis der SWS-Daten ‚Lufttemperatur‘ und ‚Niederschlag‘

Auf Basis dieses Abgleichs von Bedingungen wurden die Ereignisse für die jeweils vorliegenden Zeiträume identifiziert. In einem ersten Schritt wurden diese dann in lokale (Ereignis nur an einer SWS) und regionale Ereignisse (Ereignis an mehr als einer SWS) unterschieden. Bei regionalen Ereignissen wurde in einem zweiten Schritt die der jeweils betrachteten AM zugeordneten SWS paarweise verglichen und es wurde untersucht, in welche Richtung der zeitliche Versatz auftrat und wie groß im Mittel der zeitliche Versatz zu Beginn des Schneefalls war. Durch die Gegenüberstellung von Abstand der betrachteten SWS-Paare und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse kann aufgezeigt werden, ob es hierbei Korrelationen gibt.

6.2.2 AM Overath

Für die Auswertung im Netz der AM Overath standen die SWS-Daten der fünf Winterperioden von 2015/2016 bis 2019/2020 für die SWS H746, H7461, H754, H7541, H765, H7651, H7652, H775 und H7751 zur Verfügung, die sich wie in Bild 66 und Bild 67 abgebildet auf das Netz verteilen.

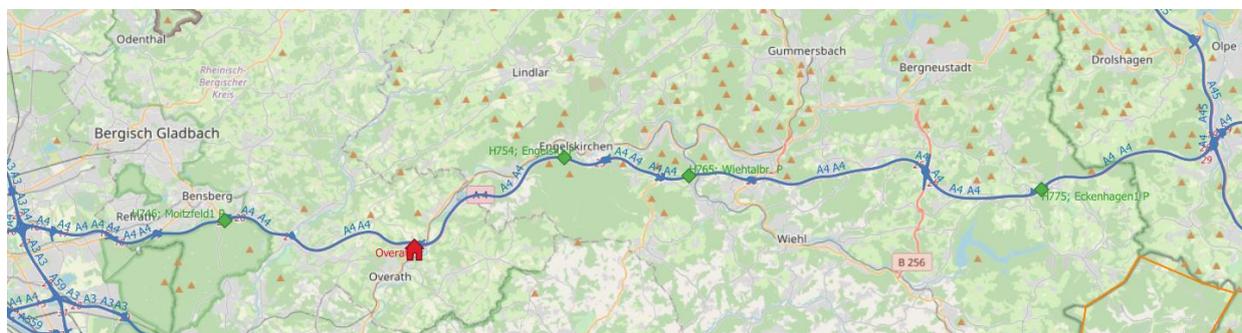


Bild 66: Meistereinetz der AM Overath mit Lage der SWS, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

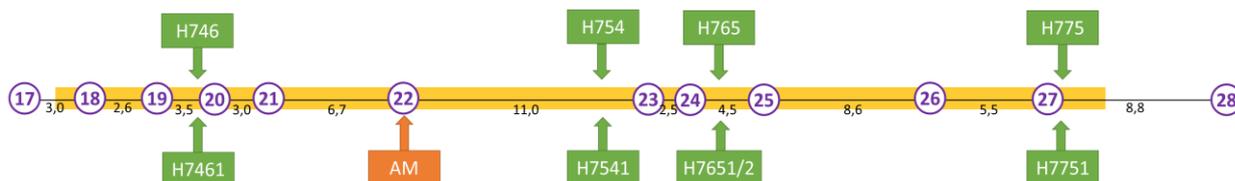


Bild 67: Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Overath

Nach Sichtung und Prüfung der Daten wurde die Auswertung auf die SWS H746, H754, H765 und H775 beschränkt, da die restlichen SWS aufgrund ihrer räumlichen Nähe keinen Mehrwert für die Auswertung geliefert hätten. Die untersuchten SWS H746 bis H775 liegen entlang der BAB A4 in West-Ost-Ausrichtung. Die ausgewählten SWS zeigten zudem die durchgängigere Datengrundlage gegenüber den übrigen SWS:

Im betrachteten Zeitraum konnten insgesamt 711 Schneefallereignisse identifiziert werden. Davon waren 364 Ereignisse (51 %) lokal, d.h. diese wurden lediglich an einer SWS detektiert. Tabelle 8 zeigt eine Verteilung der 364 lokalen Ereignisse auf die einzelnen SWS. Die meisten lokalen Ereignisse entfielen dabei nicht auf die SWS, die am höchsten im Netz lag (H775), sondern auf die Station H765, die auf einer Brücke installiert ist. Die 49 Fehlwerte bei dieser SWS bedeuten, dass bei insgesamt 49 lokalen Ereignissen an anderen SWS keine plausiblen Werte oder Fehlwerte an SWS H765 protokolliert wurden und demnach nicht ausgeschlossen werden kann, dass hier auch regionale Ereignisse an zwei SWS enthalten sind.

Tabelle 8: Lokale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Overath

	Lokale Ereignisse			
	H746	H754	H765	H775
müNN	133	222	220	445
Anzahl Ereignisse	59	31	153	121
Anzahl Fehlwerte	0	0	49	0

Die restlichen 347 Ereignisse wurden als ‚regional‘ interpretiert, d. h. sie traten an mindestens zwei SWS gleichzeitig oder zeitversetzt ein. Tabelle 9 zeigt einen Überblick aller paarweisen Vergleiche. Neben der Anzahl der Ereignisse erfolgt hier eine Unterscheidung in beide Richtungen, d. h. Ereignis tritt an Station 1 vor Station 2 auf oder umgekehrt (grau hinterlegte Ereignisse sind Ereignisse die zeitgleich auftreten). Hierbei sind keine Tendenzen zu erkennen, an welcher Station Niederschlag früher auftritt, bei allen Paarvergleichen erscheint das Verhältnis annähernd ausgeglichen. Geht man davon aus, dass die meisten Wetterereignisse aus nordwestlicher bzw. westlicher Richtung kommen, hätten der Schwerpunkt bei einem früheren Ereignis an den westlichen Stationen liegen müssen. Der richtungsbezogene zeitliche Versatz ist sehr heterogen, die Standardabweichungen sind sehr hoch. Demnach sind keine Aussagen zum zu erwartenden zeitlichen Versatz möglich. Es ist lediglich die Tendenz zu erkennen, dass erwartungsgemäß mit zunehmender Entfernung der SWS untereinander auch der zeitliche Versatz im Mittel größer wird (s. Bild 68).



Tabelle 9: Regionale Schneefallereignisse im Meistereinsatz der AM Overath (zeitlicher Versatz in [min])

	Regionale Ereignisse																	
	H746	H754	H746	H765	H746	H775	H754	H765	H754	H775	H765	H775	H765	H775				
müNN	133	222	133	220	133	445	222	220	222	445	220	445	220	445				
Abstand [km]	16,0		22,0		39,0		6,0		22,5		16,5							
Anzahl Ereignisse	125		138		45		271		73		81							
Anzahl Ereignisse Ri	52	14	59	65	15	58	25	4	16	126	45	100	43	7	23	35	9	37
Anzahl Fehlwerte	0	0	0	0	15	0	0	0	0	17	0	1	18	0	1	18	0	1
MW zeitlicher Versatz Ri	27,7	53,0	32,5	19,2	80,5	29,7	27,3	12,6	52,0	24,6	36,7	15,4						
Standardabweichung	37,7	79,2	56,1	41,2	95,5	24,6	46,9	18,6	71,2	23,7	73,7	16,5						
MW zeitlicher Versatz	41,0		26,2		59,8		20,6		41,7		25,8							
Standardabweichung	64,2		50,0		79,2		37,5		59,6		54,0							

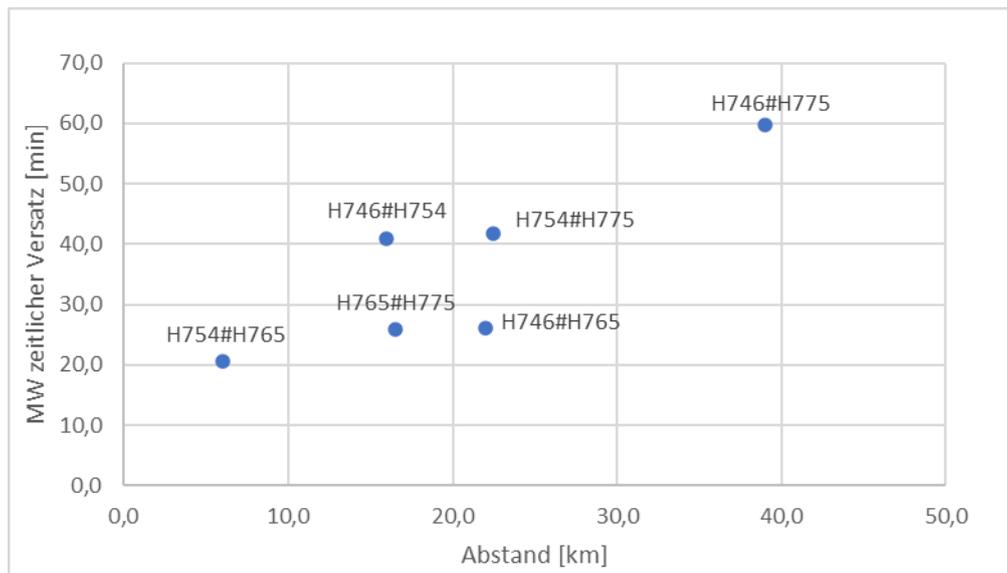


Bild 68: Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Meistereinsatz der AM Overath

6.2.3 AM Freudenberg

Für die Auswertung im Netz der AM Freudenberg standen die SWS-Daten der fünf Winterperioden von 2015/2016 bis 2019/2020 für die SWS H778, H785, H787, H788 und H0000 (drei SWS in engem Abstand) zur Verfügung, die sich wie in Bild 69 und Bild 70 dargestellt auf das Netz verteilen. Die SWS befinden sich teilweise außerhalb des Autobahnnetzes, wobei es sich bei diesen Stationen an einer autobahnähnlich ausgebauten Bundesstraße handelt. Zur Auswertung wurden die Daten der SWS H0000 (GMA 122,83), H778, H785 und H788 ausgewählt.

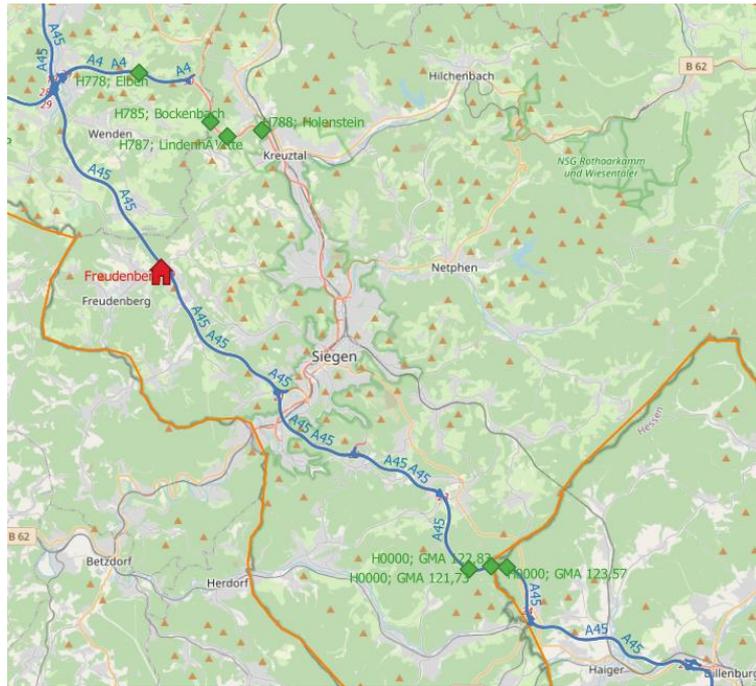


Bild 69: Darstellung des Meistereinetzes der AM Freudenberg mit Lage der SWS, Kartengrundlage [OpenStreetMap Foundation 2021]

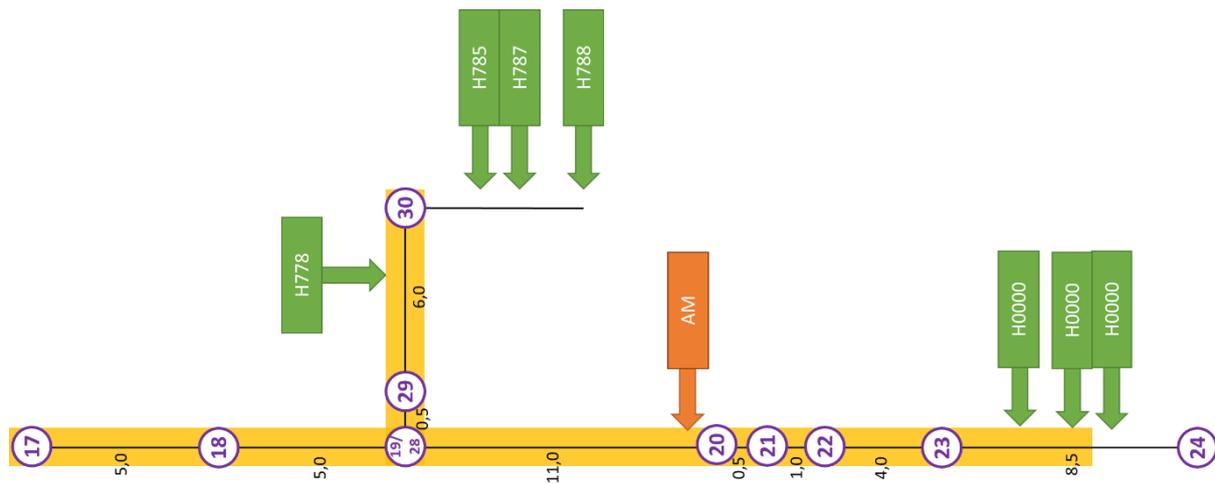


Bild 70: Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Freudenberg (um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht gegenüber Bild 69)

In Summe konnten 1.127 Ereignisse identifiziert werden. Hiervon waren 325 (29 %) lokal, 802 regional. Tabelle 10 zeigt die Verteilung der 325 lokalen Ereignisse auf die einzelnen SWS. Die bei weitem meisten Ereignisse entfielen auf die SWS H0000, der in dieser Betrachtung höchsten gelegenen Station, die im Vergleich zu den drei anderen Stationen, die nahe beieinanderliegen, auch wesentlich weiter südöstlich liegt. Die geringere Anzahl an lokalen Ereignissen an den drei weiteren Stationen ist in der räumlichen Nähe dieser Stationen begründet. Das lokale Geschehen unterscheidet sich somit durch die räumliche Trennung von SWS H0000 erheblich von den drei anderen SWS.



Tabelle 10: Lokale Schneefallereignisse im Mastereinetz der AM Freudenberg

Station	Lokale Ereignisse			
	H0000	H788	H785	H778
müNN	456	309	418	417
Anzahl Ereignisse	212	12	78	23
Anzahl Fehlwerte	10	3	0	4

802 Ereignisse wurden als regionales Ereignis kategorisiert. Tabelle 11 stellt einen Überblick über alle im paarweisen Vergleich dar. Auch hier ist es wichtig, die räumliche Verteilung der Stationen zu berücksichtigen. Die Stationen H778, H785 und H788 liegen relativ dicht im Abstand weniger Kilometer im Wesentlichen in Ost-West-Richtung auseinander. Die Station H0000 hingegen liegt rund 30 km südöstlicher zu den drei anderen Stationen. Daraus ergibt sich, dass die zeitlichen Abstände der nahegelegenen Stationen klein sind und zeitlichen Abstände zwischen der südöstlich gelegenen Station H0000 und den drei anderen Stationen mit zunehmendem Abstand zunehmen. Dieser Zusammenhang ist in Bild 71 visualisiert. Allerdings ist auch für das Netz der AM Freudenberg keine Tendenz erkennbar, dass die Schneefallereignisse an der Station H000 später als an den anderen Stationen auftreten; was aufgrund der Lage der Stationen und dem Trend, dass die meisten Schneefallereignisse aus Richtung Nordwest / West über das Gebiet ziehen, der Fall sein müsste.

Tabelle 11: Regionale Schneefallereignisse im Mastereinetz der AM Freudenberg (zeitlicher Versatz in [min])

Station	Regionale Ergebnisse																							
	H0000	H788	H0000	H785	H0000	H778	H788	H785	H788	H778	H785	H778	H785	H778										
müNN	456	309	456	418	456	417	309	418	309	417	418	417	418	417										
Abstand [km]	36,0		33,0		28,0		3,0		8,0		5,0													
Anzahl Ereignisse	357			586			509			460			418			662								
Anzahl Ereignisse Ri	142	30	185	310	66	210	271	55	183	311	100	49	317	42	59	336	157	169						
Anzahl Fehlwerte	18	4	23	0	23	6	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6						
MW zeitlicher Versatz Ri	23,7	34,0	25,1	15,8	23,9	18,0	19,5	5,9	24,1	10,2	6,4	9,9	23,2	40,9	54,4	24,5	22,6	19,4	34,6	16,4	33,9	15,9	7,3	16,9
Standardabweichung	29,4		21,2		21,4		15,9		21,0		7,8		34,6		44,5		21,5		31,4		31,4		12,2	

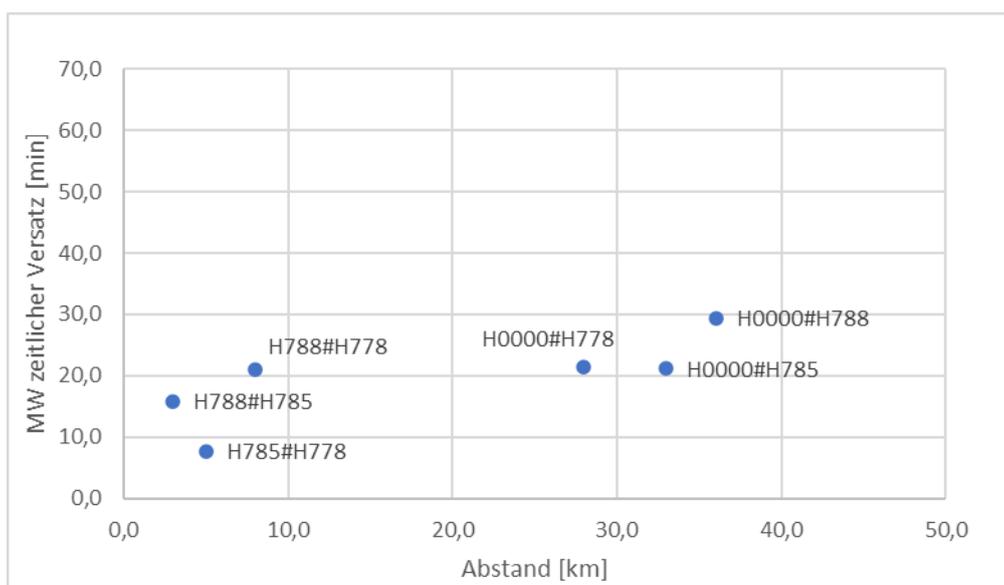


Bild 71: Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Mastereinetz der AM Freudenberg



6.2.4 AM Heidenheim

Für die AM Heidenheim in Baden-Württemberg an der BAB A7 standen Daten nur für die Winter 2019/2020 und 2020/2021 zur Verfügung. Der von der AM Heidenheim zu betreuende Streckenabschnitt der BAB A7 ist in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet. Die Standorte der analysierten SWS können Bild 72 und Bild 73 entnommen werden.

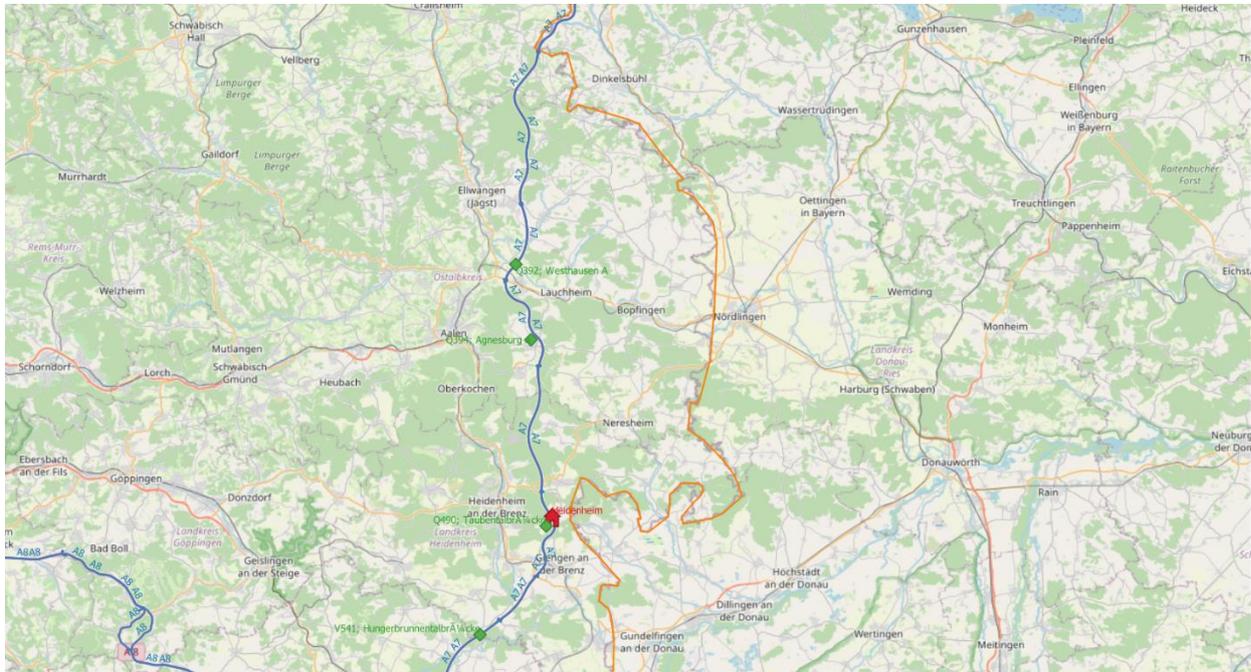


Bild 72: Darstellung des Meistereinetzes der AM Heidenheim, Kartengrundlage [OpenStreet-Map Foundation 2021]

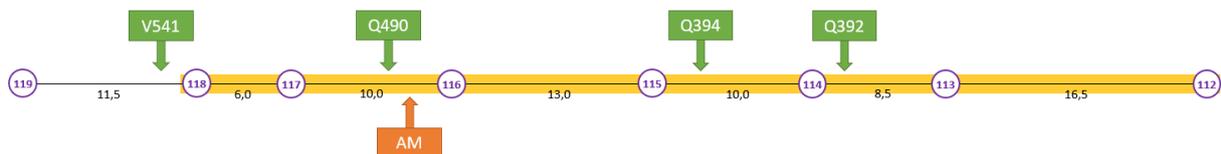


Bild 73: Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Heidenheim (um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht gegenüber Bild 69)

Aufgrund der reduzierten Datengrundlage wurden lediglich 373 Ereignisse analysiert, 156 (42 %) davon wurden als lokal identifiziert (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Lokale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim

Station	Lokale Ereignisse			
	V541	Q490	Q394	Q392
müNN	493	528	620	480
Anzahl Ereignisse	17	95	37	7
Anzahl Fehlwerte	23	4	8	8

Tabelle 13 stellt die Zusammenhänge bei allen paarweisen Vergleichen dar. Wie auch Bild 74 zeigt, nimmt mit zunehmendem Abstand der zeitliche Versatz zwischen den Ereignissen zu, die



Standardabweichung ist zwar geringer im Vergleich zur AM Overath, aber die Ergebnisse sind vergleichbar zu den Untersuchungen für die AM Overath und AM Freudenberg.

Tabelle 13: Regionale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim (zeitlicher Versatz in [min])

Station müNN	Regionale Ereignisse																	
	V541	Q490	V541	Q394	V541	Q392	Q490	Q394	Q490	Q392	Q394	Q392	Q394	Q392				
Abstand [km]	493	528	493	620	493	480	528	620	528	480	620	480	620	480				
Anzahl Ereignisse	13,0		32,0		41,0		19,0		28,0		9,0							
Anzahl Ereignisse Ri	93		61		48		133		97		137							
Anzahl Fehlwerte	61	9	23	32	4	25	26	3	19	34	22	77	29	9	59	0	78	59
MW zeitlicher Versatz Ri	31		0	35		2	27		2	0		2	0		2	0		0
Standardabweichung	29,7		17,4	42,7		32,5	39,9		37,1	11,7		16,4	17,4		30,3	5,2		14,8
MW zeitlicher Versatz	43,6		33,6	52,9		26,1	46,3		34,9	15,2		21,2	24,8		41,9	6,7		29,4
Standardabweichung	25,8		38,1		38,7		14,7		25,6		10,6							
Standardabweichung	41,1		43,3		41,8		19,4		37,2		22,8							

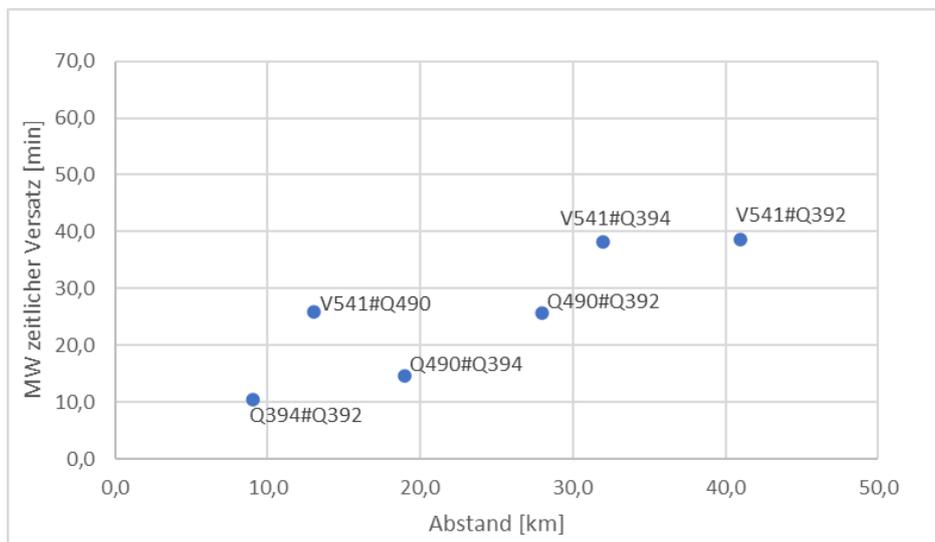


Bild 74: Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim

6.2.5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann nach Analyse der lokalen und regionalen Schneefallereignisse folgendes festgestellt werden:

- Die Konzentration von lokalen Ereignissen innerhalb einer Meisterei ist stark von standorttypischen Begebenheiten abhängig. Daher kann dazu keine allgemeine Empfehlung gemacht werden.
- Die zeitlichen Abstände des Beginns eines Schneefallereignisses innerhalb einer Meisterei sind zum einen vom räumlichen Abstand und der Höhenlage untereinander und zum anderen von der relativen Ausrichtung der Autobahnabschnitte zur Verlaufsbahn der Schneefallgebiete abhängig. Allerdings ist die vermutete Tendenz, dass Schneefallereignisse früher an den westlich liegenden Stationen beginnen, nicht bestätigt worden.
- In der Gesamtbetrachtung erscheint es nicht sinnvoll, bei Durchzug eines Schneefallgebietes das Meistereigebiet in unterschiedliche Zonen aufzuteilen, sondern bei der Einsatzstrategie Räumen das Meistereigebiet als Gesamtheit zu betrachten. Eine planmäßige Verlagerung von Einsatzfahrzeugen bei starken Schneefallereignissen innerhalb einer Meisterei ist somit nicht zielführend.



7. Nutzen-Kosten-Analyse für ausgewählte Maßnahmen

7.1 Methodik der Nutzen-Kosten-Analyse

Es werden nicht für alle Maßnahmen, die in Kapitel 5 beschrieben sind, Nutzen-Kosten-Analysen durchgeführt, sondern nur für ausgewählte Maßnahmen, für die sich Nutzen und Kosten monetär abschätzen lassen. Für die monetäre Bewertung werden diese Maßnahmen jeweils für einen exemplarischen Einsatzfall konkretisiert, der als Szenario 1 beschrieben wird. Als Szenario 0 werden die Einsatzbedingungen definiert, die eintreten, wenn die Maßnahme nicht durchgeführt wird. Nutzen und Kosten der Maßnahme ergeben sich aus der Gegenüberstellung der beiden Szenarien. Somit sind Nutzen und Kosten in der Regel kein absoluter Nutzen bzw. Vollkosten, sondern Differenzkosten im Sinne von Mehrkosten bzw. zusätzlichem Nutzen der Maßnahme. Aus der Gegenüberstellung werden Nutzen-Kosten-Verhältnisse (NKV) für die Maßnahme abgeleitet. Neben dem NKV gibt es weitere nicht-monetäre Kriterien, die in die Gesamtbewertung der entwickelten Maßnahmen einfließen. Diese werden in Kapitel 8 bei den Empfehlungen zu den Maßnahmen berücksichtigt.

Für die Ermittlung von Nutzen und Kosten werden die Häufigkeiten, mit denen die Szenarien eintreten, auf Grundlage der in Kapitel 6.1 dokumentierten regionalen Häufigkeit von Schneefallereignissen abgeschätzt. Die NKV gelten somit in der Regel für den exemplarisch dargestellten Einsatzfall; die Übertragung auf das gesamte Autobahnnetz erfolgt in Kapitel 8. Weiterhin kann auch die Kombination verschiedener Maßnahmen zweckmäßig sein, diese bleiben bei der Nutzen-Kosten-Bewertung ebenfalls unberücksichtigt.

Die Berechnung und Darstellung von Nutzen und Kosten erfolgt zwar auf Euro genau, um die Nachvollziehbarkeit zu vereinfachen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Genauigkeit der Ergebnisse aufgrund der Vereinfachungen und pauschalen Ansätze für die Monetarisierung von Zeitverlusten und Emissionsauswirkungen auf Seiten der Nutzenbewertung nicht gegeben ist. Darüber hinaus können die verkehrlichen Auswirkungen der Maßnahmen nur grob abgeschätzt werden und auch die Häufigkeit der zugrunde liegenden Witterungen kann nur grob prognostiziert werden, so dass in erster Linie die Größenordnung der ermittelten NKV für die weitere Bewertung der Maßnahme relevant ist.

7.2 Grundlagen der Nutzenermittlung

Der Nutzen der möglichen Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes resultiert im Wesentlichen aus der Verbesserung der Leistungsfähigkeit, die sich nach Verkürzung der Reisezeiten infolge höherer Geschwindigkeiten und der Reduktion der Zeitverluste infolge Staus differenzieren lässt. Diese Nutzenkomponenten lassen sich monetarisieren, darüber hinaus führen sie auch zu Veränderungen bei den Betriebskosten der Fahrzeuge sowie den Schadstoffemissionen. Weitere Nutzenkomponenten, wie die Verbesserung der Verkehrssicherheit und die generelle Aufrechterhaltung der Infrastruktur und daraus abgeleitet die Vermeidung von Nachteilen auf Volkswirtschaft und Bruttoinlandsprodukt sind hingegen nur schwer monetär quantifizierbar.

Für die monetäre Nutzenbewertung werden soweit möglich die Ansätze herangezogen, die für den Bundesverkehrswegeplan 2030 zugrunde gelegt wurden. Sie sind ausführlich im Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030 [Rieken et al. 2015] und im Bericht



„Grundsätzliche Überprüfung und Weiterentwicklung der Nutzen-Kosten-Analyse im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung“ [Dahl et al. 2016] dokumentiert. Diese Ansätze wurden zur Bewertung von unterschiedlichen Verkehrsprojekten in der Planungs- und Bauphase aufgestellt, sie können jedoch für die anstehende Fragestellung der Nutzenbewertung von Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes genutzt werden. Sie sind für den Bundesfernstraßenbereich anerkannt und basieren auf einer umfassenden Datenbasis.

Es werden folgende Nutzenkomponenten für die Maßnahmenbewertung berücksichtigt:

- Veränderung der Betriebskosten für die Kfz (NB), die sich aus folgenden Komponenten zusammensetzen:
 - Veränderungen der Vorhaltekosten (NB VH)
 - Veränderungen der Personalkosten (NB PK)
 - Veränderungen der Betriebsgrundkosten (NB BGK)
 - Veränderungen der Energiekosten (NB EK)
- Veränderungen der Abgasbelastungen (NA)
- Veränderung der Reisezeit im Personenverkehr (NRZ)
- Veränderung der Transportzeit der Ladung im Güterverkehr (NTZ)

Alle verwendeten Ansätze sind in Anhang 6 dokumentiert. Zum Teil wurden Vereinfachungen getroffen oder pauschale Ansätze verwendet, diese sind in Anhang 6 ebenfalls angegeben.

Bei der Berechnung für Veränderungen der Abgasbelastungen wird nach [Rieken et al. 2015] nach den Abgasbelastungen während der Fahrt und denen während des Stillstandes unterschieden. Die hierfür dokumentierten wartezeitbezogenen Ansätze (Tab. 55 [Rieken et al. 2015]) sind jedoch nicht plausibel, so dass Emissionen im Stau bei Leerlauf berechnet werden. Hierfür werden spezifische Kraftstoffverbräuche von 1,5 l/h bei Pkw und 3,0 l/h bei Lkw bzw. 3,0 kW für Pkw mit Elektroantrieb zugrunde gelegt.

Die Kostensätze zur Berücksichtigung der Reisezeitverluste im Personenverkehr sind abhängig von der zurückgelegten Wegstrecke. Vereinfacht wurde für die Berechnung eine mittlere Entfernung von 95 km bei privater Nutzung und 200 km bei geschäftlicher Nutzung angesetzt. Der Besetzungsgrad der Pkw bei privater Nutzung wird mit 1,5 Personen und bei geschäftlicher Nutzung mit 1,1 Personen pauschal angenommen. Der Anteil der geschäftlich genutzten Pkw wird pauschal mit 20 % aller Pkw angesetzt.

Als mittlere Geschwindigkeit werden bei winterlicher Witterung auch ohne Behinderungen für Pkw 80 km/h und für Lkw 60 km/h angesetzt, da davon auszugehen ist, dass infolge der winterlichen Witterung die Geschwindigkeiten reduziert sind, auch wenn die Fahrbahn ansonsten frei befahrbar ist.

Abschätzungen zur Staudauer orientieren sich an den Untersuchungen von [Klotz et al. 2004]. Über drei Winterperioden wurden insgesamt 93 winterbedingte Stauereignisse in sieben AM erfasst. Die Anzahl der Staus korrelierte dabei mit der Strenge der jeweiligen Winter. Eine Auswertung nach Staudauern und -längen zeigte, dass rund 54 % aller erfassten Staus zwischen 2 und 6 h dauerten, jeweils 23 % waren länger bzw. kürzer. Der zeitlich längste Stau dauerte 16 h an. Die Staulängen waren in 50 % der Fälle länger als 10 km, in 46 % der Fälle zwischen 2 und 10 km lang und lediglich 4 % kürzer als 2 km [Klotz et al. 2004]. Für die weiteren Betrachtungen



werden Stauereignisse von 6 h und alternativ von 2 h angesetzt. Damit sollen Ereignisse mit starkem Schneefall abgedeckt werden, ohne dass dabei lediglich Extremereignisse betrachtet werden.

7.3 Grundlagen der Kostenermittlung

Für die Kostenermittlung werden zum Großteil Ist-Kosten ausgewählter Straßenbauverwaltungen der Länder herangezogen, die diese im Rahmen der Kosten-Leistungs-Rechnung als Landesdurchschnittssätze ermittelt haben. Sie gelten für 2020; eine Differenzierung nach Autobahn- und Straßenmeistereien ist hierbei nicht erfolgt, so dass sie für den Autobahnbereich angesetzt werden können. Es liegen Kostensätze aus Bayern, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz vor. Für einzelne Maßnahmen, für die keine oder nur wenig Kostendaten aus diesen Ländern vorliegen, werden Daten aus weiteren Quellen zugrunde gelegt. Die Datengrundlagen sind detailliert in Anhang 6 zusammengestellt. Die Kostensätze sind in der Regel Vollkosten, die neben den Betriebskosten (Kraftstoff, Verschleißteile etc.) auch Abschreibung und Verzinsung der Anschaffungskosten beinhalten.

Für den Einsatz von Personal, Fahrzeuge, Anhängern und Geräten sind die Stundensätze in Tabelle 14 zusammengestellt. Für den Einsatz bei Nacht wird für die Personalkosten ein Nachzuschlag von 25 % pauschal angesetzt.

Tabelle 14: Anzusetzende Kostensätze für Personal, Fahrzeuge, Anhänger und Geräte

Personalkosten	Tag	Nacht
Straßenwärter	44,00 €/h	55,00 €/h
Einsatzleiter	49,00 €/h	61,25 €/h
Operator	47,00 €/h	58,75 €/h
Fahrzeug-, Anhänger- und Gerätekosten		
Lkw für den Winterdienst	42,00 €/h	
Geräteträger für den Winterdienst	55,00 €/h	
Streumaschine für Lkw	21,50 €/h	
Streumaschine für Geräteträger	13,00 €/h	
Frontpflug	12,00 €/h	
Kolonnenfahrzeug	13,00 €/h	
Zugfahrzeug Vorwarnanhänger	13,00 €/h	
Absperranhänger	10,00 €/h	
Vorwarnanhänger LED-Technik	12,50 €/h	

Für rotierende Schneeräummaschinen als Anbaugeräte am Geräteträger werden keine Vollkosten als Stundensätze herangezogen, da diese Geräte nur sehr selten zum Einsatz kommen. Für diese Maschinen werden Investitionskosten von 40.000 € zugrunde gelegt. Aufgrund der geringen Nutzung kann von einer Abschreibungsdauer von 20 a ausgegangen werden, so dass sich bei einem Zinssatz von 3 % für das eingesetzte Kapital Vorhaltekosten von 2.600 €/a ergeben.



Für den Auf- und Abbau von Schneezäunen liegen zum einen aus Bayern Leistungskennwerte bei Eigenleistung und zum anderen Ergebnisse von Ausschreibungen der Leistung als Fremdvergabe aus Bayern und von der ASFinAG aus Österreich vor. Für die Eigenleistung ergeben sich unrealistisch hohen Kostensätze im Vergleich zur Fremdvergabe, so dass die Kosten der Fremdvergabe herangezogen werden. Diese können mit 12 €/m Schneezäun pro Jahr angesetzt werden und beinhalten die Materialkosten, den Auf- und Abbau und eine Entschädigung für die Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen.

Zu den Kosten für zusätzliche Betriebsumfahrten liegen Angaben aus Bayern vor. Die Investitionen berücksichtigen neben den Baukosten auch Planungs- und Grunderwerbskosten und betragen im Mittel 730.000 €, wenn kein zusätzliches Brückenbauwerk für die Querung benötigt wird, da die Betriebsumfahrt an das nachgeordnete Straßen- oder Wegenetz angebunden ist. Bei einer fiktiven Abschreibungsdauer von 50 a, die stark vereinfacht sowohl kürzere Nutzungsdauern für den Fahrbahnaufbau als auch die Nichtabschreibung für Grunderwerb und Erdbau berücksichtigt, und einem Realzins von 3 % betragen die Jahreskosten einer Betriebsumfahrt ca. 50.000 €. Wird eine Betriebsumfahrt ausschließlich zur Verbesserung des Winterdienstes angelegt, sind die Kosten bei der Nutzen-Kosten-Bewertung in vollem Umfang zu Lasten des Winterdienstes anzusetzen. Wird die Betriebsumfahrt hingegen nicht nur im Winterdienst, sondern ganzjährig genutzt und können hierdurch Leerwege, z. B. beim Auf- und Abbau von Arbeitsstellen reduziert werden, sind die Kosten nur anteilig anzusetzen.

Für den Einsatz von Abschleppfahrzeugen zur Bergung von Lkw durch die Straßenbauverwaltung gibt es aus Deutschland keine Erfahrungswerte. Auf Basis von Angaben der ASFinAG werden hierfür je Ereignis mit starkem Schneefall eine Anfahrpauschale von 150 € sowie je Einsatzstunde 200 € angesetzt. Die Kosten je Einsatzstunde fallen unabhängig davon an, ob das Abschleppfahrzeug nur im kritischen Streckenabschnitt rotiert oder liegengebliebene Lkw abschleppt. Für die Fahrer der Lkw, die abgeschleppt werden, fallen keine Kosten an.

7.4 Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten für ausgewählte Maßnahmen

7.4.1 Umfahrungsempfehlungen mit stationären Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)

Für die Nutzen-Kosten-Bewertung wird exemplarisch eine großräumige Umfahrung des Alaufstiegs im Zuge der BAB A8 zwischen Stuttgart und Ulm von West nach Ost betrachtet. Die Umfahrung erfolgt großräumig, der gesamte Abschnitt der BAB A8 zwischen dem AD Karlsruhe und dem AK Ulm/Elchingen soll vermieden werden (s. Bild 75). Hierfür gibt es die Möglichkeit Lkw, die die BAB A5 von Norden her befahren, am AK Walldorf über die A6 und A7 umzuleiten, wofür sich eine Mehrlänge von rund 30 km ergibt. Eine Umfahrung von Süden her (BAB A5 von Basel bzw. BAB A81 von Schaffhausen) wird nicht vorgesehen, da es am AD Karlsruhe und AK Stuttgart keine NBA gibt, um die Lkw bis zum AK Walldorf weiterzuleiten, und da die Mehrlängen deutlich höher wären (über 100 km), so dass diese Umfahrung kaum angenommen werden würde. Demnach kann nur ein Teil der Lkw-Fernverkehrs auf die Umfahrung geleitet werden. Zudem befährt nicht nur der Fernverkehr den Alaufstieg.

Kosten auf Seiten des Baulastträgers werden bei dieser Maßnahme nicht angesetzt, da Voraussetzung für diese Maßnahme eine vorhandene NBA ist (s. Kapitel 5.1). Gemäß Kapitel 6.1 kann

von zwei bis fünf starken Schneefallereignissen am Alaufstieg pro Jahr ausgegangen werden, bei denen eine Schaltung der NBA sinnvoll ist.

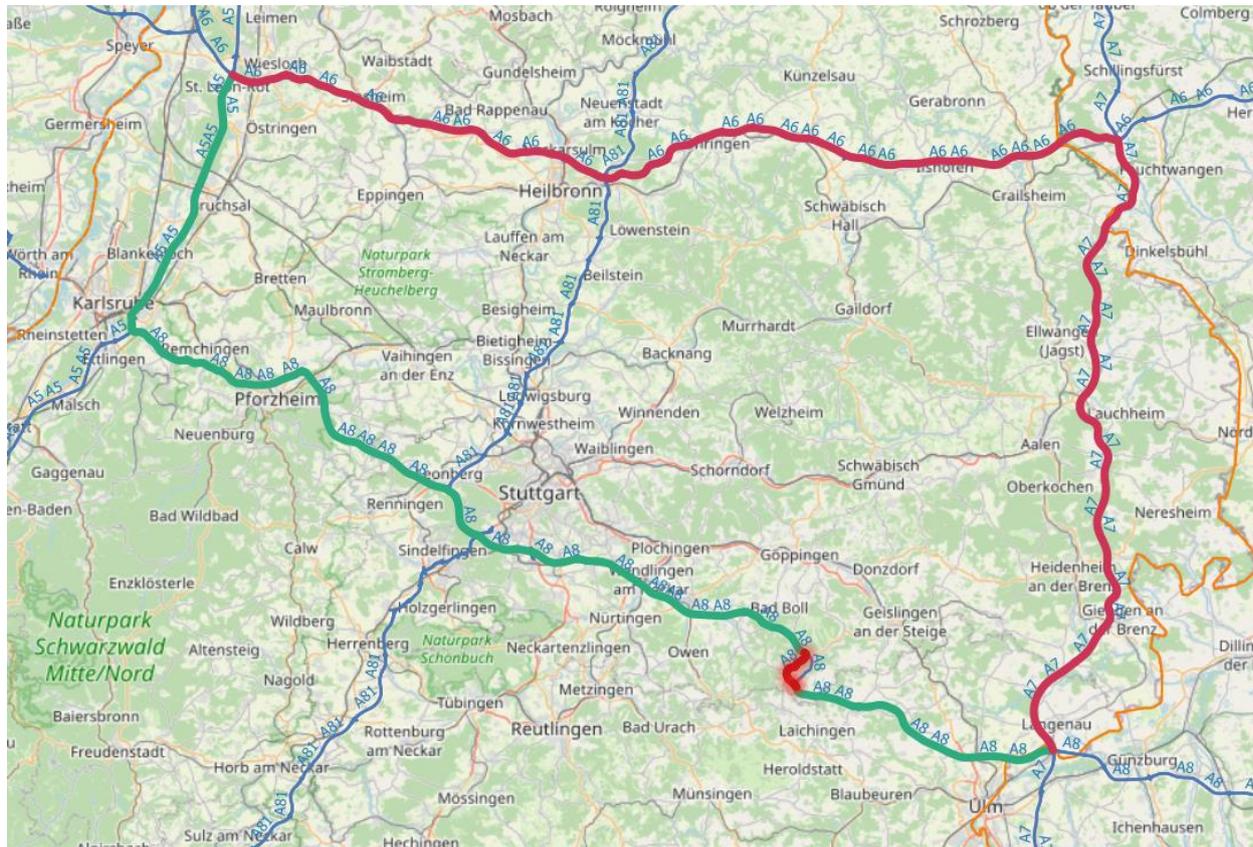


Bild 75: Zu umfahrender Streckenabschnitt (grün) und mögliche Umfahrung (rot) für den Alaufstieg, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

Die Verkehrsbelastung auf dem Alaufstieg, Fahrtrichtung München wird auf Grundlage von Daten der Dauerzählstellen Kirchheim unter Teck und Merklingen (s. Anhang 7.1) mit einem DTV von 37.000 Kfz/24 h und einem SV-Anteil von 16.2 % angesetzt. Exemplarische Auswertungen der Tagesganglinien lassen keine ausgeprägten Spitzenstunden erkennen; der Anteil je Tagstunde (6.00 bis 22.00 Uhr) beträgt 5,4 % vom DTV, je Nachtstunde (22.00 bis 6.00 Uhr) 1,7 % vom DTV.

Es werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Ein starkes Schneefallereignis ist angekündigt. Es wird keine Schaltung der NBA vorgenommen. Hierdurch kommt es zu einem Stau am Alaufstieg. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr).
- **Szenario 1:** Es wird eine Schaltung der NBA vorgenommen. Die Schaltung wird vorbeugend für insgesamt 24 h vorgesehen und während des gesamten Schneefallereignisses aufrechterhalten. Der Anteil des Schwerverkehrs, der der Umfahrung folgt, wird zwischen 10 und 50 % variiert. Die Mehrlänge für die Umfahrung beträgt 30 km, die Umfahrung kann durch die Lkw mit 80 km/h befahren werden.



Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne Schaltung der NBA), reduziert um die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der zusätzlichen Fahrleistung für die Umfahrung.

Die Staukosten ohne Schaltung der NBA hängen von der Staudauer und der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge ab, die wiederum vom Zeitpunkt des Schneefallereignisses abhängen. In Tabelle 15 sind die zusätzlichen Nutzerkosten zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.1). Sie resultieren zu 61 % aus den zusätzlichen Reisezeiten im Personenverkehr (NRZ) sowie zu 31 % aus den zusätzlichen Betriebskosten (NB) der Fahrzeuge im Stau. Abgasbelastungen (NA) und die Transportzeiten im Güterverkehr haben mit zusammen 8 % hingegen nur geringen Einfluss.

Tabelle 15: Zusätzliche Staukosten für den Alaufstieg ohne Schaltung der NBA (Szenario 0)

	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)	2.091.766 €	232.418 €
Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	662.393 €	75.536 €

Die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der Umfahrung mit einem Mehrweg von 30 km (Szenario 1) sind in Tabelle 16 zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.1). Diese zusätzlichen Nutzerkosten resultieren zu über 80 % aus den Betriebskosten der Lkw infolge der zusätzlichen Fahrleistung.

Tabelle 16: Zusätzliche Nutzerkosten aus Umfahrung des Alaufstiegs bei Schaltung der NBA über 24 h (Szenario 1)

Anteil Lkw auf Umfahrung [%]	Lkw am Alaufstieg [Kfz/]	Zusätzliche Lkw auf Umfahrung [Kfz]	Mehrkosten aus Umfahrung [€]
0	6.000	0	0
10	5.400	600	17.517
20	4.800	1.200	35.035
30	4.200	1.800	52.552
40	3.600	2.400	70.069
50	3.000	3.000	87.587

Die Gegenüberstellung der Nutzerkosten macht deutlich, dass in der Regel die zusätzlichen Nutzerkosten aus der Umfahrung des Alaufstiegs deutlich geringer sind als die zusätzlichen Staukosten ohne Schaltung der NBA. Die Schaltung der NBA zur Umfahrung des Stauereignisses am Alaufstieg generiert nur bei geringer Staudauer und geringeren Verkehrsmengen während der Nachtstunden keinen ausreichenden Nutzen, wenn damit Staus vermieden werden können. Der Nutzen ist insbesondere bei vermiedenen Stauereignissen während der Tagesstunden deutlich höher, so dass die regelmäßige Schaltung bei prognostizierten starken Schneefallereignissen volkswirtschaftlich sinnvoll ist, auch wenn ein starkes Schneefallereignis nicht sicher prognostiziert werden kann. Werden beispielsweise fünf starke Schneefallereignisse in einem Winter prognostiziert und die NBA jeweils über 24 h geschaltet, so führt bereits ein vermiedener Stau über 6 h zu einem positiven Gesamtnutzen. Wenn die Schaltung der NBA aufgrund präziserer Wetterprognosen oder bei kürzeren Schneefallereignissen verkürzt werden kann, erhöht sich in der Regel die Wirtschaftlichkeit, da dann die zusätzlichen Nutzerkosten für die Umfahrung niedriger sind.

7.4.2 Umfahrungsempfehlungen für Lkw durch temporäre dynamische Anzeigen

Kosten und Nutzen werden am Beispiel einer Umfahrung des Bielefelder Bergs dargestellt. Dieser befindet sich im Zuge der BAB A2 zwischen der AS Bielefeld Süd und der AS Bielefeld Ost. Der neuralgische Abschnitt ist in Bild 76 rot eingefärbt. In Grün ist die zu umfahrende Strecke eingezeichnet, die eine Länge von ca. 115 km aufweist. In Magenta ist die ausgewiesene Umfahung über die BAB A1 und BAB A30 eingezeichnet, diese weist eine Länge von ca. 175 km auf. Die Gradienten des neuralgischen Abschnitts weist in beiden Richtungen ähnlich hohe Längsneigungen auf (bis zu 6 %), eine Umfahung soll demnach aus beiden Richtungen ausgewiesen werden. Der DTV hat in beiden Richtungen eine Größe von ca. 50.000 Fz/24h und einen SV-Anteil von ca. 20 % (s. Anhang 7.2). Wie in Kapitel 7.4.1 wird der Anteil je Tagstunde (6.00 bis 22.00 Uhr) mit 5,4 % vom DTV, je Nachtstunde (22.00 bis 6.00 Uhr) mit 1,7 % vom DTV angesetzt.

Die Anzeigen sollen lediglich rechts neben dem Seitenstreifen aufgestellt werden, da lediglich der Lkw-Verkehr angesprochen werden soll. Insgesamt wird für das betrachtete Beispiel mit insgesamt 29 Anzeigen im Zulauf zu den entscheidenden Knotenpunkten gerechnet. Die Anlage soll vom 31.10. des Jahres bis zum 31.03. des Folgejahres (5 Monate) vorgehalten werden und bei Bedarf aktiviert werden.

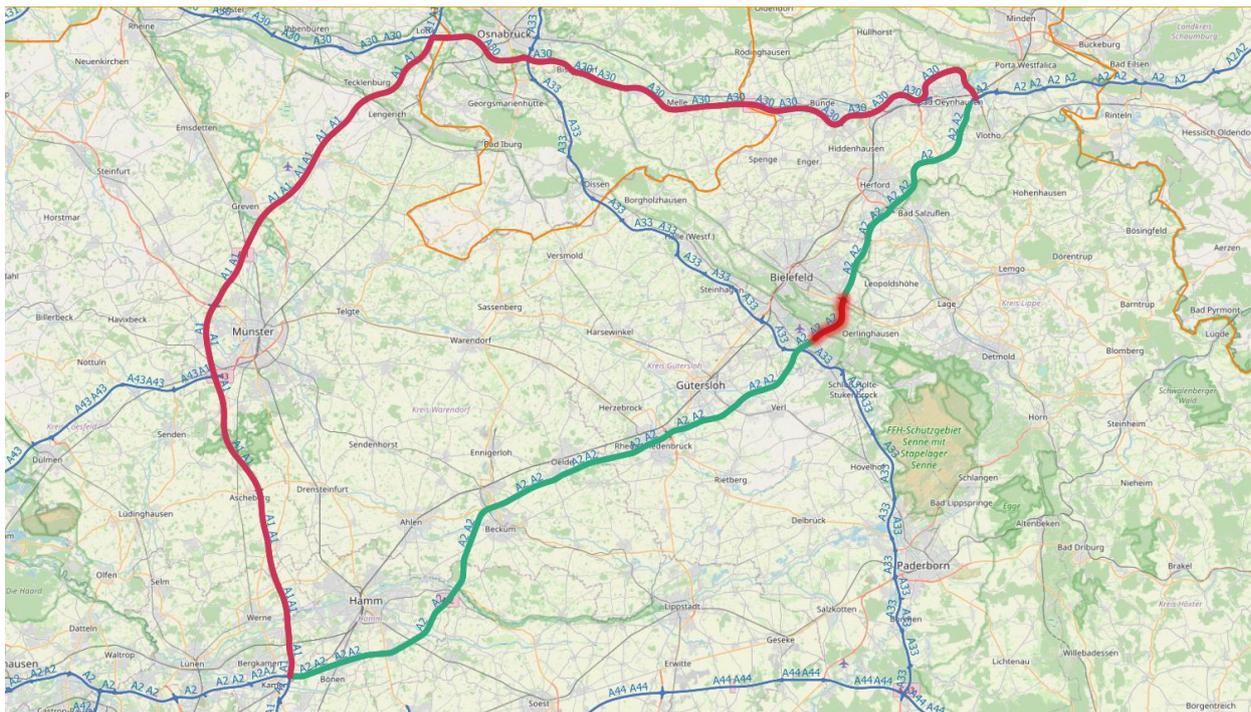


Bild 76: Regionale Umfahrungsstrecke für den Bielefelder Berg, Kartengrundlage [OpenStreetMap Foundation 2021]

Es werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Ein starkes Schneefallereignis ist angekündigt. Es wird keine Schaltung der dynamischen Anzeigen vorgenommen. Hierdurch kommt es zu einem Stau am Bielefelder Berg. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr).



- **Szenario 1:** Es wird eine Schaltung der temporären dynamischen Anzeige der NBA vorgenommen. Die Schaltung wird vorbeugend für 24 h vorgesehen und aufrechterhalten, da das Schneefallereignis nicht exakt vorhergesagt werden kann. Es wird angenommen, dass 50 bis 80 % der Lkw dieser Umfahrung folgen, also 20 bis 50 % der Lkw auf der BAB A2 bleiben. Auch auf der Umfahungsstrecke werden durch die Lkw reduzierte Geschwindigkeiten von 60 km/h aufgrund winterlicher Witterung gefahren. Die Mehrlänge für die Umfahrung beträgt 60 km.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne Schaltung der temporären dynamischen Anzeige), reduziert um die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der zusätzlichen Fahrleistung für die Umfahrung.

Die Staukosten ohne Schaltung der NBA hängen von der Staudauer und der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge ab, die wiederum vom Zeitpunkt des Schneefallereignisses abhängen. In Tabelle 17 sind die zusätzlichen Nutzerkosten zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.2). Sie resultieren zu 56 % aus den zusätzlichen Reisezeiten im Personenverkehr (NRZ) sowie zu 38 % aus den zusätzlichen Betriebskosten (NB) der Fahrzeuge im Stau. Abgasbelastungen (NA) und die Transportzeiten im Güterverkehr haben hingegen nur geringen Einfluss.

Tabelle 17: Zusätzliche Staukosten für den Bielefelder Berg ohne Schaltung einer regionalen Umfahrungsempfehlung für Lkw (Szenario 0)

	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)	5.842.300 €	649.144 €
Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	1.839.243 €	204.360 €

Die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der Umfahrung mit einem Mehrweg von 60 km (Szenario 1) sind in Tabelle 18 zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.2). Diese zusätzlichen Nutzerkosten resultieren zu über 80 % aus den Betriebskosten der Lkw infolge der zusätzlichen Fahrleistung.

Tabelle 18: Zusätzliche Nutzerkosten aus Umfahrung des Bielefelder Bergs bei Schaltung einer regionalen Umfahrungsempfehlung für Lkw über 24 h (Szenario 1)

Anteil Lkw auf Umfahrung [%]	Lkw am Bielefelder Berg [Kfz/]	Zusätzliche Lkw auf Umfahrung [Kfz]	Mehrkosten aus Umfahrung [€]
50	10.000	10.000	667.951
60	8.000	12.000	801.542
70	6.000	14.000	935.132
80	4.000	16.000	1.068.722

Um die Kosten des Baulastträgers für die Maßnahme zu beziffern, wurden in Abstimmung mit der Firma SIGNEOS GmbH, die u.a. mobile Stauwarnanlagen bei Baustellen einrichtet und betreibt, Kosten für eine temporär aufgestellte Anlage zur Umfahrung des Bielefelder Bergs abgeschätzt. Hierfür wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Anzeigen werden nur rechts aufgestellt, da sie eine Umfahrungsempfehlung nur für Lkw anzeigen, gleichzeitig sind weniger Anzeigen erforderlich und sie sind rechts einfacher auf- und abzubauen bzw. zu warten.



- Die Anzeigen sind über die Wintermonate vom 01.11. bis 31.03., d.h. 5 Monate verfügbar.
- Aufstellung und Betrieb erfolgen komplett durch einen privaten Dienstleister. Die Vertragslaufzeit beträgt 3 Jahre.
- Kontrollen werden im Rahmen der Streckenwartung durch die AM durchgeführt.
- Die Energieversorgung erfolgt mit Solaranlage und Pufferspeicher, ggf. ist ein Batteriewechsel erforderlich.
- Die Anzeige wird im Mittel zweimal jährlich für 24 h aktiviert, ansonsten dunkel.
- Die Anzeigen werden manuell durch Mitarbeiter der AM oder durch den Dienstleister auf Anforderung der AM zentral ein- und ausgeschaltet. Es sind keine verkehrs- oder witterungsabhängigen Algorithmen vorgesehen.
- Es sind insgesamt 29 Anzeigen am AK Kamen (BAB A1 / BAB A2), AK Osnabrück (BAB a1 / BAB A30) und AD Bad Oeynhausen (BAB A30 / BAB A2) für beide Fahrrichtungen notwendig.

Die Gesamtkosten pro Jahr werden unter diesen Randbedingungen mit 300.000 € abgeschätzt (s. Tabelle 19). Zusätzliche Kosten können durch die Wahl des Aufstellzeitpunkts (nachts/ am Wochenende) und die damit verbundenen Anforderungen an die Verkehrssicherung anfallen. Auch können Zusatzkosten für zusätzliche Arbeiten, z. B. passive Schutzeinrichtung, Fundamente, entstehen.

Tabelle 19: Kosten pro Jahr für Einrichtung und Betrieb der dynamischen Anzeigen für eine regionale Umfahrungsempfehlung für Lkw am Bielefelder Berg

Position	Einheit	Anzahl	Einzelkosten [€]	Gesamtkosten [€]
Systemseitige Einrichtung	psch	1	5.000	5.000
Auf- und Abbau	psch	1	120.000	120.000
Vorhalten, Warten, Instandsetzen	Monat	5	35.000	175.000
Summe				300.000

Für die Nutzen-Kosten-Bewertung ist entscheidend, ob durch die Maßnahme lange Stauereignisse vermieden werden, dann liegt der Nutzen infolge der Stauvermeidung mit 5,8 Mio (Stau bei Tag) bzw. 1,8 Mio €. (Stau bei Nacht) deutlich über den Mehrkosten auf Nutzerseite für die Umfahrung (ca 1,1 Mio € bei 80 % Befolgungsquote) und den Kosten des Baulasträgers von 0,3 Mio € pro Jahr. Würden nur kurze Stauereignisse vermieden werden, würden die Mehrkosten für die Umfahrung, wenn diese über 24 h geschaltet ist, höher als der Nutzen durch die Stauvermeidung sein, so dass kein positiver Nutzen zu verzeichnen wäre. Entscheidend bei dieser Maßnahme ist somit, dass tatsächlich lange Stauereignisse vermeiden werden.

Für den Bielefelder Berg kann von ein bis drei starken Schneefallereignissen pro Jahr ausgegangen werden (s. Kapitel 6.1). Setzt man für eine mittlere Abschätzung zwei starke Schneefallereignisse an, bei denen die Umfahrung jeweils 24 h geschaltet wird, und nimmt man an, dass dadurch je ein sechsständiges Stauereignis bei Tag und bei Nacht vermieden werden, beträgt der volkswirtschaftliche Nutzen 5,4 Mio € (= 5,8 + 1,8 – 2 x 1,1 [Mio €]). Im Vergleich zu den 0,3 Mio € Kosten ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) 18:1. Bei nur einer Schaltung mit einer Stauvermeidung bei Nacht liegt der Nutzen bei 0,7 Mio €, so dass das NKV ca. 2,3:1 beträgt. Da



die temporären dynamische Anzeigen auch bei anderen Stauursachen, z.B. Unfall genutzt werden können, kann die Vermeidung weiterer Stauereignisse zu einer Verbesserung des NKV beitragen.

7.4.3 Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt

Am Beispiel des Alaufstiegs im Zuge der BAB A8 in Fahrtrichtung München wird ein möglicher Mehrwert berechnet. Es gelten die gleichen Eingangsgrößen wie in Kapitel 7.4.1. Es werden folgende Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Ein starkes Schneefallereignis ist angekündigt. Es wird keine Schaltung der SBA mit Sperrung des Überholfahrstreifens für Lkw vorgenommen. Durch liegengebliebene und/oder querstehende Lkw entsteht ein Stau auf allen Fahrstreifen, der für mehrere Stunden andauert. Die Staudauer wird mit 6 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses liegt zwischen 6.00 und 22.00 Uhr.
- **Szenario 1:** Es wird eine Schaltung der SBA mit Sperrung des Überholfahrstreifens für Lkw vorgenommen. Die Schaltung wird vorbeugend für 12 h am Tag vorgesehen und aufrechterhalten, da das Schneefallereignis nicht exakt vorhergesagt werden kann. Infolge der Sperrung kann es im schlechtesten Fall zu einem Lkw-Stau auf dem rechten Fahrstreifen von bis zu 12 h kommen (Worst Case). Kommt es zu keinem Lkw Stau (Best Case), so ist jedoch zumindest mit reduzierten Geschwindigkeiten für die Lkw zu rechnen (angesetzt werden 30 km/h statt 60 km/h). In beiden Fällen ist weiterhin damit zu rechnen, dass auch der Pkw-Verkehr mit reduzierter Geschwindigkeit (angesetzt werden 60 km/h statt 80 km/h) an den stehenden oder langsam fahrenden Lkw vorbeifährt.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne Schaltung der SBA), reduziert um die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der reduzierten Geschwindigkeiten bzw. dem Lkw-Stau. Die vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 entsprechen denen für Szenario 0 bei der Maßnahme „Großräumige Umfahrungsempfehlung mit Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)“ und betragen ca. 2,1 Mio € (s. Tabelle 15, Kapitel 7.4.1).

Wird die Maßnahme am Tag umgesetzt, betragen die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der Sperrung des linken Fahrstreifens für Lkw (Szenario 1) max 2,4 Mio €, wenn im Worst Case durch die Fahrstreifensperrung alle Lkw für die Dauer der Sperrung im Stau stehen. Bleibt der Lkw-Verkehr mit reduzierter Geschwindigkeit aufrechterhalten (Best Case), liegen sie nur bei 40.000 € (s. Anhang 7.4.3). Somit führt die Maßnahme zu einem hohen positiven Nutzen, wenn der Lkw-Verkehr auf dem rechten Fahrstreifen nicht zum Erliegen kommt. Kommt er jedoch zum Erliegen, sind die Staukosten der Lkw auch nur dann höher als für den Gesamtverkehr, wenn der Lkw-Stau (Szenario 1) mit 12 h deutlich länger ist als der Stau für den gesamten Verkehr (Szenario 0). Kann der Lkw-Verkehr auf dem rechten Fahrstreifen nur ein bis zwei Stunden aufrechterhalten werden, sind voraussichtlich bereits geringere Nutzerkosten zu erwarten als bei einem sechsständigen Stau für Pkw und Lkw wie in Szenario 0. Somit ist mit der Sperrung des linken Fahrstreifens bei Schneefallereignissen in der Regel ein volkswirtschaftlicher Nutzen vorhanden.

Kosten für den Baulastträger sind nicht zu berücksichtigen, da davon ausgegangen wird, dass der Alaufstieg mit einer SBA ausgerüstet ist.



7.4.4 Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt

Am Beispiel des Alaufstiegs im Zuge der BAB A8 in Fahrtrichtung München wird ein möglicher Mehrwert eines temporären Anhaltens der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt berechnet. Grundlage der Nutzen-Kosten-Bewertung sind die durch [Roos et al. 2012] getroffenen Festlegungen für die Blockabfertigung von Lkw; im Gegensatz hierzu wird jedoch ein längeres Anhalten des Lkw-Verkehrs angesetzt. Es gelten die gleichen Eingangsgrößen wie in Kapitel 7.4.1. Es werden folgende Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Ein kurzes starkes Schneefallereignis ist angekündigt. Der Verkehr wird nicht angehalten. Hierdurch kommt es zu einem Stau am Alaufstieg. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr).
- **Szenario 1:** Die Fahrbahn wird kurz vor dem Schneefallereignis für Lkw gesperrt. Es wird ein Vorlauf von 30 min vor Beginn des Schneefalls angesetzt, um zum einen zu gewährleisten, dass alle Lkw auf dem Alaufstieg diesen noch vor dem Schneefall verlassen können und zum anderen Unsicherheiten in der Prognose zu berücksichtigen. Für das kurze starke Schneefallereignis und den beginnenden Räumeeinsatz vor dem Lkw-Verkehr wird eine weitere Sperrzeit von 60 min berücksichtigt. Die Gesamtsperrzeit beträgt somit 1,5 h. Wie für Szenario 0 wird der Zeitraum der Sperrung für Lkw und damit die Verkehrsbelastung zwischen Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) und Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) variiert. Den Abschnitt, in dem der Lkw-Verkehr angehalten wird, passieren die Pkw mit reduzierter Geschwindigkeit (60 km/h statt 80 km/h). Im weiteren Streckenverlauf am Alaufstieg fahren die Pkw aufgrund der winterlichen Witterung mit 80 km/h, es kommt jedoch zu keinem Stau wie in Szenario 0.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne Anhalten der Lkw), reduziert um die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der temporären Sperrung für Lkw (Lkw Stau bzw. Pkw mit reduzierten Geschwindigkeiten). Die vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 entsprechen denen für Szenario 0 bei der Maßnahme „Großräumige Umfahrungsempfehlung mit Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)“ (s. Tabelle 15, Kapitel 7.4.1). Für Szenario 1 betragen die zusätzlichen Nutzerkosten infolge des temporären Anhaltens der Lkw für 90 min ca. 39.000 € (Tag) bzw. 13.000 € (Nacht) (s. Anhang 7.4).

Zusätzliche Kosten auf Seiten des Straßenbaulastträgers werden nur für das temporäre Anhalten der Lkw berücksichtigt. Hierfür werden wie durch [Roos et al. 2012] für die Einrichtung einer Blockabfertigung für Lkw dargelegt, drei Kolonnenfahrzeuge mit LED-Vorwarnanhängern vorgesehen. Alternativ könnten dynamische Anzeigen auch fest installiert und ferngesteuert analog den dynamischen Anzeigen für Umfahrungsempfehlungen geschaltet werden (s. Kapitel 7.4.2), wodurch zwar höheren Investitionen anfallen, aber kein zusätzliches Personal für Auf- und Abbau notwendig ist, das während der Winterdiensteinsätze nur schwer verfügbar ist. Weiterhin wird zum Sperren des Lkw-Verkehrs auf dem rechten Fahrsteifen ein Fahrzeug mit Absperranhänger benötigt, für das aus Sicherheitsgründen ein Winterdienst-Lkw eingesetzt wird, der dann auf dem Alaufstieg eingesetzt werden kann. Die spätere Freigabe der Fahrbahn kann mit einem Kolonnenfahrzeug erfolgen. Neben der reinen Sperrzeit sind An- und Abfahrt, Aufstellen und das Warten auf das Schneefallereignis bei der Kostenabschätzung zu berücksichtigen, so dass eine Einsatzzeit von insgesamt 6 h angesetzt wird (s. Tabelle 20). Wenn die Maßnahme in einem



Abschnitt mit SBA erfolgt, würden sich die Kosten reduzieren, da zumindest auf einen Teil der Vorwarnanhänger verzichtet werden kann.

Tabelle 20: Kosten für das temporäre Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit am Beispiel Alaufstieg

Position	Anzahl	Stunden	Kostensatz [€/h]	Gesamtkosten [€]
Kolonnenfahrzeuge	4	6	13,00	312,00
Absperranhänger	1	6	10,00	60,00
Vorwarnanhänger LED-Technik	3	6	12,50	225,00
Straßenwärter Tag	4	6	44,00	1.056,00
Straßenwärter Nacht	4	6	55,00	1.320,00
Summe Tag				1.653,00
Summe Nacht				1.917,00

Tabelle 21: Nutzen und Kosten für das temporäre Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit am Beispiel Alaufstieg

	Tag (6.00 – 22.00 Uhr)	Nacht (22.00 – 6.00 Uhr)
Nutzen infolge Stauvermeidung (Szenario 0, s. Tabelle 15)		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	2.091.766 €	662.393 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	232.418 €	75.536 €
zusätzlichen Nutzerkosten inf. Fahrstreifensperrung für Lkw von 90 min (Szenario 1, s. Anhang 7.4)		
• Lkw 90 min im Stau	37.266 €	12.422 €
• Pkw mit 60 km/h Vorbeifahrt an stehenden Lkw	14.197 €	4.470 €
• Pkw mit 80 km/h bei winterlicher Witterung	- 11.977 €	- 3.771 €
• Gesamt	39.486 €	13.121 €
Gesamtnutzen durch die Maßnahme, wenn jede Fahrbahnsperre einen Stau vermeidet		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	2.052.280 €	649.272 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	192.932 €	62.415 €
Gesamtnutzen durch die Maßnahme, wenn jede 2. Fahrbahnsperre einen Stau vermeidet		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	2.012.794 €	636.151 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	153.446 €	49.294 €
Kosten für das Einrichten der Fahrbahnsperre (nur jede 2. geplante Maßnahme wird auch umgesetzt)	3.306 €	3.834 €
Nutzen-Kosten-Verhältnis für das Einrichten der Fahrbahnsperre		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h bei jeder Sperrung	621:1	169:1
• Vermiedenes Stauereignis 2 h bei jeder Sperrung	58:1	16:1
• Vermiedenes Stauereignis 6 h bei jeder 2. Sperrung	609:1	166:1
• Vermiedenes Stauereignis 2 h bei jeder 2. Sperrung	46:1	13:1

Für die Ermittlung des Gesamtnutzens ist zu berücksichtigen, dass ggf. nicht durch jede eingerichtete Sperrung ein Stau vermieden wird. Aufgrund der Kurzfristigkeit der Vorhersage ist jedoch davon auszugehen, dass mindestens bei jeder zweiten Sperrung ansonsten ein Stauereignis eingetreten wäre. Bei Berücksichtigung der Kosten wird angesetzt, dass nur bei jeder zweiten



vorgesehenen Maßnahme auch tatsächlich die Lkw angehalten werden, die Fahrzeuge jedoch jedes Mal vorbeugend an den Einsatzort gefahren werden müssen. Nutzen und Kosten für die verschiedenen Fälle sind in Tabelle 21 zusammengestellt. Es wird deutlich, dass auch bei Vermeidung kürzerer Stauereignisse der Nutzen größer ist, wenn der Lkw-Verkehr angehalten wird. Im Verhältnis zu den Kosten für das temporäre Anhalten der Lkw ist der Nutzen sehr hoch, so dass sich hohe NKV ergeben. Diese sind auch dann hoch, wenn nur für jede zweite eingerichtete Fahrstreifensperrung für Lkw davon ausgegangen wird, dass ein Stau auf dem Alaufstieg vermieden wird.

7.4.5 Temporäre Fahrbahnspernung vor dem kritischen Streckenabschnitt

Am Beispiel des Alaufstiegs im Zuge der BAB A8 in Fahrtrichtung München wird ein möglicher Mehrwert einer temporären Fahrbahnspernung für alle Fahrzeuge vor dem kritischen Streckenabschnitt berechnet. Es gelten die gleichen Eingangsgrößen wie in Kapitel 7.4.1. Es werden analog zu Kapitel 7.4.4 folgende Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Ein kurzes starkes Schneefallereignis ist angekündigt. Der Verkehr wird nicht angehalten. Hierdurch kommt es zu einem Stau am Alaufstieg. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr).
- **Szenario 1:** Die Fahrbahn wird kurz vor dem Schneefallereignis für alle Fahrzeuge gesperrt. Es wird ein Vorlauf von 30 min vor Beginn des Schneefalls angesetzt, um zum einen zu gewährleisten, dass alle Fahrzeuge auf dem Alaufstieg diesen noch vor dem Schneefall verlassen können und zum anderen Unsicherheiten in der Prognose zu berücksichtigen. Für das kurze starke Schneefallereignis und den beginnenden Räumeeinsatz vor dem Verkehr wird eine weitere Sperrzeit von 60 min berücksichtigt. Die Gesamtsperrzeit beträgt somit 1,5 h. Wie für Szenario 0 wird der Zeitraum der Fahrbahnspernung und damit die Verkehrsbelastung zwischen Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) und Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) variiert.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne Sperrung der Fahrbahn), reduziert um die zusätzlichen Nutzerkosten infolge der Fahrbahnspernung. Die vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 entsprechen denen für Szenario 0 bei der Maßnahme „Großräumige Umfahrungsempfehlung mit Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)“ (s. Tabelle 15, Kapitel 7.4.1). Für Szenario 1 betragen die zusätzlichen Nutzerkosten infolge Fahrbahnspernung von 90 min ca. 130.000 € (Tag) bzw. 44.000 € (Nacht) (s. Anhang 7.5).

Zusätzliche Kosten auf Seiten des Straßenbaulastträgers werden nur für die Vollsperrung berücksichtigt, hierfür werden zwei Fahrzeuge mit Absperranhängern sowie zwei Kolonnenfahrzeuge mit LED-Vorwarnanhängern vorgesehen. Zum Aufstellen der Absperranhänger werden aus Sicherheitsgründen die zwei Winterdienst-Lkw eingesetzt, die dann auf dem Alaufstieg eingesetzt werden. Die Freigabe der Fahrbahn kann mit Kolonnenfahrzeugen erfolgen. Neben der reinen Sperrzeit sind An- und Abfahrt, Aufstellen und das Warten auf das Schneefallereignis bei der Kostenabschätzung zu berücksichtigen, so dass eine Einsatzzeit von insgesamt 6 h angesetzt wird.



Tabelle 22: Kosten für das Einrichten einer temporären Fahrbahnspernung für Lkw und Pkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit

Position	Anzahl	Stunden	Kostensatz [€/h]	Gesamtkosten [€]
Kolonnenfahrzeuge	4	6	13,00	312,00
Absperranhänger	2	6	10,00	120,00
Vorwarnanhänger LED-Technik	2	6	12,50	150,00
Straßenwärter Tag	4	6	44,00	1.056,00
Straßenwärter Nacht	4	6	55,00	1.320,00
Summe Tag				1.638,00
Summe Nacht				1.902,00

Tabelle 23: Nutzen und Kosten durch eine Fahrbahnspernung für Lkw und Pkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min am Beispiel Alaufstieg

	Tag (6.00 – 22.00 Uhr)	Nacht (22.00 – 6.00 Uhr)
Nutzen infolge Stauvermeidung (Szenario 0, s. Tabelle 15)		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	2.091.766 €	662.393 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	232.418 €	75.536 €
zusätzlichen Nutzerkosten inf. Fahrbahnspernung von 90 min (Szenario 1, s. Anhang 7.5)	130.735 €	43.578 €
Gesamtnutzen durch die Maßnahme, wenn jede Fahrbahnspernung einen Stau vermeidet		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	1.961.031 €	618.815 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	101.683 €	31.958 €
Gesamtnutzen durch die Maßnahme, wenn jede 2. Fahrbahnspernung einen Stau vermeidet		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h	915.148 €	287.619 €
• Vermiedenes Stauereignis 2 h	- 14.526 €	- 5.810 €
Kosten für das Einrichten der Fahrbahnspernung (nur jede 2. geplante Maßnahme wird auch umgesetzt)	3.276 €	3.804 €
Nutzen-Kosten-Verhältnis für das Einrichten der Fahrbahnspernung		
• Vermiedenes Stauereignis 6 h bei jeder Sperrung	598:1	162:1
• Vermiedenes Stauereignis 2 h bei jeder Sperrung	31:1	4:1
• Vermiedenes Stauereignis 6 h bei jeder 2. Sperrung	279:1	75:1
• Vermiedenes Stauereignis 2 h bei jeder 2. Sperrung	negativ	negativ

Für die Ermittlung des Gesamtnutzens ist zu berücksichtigen, dass ggf. nicht durch jede eingerichtete Vollsperrung ein Stau vermieden wird. Aufgrund der Kurzfristigkeit der Vorhersage ist jedoch davon auszugehen, dass mindestens bei jeder zweiten Vollsperrung ansonsten ein Stauereignis eingetreten wäre. Bei Berücksichtigung der Kosten wird angesetzt, dass nur bei jeder zweiten vorgesehenen Maßnahme auch tatsächlich eine Vollsperrung durchgeführt wird, die Fahrzeuge jedoch jedes Mal vorbeugend an den Einsatzort gefahren werden müssen. Nutzen und Kosten für die verschiedenen Fälle sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Es wird deutlich, dass insbesondere dann, wenn lange Stauereignisse vermieden werden, der Nutzen die Kosten deutlich übersteigt. Wird das vermiedene Stauereignis hingegen deutlich kürzer angesetzt, ist ein Nutzen nur dann vorhanden, wenn das Stauereignis auch tatsächlich vermieden wird. Die

Kosten für den Baulastträger sind bei einem positiven Nutzen immer deutlich geringer als der volkswirtschaftliche Nutzen.

7.4.6 Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen

Gemäß Kapitel 5.10 werden bei dieser Maßnahme Abschleppfahrzeuge auf kritischen Streckenabschnitten eingesetzt, die dort permanent rotieren und so liegengebliebene Lkw schneller bergen können. Kosten und Nutzen werden ebenfalls am Beispiel des Bielefelder Bergs dargestellt. Der neuralgische Abschnitt wurde in Kapitel 7.4.2 beschrieben. Sinnvoll erscheint im vorliegenden Beispiel, dass zwei Lkw-Abschleppfahrzeuge zwischen der AS Bielefeld Süd und dem AK Bielefeld Ost zirkulieren. Der Abschnitt hat eine Länge von ca. 6,5 km und ist in Bild 77 rot hinterlegt.



Bild 77: Bielefelder Berg zwischen der AS „Bielefeld Süd“ und dem AK „Bielefeld Ost“, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

Es werden folgende Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Es werden keine rotierenden Abschleppfahrzeuge auf dem kritischen Streckenabschnitt vorgehalten. Ein Lkw bleibt im Steigungsabschnitt liegen und muss geborgen werden. Hierfür wird eine Gesamtzeit von 2 h angesetzt, die sich wie folgt zusammensetzt:
 - Anfahrt Polizei und Beauftragung Abschleppunternehmen: 20 – 40 min
 - Anfahrt Abschleppfahrzeug: 30 – 50 min
 - Bergung Lkw: 40 – 60 min
- **Szenario 1:** Es werden zwei rotierenden Abschleppfahrzeuge auf dem kritischen Streckenabschnitt vorgehalten, die bei einer mittleren Geschwindigkeit von 60 km/h den kritischen Abschnitt mit einer Umlaufzeit von ca. 15 min befahren, so dass bei zwei eingesetzten Fahrzeugen alle 7,5 min ein Abschleppfahrzeug an jeder Stelle vorbeikommt. Ein



Lkw bleibt im Steigungsabschnitt liegen und muss geborgen werden. Hierfür wird eine Gesamtzeit von 1 h angesetzt, die sich wie folgt zusammensetzt:

- Anfahrt Abschleppfahrzeug: 0 – 7,5 min
- Bergung Lkw: 40 – 60 min

Für die Ermittlung des Nutzens von Szenario 1 gegenüber Szenario 0 werden verschiedene Varianten betrachtet:

- **Variante 1:** Es kommt infolge des liegengebliebenen Lkw zu keinem Stau auf der Richtungsfahrbahn. Der Verkehr bleibt flüssig, die Fahrzeuge passieren den liegengebliebenen Lkw jedoch mit reduzierter Geschwindigkeit. Da aufgrund der winterlichen Witterung die Fahrzeuge generell langsamer fahren, wird für Pkw ein Geschwindigkeitsrückgang von 80 auf 60 km/h und für Lkw von 60 auf 30 km/h zugrunde gelegt. Diese reduzierte Geschwindigkeit wird auf einem 1 km langen Abschnitt im Bereich des liegengebliebenen Lkw für 1 h angesetzt, da die Bergung bei Szenario 1 1 h schneller erfolgt.
- **Variante 2:** Durch den liegengebliebenen Lkw kommt es zu einem Lkw-Stau auf dem rechten Fahrstreifen, da die Lkw, z. B. bei einem Lkw-Fahrverbot auf den Überholfahrstreifen, das havarierte Fahrzeug nicht passieren. Überschlägig wird für die Stauzeit die Zeit angesetzt, bis zu der der Lkw von der Fahrbahn geschleppt wird, d. h. für Szenario 0 2 h und für Szenario 1 1 h. Es wird die für diese Dauer jeweils auftretende Lkw-Anzahl berücksichtigt. Der Nutzen resultiert aus der Vermeidung des zweistündigen Stauereignisses, reduziert um die Nutzerkosten infolge eines einstündigen Lkw-Staus bei Szenario 1.
- **Variante 3:** Durch die Bergungszeit von 2 h bei Szenario 0 kommt es zu einem Stau auf der gesamten Richtungsfahrbahn, da Lkw versuchen, am liegengebliebenen Lkw vorbeizufahren. Infolge der reduzierten Kapazität bei der winterlichen Witterung führt dies zum Zusammenbruch des Verkehrs. Die Gesamtstaudauer wird hierfür mit 6 h angesetzt. Der Nutzen resultiert aus der Vermeidung dieses Stauereignisses, reduziert um die Nutzerkosten infolge eines einstündigen Lkw-Staus bei Szenario 1.

Für die Nutzenermittlung werden die Verkehrskenngrößen gemäß Kapitel 7.4.2 für eine Richtungsfahrbahn (DTV: 50.000 Kfz/24 h, SV-Anteil 20 %, Anteil je Stunde 5,4 % bei Tag bzw. 1,7 % bei Nacht) angesetzt. Der Nutzen für Szenario 1 gegenüber Szenario 0 für die verschiedenen Varianten ist in Tabelle 24 zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.6).

Tabelle 24: Nutzen durch zwei rotierende Abschleppfahrzeuge für ein Ereignis am Beispiel Bielefelder Berg

	Ereignis bei Tag	Ereignis bei Nacht
Variante 1 (Verkehr flüssig mit red. Geschwindigkeit)	493 €	155 €
Variante 2 (nur Lkw Stau)	82.814 €	26.071 €
Variante 3 (Stau Pkw und Lkw)	2.893.546 €	910.931 €

Für den Bielefelder Berg kann von ein bis drei starken Schneefallereignissen pro Jahr ausgegangen werden (s. Kapitel 6.1), es werden drei Einsätze von Abschleppfahrzeugen pro Jahr angesetzt. Je Schneefallereignis wird eine Einsatzzeit von 8 h angenommen, da davon auszugehen, dass der Einsatz auch über das Ende des Schneefalls andauert. Somit fallen je

Abschleppfahrzeug mit den in Kapitel 7.3 genannten Kostensätzen Kosten je Abschleppfahrzeug in Höhe von 5.350 € pro Jahr an, für zwei Abschleppfahrzeuge 10.700 € pro Jahr.

Es wird deutlich, dass der Nutzen nur dann über den Kosten liegt, wenn Stauereignisse durch die Maßnahme vermieden werden (Variante 2 oder Variante 3). In diesem Fall ist er jedoch signifikant höher als die Kosten pro Jahr, auch wenn nur ein Stau pro Jahr tatsächlich vermieden wird. Aufgrund der größeren Verkehrsmengen ist der Nutzen bei Tag deutlich höher als bei Nacht. Aus Tabelle 24 lassen sich bei den angesetzten Jahreskosten von 10.700 € NKV von 2,4:1 bis maximal 270:1 ableiten, wenn durch die schnellere Bergung des liegengebliebenen Lkw nur ein Stau p.a. vermieden wird.

7.4.7 Betriebsumfahrten im Zuge neuralgischer Streckenabschnitte

Aus der Anlage bzw. dem Vorhandensein von Betriebsumfahrten geht ein direkter Nutzen hervor, der insbesondere bei den zeitkritischen Tätigkeiten im Winterdienst ersichtlich wird. Durch das Wegfallen von Leerfahrten können Umlaufzeiten stark reduziert werden. Positive Effekte hat dies insbesondere in zwei Fällen, zum einen im Umfeld von AK und AD, wozu [Cypra et al. 2006] überschlüssig einen volkswirtschaftlichen Nutzen abgeschätzt hatten, sowie zum anderen im Zuge von neuralgischen Streckenabschnitten. In diesem Kapitel ist exemplarisch am Beispiel des Irschenbergs auf der BAB A 8 eine Nutzen-Kosten Bewertung für zusätzliche Betriebsumfahrten an neuralgischen Streckenabschnitten dokumentiert.

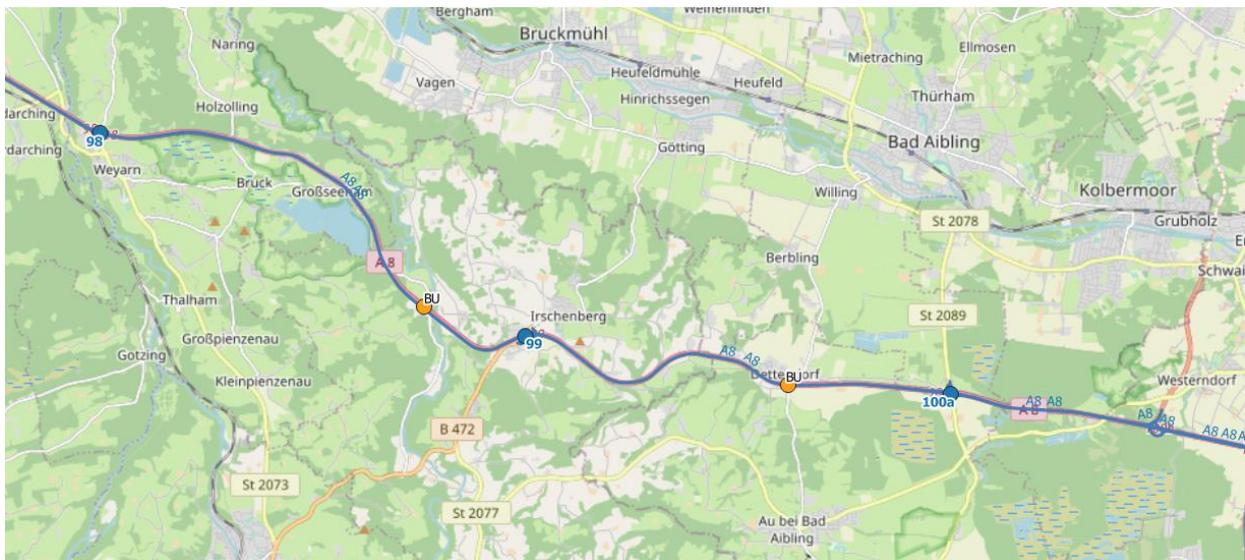


Bild 78: Streckenabschnitt Irschenberg auf der BAB A8 mit Betriebsumfahrten, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]

Der Abschnitt Irschenberg der BAB A8 gilt als neuralgischer Abschnitt, der in beiden Fahrrichtungen einen erhöhten Betreuungsaufwand bedingt. Der Abschnitt befindet sich zwischen der AS 98 Weyarn und der AS 100a Bad Aibling und beinhaltet die AS 99 Irschenberg. Der Abstand zwischen den AS 98 und 100a beträgt rund 18,8 km. Es sind zwei Betriebsumfahrten vorhanden, die an die Kreisstraßen MB18 und RO24 angeschlossen sind. Deren Abstand beträgt rund 7,9 km, sie sind an Beginn und Ende des neuralgischen Abschnitts angelegt (s. Bild 78). Bei einer Räumgeschwindigkeit von 30 km/h kann ein Einsatzfahrzeug diesen Abschnitt in eine



Richtung in rund 16 min befahren. Für die gesamte Strecke zwischen den AS 98 und 100a bräuchte das Fahrzeug rund 38min, also mehr als doppelt so lange.

Wird ein Fahrzeug für den neuralgischen Abschnitt bereitgestellt, das ausschließlich diesen betreut, so kann dieser mit einer Umlaufzeit von ca. 40 min gegenüber 80 min geräumt und gestreut werden. Durch die zuständige AM Holzkirchen (s. Kap. 4.2.4) werden für diesen neuralgischen Abschnitt derzeit zwei Fahrzeuge bereitgestellt, die gegenläufig agieren. Der Abschnitt wird demnach in beide Richtungen anstatt in ca. zweistündigen Intervallen in 20 min-Intervallen betreut.

Wie auch andere Maßnahmen zielt die Maßnahme in erster Linie darauf ab, das Liegenbleiben oder Querstehen von Lkw zu verhindern.

Die Verkehrsbelastung auf dem Irschenberg in einer Fahrrichtung wird auf Grundlage von Daten der Dauerzählstelle Irschenberg (s. Anhang 7.7) mit einem DTV von 41.000 Kfz/24 h und einem SV-Anteil von 14,5 % angesetzt. Wie in Kapitel 7.4.1 wird der Anteil je Tagstunde (6.00 bis 22.00 Uhr) mit 5,4 % vom DTV, je Nachtstunde (22.00 bis 6.00 Uhr) mit 1,7 % vom DTV angesetzt.

Es werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Es sind keine zusätzlichen Betriebsumfahrten angelegt, so dass die Umlaufzeit der beiden Winterdienst-Lkw je 80 min beträgt und die Fahrbahn somit alle 40 min betreut wird. Bei starker Schneefallintensität können in diesem Zeitraum mehrere Zentimeter Neuschnee fallen, die zu einem unzureichenden Kraftschluss der Lkw-Reifen führen, so dass diese liegen bleiben, ausweichende Lkw dann auch die weiteren Fahrsteifen blockieren und sich in der Folge ein Stau auf der gesamten Richtungsfahrbahn bildet. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr).
- **Szenario 1:** Es stehen zwei zusätzliche Betriebsumfahrten, die im Winterdienst genutzt werden, zur Verfügung, so dass bei weiterhin zwei Winterdienstfahrzeugen auf diesem Abschnitt die Betreuungszeit mit 20 min halbiert werden kann. Auch bei starkem Schneefall kann durch dieses kurze Räumintervall das Liegenbleiben der Lkw vermieden werden, es kommt zu keinem Stau.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0 (Staukosten ohne zusätzliche Betriebsumfahrten). Die Staukosten hängen von der Staudauer und der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge ab, die wiederum vom Zeitpunkt des Schneefallereignisses abhängen. In Tabelle 25 sind die zusätzlichen Nutzerkosten zusammengestellt (Detailedaten s. Anhang 7.7).

Tabelle 25: Zusätzliche Staukosten je Ereignis für den Irschenberg bei längerem Räumintervall aufgrund fehlender Betriebsumfahrten (Szenario 0)

	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)	2.231.162 €	251.721 €
Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	720.837 €	80.093 €

Die Kosten für eine Betriebsumfahrt liegen bei 50.000 € p.a. (s. Kapitel 7.3), für den Irschenberg mit zwei Betriebsumfahrten betragen sie somit 100.000 € p.a. Für den Abschnitt des



Irschenbergs kann man von zwei bis fünf starken Schneefallereignissen pro Winter ausgehen (s. Kapitel 6.1). Berücksichtigt man beide Fahrrichtungen, besteht somit vier- bis zehnmal pro Jahr das Risiko eines Staus, wenn aufgrund fehlender zusätzlicher Betriebsumfahrten die längeren Umlaufzeiten nicht ausreichen, um liegenbleibende Lkw zu verhindern.

In Tabelle 26 sind NKV in Abhängigkeit der vermiedenen Stauereignisse zusammengestellt. Es wird deutlich, dass das NKV in der Regel deutlich über 1 liegt, insbesondere wenn Stauereignisse während des Tages vermieden werden.

Tabelle 26: Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) von zwei zusätzlichen Betriebsumfahrten am Beispiel Irschenberg (Szenario 1) in Abhängigkeit der vermiedenen Stauereignisse

Anzahl vermiedener Staus p.a.	Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)		Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	
	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
1	22:1	7:1	2,5:1	0,8:1
2	45:1	14:1	5,0:1	1,6:1
4	89:1	29:1	10,0:1	3,2:1
5	112:1	36:1	12,6:1	4,0:1

7.4.8 Schneezäune

Für die Nutzen-Kosten-Betrachtung wird die Richtungsfahrbahn auf freier Strecke einer Autobahn mit je zwei Fahrstreifen und Standstreifen betrachtet. Der Streckenabschnitt ist auf einer Länge von 3 km anfällig für Schneeverwehungen. Die Verkehrsbelastung der Richtungsfahrbahn wird mit einem DTV von 30.000 Kfz/24 h und einem SV-Anteil von 20 % angesetzt. Wie in Kapitel 7.4.1 wird der Anteil je Tagstunde (6.00 bis 22.00 Uhr) mit 5,4 % vom DTV, je Nachtstunde (22.00 bis 6.00 Uhr) mit 1,7 % vom DTV angesetzt.

Es werden zwei Szenarien betrachtet:

- **Szenario 0:** Es wird kein Schneezäun aufgestellt. Hierdurch kommt es zu Schneeverwehungen, wobei 2 Varianten betrachtet werden:
 - **Variante 1:** Nach Ende eines Schneefallereignisses kommt es aufgrund des Windes zu Verwehungen des Schnees von den angrenzenden Flächen auf die Fahrbahn (Tribschnee). Dieser Zustand dauert über 24 h an, so dass kontinuierlich alle 3 h Wiederholungseinsätze mit einer Räumstaffel notwendig werden. Es kommt infolge der Schneeverwehungen zwar zu keinem Stau auf der Richtungsfahrbahn, aber die Fahrbahn ist nur wie bei winterlicher Witterung befahrbar. Für Pkw wird ein Geschwindigkeitsrückgang von 120 auf 80 km/h und für Lkw von 80 auf 60 km/h zugrunde gelegt.
 - **Variante 2:** Während eines starken Schneefallereignisses kommt es unmittelbar zu starken Schneeverwehungen, so dass der Verkehr zum Erliegen kommt. Die Staudauer wird mit 6 h oder 2 h angesetzt. Der Zeitraum des Stauereignisses wird ebenfalls variiert: Während des Tages, d.h. zwischen 6.00 und 22.00 Uhr oder während der Nacht (zwischen 22.00 und 6.00 Uhr). Es ist ein aufwendiger Winterdienstseinsatz am Ende des Schneefallereignisses notwendig.



- **Szenario 1:** Es wird ein 3 km langer Schneezaun aufgestellt. Hierdurch werden bei Variante 1 Geschwindigkeitsreduktionen für Pkw und Lkw sowie zusätzlichen Winterdienst-einsätze vermieden. Bei Variante 2 kommt es nicht zu einem Stau und es ist kein Einsatz zur Beseitigung der Schneeverwehungen notwendig.

Der Nutzen für Szenario 1 resultiert aus den vermiedenen Nutzerkosten für Szenario 0. Bei Variante 1 betragen diese infolge der reduzierten Geschwindigkeiten ca. 9.000 € je Ereignis. Bei Variante 2 hängen die Staukosten von der Staudauer und der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge ab, die wiederum vom Zeitpunkt des Schneefallereignisses abhängen. In Tabelle 27 sind die zusätzlichen Nutzerkosten für Variante 2 zusammengestellt (Detaildaten s. Anhang 7.8).

Tabelle 27: Zusätzliche Staukosten je Ereignis infolge Schneeverwehungen (Szenario 0, Variante 2)

	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)	1.752.690 €	194.743 €
Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	551.773 €	61.308 €

Die Kosten für die Schneeäune betragen 12 € je Meter pro Jahr (s. Kapitel 7.3), so dass für den 3 km langen Abschnitt in Szenario 1 36.000 € pro Jahr anzusetzen sind.

Für die zusätzlichen Winterdienst-einsätze sind mit den in Tabelle 14 zusammengestellten Kostensätzen bei Variante 1 2.609 € je Ereignis und bei Variante 2 1.014 € je Ereignis zu berücksichtigen (Detaildaten s. Anhang 7.8). Hierbei werden folgende Annahmen getroffen:

- **Variante 1:** Es werden 7 zusätzliche Winterdienst-einsätze notwendig, davon finden 3 Einsätze bei Nacht statt, für die höhere Personalkosten anfallen. Die Einsatzzeit wird mit 1 h für den 3 km langen Abschnitt angesetzt, da neben der reinen Räumzeit auch Zeiten für die An- und Abfahrt zu berücksichtigen sind, da davon ausgegangen wird, dass ansonsten nach dem Schneefallereignis keine netzweiten Winterdienst-einsätze notwendig sind. Für die Räumstaffel kommen drei Lkw mit Frontpflug und Streumaschine sowie je einem Fahrer zum Einsatz.
- **Variante 2:** Die Einsatzdauer zur Beseitigung der Schneeverwehungen beträgt 3 h. Zur Beseitigung der Schneeverwehungen werden zwei Lkw mit Frontpflug sowie ein Geräteträger mit einer Schneefräse eingesetzt.

Nutzen und Kosten hängen von der Anzahl der Ereignisse ab, bei denen es in Szenario 0 zu Schneeverwehungen kommt. Um diese abzuschätzen, kann die Anzahl der Ereignisse mitmäßigem oder starkem Schneefall (s. Bild 64) zugrunde gelegt werden. Für große Teile des deutschen Autobahnnetzes liegt diese zwischen 5 und 10. Berücksichtigt man, dass nicht beim jedem Schneefallereignis starker Wind auftritt, der zu Verwehungen führt, kann man in anfälligen Bereichen von bis zu drei Ereignissen pro Jahr ausgehen.

Werden durch den Schneezaun nur reduzierte Geschwindigkeiten und zusätzliche Winterdienst-einsätze vermieden (Variante 1), ist auch bei drei Ereignissen mit Schneeverwehung das Aufstellen des Schneezauns nicht wirtschaftlich, da das NKV kleiner 1 ist (s. Tabelle 28). Werden hingegen Staus vermieden, ist auch bereits bei einem vermiedenen Stau pro Jahr das NKV positiv (s. Tabelle 29).



Tabelle 28: Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) eines 3 km langen Schneezauns bei Variante 1 (Vermeidung reduzierter Geschwindigkeiten)

Anzahl der Ereignisse	1	2	3
Nutzen pro Jahr	9.000 €	18.000 €	27.000 €
Kosten pro Jahr	33.391 €	30.782 €	28.173 €
NKV	0,27:1	0,58:1	0,96:1€

Tabelle 29: Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) eines 3 km langen Schneezauns bei Variante 2 (Vermeidung eines Staus)

Anzahl vermiedener Staus p.a.	Kosten p.a.	Stau am Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)		Stau in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)	
		Staudauer 6 h	Staudauer 2 h	Staudauer 6 h	Staudauer 2 h
1	34.964 €	50:1	6:1	16:1	1,8:1
2	33.972 €	103:1	11:1	32:1	3,6:1
3	32.958 €	160:1	18:1	50:1	5,6:1



8. Empfehlungen

Für die in Kapitel 5 beschriebenen Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes bei starken Schneefällen werden nachfolgend Empfehlungen zur Umsetzung und Implementierung gegeben, bei denen auch die Ergebnisse der Kapitel 6 und 7 berücksichtigt sind.

- **Umfahrungsempfehlung mit stationären Netzbeeinflussungsanlagen (NBA):** Für das Beispiel des Alaufstiegs stellt sich bei ausreichender Befolgung durch die Lkw-Fahrer bereits bei Vermeidung eines einzelnen Staus ein Nutzen ein, der überproportional mit der Dauer des vermiedenen Staus steigt (s. Kapitel 7.4.1). Dieser Nutzen kann auch bei anderen kritischen Streckenabschnitten im gesamten Autobahnnetz gegeben sein. Wesentliche Voraussetzung für die Maßnahme ist jedoch, dass kein starker Schneefall auf der Umfahrungsstrecke zu erwarten ist und dass die Umfahrungsstrecke ausreichende Kapazitätsreserven hat. Je länger der Mehrweg bei Nutzung der Umfahrung ist, desto geringer wird der Nutzen durch die zusätzlichen Betriebskosten, vor allem jedoch auch, da dann die Akzeptanz bei den Lkw-Fahrern zurückgeht. Umgekehrt nimmt tendenziell die Wahrscheinlichkeit, dass auf der Umfahrung keine starken Schneefälle zu erwarten sind, mit wachsender Umfahrungslänge zu, so dass die Umfahrung häufiger geschaltet werden kann. Wenn vorhandene NBA genutzt werden, entstehen keine signifikanten Kosten auf Seiten des Betreibers. Ggf. kann es im Einzelfall auch zweckmäßig sein, vorhandene NBA um zusätzliche Elemente (dWista-Tafeln, statische Anzeigen) zu erweitern, um sie für eine Winterdienstumfahrung nutzen zu können. Die Maßnahme ist als ergänzende Maßnahme einzustufen, da sie nicht bei allen starken Schneefallereignissen angewendet werden kann. Sie sollte daher nicht isoliert betrachtet werden, aber die Reduktion des Lkw-Verkehrs auf dem Abschnitt mit starkem Schneefall kann dort die Erfolgsquote weiterer Maßnahmen deutlich erhöhen.
- **Umfahrungsempfehlungen für Lkw durch temporäre dynamische Anzeigen:** Analog der Umfahrungsempfehlung mit stationären NBA wird diese Maßnahme empfohlen, wenn eine regionale Umfahrungsstrecke des neuralgischen Streckenabschnitts mit ausreichender Kapazitätsreserve zur Verfügung steht. Es ist dann sogar von einem höheren Nutzen auszugehen, da der Befolgungsgrad höher ist. Wesentlich ist, dass die Umfahrungsstrecke auch bei winterlichen Witterungsverhältnissen gut befahrbar sein muss, d.h. dass insbesondere keine stärkeren Steigungs- und Gefällestrecken auf ihr vorhanden sind. Die Maßnahme kann auch bei geringeren Verkehrsmengen als im untersuchten Einsatzfall am Bielefelder Berg einen Gesamtnutzen generieren. Aufgrund der nicht unerheblichen Kosten wird diese Maßnahme vor allem für Streckenabschnitte mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für starke Schneefallereignisse empfohlen, d.h. vor allem für Abschnitte in Mittelgebirgslagen. Es wird empfohlen, diese Maßnahme in einem Pilotprojekt umzusetzen, um weitere Erfahrungen zu sammeln. Hierfür sollte eine temporäre dynamische Anzeige für mehrere Winter vorgesehen werden, da nicht in jedem Winter typische Wetterlagen, bei denen eine Schaltung sinnvoll ist, sicher auftreten bzw. prognostiziert werden können. Wichtig bei der pilothaften Umsetzung ist auch die eindeutige Prozessbeschreibung, die Zuordnung der Zuständigkeiten und die Abstimmung unter den Prozessbeteiligten (AM, Verkehrszentrale, Polizei, ggf. privater Betreiber).
- **Fahrstreifensperrungen für Lkw:** Durch die Sperrung der Überholfahrstreifen für Lkw soll vermieden werden, dass die gesamte Richtungsfahrbahn durch liegendegebliebene Lkw blockiert wird. Hierfür ist bei Signalisierung einer Fahrstreifensperrung über WVZ (WVZ) im Zuge einer SBA oder als separate WVZ mit einer höheren Befolgungsquote zu rechnen als nur bei



Signalisierung eines Lkw-Überholverbots. Die Maßnahme ist vor allem dann sinnvoll, wenn ein Stau insgesamt vermieden werden kann. Aber auch wenn es auf dem rechten Fahrstreifen zum Erliegen des Lkw-Verkehrs kommt, ist der volkswirtschaftliche Nutzen durch die Aufrechterhaltung des Pkw-Verkehrs in der Regel höher als mögliche Nachteile für den Lkw-Verkehr, wie das Beispiel für den Alaufstieg in Kapitel 7.4.3 zeigt. Weiterhin ist der Winterdienst auf den verbleibenden Fahrstreifen einfacher durchzuführen als bei blockierenden Lkw, so dass der betroffene Streckenabschnitt generell wieder schneller befahrbar ist. Die Maßnahme ist insbesondere bei geringerem Lkw-Anteil zu empfehlen, da dann die zusätzlichen Nutzerkosten der ggf. im Stau stehenden Lkw geringer sind. Bei hohem Lkw-Anteil kann leichter ein Lkw-Stau auf dem rechten Fahrstreifen auftreten und es besteht die Gefahr, dass die Fahrstreifensperrung dann nicht mehr befolgt wird. Daher kann diese Maßnahme z.B. auch in Kombination mit einer großräumigen oder regionalen Umfahrung empfohlen werden.

- **Fahrstreifensperrungen für alle Fahrzeuge:** Durch die Sperrung des linken Fahrstreifens für alle Fahrzeuge können auf dem verbleibendem Fahrstreifen Räumensätze in kürzerer Umlaufzeit durchgeführt werden, da keine Räumstaffeln mehr notwendig sind. Diese Maßnahme ist nur dann zu empfehlen, wenn geringe Verkehrsmengen zu keiner Überlastung der Kapazität des verbleibenden rechten Fahrstreifens führen. Die Maßnahme ist somit z. B. in den Nachtstunden, an Wochenenden etc. zweckmäßig, um bei anhaltendem starkem Schneefall Wiederholungseinsätze in kurzer Frequenz zu ermöglichen, wenn keine ausreichenden Personal- oder Fahrzeugressourcen für die vollständige Betreuung der Fahrbahn zur Verfügung stehen. Neben einer Signalisierung der Fahrstreifensperrung über die WVZ einer SBA führt auch das wiederholte Nicht-Räumen des linken Fahrstreifens dazu, dass sich der Verkehr auf dem rechten Fahrstreifen konzentriert. Eine aufwendige separate Signalisierung der Fahrstreifensperrung über separate WVZ erscheint daher nicht erforderlich.
- **Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt:** Bei dieser Maßnahme wird der Lkw-Verkehr vor einem neuralgischen Streckenabschnitt angehalten, so dass der Verkehr auf dem kritischen Abschnitt nicht infolge querstehender Lkw zusammenbricht und dieser ungehindert geräumt werden kann. Am Beispiel des Alaufstiegs wird deutlich, dass diese Maßnahme immer dann sinnvoll ist, wenn dadurch der Zusammenbruch des Verkehrs vermieden werden kann (s. Kapitel 7.4.4). Der Nutzen durch die Stauvermeidung ist im Vergleich zu den zusätzlichen Nutzerkosten infolge der temporären Sperrung deutlich höher, so dass die Maßnahme auch dann angewendet werden kann, wenn nicht jedes Mal ein Stau sicher vermieden wird. Generell sollte die Maßnahme nur bei einer eindeutigen Prognose des Schneefallereignisses angewendet werden; ggf. sind vorbereitende Maßnahmen abzubereiten. Die Maßnahme eignet sich vor allem bei hohen Verkehrsmengen sowie kurzen sehr starken Schneefällen, die in kürzester Zeit zum Verkehrsstillstand auf Steigungsstrecken führen würden. Die Sperrung sollte möglichst mit eigenen Ressourcen der AM in Abstimmung mit der Polizei erfolgen, die Verkehrsteilnehmer sollten über verschiedene Medien informiert werden. Ideal sind Streckenabschnitte, die bereits über WVZ verfügen. Allerdings sollte die Maßnahme auch nicht zu weit vor dem kritischen Abschnitt erfolgen, da dann die Sperrzeiten tendenziell länger werden und über dazwischenliegende Anschlussstellen und Parkplätze Fahrzeuge den kritischen Abschnitt befahren. Weiterhin ist darauf zu achten, dass der Lkw-Verkehr nicht auf das nachgeordnete Netz ausweicht.
- **Temporäre Fahrbahnsperierung vor dem kritischen Streckenabschnitt:** Bei dieser Maßnahme wird der gesamte Verkehr vor einem kritischen Streckenabschnitt angehalten, so dass



der Verkehr nicht auf dem kritischen Streckenabschnitt zusammenbricht und dieser ungehindert geräumt werden kann. Am Beispiel des Alaufstiegs wird deutlich, dass diese Maßnahme immer dann sinnvoll ist, wenn dadurch der Zusammenbruch des Verkehrs vermieden werden kann (s. Kapitel 7.4.5). Die Maßnahme sollte somit nur bei einer eindeutigen Prognose des Schneefallereignisses angewendet werden; ggf. sind vorbereitende Maßnahmen abzubrechen. Die Maßnahme eignet sich vor allem bei hohen Verkehrsmengen sowie kurzen, sehr starken Schneefällen, die in kürzester Zeit zum Verkehrsstillstand auf Steigungsstrecken führen würden. Für die Umsetzung der Maßnahme sind die gleichen Aspekte wie für die vorgenannte Maßnahme zu beachten. Ein Vergleich der beiden Maßnahmen zur temporären Sperrung vor dem kritischen Streckenabschnitt enthält Tabelle 30.

Tabelle 30: Vergleich der beiden Maßnahmen temporäres Anhalten der Lkw bzw. temporäre Fahrbahnspernung (für Lkw und Pkw) vor dem kritischen Streckenabschnitt:

	Temporäres Anhalten der Lkw	Fahrbahnspernung für Lkw und Pkw
Nutzerkosten durch die Sperrung	im Wesentlichen infolge Reisezeitverluste für Lkw, deutlich geringer	im Wesentlichen infolge Reisezeitverluste für Lkw und Pkw, deutlich höher
Kosten zur Einrichtung der Sperrung	in etwa gleich	
Wahrscheinlichkeit, dass ein Stau im kritischen Abschnitt vermieden wird	hoch, nur etwas geringer als bei vollständiger Fahrbahnspernung	hoch, noch etwas höher als bei Sperrung nur für Lkw
Risiken im Abschnitt der temporären Sperrung	höher, infolge ausscherender Lkw und ggf. ein- oder aussteigende Lkw-Fahrer bei vorbeifahrenden Pkw	geringer, da Vollsperrung
Auswirkung auf den Winterdienst während der Sperrung	Streusalz wird nur durch den Pkw-Verkehr verteilt	keine Verteilung des Streusalzes durch den Verkehr

- Kamera in kritischen Abschnitten:** Zu Überwachung von Fahrbahn- und Verkehrszuständen sind Videokameras auf kritischen Abschnitten sinnvoll. Neben den Kameras, die bereits bei SWS oder SBA installiert sind, sind ggf. zusätzliche, nachtsichtfähige und beheizte Kameras in Abstimmung mit der Meistereileitung zu empfehlen. Durch die Videobilder der kritischen Streckenabschnitte hat die Einsatzleitung die Möglichkeit, Winterdienstesätze – nicht nur bei starkem Schneefall - optimiert zu steuern.
- Zusätzliches Winterdienstfahrzeug:** Diese sind zum einen bei hochbelasteten Netzen sinnvoll, da dadurch die Umlaufzeit im gesamten Netz tendenziell verkürzt und vor allem auch Anschlussstellen und Rastplätze besser betreut werden können. Hierfür wird empfohlen, die geforderte Umlaufzeit von 2 h zur Räumung von Richtungsfahrbahnen bei hohen Verkehrsmengen erheblich zu verkürzen. Weiterhin sollte entsprechend dem Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen [BMVI 2021] ein zusätzliches Winterdienstfahrzeug gezielt auf kritischen Streckenabschnitten eingesetzt werden, um dort eine deutliche Reduktion der Umlaufzeiten auf z.B. 30 min, zu erreichen. Die Analyse der Winterdienstesätze an Alaufstieg und Irschenberg (s. Kapitel 4.3.2 und 4.3.3) hat deutlich gemacht, dass damit Verkehrszusammenbrüche wirksam vermieden werden können. Aus der Analyse der zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen (s. Kapitel 6.2) lässt sich ableiten, dass



dieses zusätzliche Winterdienstfahrzeug nicht von anderen Streckenabschnitten innerhalb des Meistereinetzes abgezogen werden kann, sondern zusätzlich im Fuhrpark vorgehalten werden muss. Wenn ausreichend Personal für die Besetzung des zusätzlichen Fahrzeugs verfügbar ist, kann durch eine zeitlich vorgezogene Beschaffung von Ersatzfahrzeugen (Beschaffung bis Herbst, Aussonderung erst im kommenden Frühjahr) ein zusätzliches Fahrzeug ohne wesentliche Mehrkosten verfügbar sein. Ggf. kann auch der Einsatz von Fremdunternehmern in der Meisterei sinnvoll sein.

- **Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen:** Der Einsatz von Abschleppfahrzeugen zur Bergung von liegengebliebenen Lkw auf kritischen Streckenabschnitten, wie er z.B. in Österreich durch die ASFinAG praktiziert wird, wird empfohlen. Durch die permanente Befahrung wird die Bergung deutlich beschleunigt, durch die Kostenübernahme von Seiten der Verwaltung wird die Akzeptanz der Lkw-Fahrer deutlich erhöht und der administrative Aufwand deutlich reduziert. Wenn durch die beschleunigte Bergung ein Stau vermieden oder auch nur verkürzt werden kann, liegt der Nutzen deutlich über den Kosten, wie das Beispiel des Bielefelder Bergs zeigt (s. Kapitel 7.4.6). Für das Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen sind die rechtlichen Voraussetzungen zu prüfen und ggf. so wie in Bayern zu schaffen (s. Kapitel 2.3.3).
- **Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit:** In Meistereien, die Strecken mit einer hohen Staugefahr betreuen, sollten die Winterdienst-Lkw mit blauem Blinklicht und Einsatzhorn oder im Sinne eines verbesserten Gelblichtkonzepts mit sehr heller Blitzbalken, die unterhalb der Windschutzscheibe am Winterdienst-Lkw angebracht sind, und einem prägnanten 2-Tonsignal ausgestattet werden. Die positiven Erfahrungen hiermit (s. Kapitel 2.3.3, 3.1.4) verbunden mit den geringen Zusatzkosten (s. Kapitel 7.3) lassen ein hohes NKV erwarten, da der Winterdienst bei Stausituationen deutlich beschleunigt werden kann. Wichtig ist, dass das Sondersignal restriktiv nur bei Stau angewendet werden soll, wofür die Anwendungsvoraussetzungen eindeutig zu definieren, jährlich zu schulen und alle Einsätze zu protokollieren sind. Für die Verwendung von blauem Blinklicht und Einsatzhorn wären die rechtlichen Voraussetzungen zur einheitlichen Ausstattung der Winterdienstfahrzeuge durch Anpassung von § 38, Absatz (1) StVO zu schaffen.
- **Schmaler Frontpflug:** Der Einsatz schmaler Frontpflüge ist insbesondere bei Staus, bei einstreifigen Fahrbahnen im Bereich von Baustellen sowie auf Parkplätzen sinnvoll. Neben den Mehrzweck-Geräteträgern kann auch die Ausstattung von Winterdienst-Lkw mit schmalen Frontpflügen sinnvoll sein. Für den Einsatz bei Verkehrsstaus sollten diese schmalen Frontpflüge für die Winterdienst-Lkw zusätzlich zu den breiten Schneepflügen für die Räumung unter normalen Einsatzbedingungen vorgehalten werden, um sie im Bedarfsfall kurzfristig anzubauen. Hierdurch wird es möglich, nicht nur den Geräteträger, sondern auch weitere Fahrzeuge bei Stausituationen einzusetzen. Alternativ werden Winterdienst-Lkw permanent mit einem schmalen Frontpflug ausgerüstet, wenn die Räumweiten vorhersehbar, wie in Baustellen oder auf Parkplätzen, eingeschränkt sind.
- **Betriebsumfahrten:** Generell kann die Anlage von Betriebsumfahrten zur Reduktion von Leerwegen im Straßenbetriebsdienst und vor allem im Winterdienst führen, woraus geringere Kosten für den Winterdienst und ein Nutzen durch verkürzte Umlaufzeiten resultieren. Darüber hinaus können weitere Betriebsumfahrten in neuralgischen Abschnitten, in denen bei starkem Schneefall sehr kurze Umlaufzeiten notwendig sind, damit der Verkehr nicht



zusammenbricht, empfohlen werden. Wie das Beispiel Irschenberg mit zwei zusätzlichen Betriebsumfahrten zeigt, kann trotz der hohen Investitionen für die Betriebsumfahrten ein hohes NKV erzielt werden (s. Kapitel 7.4.7), wenn Staus infolge der kurzen Umlaufzeiten, die nur durch die Betriebsumfahrten möglich sind, vermieden werden. Neben den Betriebsumfahrten müssen auch die Winterdienstfahrzeuge zur Verfügung stehen, um die kurzen Umlaufzeiten zu gewährleisten. Bei der Anlage der Betriebsumfahrten ist darauf zu achten, dass sie für die Winterdienst-Lkw gut befahrbar sind und nicht durch parkende Lkw nicht nutzbar sind.

- **Winterbaustellen:** Wenn sich Baustellen im Winter nicht vermeiden lassen, wird entsprechend Kapitel 5.14 empfohlen, die Winterdienstbelange bereits bei der Planung und Ausschreibung der Baumaßnahme zu berücksichtigen. Hierzu zählen vor allem Fragen der Befahrbarkeit der Fahrstreifen mit den vorhandenen Winterdienst-Lkw, die Berücksichtigung von Schneeablageflächen vor passiven Schutzeinrichtungen, vor allem vor Betonschutzwänden, sowie die Einsatzplanung für Streueinsätze bei geteilter Richtungsfahrbahn (3+1-, 4+2-, 5+1-Verkehrsführung). Maßnahmen können zum einen die Anpassung der Baustellenverkehrsführung an den Winterdienst (z.B. breitere Fahrstreifen, zurückgesetzte Betonschutzwände) und zum anderen Anpassungen des Winterdienstes an die Baustellenverkehrsführung (z.B. zusätzliches Fahrzeug, schmalerer Schneepflüge) sein. Empfohlen wird auf jeden Fall eine standardisierte Berücksichtigung der Winterdienstbelange bei der Baustellenplanung.
- **Schneezäune:** Der Aufwand für Auf- und Abbau von Schneezäunen ist erheblich, so dass ihr Einsatz nur dann sinnvoll ist, wenn durch sie Verkehrstaus tatsächlich vermieden werden. Dies tritt vor allem dann auf, wenn es während des Schneefalls durch starken Wind kurzzeitig zu massiven Schneeverwehungen kommt, so dass der Abschnitt nicht mehr befahrbar ist. Bei Verwehungen von Schnee von angrenzenden Flächen nach einem Schneefallereignis (Treibschnee) ist hingegen in der Regel eine eingeschränkte Befahrbarkeit durch wiederholte Winterdiensteseinsätze möglich. Empfohlen werden Schneezäune daher nur für die Streckenabschnitte, auf denen erfahrungsgemäß während starker Schneefallereignisse schon nach sehr kurzer Zeit die Befahrbarkeit nicht mehr gegeben ist. In diesem Fall ist der jährliche Auf- und Abbau auch dann sinnvoll, wenn die Schneeverwehungen nur selten auftreten, da der Nutzen aus einem vermiedenen Stau die jährlichen Kosten um ein Vielfaches übersteigt (s. Kapitel 7.4.8).
- **Rotierende Schneeräummaschinen:** Diese werden in der Regel nicht unmittelbar während eines starken Schneefalls eingesetzt, sondern sie sind zur Beseitigung von seitlichen Schneeablagerungen (Randwällen) nach wiederholten Räumeeinsätzen notwendig. Somit ist nicht die kurzfristige Verfügbarkeit, sondern die generelle Verfügbarkeit für AM'en notwendig, so dass rotierende Schneeräummaschinen auch meistereiübergreifend vorgehalten werden können. Die notwendige Anzahl ist abhängig von den Stunden mit mäßigem oder starkem Schneefall, die mit der Neuschneehöhe bzw. der Schneefallstunden korrelieren, so dass insbesondere im Voralpengebiet, auf der Schwäbischen Alb und den Autobahnen südlich und östlich des Schwarzwaldes ein erhöhter Bedarf besteht (s. Bild 63), der das Vorhalten einer Schneeräummaschine in jeder Meisterei rechtfertigt. Zum anderen hängt der Bedarf aber auch vom Umfang der Streckenabschnitte mit reduzierten Ablagerungsflächen ab, z. B. Trogstrecken, Abschnitte vor Betonschutzwänden und Lärmschutzwänden neben dem rechten Fahrbahnrand oder Parallelfahrbahnen.



- **Winterdienstzentralen (WDZ):** Eine WDZ zur meistereiübergreifenden Überwachung und Steuerung kann insbesondere bei kritischen Situationen, wie starkem Schneefall, Vorteile bieten, bei denen z.B. eine meistereiübergreifende großräumige Koordinierung von Einsatzfahrzeugen sinnvoll ist. Eine zentrale Steuerung bzw. Koordinierung kann die Einsatzleitung vor Ort bei starken Schneefallereignissen unterstützen und ist damit als mittelbare Maßnahme zur Verbesserung des Winterdienstes einzustufen. Den nicht unerheblichen Aufwendungen (24/7 Besetzung, Investitionen in die bauliche und technische Infrastruktur) können hohe betriebliche Vorteile (Überwachung des Streckenzustandes für bis zu 1.000 km Netz-km, optimierte Prozessabläufe) und volkswirtschaftliche Vorteile durch den optimierten Winterdienst gegenüberstehen, die nicht nur bei starken Schneefallereignissen, sondern während des gesamten Winters zum Tragen kommen. Die Einrichtung von WDZ oder auch die Erweiterung von vorhandenen Betriebs- und Verkehrszentralen im Sinne einer WDZ sollte auf Grundlage einer umfassenden Kosten-Nutzen-Bewertung erfolgen.
- **Automatisierte Einsatzdatenerfassung (AEDE):** Die AEDE kann die Einsatzleitung bei starken Schneefällen nur dann unterstützen, wenn die Einsatzdaten in Echtzeit übertragen werden. Gerade bei starken Schneefallereignissen ist eine flexible Einsatzsteuerung in Abhängigkeit von Verkehrs- und Witterungssituation sinnvoll. Die AEDE mit Übertragung der Einsatzdaten in Echtzeit ist somit für alle AM'en zu empfehlen, da starke Schneefälle bundesweit auftreten können.
- **Systematische Ereignisanalyse:** Die systematische Einsatzanalyse besonderer Schneefallereignisse auf Grundlage der mit der AEDE gewonnenen Einsatzdaten kann den Winterdienst bei zukünftigen vergleichbaren Witterungssituationen erheblich verbessern. Daher sollten die technischen und organisatorischen Voraussetzungen bundesweit für alle Meistereien geschaffen werden. Hierzu wird neben der bundesweiten Einführung der AEDE die Entwicklung eines Leitfadens zur systematischen Einsatzanalyse und eines Analysetools zur Visualisierung von Einsatz-, Witterungs- und Verkehrsdaten empfohlen.
- **Öffentlichkeitsarbeit:** Durch eine zielgerichtete Öffentlichkeitsarbeit kann zum einen eine generelle verbesserte Verhaltensweise der Verkehrsteilnehmer bei winterlicher Witterung und speziell bei starkem Schneefall erreicht werden, z.B. angepasste Fahrweise und Ausrüstung der Fahrzeuge, Verzicht auf nicht notwendige Fahrten. Zum anderen sollten die Verkehrsteilnehmer bei prognostizierten starken Schneefällen regional auf zu erwartende Einschränkungen in der Befahrbarkeit, regionale Umfahrungen etc. hingewiesen werden, um so nach Möglichkeit die Verkehrsbelastung zu reduzieren, so dass die Gefahr des Verkehrszusammenbruchs reduziert wird. Besondere Zielgruppe der Öffentlichkeitsarbeit sollten Lkw-Fahrer sein, für den großen Anteil ausländischer Lkw-Fahrer sind alle Kampagnen in mehreren Sprachen notwendig.

Die Sperrung von Anschlussstellen zur Reduktion des Zuflusses bei winterbedingtem Staus wird entsprechend Kapitel 5.7 nicht empfohlen.



9. Zusammenfassung

Im Rahmen des FE-Vorhabens wurden Empfehlungen für den Winterdienst bei intensiven Schneefallereignissen auf den Bundesfernstraßen, insbesondere Autobahnen, erarbeitet. Grundlage hierfür ist die detaillierte Analyse der Zusammenhänge zwischen Schneefallereignis und Verkehrssituation bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen und Streckencharakteristika sowie des Einflusses der durchgeführten Winterdienst-Aktivitäten. Hieraus wurden unter Berücksichtigung weiterer nationaler und internationaler Erfahrungen und den Resultaten einer Online-Umfrage bei den Autobahnmeistereien sinnvolle Winterdienstmaßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation abgeleitet. Auf Grundlage von Kosten-Nutzen-Analysen konnten regional differenzierte Handlungsempfehlungen zur Berücksichtigung unterschiedlicher Eintretenswahrscheinlichkeiten für intensive Schneefallereignisse abgeleitet werden.

Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes bei starkem Schneefall haben immer dann, wenn ein Stau infolge liegendebliebener oder querstehender Lkw in neuralgischen Streckenabschnitten vermieden werden kann, ein hohes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Bei kritischen Streckenabschnitten resultiert vor allem aus verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen, wie temporäres Anhalten vor dem Streckenabschnitt sowie Umfahrungsempfehlungen für Lkw bei verfügbaren Alternativrouten ein großer Nutzen. Aber auch kurze Umlaufzeiten durch zusätzliche Winterdienstfahrzeuge und Betriebsumfahrten sowie die unmittelbare Bergung liegendebliebener Lkw haben einen hohen Nutzen. In Meistereien, die Strecken mit einer hohen Staugefahr betreuen, sollten die Winterdienst-Lkw mit einer Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit ausgestattet werden. Schneezäune sind nur dann zu empfehlen, wenn die Gefahr eines unmittelbaren Verkehrszusammenbruchs aufgrund von Schneeverwehungen besteht.

Im Ergebnis kann eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes bei starkem Schneefall beitragen. Zum einen können durch sie bei starken Schneefällen Staus vermieden oder zumindest reduziert werden, zum anderen können sie zur effektiveren und effizienteren Durchführung des Winterdienstes beitragen, was unmittelbar die Befahrbarkeit verbessert. Vielfach sind sie auch in Kombination sinnvoll. Generell gehören zu den Maßnahmen auch solche, die den Winterdienst allgemein unterstützen. In Tabelle 31 sind die empfohlenen Maßnahmen für die Verbesserung des Winterdienstes auf Autobahnen bei starkem Schneefall zusammengestellt. Sie gelten auch für autobahnähnliche Straßen und können dort sinngemäß angewandt werden.



Tabelle 31: Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes auf Autobahnen bei starkem Schneefall

Stauvermeidende bzw. -reduzierende Maßnahmen	Maßnahmen des Winterdienstes	Allgemein unterstützende Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> • Umfahrungsempfehlungen mit Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) • Umfahrungsempfehlungen durch temporäre dynamische Anzeigen • Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt • Fahrstreifensperrungen für alle Fahrzeuge • Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Abschnitt • Temporäre Fahrbahnspernung vor dem kritischen Abschnitt • Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliches Winterdienstfahrzeug • Sonderkennzeichnung incl. Akustik zur erweiterten Aufmerksamkeit • Schmäler Frontpflug • Betriebsumfahrten • Winterbaustellen • Schneezäune • Rotierende Schneeräummaschinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kameras in kritischen Abschnitten • Winterdienstzentrale (WDZ) • Automatisierte Einsatzdatenerfassung (AEDE) • Systematische Einsatzanalyse • Öffentlichkeitsarbeit



Literaturverzeichnis

ArbZG - Arbeitszeitgesetz (ArbZG) (1994 & i.d.F.v. 27.03.2020).

Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/arbzbz/ArbZG.pdf>, abgerufen am: 05.06.2020.

Autobahn GmbH des Bundes, 2021

Dienststellenübersichtskarte

Autobahn GmbH des Bundes.

Online verfügbar unter: <https://www.autobahn.de/die-autobahn>, abgerufen am: 10.01.2021.

Badelt, H.; Eimermacher, S.

Neue Sensorbauarten für Straßenwetterstationen: Schlussbericht zum AP F1100.6514016.

Fachveröffentlichung der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch Gladbach, 2020.

BAS - Verkehrstechnik GmbH. (2021)

Verkehrslenkung bei Veranstaltungen.

Online verfügbar unter: <https://www.bas.de/dienstleistungen-mobile-led-technik-verkehrslenkung.php>, abgerufen am: 6.11.2021.

BAST - Bundesanstalt für Straßenwesen

Manuelle Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse für Bundesautobahnen – Stand 26.01.2017.

Online verfügbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Verkehrsdaten/2015/Autobahnen-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=4, abgerufen am: 16.06.2020.
Bergisch Gladbach, 2017.

BAST - Bundesanstalt für Straßenwesen

Automatische Zählstellen 2018.

Online verfügbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Aktuell/zaehl_aktuell_node.html, abgerufen am: 12.06.2020, 2018.

BAST - Bundesanstalt für Straßenwesen. (2020)

Temperierte Brücken (Forschung Kompakt 09/20). Bergisch Gladbach.

Online verfügbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Publikationen/Foko/Downloads/2021-2020/2020-09.pdf?__blob=publicationFile&v=2, abgerufen am: 2.6.2020.

BAST - Bundesanstalt für Straßenwesen. (2021)

Verkehrszeichen und Symbole, Stand November 2021.

Online verfügbar unter: <https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-verkehrszeichen/vz-download.html>, abgerufen am: 03.01.2022.

Bayerische Staatskanzlei

Gesetz über die Aufgaben und Befugnisse der Bayerischen Staatlichen Polizei (Polizeiaufgabengesetz) (PAG) (1990 & i.d.F.v. 10.12.2019).

Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayPAG-9>, abgerufen am: 30.06.2020.



BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) (2001 & i.d.F.v. 22.05.2017).

Online verfügbar unter: http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm, abgerufen am: 30.06.2020.

BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Leitfaden für die Dimensionierung von Tausalzlagern – Leitfaden TAUSALA. Berlin, 2019.

BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Leistungsheft für den Straßenbetrieb auf Bundesfernstraßen, Ausgabe 2021. Bonn, 2021.

Brlon, W.; Regler, M.; Geistefeldt, J.

Zufallscharakter der Kapazität von Autobahnen und praktische Konsequenzen - Teil 1, in: Straßenverkehrstechnik, Heft 03/2005, S. 136–144
Kirschbaum Verlag, 2005.

Bunoza, D.

Optimierter Winterdienst durch differenzierte Streutechnik, in: Straßenverkehrstechnik, Heft 06/2020, S. 386–395
Kirschbaum Verlag, 2020.

Christillin, M.

Die Autobahninfrastruktur in Konzession von SAV: "Firestorm" zur Prüfung im Aostatal (deutsche Übersetzung), in: Strade & Autostrade, Heft 01/2011, 2011.

Claußen, H.

Straßen-Wetter-Information – Aktuelle Herausforderungen und praktische Umsetzung im Winterdienst. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2019 (FGSV 002/126)*. FGSV-Verlag. Köln, 2019.

Cypra, T.

Entwicklung einer Entscheidungsmethode für Maßnahmen im Winterdienst auf hochbelasteten Bundesautobahnen. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2007.
Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe (TH), Heft 56. Karlsruhe, 2007.

Cypra, T.; Roos, R.; Zimmermann, M.

Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 135
Wirtschaftsverlag NW, Verlag für Neue Wissenschaft GmbH. Bremerhaven, 2006.

Dahl, A.; Kindl, A.; Walther, C.; Paufler-Mann, D.; Roos, A.; Waßmuth, V.; Weinstock, F.; Röhling, W.; Mann, H.-U.

Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030: FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015, Entwurfsfassung. Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, 2016.



DIN

Winterdienstausrüstung – Straßenzustands- und Wetterinformationssysteme – Teil 3: Anforderungen an gemessene Werte der stationären Anlagen; Deutsche Fassung EN 15518-3:2011 (DIN EN, 15518-3)
Beuth-Verlag. Berlin, 2011.

Dirnhofer, H.

Winterdienst bei starken Schneefällen. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2019 (FGSV 002/126)*.
FGSV-Verlag. Köln, 2019.

Donker, M.

Equipment and Products of Rijkswaterstaat (Dutch Highway Agency). In: PIARC - World Road Association (Hg.), *Proceedings of the XVth PIARC International Winter Road Congress*. Danzig, 2018.

Durth, W.; Hanke, H.

Handbuch Straßenwinterdienst
Kirschbaum Verlag. Bonn, 2004.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2020)

SWIS-Allgemeine Straßenwettervorhersage.
Online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/swisallgemein/swisallgemein.html?nn=16102>, abgerufen am: 02.06.2020.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2021a)

Messnetzkarte DWD - Hauptamtliches Stationsnetz, GeoInfoDBw und Aerologie.
Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/derdwd/messnetz/bodenbeobachtung/messnetzkarte_boden.pdf?__blob=publicationFile&v=10, abgerufen am: 16.03.2021.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2021b)

Open Data Bereich des Climate Data Center.
Online verfügbar unter: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/, abgerufen am: 26.03.2021.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2021c)

Wasseräquivalent der Schneedecke.
Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/W/Wasseraequivalent_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=4, abgerufen am: 08.04.2021.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2021d)

Wetterlexikon, Niederschlagsintensität.
Online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101812&lv3=101906>, abgerufen am: 30.03.2021.

DWD - Deutscher Wetterdienst. (2022)

SWIS - Straßenwettervorhersage - regional.
Online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/swisregional/swisregional.html?nn=16102>, abgerufen am: 07.01.2022.



Eilers, M.; Friedrich, H.; Quaas, B.; Rogalski, E.

Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn: Pilotprojekt.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 153
Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2020.

Feldmann, M.; Döring, B.; Hellberg, J.; Kuhnhenne, M.; Pak, D.; Mangerig, I.; Beucher, S.; Hess, A.; Steinauer, B.; Kemper, D.; Scharnigg, K.

Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 87
Wirtschaftsverlag NW, Verlag für Neue Wissenschaft GmbH. Bremerhaven, 2012.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitspapier Aufbau und Betrieb von Winterdienstzentralen, Ausgabe 2007,.
FGSV W2 - Wissensdokumente, Heft 412
FGSV-Verl. Köln, 2007.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) (FGSV 202)
FGSV-Verlag. Köln, 2008.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Merkblatt für Planung, Bau und Betrieb von Taumittelsprühanlagen, Ausg. 2009, August,.
FGSV R2 - Regelwerke, Heft 413
FGSV-Verl. Köln, 2009.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Merkblatt für Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt (M OPA) (FGSV 750)
FGSV-Verlag. Köln, 2013.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) (FGSV 299)
FGSV-Verlag. Köln, 2015.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Hinweise für Planung, Einrichtung und Betrieb von Straßenzustands- und Wetterinformationssystemen - H PEB SWIS (FGSV 38411)
FGSV-Verlag. Köln, 2019.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen, Ausgabe 2020 (FGSV 38416)
FGSV-Verlag. Köln, 2020.

Google Ireland Limited. (2020)

Google Earth.
Online verfügbar unter: <https://www.google.com/earth/>, abgerufen am: 1.4.2020.

Hanke, H.

Moderner Differenzierter Winterdienst - Optimierte Strategien im Winterdienst, in: Straße und Autobahn, Heft 08/2019, S. 696–699, 2019.



Hausmann, G.

Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 322
Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2019.

Hess, R.; Pola, V.; Peter, A.; Roos, R.; Zimmermann, M.; Hausmann, G.

Optimierung der auftauenden Streustoffe und der Streustoffausbringung: Schlussbericht zum FE-Vorhaben 04.0242/2011/KRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2016 (unveröffentlicht).

Holldorb, C.; Rumpel, F.; Gerstengarbe, F.-W.; Österle, H.; Hoffmann, P.

Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet). In: *Heft V 270. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen 2016a.*

Holldorb, C.

Beitrag zur Bewertung des Einsatzes offenerporiger Asphaltdeckschichten auf Autobahnen. Dissertation. Darmstadt, 1997.

Holldorb, C.; Cypra, T.; Pape, H.

Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung (TAUSALA II): Schlussbericht zu FE-Vorhaben 03.0554/2017/MRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 351. Karlsruhe, 2021.

Holldorb, C.; Häusler, K.; Daniel, T.

Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst: Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken ; Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 225
Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2013.

Holldorb, C.; Schappacher, J.; Wachsmann, J.

Konzeption bedarfsgerechter Tausalzlagerkapazitäten (TAUSALA): Schlussbericht zum FE-Vorhaben 04.0288/2015/KRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Karlsruhe, 2016b (unveröffentlicht).

KFV Sicherheit-Service GmbH

Evaluation Rettungsgasse.
Forschungsarbeiten des österreichischen Verkehrssicherheitsfonds, Heft Lfd. Nr. 032. Wien, 2014.

Kirschfink, H.; Poschmann, M.; Zobel, D.; Schedler, K. E.

Stauprävention auf BAB im Winter.
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V215
Wirtschaftsverlag NW, Verlag für Neue Wissenschaft GmbH. Bremerhaven, 2012.

Kitajou, T.; Kobayashi, H.

Winter Road Management in Japan. In: PIARC - World Road Association (Hg.), *Proceedings of the XVth PIARC International Winter Road Congress*. Danzig, 2018.



Klotz, S.; Balke, J.

Vermeidung glättebedingter Staus durch Maßnahmen des Straßenwinterdienstes: Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 03.298/KRB des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen.

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 873

DMB-Bundesdruckerei. Bonn, 2004.

Kordon, M.

Aufbau eines Winterdienst-Management-Systems in Bayern. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2017 (FGSV 002/120)*.

FGSV-Verlag. Köln, 2017.

Mackert, K.-U.; Kühl, J.-U.

Geothermische Temperierung der Fahrbahntafel - Pilotprojekt Kanalbrücke Berkenthin, in: Straßenverkehrstechnik, Heft 05/2016, S. 300–302, 2016.

Maier-Farkas, H.

Winterdienst auf österreichischen Autobahnen - Strategien, Entwicklung, Qualitätssicherung. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2015 (FGSV 002/113)*.

FGSV-Verlag. Köln, 2015.

Maier-Farkas, H.

Modernes Winterdienst-Ereignismanagement im Fokus von Social Media und Videobot-schaften. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2019 (FGSV 002/126)*.

FGSV-Verlag. Köln, 2019.

Milbrandt, J. A.; Glazer, A.; Jacob, D.

Predicting the Snow-to-Liquid Ratio of Surface Precipitation Using a Bulk Microphysics Scheme, in: *Monthly Weather Review*, 140, Heft 8/2012, S. 2461–2476.

<https://doi.org/10.1175/MWR-D-11-00286.1>, 2012.

Ministerium für Inneres, Digitalisierung und Migration Baden-Württemberg

Polizeigesetz Baden-Württemberg (PolG) (1992 & i.d.F.v. 26.03.2019).

Online verfügbar unter: <https://dejure.org/gesetze/PolG>, abgerufen am: 30.06.2020.

Morlock, G.

Presse, Faltblätter, neue Medien: Öffentlichkeitsarbeit im Winterdienst. In: FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hg.), *Kolloquium Straßenbetrieb 2017 (FGSV 002/120)*.

FGSV-Verlag. Köln, 2017.

Nutz, P.; Hoffmann, M.; Blab, R.

Development of a Road Condition Model for Winter Maintenance with De-Icers. In: PIARC - World Road Association (Hg.), *Proceedings of the XVth PIARC International Winter Road Congress*. Danzig, 2018.



Oeser, M.; Carreno, N.; Renken, L.; Kemper, D.; Kneer, R.; Höfler, M.; Al-Sibai, F.; Hess, R.; Gouya, S.; Dohna, J. zu; Steins, C.

Temperierte Straße: Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem du-raBASt.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 132

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2019.

OpenStreetMap Foundation. (2021)

OpenStreetMap Datenbank

Abruf über QGIS 3.14.16.

Online verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.org/copyright>, abgerufen am: 03.09.2021.

PIARC - World Road Association

Snow and Ice Databook 2018: Congress Edition (XVth International Winter Road Congress). Danzig, 2018.

Pollack, N.; Schulz-Ruckriegel, P.

Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 280

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2017.

Rauch-Liebich, S.

Verbesserung des Verkehrsflusses durch einen leistungsfähigen und wirtschaftlichen Straßenbetriebsdienst, in: Straßenverkehrstechnik, Heft 09/2015, S. 584–589, 2015.

Rieken, P.; Trosky, F.; Goldmann, K.; Mann, H.-U.; Pohl, M.; Nagel, K.; Beckers, t.; Liedtke, G.; Winter, M.; Kickhöfer, B.

Grundsätzliche Überprüfung und Weiterentwicklung der Nutzen-Kosten-Analyse im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung: FE-PROJEKTNR.: 960974/2011, Endbericht für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Essen, Berlin, München, 2015.

Roos, R.; Zimmermann, M.; Riffel, S. B.; Schulz, S.

Optimierung des Winterdiensteinsatzes in Bundesautobahnknotenpunkten: Schlussbericht zu FE-Vorhaben 03.417/2006/HRB (unveröffentlicht). Karlsruhe, 2011.

Roos, R.; Zimmermann, M.; Schulz, S.; Riffel, S. B.

Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter: Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.0414/2006/HRB.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 219

Wirtschaftsverlag NW, Verlag für Neue Wissenschaft GmbH. Bremerhaven, 2012.

Schmauder, M.; Jung, P.; Paritschkow, S.

Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst - Sommerdienst.

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 238

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH. Bremen, 2014.



STMB - Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr. (2022)

BayernInfo - Lkw-Parken.

Online verfügbar unter: <https://www.bayerninfo.de/de/parken?geo=49.209299,11.37085&zoom=11>, abgerufen am: 07.01.2022.

STMB - Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr, Zentralstelle für Verkehrsmanagement im Auftrag der Autobahn GmbH. (2021)

BayernInfo - Verkehrskameras.

Online verfügbar unter: <https://www.bayerninfo.de/de/verkehrskameras/?>, abgerufen am: 16.06.2021.

STMI & STMB - Bayerisches Staatsministerium des Inneren, für Sport und Integration & Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr

Private Hilfsdienste und Abschleppunternehmen auf Autobahnen und Kraftfahrstraßen; Private Hilfsdienste auf Bundesstraßen außerhalb von Ortsdurchfahrten und Staatsstraßen in der Baulast des Freistaates Bayern: (PannenhilfeBek), 2019.

Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) (2013 & i.d.F.v. 12.07.2021).

Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/StVO.pdf, abgerufen am: 05.08.2021.

SVZ - Straßenverkehrszentrale BW. (9. Juli 2021)

VerkehrsInfo BW.

Online verfügbar unter: <https://verkehrsinfo-bw.de/>, abgerufen am: 17.01.2022.

Verkehrszentrale NRW. (2021)

VERKEHR.NRW.

Online verfügbar unter: <https://www.verkehr.nrw/>, abgerufen am: 07.02.2021.



Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Maximalumlaufzeit bei Schneefall (Streudichte 20 g/m ² FS30) [Hess et al. 2016]	7
Bild 2:	Beispiel für eine stationsbezogene Straßenwetterprognose für die Station P553 (München Nord Kreuz Rampe) des DWD [DWD 2022]	10
Bild 3:	Verteilung der Straßenwärter in der Bundesrepublik über verschiedene Altersgruppen (Stand 2013) [Pollack, Schulz-Ruckriegel 2017]	16
Bild 4:	Theoretischer Ablaufplan der Blockabfertigung inklusive des Zuständigkeitsbereiches in Baden-Württemberg [Roos et al. 2012]	24
Bild 5:	Stop & Go Strategie bei starkem Schneefall in Japan (Fukui Präfektur) [Kitajou et al. 2018]	25
Bild 6:	dWiSta-Anzeige am Walldorfer Kreuz zur Umfahrung des Alaufstiegs für Lkw im Winter [Roos et al. 2012]	26
Bild 7:	Information zu Lkw-Parkplätzen an Autobahnen am Beispiel Bayern [BYSTMWBV 2022]	31
Bild 8:	Verteilung der Anzahl der Stützpunkte je Meisterei	36
Bild 9:	Anzahl der mit Seitenpflügen standardmäßig eingesetzten Fahrzeuge im Räumeeinsatz in den Meistereien	37
Bild 10:	Anzahl der mit überbreitem Frontpflug standardmäßig eingesetzten Fahrzeuge im Räumeeinsatz in den Meistereien	37
Bild 11:	Anzahl der standardmäßig eingesetzten Mehrzweck-Geräteträger im Räumeeinsatz in den Meistereien	38
Bild 12:	Einsatz von Fremdunternehmer-Fahrzeugen	38
Bild 13:	Anzahl der eingesetzten Fremdunternehmer-Fahrzeuge in den Meistereien, die regelmäßig Fremdunternehmer-Fahrzeuge einsetzen	39
Bild 14:	Bestand von Schneeräummaschinen je Meisterei	39
Bild 15:	Anzahl der Meistereien mit neuralgischen Streckenabschnitten	40
Bild 16:	Bewertung der winterbedingten Probleme mit neuralgischen Streckenabschnitten	40
Bild 17:	Anzahl der Meistereien mit n Schneefalltagen mit Räumeeinsätzen der Winter 2016/17, 2017/18 und 2018/19	42
Bild 18:	Schneekettenanlegeplätze vor neuralgischen Streckenabschnitten	42



Bild 19:	Nutzung von Informationsquellen zur Einsatzplanung	43
Bild 20:	Einschätzung der Qualität der Wetterprognosen	44
Bild 21:	Ungenauigkeiten bei Prognosen von Schneefallereignissen	45
Bild 22:	Aufgaben des Einsatzleiters während der Winterdienstesätze bei starken Schneefallereignissen	45
Bild 23:	Anzahl Antworten, ob der Einsatzleiter ausschließlich Einsätze koordiniert, nach Meistereityp	46
Bild 24:	Zusätzliche Aufgaben des Einsatzleiters während der Winterdienstesätze	46
Bild 25:	Überschreitung der Umlaufzeiten im Winterdienst bei starken Schneefallereignissen	47
Bild 26:	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Meisterei bei Schneefallereignissen	48
Bild 27:	Durchgeführte Maßnahmen, die über den Winterdienst-Standard hinausgehen	49
Bild 28:	Zusätzliche Maßnahmen bei Räumeeinsätzen im Staufall	50
Bild 29:	Umgang mit liegengebliebenen Fahrzeugen	52
Bild 30:	Behandlung der (unbewirtschafteten) Rastanlagen bei starkem Schneefall	53
Bild 31:	Am Workshop beteiligte AM'en der Niederlassung Westfalen, Kartengrundlage: [Autobahn GmbH des Bundes 2021]	54
Bild 32:	Wetterdaten der Wetterstation Diepholz für den 06.02.2021 bis 10.02.2021 [DWD 2021b]	55
Bild 33:	Schneebedeckte Fahrbahnen auf der BAB A 1 am Sonntag, 07.02.2021 (links) und Montag, 08.02.2021 (rechts) [Verkehrszentrale NRW 2021]	55
Bild 34:	Schneebedeckte Fahrbahnen auf der BAB A 1 (links) und der BAB A2 (rechts) am Dienstag, 09.02.2021 [Verkehrszentrale NRW 2021]	56
Bild 35:	Benutzeroberfläche des entwickelten VBA-Tools	61
Bild 36:	BAB A4, Testfeld BAST: Lage der Untersuchungsstrecke (Kartengrundlage: Straßen.NRW)	63
Bild 37:	BAB A4 Testfeld BAST: Für die Analyse verwendeter Bildausschnitt mit Messsensorik im linken Fahrstreifen (Bild: BAST)	64
Bild 38:	BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche mit Alaufstieg, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	65



Bild 39:	Lage und Ausrichtung der Verkehrskamera und AQ/MQ 02 an der BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche, Bild: [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2019]	66
Bild 40:	BAB A8 Irschenberg: Längsprofil in West-Ost Richtung	67
Bild 41:	BAB A8 Irschenberg: Beispiel für einen Contour-Plot der Zentralstelle für Verkehrsmanagement Bayern	68
Bild 42:	BAB A9, München-Nord: Bild der Verkehrskamera bei km 520, Blickrichtung Norden [STMB 2021]	69
Bild 43:	Ereignisdiagramm BAB A4 Testfeld BAST – Ereignis 1	70
Bild 44:	Schneebedeckte Fahrbahn BAB A4 Testfeld BAST, Teilereignis 1.2 am 17.01.2021, Bild: BAST	71
Bild 45:	Ereignisdiagramm BAB A4 Testfeld BAST – Ereignis 2	72
Bild 46:	Stark schneebedeckte Fahrbahn und teils eingeschneite Verkehrskamera BAB A4 Testfeld BAST am 24.01.2021, Bild: BAST	72
Bild 47:	Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Teilereignis 7.1	75
Bild 48:	Teilweise schneebedeckte Fahrbahn, Schneefall und Nebel BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 12.01.2021 (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]	75
Bild 49:	Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Teilereignis 7.2	76
Bild 50:	Teils schneebedeckte Fahrbahn und blaues Blinklicht BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 12.01.2021, 22:13 Uhr (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]	76
Bild 51:	Ereignisdiagramm BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche – Ereignis 9	77
Bild 52:	Teils schneebedeckte Fahrbahn BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche am 17.01.2021, 20:00 Uhr (betrachtete Fahrtrichtung München hinten, FS rot markiert) [SVZ 2021]	78
Bild 53:	Ereignisdiagramm BAB A8 Irschenberg – Teilereignis 2.1	79
Bild 54:	Schneebedeckte Fahrbahn BAB A8 Irschenberg am 17.01.2021, 08:00 Uhr [STMB 2021]	80
Bild 55:	Fahrbahnzustand nach Räumung mit einem Fahrzeug auf der BAB A8 Irschenberg am 17.01.2021, 17:00 Uhr [STMB 2021]	80
Bild 56:	Teilweise schneebedeckte Fahrstreifen BAB A9 München-Nord am 25.01.2021, 09:30 Uhr [STMB 2021]	82



Bild 57:	Beispiel für die Verkehrslenkung mit dynamischer Anzeige bei Veranstaltungen [B.A.S 2021]	85
Bild 58:	Verkehrszeichen 253 StVO [BASt 2021]	86
Bild 59:	Schneeablagerung bei richtig aufgestelltem Schneezaun [FGSV 2020]	92
Bild 60:	Beitrag der ASFiNAG in Instagram am 14.01.2021 während eines Winterereignisses	95
Bild 61:	Vergleich der Summen von Neuschnee bei Berücksichtigung des Parameters WRTR = 7 (Berücksichtigung der vier Messstationen 02319 Holzkirchen, 02814 Merklingen, 03490 Bad Neuenahr und 03857 Oy-Mittelberg im Zeitraum Oktober 2005 bis Dezember 2011)	97
Bild 62:	Vergleich der Summen von Neuschnee bei Berücksichtigung der Parameter WRTR = 7 oder 8 (Berücksichtigung der vier Messstationen 02319 Holzkirchen, 02814 Merklingen, 03490 Bad Neuenahr und 03857 Oy-Mittelberg im Zeitraum Oktober 2005 bis Dezember 2011)	98
Bild 63:	Stunden mit mäßigen oder starkem Schneefall pro Winter im BAB Netz (Erwartungswerte), Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	100
Bild 64:	Anzahl der Ereignisse mit mäßigen oder starkem Schneefall pro Winter im BAB Netz (Erwartungswerte), Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	101
Bild 65:	Beispiel zur Auswertung der zeitlich-räumlichen Verteilung von Schneefallereignissen innerhalb eines Meistereinetzes auf Basis der SWS-Daten ‚Lufttemperatur‘ und ‚Niederschlag‘	103
Bild 66:	Meistereinetz der AM Overath mit Lage der SWS, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	103
Bild 67:	Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Overath	104
Bild 68:	Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Overath	105
Bild 69:	Darstellung des Meistereinetzes der AM Freudenberg mit Lage der SWS, Kartengrundlage [OpenStreetMap Foundation 2021]	106
Bild 70:	Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Freudenberg (um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht gegenüber Bild 69)	106
Bild 71:	Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Freudenberg	107



Bild 72:	Darstellung des Meistereinetzes der AM Heidenheim, Kartengrundlage [OpenStreetMap Foundation 2021]	108
Bild 73:	Schematische Darstellung des Meistereinetzes der AM Heidenheim (um 90° gegen den Uhrzeigersinn gedreht gegenüber Bild 69)	108
Bild 74:	Gegenüberstellung von Abstand und zeitlichem Versatz (Mittelwert) des Eintretens regionaler Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim	109
Bild 75:	Zu umfahrender Streckenabschnitt (grün) und mögliche Umfahrung (rot) für den Alaufstieg, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	114
Bild 76:	Regionale Umfahrungsstrecke für den Bielefelder Berg, Kartengrundlage [OpenStreetMap Foundation 2021]	116
Bild 77:	Bielefelder Berg zwischen der AS „Bielefeld Süd“ und dem AK „Bielefeld Ost“, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	124
Bild 78:	Streckenabschnitt Irschenberg auf der BAB A8 mit Betriebsumfahrten, Kartengrundlage: [OpenStreetMap Foundation 2021]	126



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anforderungsniveau Winterdienst (Zeile 1), Auszug für BAB, nach [BMVI 2021]	5
Tabelle 2:	Rückgang der Kapazität bei winterlichen Bedingungen [Roos et al. 2012]	11
Tabelle 3:	Kapazitätsabschlagsfaktoren für verschiedene Wetterklassen und deren Referenzwerte [Kirschfink et al. 2012]	12
Tabelle 4:	Mittlere anzusetzende Beladezeiten für die Streustoffbeladung mit einem Fassungsvermögen von 5 bis 8 m ³ Trockenstoff und 2,5 bis 3,5 m ³ Solebehälter unter Berücksichtigung von Teil- und Vollfüllungen [Holldorb et al. 2021]	18
Tabelle 5:	Übersicht über die vier Untersuchungsstrecken zur Analyse von Schneefallereignissen	63
Tabelle 6:	BAB A4, Testfeld BAST: Für die Analyse verwendete Parameter der SWS	64
Tabelle 7:	Übersicht der ausgewerteten Ereignisse auf der BAB A8 Alaufstieg/Albhochfläche	74
Tabelle 8:	Lokale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Overath	104
Tabelle 9:	Regionale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Overath (zeitlicher Versatz in [min])	105
Tabelle 10:	Lokale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Freudenberg	107
Tabelle 11:	Regionale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Freudenberg (zeitlicher Versatz in [min])	107
Tabelle 12:	Lokale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim	108
Tabelle 13:	Regionale Schneefallereignisse im Meistereinetz der AM Heidenheim (zeitlicher Versatz in [min])	109
Tabelle 14:	Anzusetzende Kostensätze für Personal, Fahrzeuge, Anhänger und Geräte	112
Tabelle 15:	Zusätzliche Staukosten für den Alaufstieg ohne Schaltung der NBA (Szenario 0)	115
Tabelle 16:	Zusätzliche Nutzerkosten aus Umfahrung des Alaufstiegs bei Schaltung der NBA über 24 h (Szenario 1)	115
Tabelle 17:	Zusätzliche Staukosten für den Bielefelder Berg ohne Schaltung einer regionalen Umfahrungsempfehlung für Lkw (Szenario 0)	117



Tabelle 18:	Zusätzliche Nutzerkosten aus Umfahrung des Bielefelder Bergs bei Schaltung einer regionalen Umfahrungsempfehlung für Lkw über 24 h (Szenario 1)	117
Tabelle 19:	Kosten pro Jahr für Einrichtung und Betrieb der dynamischen Anzeigen für eine regionale Umfahrungsempfehlung für Lkw am Bielefelder Berg	118
Tabelle 20:	Kosten für das temporäre Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit am Beispiel Alaufstieg	121
Tabelle 21:	Nutzen und Kosten für das temporäre Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit am Beispiel Alaufstieg	121
Tabelle 22:	Kosten für das Einrichten einer temporären Fahrbahnspernung für Lkw und Pkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min Sperrzeit	123
Tabelle 23:	Nutzen und Kosten durch eine Fahrbahnspernung für Lkw und Pkw vor dem kritischen Streckenabschnitt mit 90 min am Beispiel Alaufstieg	123
Tabelle 24:	Nutzen durch zwei rotierende Abschleppfahrzeuge für ein Ereignis am Beispiel Bielefelder Berg	125
Tabelle 25:	Zusätzliche Staukosten je Ereignis für den Irschenberg bei längerem Räumintervall aufgrund fehlender Betriebsumfahrten (Szenario 0)	127
Tabelle 26:	Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) von zwei zusätzlichen Betriebsumfahrten am Beispiel Irschenberg (Szenario 1) in Abhängigkeit der vermiedenen Stauereignisse	128
Tabelle 27:	Zusätzliche Staukosten je Ereignis infolge Schneeverwehungen (Szenario 0, Variante 2)	129
Tabelle 28:	Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) eines 3 km langen Schneezauns bei Variante 1 (Vermeidung reduzierter Geschwindigkeiten)	130
Tabelle 29:	Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) eines 3 km langen Schneezauns bei Variante 2 (Vermeidung eines Staus)	130
Tabelle 30:	Vergleich der beiden Maßnahmen temporäres Anhalten der Lkw bzw. temporäre Fahrbahnspernung (für Lkw und Pkw) vor dem kritischen Streckenabschnitt:	133
Tabelle 31:	Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung des Winterdienstes auf Autobahnen bei starkem Schneefall	138

FE-Vorhaben 03.0572/2018/MRB

Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall

Anhang

im Auftrag des
Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur,
vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen

31.01.2022



Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb

Wiesenäckerweg 18 B

76229 Karlsruhe

christian.holldorb@holldorb-consult.de

in Zusammenarbeit mit

Prof. Dr.-Ing. Thorsten Cypra
Karlsruhe

Jan Wachsmann M.Eng.



Steinbeis

Steinbeis-Transferzentrum – Infrastruktur-
management im Verkehrswesen (IMV)
Willy-Andreas-Allee 19
76131 Karlsruhe



Inhaltsverzeichnis

Anhang 1	Rechtliche Anforderungen und Standards im Winterdienst in europäischen Staaten	2
Anhang 2	Fragebogen der Online-Umfrage	4
Anhang 3	Muster der Einsatz- und Zusatzprotokolle bei manueller Einsatzdatenprotokollierung	9
	Anhang 3.1: BAB A4, Testfeld BAST	9
	Anhang 3.2: BAB A8 ‚Albaufstieg‘/Albhochfläche	11
Anhang 4	Factsheets zu den analysierten Schneefallereignissen	13
	Anhang 4.1: Untersuchungsstrecke BAB A4, Testfeld BAST	13
	Anhang 4.2: Untersuchungsstrecke BAB A8 Albaufstieg/Albhochfläche	17
	Anhang 4.3: Untersuchungsstrecke BAB A8 Irschenberg	68
	Anhang 4.4: Untersuchungsstrecke BAB BAB A9 München-Nord	74
Anhang 5	Basisdaten zur Ermittlung der regionalen Häufigkeit mäßiger oder starker Schneefallereignisse	80
Anhang 6	Grundlagen der Kosten-Nutzen-Ermittlung	83
Anhang 7	Kosten-Nutzen-Ermittlung für die betrachteten Maßnahmen	87
	Anhang 7.1: Umfahrungsempfehlungen mit stationären Netzeinflussungsanlagen (NBA) am Beispiel Albaufstieg	87
	Anhang 7.2: Umfahrungsempfehlungen für Lkw durch temporäre dynamische Anzeigen am Beispiel Bielefelder Berg	90
	Anhang 7.3: Fahrstreifensperrungen für Lkw im kritischen Streckenabschnitt am Beispiel Albaufstieg	93
	Anhang 7.4: Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt am Beispiel Albaufstieg	95
	Anhang 7.5: Temporäre Fahrbahnsperre vor dem kritischen Streckenabschnitt am Beispiel Albaufstieg	96
	Anhang 7.6: Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen am Beispiel Bielefelder Berg	97
	Anhang 7.7: Betriebsumfahrten im Zuge neuralgischer Streckenabschnitte am Beispiel Irschenberg	100
	Anhang 7.8: Schneezäune am Beispiel einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn	102



Anhang 1 Rechtliche Anforderungen und Standards im Winterdienst in europäischen Staaten

Nachfolgende Zusammenstellung wurde im Rahmen der COST Aktion 344 „Improvements to snow and ice control on European roads and bridges“ 2002 durch die TG 3/3a erstellt.

Country	General legal obligation	other regulations or codes of practice	service categories depending on	service categories	service times	winter period	Equipment of traffic
1	2	3	4	5	6	7	8
(A) Austria	yes, legal obligation defined in the traffic regulations		road type; traffic volume; weather situation	classification A..D A: Motorways and federal highways in direct connection to motorways B: Highways > 3000 ADT C: Highways 1000..3000 ADT or busses or tourism D: other highways 3 weather situations	A: 0..24 h B: 4..20 h C: 5..20 h D: once daily A: max 3h B, C: max 5h	11-01..03-31 in the alpine region the time interval for winter maintenance activities can be expanded	There is no obligation to use winter tyres, Studded tyres are allowed between 15.11. – the Monday after Easter Monday
(B) Belgium	Service provided to road user and to economy of the country	yes	Road category (priority) and traffic intensity	Ensure, in so far as the circumstances (means, winter severity) allow it, the maintenance or re-establishment of normal conditions of circulation in any unexceptional winter situations and taking into account the road priority attributed. Walloon region: 3 levels of service (N1, N2, N3) with corresponding dispositions related to winter circumstances (CC1 to CC4)	Anti- or de-icing actions executed 0..24h or during day or night following level of service and winter circumstances Flemish region: service time 4 h Brussels region: quick turnout routes	end Oct .. end April	
(CH) Switzerland	for National Roads	yes	traffic importance	Four Service Levels A...D; 3 priority levels 1..3 Max treatment time 2..5h			
(CZ) Czech Rep.	yes (depending on possibilities)	by road owner coordinated by common documents	road type; importance of road	1 st : entire width of road; chemical de-icers: treatment time 2..3 h 2 nd : driven snow layers may be left on road; treatment time 4 h 3 rd : ploughing and spreading of abrasives; treatment time 12 h	1 st : 0..24 h rest.: according to local regulations	11-01 ..03-31	
(D) Germany	no (only for dangerous situations)	national; states	importance of roads	traffic ability	motorways: 0..24 h important roads: 6..22 h other roads: 8..20 h	different depending on climatic situation in specific region	
(DK) Denmark	yes	yes	type of road; traffic volume	A: dry, wet; no slippery; max. service time for snow 2..3h B: dry, wet; service time slippery 1h; snow 3..4h C: dry, wet, hard-packed snow with gravel; max. service time ice 2h; snow 6h	0..24h	10-01..04-30	
(E) Spain	yes			1: permanent transit on roads 2: some traffic disruption due to snow and ice 3: Definition of worst cases (applicable only some days per some years). Service time 2..3 h			
(F) France	no	by road owner coordinated by common documents	type of road; traffic	min. circulation conditions C1 .. C4 N1 : 2h period min C2 N2 : 3h period min C2 (C3 in night) N3 : 4h period min C3	N1: 0..24h N2: 0..24 h; 20 .. 6 h low level service N3: 0..24 h Dx: ...	10-15..04-15	
(FIN) Finland	yes	yes	Traffic volume, road class, regional climate	Maintenance classes for anti-slipping and snow removal: Is, reaction time 2 hr 2,5 hr I, reaction time 2 hr 3 hr Ib and TIB, reaction time 3-4 hr 3 hr II, reaction time 6 hr 4 hr III, reaction time 10 h 6 hr Pedestrian and bicycle paths KI and KII , reac. time 2-4 hr supplementary classes for "precision maintenance" and "Holiday quality" for certain traffic peaks e.g. Christmas , Easter...	05-22, a bit different values during night	10-01..04-30	
(GB) United Kingdom							
(H) Hungary	Yes	Guide lines	Road categories & traffic volume	6 categories I: reaction time 1h ; treatment time 4h II: reaction time 2h; treatment time 6h III: reaction time 3h; treatment time 8h	Service manager is on duty 0 – 24 h. – every day Crew are on duty	11-15..03-15	Winter-tyres advised



				IV: reaction time 5h; treatment time 24h V: reaction time 5h; treatment time 24h, no salting, only snow clearing VI: reaction time ; treatment time; no salting, only snow clearing	4 a.m. – 6 p.m. on working days, among normal winter circumstances.		
(HR) Croatia							
(IRL) Ireland	no	yes	road class (importance of road)	A (Primary road): 2,5 h treatment time B (Secondary road): 2,5 h treatment time C (other important roads): when A and B are passable	A: 0..24 h (snow 7..24h) B: 7.. h (snow 8..21h)	11-01..04-30	-
(IS) Iceland		yes	traffic volume; net function	Cat 1: 24 h all days; max 2..4 cm snow; max 2h after end of snowfall; ice requirem. Cat 2: 4..12 cm snow; max 3h; ice requirem. Cat 3: 6..16 cm; max 3h; de-icing at dang. pl. Cat 4: 8..18 cm; max 4h; snow may rest on surface Cat 5: snow rests on surface; max 4h; de-icing only in extreme situations	7. d/w; 3..5 d/w; 1..2 d/9w		
(N) Norway	yes (>standards)	by road owner	traffic volume and type of road (national road, county road, municipal road)	The Road should be passable for vehicles that are normally equipped for winter driving; max. snow heights; min. friction for de-icing >1500ADT: black roads rest: winter roads: no salt (often white during winter) some: closed in winter	before 6:00h	standby 10-15..04-15	studded tires with special tax in a few towns when amount of studded tires is > 20 %
(NL) Netherlands	yes	national	importance	national roads: treatment within 0,75..1,5h regional roads (provinces): treatment within 1..2 h Main Local roads(bus routes etc): spread within 1 h	0..24 h (preferred at night)	10-01..04-01	-
(PL) Poland							
(RO) Romania	yes	yes	road type; traffic volume and road importance	4 services levels Max. service time: classification 1..4 1. Reaction time: 1h; de-icing treatment time: 2½ - 3 h and 10 h snow removal on one lane 2. Reaction time: 2 h; de-icing treatment time: 3-6 h, snow removal: 1-2 days 3. Reaction time: 3 h; de-icing treatment time: 7-12 h and	1: 0...24 h; 2: 0...24 h; 3 and 4: 8 or 16 h		
				4 days snow removal on one lane 4. White roads; snow is cleaned only in special situations	if it is necessary		
(S) Sweden	yes	by road owner	traffic volume and road category (national, regional or local road network)	A: standard classes. Free from snow and ice during dry weather (black roads) above a given temperature limit. Salt is used. A1: during snowfall no more than 2cm of snow, free from snow and ice no later than 2h after end of snowfall; Temperature limit -8°C A2: 4h; 4 cm. Temperature limit -8°C A3: 6h; 6cm. Temperature limit -6°C/-3°C A4: 6h; 6cm. Temperature limit -6°C/-3°C B: Snow covered roads. During dry weather even and no more than 2 cm of loose snow. Salt is normally not used. B1: During snowfall and up to 6 hours after no more than 6 cm of snow. B2: During snowfall and up to 8 hours after no more than 8 cm of snow. C: cycle and pedestrian paths In extreme situations: continuous operation Roadway divided in three different areas (traffic lane, hard shoulder and parking areas/bus stops)			studded tires
(SLO) Slovenia	yes						

Tab. 1.2.1: Legal obligation, other regulations and codes of practice and service classes for winter maintenance in the different countries of Europe



Anhang 2 Fragebogen der Online-Umfrage

Umfrage zu FE-Projekt: Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall - BAB Schnee

Herzlich willkommen bei der Umfrage im Rahmen des Forschungsprojekts FE-Vorhaben 03.0572/2019/MRB "Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall" im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Dieses Forschungsprojekt wird von Prof. Christian Holdorb zusammen mit Prof. Thorsten Cypra bearbeitet.

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, auf Basis einer umfassenden Analyse organisatorischer und betrieblicher Maßnahmen im Winterdienst bei intensiven Schneefallereignissen sowie der Auswertung von Winterdienstseinsätzen bei verschiedenen Autobahnmeistereien unter Berücksichtigung von verkehrlichen, meteorologischen und streckenbezogenen Faktoren Empfehlungen für den Winterdienst bei intensiven Schneefallereignissen auf den Bundesfernstraßen, insbesondere Autobahnen zu erarbeiten.

Dieser Fragebogen richtet sich an alle **Autobahnmeistereien (AM)** sowie **Straßen- und Autobahnmeistereien (SAM)**.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieses Fragebogens werden verteilte Betrachtungen über Experten-Interviews vom Forschungsnehmer durchgeführt. Der Fragebogen hat insgesamt 4 Themenfelder als Fragegruppe:

1. Fragegruppe: Allgemeine Angaben
2. Fragegruppe: Strecken- und Meistereicharakteristik
3. Fragegruppe: Wetterdienst- und SWIS-Prognosen
4. Fragegruppe: Besondere Maßnahmen im Winterdienst bei starkem Schneefall

Durch Nutzung der Online-Umfrage über den Server der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar) kann gewährleistet werden, dass die Daten der Umfrage für niemand Unberechtigten zugänglich sind.

Bei eventuellen Rückfragen bei der Beantwortung der Umfrage können Sie sich gerne an Prof. Thorsten Cypra unter der Telefonnummer 0174 - 9635471 oder per E-Mail thorsten.cypra@holdorb-consult.de wenden.

Zwischengespeicherte Umfrage laden Weiter > Umfrage verlassen und Antworten löschen

Umfrage zu FE-Projekt: Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall - BAB Schnee

0% 100%

Fragegruppe 1: Allgemeine Angaben

Name der Meisterei

Art der Meisterei
Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

AM
 SAM

Bundesland
Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

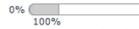
Ansprechpartner

Name, Vorname
E-Mail

Später fortfahren < Zurück Weiter > Umfrage verlassen und Antworten löschen



Umfrage zu FE-Projekt: Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall - BAB Schnee



Fragegruppe 2: Strecken- und Meistereicharakteristik

Wie groß ist das Streckennetz, das im Winterdienst betreut wird?
Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

2-streifige Richtungsfahrbahn [km]
 3-streifige Richtungsfahrbahn [km]
 4-streifige Richtungsfahrbahn [km]

Wie viele Autobahnkreuze (AK) / Autobahndreiecke (AD), Anschlussstellen (AS) sowie Tank- und Rastanlagen (TR) liegen im Zuständigkeitsbereich Ihrer Meisterei?
Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

Anzahl AK / AD:
 Anzahl AS:
 Anzahl TR:

Anzahl der Winterdienststützpunkte zum Nachladen:
In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Wie viele Fahrzeuge (auch Fremdunternehmerfahrzeuge) sind standardmäßig im Winterdienst **beim Räumen** Ihrer Meisterei im Einsatz?
Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

Anzahl Lkw ohne Seitenpflug:
 Anzahl Lkw mit Seitenpflug:
 Anzahl Lkw mit überbreitem Frontpflug:
 Anzahl Mehrzweck-Geräteträger (z.B. Unimog):
 Anzahl andere Fahrzeuge:

Setzen Sie **beim Räumeinsatz** Fremdunternehmer-Fahrzeuge ein?
Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

- Nein
 Ja, regelmäßig
 Ja, aber nur bei Spitzenbedarf

Bei Ja, geben Sie bitte die Anzahl der eingesetzten Fremdunternehmer-Fahrzeuge an.
In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Haben Sie Schneeschleudern bzw. Schneefräsen? Bei "Ja" geben Sie bitte die Anzahl der Schneeschleudern bzw. Schneefräsen an.

- Ja Nein keine Antwort

Anzahl der Schneeschleudern bzw. Schneefräsen
In dieses Feld dürfen nur Zahlen eingegeben werden.

Wie hoch ist der Durchschnittliche Tägliche Verkehr (DTV) und Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil) in Ihrem für den Winterdienst kritischsten Streckenabschnitt?
Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

DTV [Kfz/24h]
 SV-Anteil [%]

Haben Sie neuralgische Streckenabschnitte, die bei winterlichen Fahrbahnbedingungen **durch Schneefall** erhebliche Verkehrsprobleme verursachen?

- Ja Nein keine Antwort

Bei Ja, bewerten Sie bitte die Problematik, wie oft bzw. wie schwerwiegend die Verkehrsprobleme in folgenden Bereichen in Ihrem Meistereigebiet sind.
(Skala von 1 (keine Probleme) bis 5 (starke Probleme))

	1	2	3	4	5	keine Antwort
Lange Steigungsstrecken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Lange Gefällstrecken	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Querstehende Lkw	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Hohe Verkehrsbelastung auf der Strecke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Hohe Belastung der Anschlussstellen / Rückstau an den Anschlussstellen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Probleme durch Schneebruch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Baustellen im Winter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Sonstiges	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Kommentar bzw. "Sonstiges" definieren:

Wie viele Schneefalltage mit Räumeinsätzen hatten Sie in den letzten 3 Wintern?
Nur Zahlen dürfen in diese Felder eingegeben werden.

2018/19 [Schneefalltage]
 2017/18 [Schneefalltage]
 2016/17 [Schneefalltage]

Haben Sie Schneekettenanlegeplätze vor neuralgischen Streckenabschnitten, die bei winterlichen Fahrbahnbedingungen erhebliche Verkehrsprobleme verursachen?

- Ja Nein keine Antwort

Wie sind Ihre Erfahrungen?



Umfrage zu FE-Projekt: Gewährleistung der sicheren Befahrbarkeit der Bundesfernstraßen bei starkem Schneefall - BAB Schnee



Fragegruppe 4: Besondere Maßnahmen im Winterdienst bei starkem Schneefall

Welche Aufgaben hat der Einsatzleiter während der Winterdienstseinsätze bei starken Schneefallereignissen?
Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.

- Der Einsatzleiter koordiniert ausschließlich die Einsätze.
- Neben der Einsatzkoordination fährt der Einsatzleiter **im Notfall** zusätzlich ein Winterdienstfahrzeug.
- Neben der Einsatzkoordination fährt der Einsatzleiter **planmäßig** zusätzlich ein Winterdienstfahrzeug.
- Der Einsatzleiter unterstützt die Mitarbeiter beim Beladen der Winterdienstfahrzeuge.
- Sonstiges:

Wie häufig wird die planmäßige Umlaufzeit im Winterdienst aufgrund verkehrlicher, betrieblicher oder anderer Gründe bei starken Schneefallereignissen erheblich überschritten?
(Skala von 1 (nie / selten) bis 5 (sehr häufig / regelmäßig))

- 1 2 3 4 5 keine Antwort

Kommentar:

Wie bewerten Sie die Leistungsfähigkeit ihrer Meisterei bei starken Schneefallereignissen?
(Skala von 1 (völlig ausreichend) bis 5 (deutlich zu wenig))

	1	2	3	4	5	keine Antwort
Anzahl Winterdienst-Fahrzeuge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Größe der Schneepflüge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Kapazität der Streugeräte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Anzahl verfügbarer Mitarbeiter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Lage und Anzahl der Standorte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Kommentar:

Welche über den Winterdienst-Standard hinausgehende Maßnahmen führen Sie bei vorhergesagten starken Schneefallereignissen durch?
(Skala von 1 (selten) bis 5 (häufig); 0 = nicht genutzt)

	1	2	3	4	5	0 = nicht genutzt	keine Antwort
Präventive Streueinsätze zum Erhalt der Räumfähigkeit – Einsatz FS 30 / FS 100	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Verkürzung von Räumschleifen (z.B. spezielle Betreuung von Steigungsstrecken)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Kürzere Umlaufzeiten durch erhöhten Fahrzeug- bzw. Geräteeinsatz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Verkürzung der Umlaufzeiten oder kürzere Räumschleifen durch zeitweisen Verzicht auf die Räumung des linken Fahstreifens (Auflösen der Räumstaffel)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Fortlaufender Einsatz von Räumstaffeln zur Räumung der gesamten Richtungsfahrbahn	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Nutzung von Nachladepunkten an neuralgischen Streckenabschnitten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Temporäres Anhalten des Verkehrs vor neuralgischen Streckenabschnitten (Blockabfertigung)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Weitere über den Winterdienst-Standard hinausgehende Maßnahmen, die Sie bei vorhergesagten starken Schneefallereignissen durchführen:



**Welche zusätzlichen Maßnahmen führen Sie bei Räumereinsätzen im Staufall durch?
Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.**

- Unterstützung durch die Polizei zur Bildung einer Raumbasse für das Winterdienstfahrzeug
- Einsatz von Blaulicht auf Fahrzeug des AM-Leiters
- Einsatz von Blaulicht auf Winterdienstfahrzeugen
- Temporäre Schließung von Anschlussstellen
- Weitere Maßnahmen:

Kommentar:

**Wie gehen Sie bei Schneefallereignissen mit liegengebliebenen Fahrzeugen um, die den Verkehrsablauf beeinträchtigen?
Bitte wählen Sie einen oder mehrere Punkte aus der Liste aus.**

- Es sind bereits Abschleppdienste an neuralgischen Stellen bereitgestellt, die bei winterlichen Fahrbahnbedingungen liegengebliebene oder querstehende Fahrzeuge sofort bergen.
- Es werden erst Abschleppunternehmen beauftragt, sobald Fahrzeuge liegenbleiben.
- Die Beauftragung von Abschleppunternehmen wird durch andere Stellen (z.B. Polizei) koordiniert.
- Es werden frühzeitig Feuerwehr und THW zur Unterstützung herangezogen.
- Sonstiges:

Kommentar:

Wie behandeln Sie Parkplätze im Winterdienst **bei starkem Schneefall?**

Welche weiteren Empfehlungen haben Sie, den Winterdienst insbesondere in Bezug auf Schneefallereignisse zu verbessern (Organisation, Ausstattung mit Fahrzeugen, Geräten, Personal, Aufklärungsarbeit etc.)?

[Später fortfahren](#) [← Zurück](#) [Absenden](#) [Umfrage verlassen und Antworten löschen](#)

Vielen Dank für die Beantwortung der Fragen und Teilnahme am Erfahrungsaustausch. Sie können für Ihre Unterlagen den Fragebogen jetzt ausdrucken und dabei als pdf-Datei (Button "pdf-Export") speichern.

Bilder können Sie gerne per E-Mail senden an:
thorsten.cypra@holdorb-consult.de

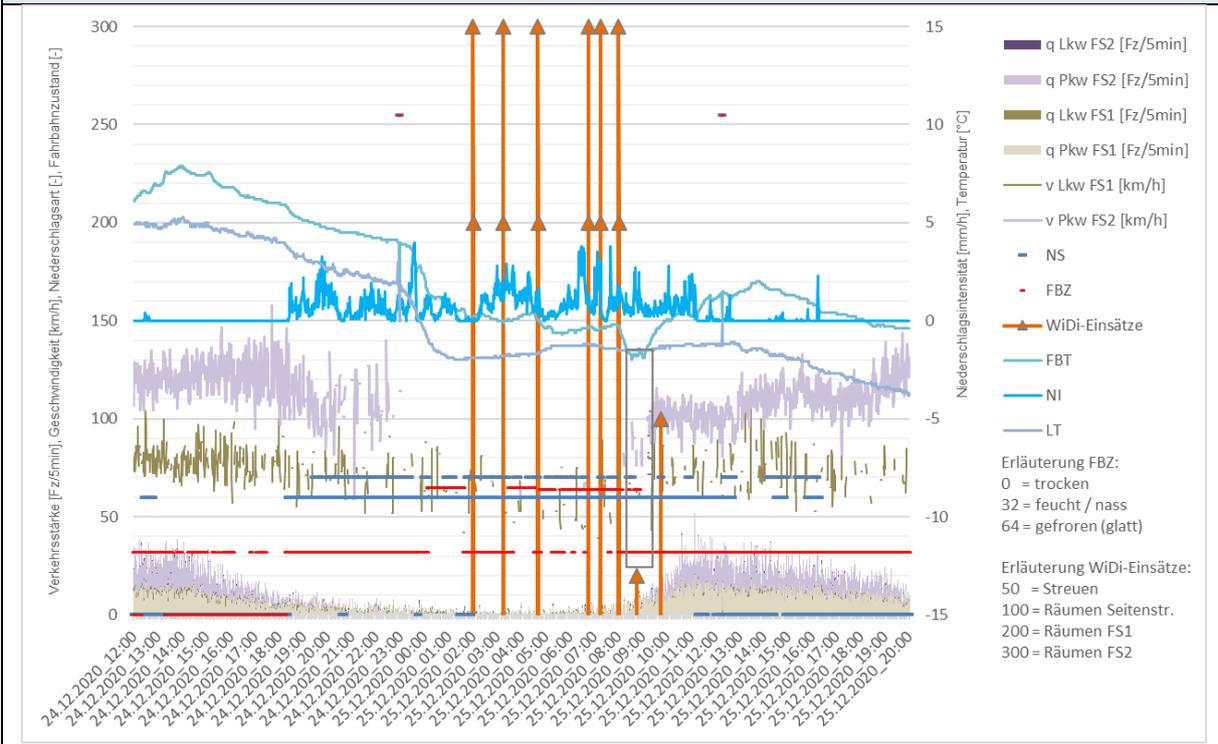
[Antworten ausdrucken](#)



	Schaltung AQ:				
	Zeitstempel	A-Typ (1ÜFS)	B-Typ (1ÜFS/HFS) rechts	C-Typ (1ÜFS/HFS) rechts	A-Typ/Schr (HFS) rechts
	06.12.2020 19:35	100 km/h	Aus	Aus	100 km/h
	06.12.2020 19:48	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	06.12.2020 19:58	100 km/h	Aus	Aus	100 km/h
	06.12.2020 20:04	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	06.12.2020 20:33	100 km/h	Aus	Aus	100 km/h
	06.12.2020 20:37	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	06.12.2020 20:38	100 km/h	Aus	Aus	100 km/h
	06.12.2020 20:45	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	06.12.2020 20:46	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	06.12.2020 21:53	80 km/h	Schleuder	Aus	80 km/h
	06.12.2020 22:00	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	06.12.2020 22:23	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	06.12.2020 22:50	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	07.12.2020 00:02	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 00:31	Ende 120 km/h	Aus	Aus	Ende 120 km/h
	07.12.2020 00:32	Aus	Aus	Aus	Aus
	07.12.2020 00:52	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 01:00	Ende 120 km/h	Aus	Aus	Ende 120 km/h
	07.12.2020 01:01	Aus	Aus	Aus	Aus
	07.12.2020 01:34	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 01:36	Ende 120 km/h	Aus	Aus	Ende 120 km/h
	07.12.2020 01:37	Aus	Aus	Aus	Aus
	07.12.2020 01:40	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 01:42	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	07.12.2020 01:43	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 02:28	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	07.12.2020 02:43	120 km/h	Aus	Aus	120 km/h
	07.12.2020 02:56	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	07.12.2020 03:47	80 km/h	Schleuder	Aus	80 km/h
	07.12.2020 03:49	100 km/h	Schleuder	Aus	100 km/h
	07.12.2020 04:27	80 km/h	Glätte	Aus	80 km/h
	07.12.2020 07:16	80 km/h	Glätte	Nebel	80 km/h
Winterdienst	Kein Präventiver Streueinsatz protokolliert 5 Räum- und Streueinsätze während des betrachteten Intervalls				
Gesamtbewertung	Sowohl Hauptfahrbahn als auch Seitenstreifen können durchgängig betreut werden, dadurch sind keine gravierenden Auswirkungen auf den Verkehr zu erkennen. Insbesondere zum Beginn des Berufsverkehrs treten keine Beeinträchtigungen mehr auf, u.a. da der Niederschlag am frühen Montagmorgen endet.				



BAB A8 Alaufstieg/Alhochfläche – Ereignis 3 Do 24.12.2020 – Fr 25.12.2020



<p>Witterung</p>	<p>Schneefallereignis in der Nacht von Donnerstag (Heiligabend) auf Freitag (1. Weihnachtsfeiertag) Beginn ca. 18:30 Uhr, Ende gegen 13:00 Uhr Temperatursturz gegen 23.00 Uhr, ab ca. 23:45 Uhr LT < 0 °C Schnee ab ca. 19:20 Uhr detektiert Niederschlagsintensität leicht bis mäßig in Summe ca. 7,5 cm Neuschnee über 18 h anschließend kein Niederschlag bzw. sehr kurzzeitig</p>
<p>Verkehr</p>	<p>Extrem geringes Verkehrsaufkommen aufgrund Weihnachten Keine Lkw</p>



	<p>Sehr hohe Dichte an Räumereinsätzen protokolliert, tendenziell sogar mehr, da „Irschenberg“ durch 2 Winterdienst-Fahrzeuge wechselseitig betreut wird (i.d.R. FS 1, ca. alle 10 bis 15 min zwischen km 39,1 und km 46,7)</p> <p>Nur teilweise alle drei Fahrstreifen durch Räumstaffel betreut</p>
Gesamtbewertung	<p>Der Verkehr kommt trotz anhaltendem, aufgrund der Bilder als mäßig bis stark eingeschätzten Schneefalls nicht zum Erliegen, die Pkw-Geschwindigkeiten sind durchgängig im Mittel über 80 km/h und für die vorliegende Witterung hoch.</p>



Szenario 1: Kosten bei langsamer Lkw Fahrt über 12 h (Best Case)

		Szenario 1: Kosten bei langsamer Lkw Fahrt			
		Lkw 30 km/h	Lkw 60 km/h	Pkw 60 km/h	Pkw 80 km/h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	3884	3884	20092	20092
Lkw-Anteil	[-]	1,00	1,00	0,00	0,00
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5	1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1	1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]				
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]	10	10	10	10
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]			60	80
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]	30	60		
Anzahl Fahrzeuge					
Pkw privat		-	-	16.074	16.074
Pkw geschäftlich		-	-	4.018	4.018
Lkw		3.884	3.884	-	-
Fahrzeiten					
Pkw privat	[h]	-	-	2.679	2.009
Pkw geschäftlich	[h]	-	-	670	502
Lkw	[h]	1.295	647	-	-
Fahrleistung					
Pkw privat	[km]	-	-	160.736	160.736
Pkw geschäftlich	[km]	-	-	40.184	40.184
Lkw	[km]	38.840	38.840	-	-
Zusammenfassung Kosten Nutzer					
Betriebskosten	NB [€]	54.461 €	35.818 €	38.792 €	38.648 €
Abgasbelastungen	NA [€]	4.304 €	4.304 €	4.303 €	4.303 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	- €	- €	70.456 €	52.842 €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	6.235 €	3.118 €	- €	- €
Gesamt		64.999 €	43.239 €	113.551 €	95.794 €
					39.518 €



Anhang 7.4: Temporäres Anhalten der Lkw vor dem kritischen Streckenabschnitt am Beispiel Alaufstieg

Szenario 1: Nutzerkosten für eine Fahrbahnspernung von 90 min

	Szenario 1: Lkw mit 90 min Stau		Szenario 1: Pkw mit 80 km/h		Szenario 1: Pkw mit 60 km/h	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Anzahl betroffener Fahrzeuge						
Lkw-Anteil						
Anteil Geschäftlich für Pkw						
Besetzungsgrad Pkw privat						
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich						
Dauer der Maßnahme						
Streckenlänge (Mehrlänge)						
Geschwindigkeit Pkw						
Geschwindigkeit Lkw						
Anzahl Fahrzeuge						
Pkw privat						
Pkw geschäftlich						
Lkw						
Fahrzeiten						
Pkw privat						
Pkw geschäftlich						
Lkw						
Fahrlleistung						
Pkw privat						
Pkw geschäftlich						
Lkw						
Zusammenfassung Kosten Nutzer						
Betriebskosten						
Abgasbelastungen						
Reisezeit im Personenverkehr						
Transportzeit im Güterverkehr						
Gesamt						



Anhang 7.6: Bereitstellen von Lkw-Abschleppfahrzeugen am Beispiel Bielefelder Berg

Szenario 1: Nutzerkosten für einen zweistündigen Lkw-Stau bei 1 h Bergungszeit

		Szenario 1: 1 h Bergungszeit	
		Tag/nur Lkw 1 h	Nacht/nur Lkw 1 h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	540	170
Lkw-Anteil	[-]	1,00	1,00
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]	1	1
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]		
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]		
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]		
Anzahl Fahrzeuge			
Pkw privat		-	-
Pkw geschäftlich		-	-
Lkw		540	170
Fahrzeiten			
Pkw privat	[h]	-	-
Pkw geschäftlich	[h]	-	-
Lkw	[h]	540	170
Fahrleistung			
Pkw privat	[km]	-	-
Pkw geschäftlich	[km]	-	-
Lkw	[km]	-	-
Zusammenfassung Kosten Nutzer			
Betriebskosten	NB [€]	24.235 €	7.630 €
Abgasbelastungen	NA [€]	769 €	242 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	- €	- €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	2.601 €	819 €
Gesamt		27.605 €	8.690 €



Szenario 0: Nutzerkosten für einen Stau bei 2 h Bergungszeit (Variante 2 und Variante 3)

		Szenario 0: 2 h Bergungszeit			
		Tag/auch Pkw 6 h	Tag/nur Lkw 2 h	Nacht/auch Pkw 6 h	Nacht/nur Lkw 2 h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	16200	1080	5100	340
Lkw-Anteil	[-]	0,20	1,00	0,20	1,00
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5	1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1	1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]	6	2	6	2
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]				
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]				
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]				
Anzahl Fahrzeuge					
Pkw privat		10.368	-	3.264	-
Pkw geschäftlich		2.592	-	816	-
Lkw		3.240	1.080	1.020	340
Fahrzeiten					
Pkw privat	[h]	62.208	-	19.584	-
Pkw geschäftlich	[h]	15.552	-	4.896	-
Lkw	[h]	19.440	2.160	6.120	680
Fahrleistung					
Pkw privat	[km]	-	-	-	-
Pkw geschäftlich	[km]	-	-	-	-
Lkw	[km]	-	-	-	-
Zusammenfassung Kosten Nutzer					
Betriebskosten	NB [€]	1.116.734 €	96.941 €	351.565 €	30.518 €
Abgasbelastungen	NA [€]	74.722 €	3.076 €	23.524 €	968 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	1.636.070 €	- €	515.059 €	- €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	93.623 €	10.403 €	29.474 €	3.275 €
Gesamt		2.921.150 €	110.419 €	919.621 €	34.761 €
Nutzen Szenario 1 gegenüber 0		2.893.546 €	82.814 €	910.931 €	26.071 €



Anhang 7.7: Betriebsumfahrten im Zuge neuralgischer Streckenabschnitte am Beispiel Irschenberg

Daten der Dauerzählstelle

Dauerzählstelle: AS Irschenberg

Info: Bei der Erfassungsart "2" umfasst der Schwerverkehr (SV) nur LKW-ähnliche Fahrzeuge

Allgemeine Angaben			
Name	AS Irschenberg	DTV-Kfz	82.766 Kfz/24 h
Straße	A8	SV-Anteil	14,6 %
Land	Bayern	Erfassungsart	8+1
BAST-Nr.	9227		
TK-Blatt	8138		

Richtungsbezogene Angaben		
	Richtung 1	Richtung 2
Fernziel	Rosenheim	München
Nahziel	AS Bad Aibling	AS Irschenberg (B472)
DTV-Kfz	41.483 Kfz/24 h	41.284 Kfz/24 h
SV-Kfz	5.877 Kfz/24 h	6.231 Kfz/24 h



Zusätzliche Nutzerkosten für Szenario 0

		Szenario 0: Staukosten am Irschenberg			
		Tag/6 h	Tag/2 h	Nacht/ 6 h	Nacht/ 2 h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	13000	4400	4200	1400
Lkw-Anteil	[-]	0,145	0,145	0,145	0,145
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5	1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1	1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]	6	2	6	2
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]				
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]				
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]				
Anzahl Fahrzeuge					
Pkw privat		8.892	3.010	2.873	958
Pkw geschäftlich		2.223	752	718	239
Lkw		1.885	638	609	203
Fahrzeiten					
Pkw privat	[h]	53.352	6.019	17.237	1.915
Pkw geschäftlich	[h]	13.338	1.505	4.309	479
Lkw	[h]	11.310	1.276	3.654	406
Fahrleistung					
Pkw privat	[km]	-	-	-	-
Pkw geschäftlich	[km]	-	-	-	-
Lkw	[km]	-	-	-	-
Zusammenfassung Kosten Nutzer					
Betriebskosten	NB [€]	717.086 €	80.902 €	231.674 €	25.742 €
Abgasbelastungen	NA [€]	56.449 €	6.369 €	18.238 €	2.026 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	1.403.158 €	158.305 €	453.328 €	50.370 €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	54.469 €	6.145 €	17.598 €	1.955 €
Gesamt		2.231.162 €	251.721 €	720.837 €	80.093 €



Anhang 7.8: Schneezäune am Beispiel einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn

Zusätzliche Nutzerkosten für Szenario 0, Variante 1

		Szenario 0, Variante 1: 24 h langsamere Fahrt	
		120/80 km/h	80/60 km/h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	30000	30000
Lkw-Anteil	[-]	0,20	0,20
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]		
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]	3	3
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]	120	80
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]	80	60
Anzahl Fahrzeuge			
Pkw privat		19.200	19.200
Pkw geschäftlich		4.800	4.800
Lkw		6.000	6.000
Fahrzeiten			
Pkw privat	[h]	480	720
Pkw geschäftlich	[h]	120	180
Lkw	[h]	225	300
Fahrleistung			
Pkw privat	[km]	57.600	57.600
Pkw geschäftlich	[km]	14.400	14.400
Lkw	[km]	18.000	18.000
Zusammenfassung Kosten Nutzer			
Betriebskosten	NB [€]	28.238 €	30.449 €
Abgasbelastungen	NA [€]	3.537 €	3.537 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	12.624 €	18.936 €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	1.084 €	1.445 €
Gesamt		45.482 €	54.366 €
erhöhte Nutzerkosten			8.885 €



Zusätzliche Nutzerkosten für Szenario 0, Variante 2

		Szenario 0, Variante 2: Stau			
		Tag/6 h	Tag/2 h	Nacht/ 6 h	Nacht/ 2 h
Anzahl betroffener Fahrzeuge	[-]	9720	3240	3060	1020
Lkw-Anteil	[-]	0,20	0,20	0,20	0,20
Anteil Geschäftlich für Pkw	[%]	20	20	20	20
Besetzungsgrad Pkw privat		1,5	1,5	1,5	1,5
Besetzungsgrad Pkw geschäftlich		1,1	1,1	1,1	1,1
Dauer der Maßnahme	[h]	6	2	6	2
Streckenlänge (Mehrlänge)	[km]				
Geschwindigkeit Pkw	[km/h]	120	120	120	120
Geschwindigkeit Lkw	[km/h]	80	80	80	80
Anzahl Fahrzeuge					
Pkw privat		6.221	2.074	1.958	653
Pkw geschäftlich		1.555	518	490	163
Lkw		1.944	648	612	204
Fahrzeiten					
Pkw privat	[h]	37.325	4.147	11.750	1.306
Pkw geschäftlich	[h]	9.331	1.037	2.938	326
Lkw	[h]	11.664	1.296	3.672	408
Fahrleistung					
Pkw privat	[km]	-	-	-	-
Pkw geschäftlich	[km]	-	-	-	-
Lkw	[km]	-	-	-	-
Zusammenfassung Kosten Nutzer					
Betriebskosten	NB [€]	670.041 €	74.449 €	210.939 €	23.438 €
Abgasbelastungen	NA [€]	44.833 €	4.981 €	14.114 €	1.568 €
Reisezeit im Personenverkehr	NRZ [€]	981.642 €	109.071 €	309.036 €	34.337 €
Transportzeit im Güterverkehr	NTZ [€]	56.174 €	6.242 €	17.684 €	1.965 €
Gesamt		1.752.690 €	194.743 €	551.773 €	61.308 €



Zusätzliche Kosten für Winterdienstesätze Szenario 0, Variante 1

Position	Anzahl	Stunden	Kostensatz [€/h]	Gesamtkosten [€]
Lkw	3	7	42,00	882,00
Streumaschine für Lkw	3	7	21,50	451,50
Frontpflug	3	7	12,00	252,00
Straßenwärter Tag	3	4	44,00	528,00
Straßenwärter Nacht	3	3	55,00	495,00
Summe				2.608.50

Zusätzliche Kosten für Winterdienstesätze Szenario 0, Variante 2

Position	Anzahl	Stunden	Kostensatz [€/h]	Gesamtkosten [€]
Lkw	2	3	42,00	252,00
Streumaschine für Lkw	2	3	21,50	129,00
Frontpflug	2	3	12,00	72,00
Geräteträger	1	3	55,00	165,00
Straßenwärter	3	3	44,00	396,00
Summe				1.014.50

Für die rotierende Schneeräummaschine werden keine Kosten angesetzt, da diese im wesentlichen Vorhaltekosten sind. Es wird davon ausgegangen, dass die rotierende Schneeräummaschine auch für andere extreme Schneefallsituationen vorgehalten wird.