

Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 351

bast

Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung

TAUSALA II

von

Christian Holldorb

Beratung für Betrieb und Erhaltung von Straßenverkehrsanlagen
Karlsruhe

Thorsten Cypra

Karlsruhe

Heinz Pape

bauart Konstruktions GmbH & Co. KG
Lauterbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 351

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 03.0554
Effektivität und Wirtschaftlichkeit der
Streustofflagerung (TAUSALA II)

Fachbetreuung
Horst Badelt

Referat
Verkehrsbeeinflussung und Straßenbetrieb

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-626-9

Bergisch Gladbach, Dezember 2021

Kurzfassung – Abstract

Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung

Für die Dimensionierung der erforderlichen Streustofflagerkapazitäten für den Winterdienst liegen bereits differenzierte Vorgaben und Empfehlungen vor. Es fehlt jedoch eine systematische Bewertung der unterschiedlichen Konzepte zur Lagerung (Hallen- und/oder Silolagerung), insbesondere unter betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekten, die den gesamten Lebenszyklus der Anlagen berücksichtigen. Im Rahmen des FE-Projekts wurden daher auf Grundlage einer umfassenden betrieblich-organisatorischen und baufachliche Analyse, von Erhebungen zur Salzbeladung sowie einer Lebenszykluskosten-Berechnung unterschiedliche Konzepte bewertet und für diese in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen Musterlösungen entwickelt.

Die Ergebnisse sind im Entwurf der Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst (H LaStreu) dokumentiert. Teil der H LaStreu sind Musterlösungen für 8 standardisierte Lagerungsvarianten und 4 Konstruktionsvarianten. Weiterhin wurden den H LaStreu Musterbauwerksbücher angehängt, die Angaben zur laufenden Überwachung enthalten.

Die Streustofflagerung auf einem Meistereigehöft sollte in Streustoffhallen erfolgen, auf Stützpunkten sind bei Lagerkapazitäten bis ca. 500 t Siloanlagen zu empfehlen. In der Regel sollte an mindestens 2 Standplätzen Streustoff und Sole parallel geladen werden können. Bei Hallenlagerung ist aus betrieblichen und ergonomischen Gründen eine witterungsgeschützte Anordnung der Ladeplätze sinnvoll. Ebenso ist ein Höhenversatz zwischen Standfläche des Winterdienst-Lkw und Rangierbereich des Radladers von ca. 1,50 m zweckmäßig. Die Salzlöseanlage sollte in der Streustoffhalle stehen, wenn sie mit Radlader befüllt wird. Alternativ zu einem Hallentor kann auch eine an der Frontseite offene oder teilgeöffnete Halle mit Vordach und/oder ausreichenden Betriebsflächen vor der Lagerfläche vorgesehen werden.

Effectiveness and cost-effectiveness of spreading material storage

For dimensioning of necessary spreading material storage capacities for the winter road service, differentiated specifications and recommendations are already available. However, a systematic evaluation of the different storage concepts (hall and/or silo storage) is lacking, especially with regard to operational and economic aspects, which take into account the entire life cycle of the plants. Within the framework of this R&D project, different concepts were evaluated on basis of a comprehensive operational-organisational and constructional analysis, salt loading surveys and a life cycle cost calculation. Sample solutions were developed for these depending on the operating conditions.

The results are documented in the draft of the notes for storage and loading of spreading materials for winter services (Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst – H LaStreu). Part of H LaStreu are sample solutions for 8 standardised storage variants and 4 construction variants. In addition, the H LaStreu sample building books were appended, which contain information on monitoring.

The spreading material storage on a operation centre should take place in salt halls, on additional depots silos are recommended with storage capacities up to approx. 500 t. As a rule, it should be possible to load dry salt and brine in parallel at least at 2 locations. For operational and ergonomic reasons, a weather-protected placement of the loading areas is advisable for hall storage. A height offset of approx. 1.50 m between the level of the winter service vehicle and the shunting area of the wheel loader is also advisable. The brine production system should be located in the gritting hall if it is filled with a wheel loader. As an alternative to a hall gate, a hall which is open or partially open at the front with a canopy and/or sufficient operating area in front of the storage area can also be provided.

Summary

Effectiveness and cost-effectiveness of spreading material storage

Task

Due to the importance of these traffic arteries, particularly high demands are placed on winter road services on federal motorways and all highways with high traffic volume. Optimised spreading material storage and process-optimised loading of winter service vehicles are of central importance for economical winter service in line with requirements. Guidelines are already available for the dimensioning of the required spreading material storage capacities in the leaflet for winter services on roads, the information on the production and storage of de-icing salt solutions for winter services and the standards for dimensioning for de-icing storage capacities, which are based on the results from the R&D projects 04.0243/2011/LRB "Key figures in operational service - KENNBET" and 04.0288/2015/KRB "Concept for Need Based de-icing salt storage capacities - TAUSALA".

Comprehensive knowledge and basic principles already exist for the storage of solid and liquid spreading materials. Innovative solutions are also known from practice. However, there is a lack of uniform design approaches, especially for silo systems, which enable comparability with regard to durability, robustness and service life. The valid measurement standards still allow too much room for variability. Furthermore, a systematic evaluation of the different concepts is missing, especially under economic aspects, which take into account the entire life cycle of the plants and also the process costs associated with the plants.

The overall objective of the research project 03.0554/2017/MRB "Effectiveness and economic efficiency of spreading material storage (TAUSALA II) is a comprehensive operational-organisational and constructional analysis of existing facilities and alternative construction methods for the storage of de-icing salt. With the components collection of experience, determination of costs and surveys on salt loading, different construction methods and variants are to be evaluated and preferred variants are to be determined depending on the operating

conditions. Standard plans and a guideline text are to be drawn up for the preferred variants.

Research method

Within the scope of a literature review and basic research national and international publications concerning the technical and organisational measures for the storage of spreading material (dry salt and salt solution) and spreading material loading were compiled in detail. Constructional aspects and the quality of the gritting material were also taken into account. In addition to research reports and publications, product information from national and international suppliers of gritting material storage systems was researched. The valid legal requirements, guidelines, DIN norms and technical standards for winter services, for the construction of gritting material storage and the environmental requirements were also compiled.

In order to systematise the practical experience gained with the various systems for the storage and loading of gritting materials and the recording of criticism and suggestions for improvement at the level of highway and motorway operation centres, an online questionnaire was compiled for which a total of 447 responses were received, 48 of them from Austria. Due to the high number of master craftsmen involved, representative statements could be with the feedback. The questionnaire consisted of seven question groups on the following topics:

- general information
- salt storage at the maintenance depot
- salt storage at additional depot
- application experience and application of techniques for the storage of gritting material
- loading systems
- salt solution
- environmental aspects of storage and loading of gritting materials

On the basis of the questionnaire results and further experience, ten scattered salt storage depots with representative or new innovative storage and loading systems were selected. and examined in detail on site. These were investigated in depth in combination with expert interviews on site, with a particular focus on the structural and design aspects.

For three selected locations, comprehensive surveys were carried out on the operational tasks of salt loading. For this purpose, the loading processes for the winter of 2018/19 were recorded using video technology, whereby the data protection guidelines and co-determination obligations of the staff council were observed. With this method, it was possible to minimise the on-site survey effort and ensure an operating procedure that is largely undisturbed by the surveys. From the video observations, it was possible to derive key figures for the loading processes, such as loading time, time for preparation and post-processing, manoeuvre time, waiting time, etc. A total of 383 loading processes with the wheel loader, 290 loading processes under the salt silo and 504 loading processes for brine could be evaluated. In addition, 180 deliveries, 102 loading operations of a salt hopper and 15 spreader emptying operations could be analysed.

In order to determine life cycle costs (LCC), cost data were evaluated for 48 selected plants for gritting material storage in Baden-Württemberg, Lower Saxony and Rhineland-Palatinate. The cost data were differentiated according to investment costs, maintenance costs and operating costs and indexed to a uniform reference date of 31 December 2018. Since no statistically verified parameters could be derived from the costs for maintenance and ongoing maintenance provided by the road authorities, these were calculated as a lump sum depending on the investment costs. The operating costs can be subdivided as follows:

- storage/relocation of salt for hall storage
- delivery of salt for silo storage
- loading of salt silo and brine production system with wheel loader
- loading winter service vehicles with wheel loader

LCC was determined for six variants for the storage of gritting materials. Within the scope of a sensitivity analysis, the influence of different input parameters on the LCC was investigated.

The evaluation of the different storage concepts for the spreading material storage as well as recommendations for standardised storage variants, their arrangement and design were compiled in the notes for the storage and loading of spreading materials for winter services (Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst - H LaStreu). These are based on the state of the art, the current experience, the recording

of the operational expenditure and the calculation of life cycle costs for the spreading material storage, which were carried out within the framework of the R&D project. Part of H LaStreu are eight sample solutions for standardised storage variants as well as for hall storage sample solutions for four construction variants with a total of twelve detailed solutions. In addition, the H LaStreu sample building books for hall and silo were attached to the H LaStreu, which contain information on monitoring as well as their documentation for these buildings.

Research results

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

- Over 90 % of the maintenance depots have a salt storage material hall available, most of which has a storage capacity of less than 1,000 t.
- More brine is produced at the maintenance depots, only about 1/3 of the depots were delivered.
- The capacity of salt silos on the maintenance depots is often between 50 and 150 m³ or more. Silos smaller than 50 m³ are more likely to be found in highway additional depots.
- At the additional depots, 80 % of the salt is stored in a hall, the brine at the additional depots is mainly delivered.
- The maintenance costs and also the susceptibility to damage are estimated to be higher for the brine production system and the conveyor technology, while the lowest maintenance costs are seen in the gritting material hall.
- For hall storage, the wheel loader is mainly used for loading the vehicles, which is usually parked in a separate shelter.
- In 15 % of the motorway maintenance depots and approx. 25 % of the highway maintenance depots, parallel loading of dry salt and brine is not possible; more than 35 % of the motorway maintenance depots have two brine loading stations, but only a good 20 % of the highway maintenance depots.
- In about half of the depots, waiting times during loading are frequent or regular during full deployment, especially in depots where parallel loading is not possible.

- The brine used is predominantly NaCl, only in Hesse, Brandenburg and Saxony-Anhalt is MgCl₂ used.

Average loading times for loading with wheel loaders and salt silos could be derived from the surveys on salt loading. The mean gross loading time for separate loading of salt with the wheel loader can be estimated at 9 min. This can be shortened by 1 min by optimizing the movements for the wheel loader. When loading under the salt silo, the average loading time is 6 min, whereby a time saving of approx. 2 min can be achieved if a second employee carries out the loading process. The loading time compared to the wheel loader loading is therefore shorter for silo loading, which is only relevant for the separate loading of dry salt and brine. If dry salt and brine are loaded in parallel, an average total loading time of 14 min must be assumed. Approximately 12 min can be assumed for refuelling with brine. It became clear that the time saved with parallel loading corresponds to the time required for dry salt loading. The time required is thus essentially determined by the brine fuelling. Due to the determined loading times with the wheel loader (gross loading time 9 min, net loading time 5 min) the loading of two winter service vehicles with dry salt and brine is possible in 14 min, if two positions are available for loading. The loading time for a salt hopper with which a loading silo is filled can be set at 6 min per loading operation with 5 dumping operations (5 t), which corresponds to 1.2 min/t salt.

In summary, the LCC analysis shows that the LCC for silo storage are generally higher than those for hall storage. Only with low storage capacities of up to approx. 500 t, as typically occurs more frequently at additional winter service depots, are the LCC for silo storage lower than for hall storage. Compared to the variants "hall with loading silo" or "hall and loading of the brine production system from additional silo", pure silo storage up to a storage capacity of 700 t is more economical. As expected, storage in a hall with loading via a loading silo leads to higher salt storage costs than loading with a wheel loader.

Conclusions for practice

The practical consequences of the investigations carried out are summarised in the notes for the storage and loading of spreading materials for winter services (Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst - H

LaStreu). The main recommendations are as follows:

- As a rule, the storage of gritting material on a maintenance centre should take place in gritting material halls. In individual cases, the combination of a gritting hall and a loading silo can make sense despite higher life cycle costs.
- The storage of salt on motorway and highway maintenance depots that are not permanently manned, which are mainly used for reloading in winter service and where no winter service vehicles are stationed, should be carried out in silo facilities with low storage capacities (up to approx. 500 t). If larger storage capacities are required, hall storage on these depots is generally more economical. However, silo storage can still be useful for other operational reasons. For silo storage, delivery by silo vehicles is generally recommended for economic reasons.
- For storage in halls, it should normally be possible to load gritting material and brine at least at 2 locations. In the case of motorway operation centres with a large vehicle fleet or the use of 3 vehicles in a snow ploughing team, 3 locations should be provided wherever possible. In highway operation centres with a small vehicle fleet or on additional depots, one location may also be sufficient. In this case, however, at least a second stand should be equipped for brine refuelling.
- For operational reasons and to avoid long storage times, a salt silo should not exceed a storage capacity of 300 t. In the case of silo storage, as a rule at least 2 silos must be provided at which brine can also be tanked in parallel. For storage capacities over 500 t and sufficient space, 3 and possibly more silos are recommended for silo storage. In the case of combined storage in a hall with a loading silo, 2 further loading places are to be provided in addition to the loading place under the salt silo where brine can be filled up.
- It is ideal to approach the loading places without reversing. For this purpose, they must be arranged in the extension of the hall side walls in the longitudinal direction of the hall or the winter service vehicle is positioned transversely in front of the hall next to the hall door. When loading from the hall, they can be arranged to the side of the hall.

- For operational and ergonomic reasons, a weather-protected placement of the loading areas makes sense: either in the salt hall with a designated operating area in front of the storage area or in front of the hall under a projecting roof or to the side next to the gritting material hall under a trailing roof closed at the side.
- A height offset of approx. 1.50 m between the level of the winter service vehicle and the shunting area of the wheel loader is advisable so that the wheel loader can fill the spreader from above.
- All components for controlling brine systems must be installed weather-protected to protect them from freezing and to simplify operation.
- The brine production system should be located in the gritting hall if it is filled with a wheel loader.
- For storage in halls, the height of the bulk material on the hall wall should normally be 5 m.
- The entrance to the hall can be closed with a gate; alternatively, an open or partially open hall with a canopy and/or sufficient operating area can be provided at the front.
- Radar level measurement has proved its worth for both gritting material halls and gritting material silos. Radar measurement can also be used to detect the onset of bridging in the gritting material silo.
- When loading silos, the capacity of the conveyor system should be so high that the loading silo can be completely filled within one day, as a rule a conveying capacity of approx. 10 t/h is recommended. The hopper volume should be sufficiently dimensioned so that batch filling by the wheel loader is possible.
- Salt halls and silos are buildings and must therefore be inspected regularly in order to meet the requirements for stability, durability, occupational health and safety and environmental protection. It is recommended to structure the inspections into check, supervision and detailed investigation.

Inhalt

Abkürzungen	11	3.1.4	Einsatzerfahrungen und Einsatz von Techniken bei der Streustofflagerung	32
1 Einleitung	13	3.1.5	Beladungssysteme.....	35
2 Stand der Technik	14	3.1.6	Salzlösung	37
2.1 Übersicht.....	14	3.2	Ergänzende Online-Umfrage bei österreichischen Straßenmeistereien	38
2.2 Streustoffhallen	14	3.3	Besichtigung bestehender Anlagen	40
2.2.1 Bauweise und Konstruktion	14	3.3.1	Streustoffhalle AM Kirchheim/Teck	41
2.2.2 Materialien	15	3.3.2	Streustoffhalle mit Verladesilo AM Hannover	42
2.2.3 Statische Nachweise.....	15	3.3.3	Streustoffhalle mit Verladesilo SM Northeim	42
2.2.4 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente	15	3.3.4	Streustoffhalle mit Verladesilo SAM Frankfurt	43
2.3 Streustoffsilo	15	3.3.5	Streustoffhalle mit Verladesilo AM Reiskirchen	44
2.3.1 Bauweise und Konstruktion	15	3.3.6	Siloanlage AM Rodgau	45
2.3.2 Materialien	19	3.4	Besichtigung neuer Streustoffhallen	46
2.3.3 Statische Nachweise.....	19	3.4.1	Streustoffhalle SM Geislingen.....	46
2.3.4 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente	19	3.4.2	Streustoffhalle SM Münsingen	47
2.4 Sole.....	19	3.4.3	Streustoffhalle SAM Merzig.....	48
2.4.1 Solelagerung.....	19	3.4.4	Rundhalle AM Efringen-Kirchen.....	49
2.4.2 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente	20	4 Erfassung des betrieblichen Aufwandes	50	
2.5 Kombinationsanlagen	20	4.1	Erfassungs- und Auswertemethodik	50
2.6 Erforderliche Streustofflagerkapazitäten	21	4.2	Umfang der Erfassung	54
2.7 Integration in den Prozessablauf Winterdienst	24	4.3	Beladung mit Radlader	55
2.7.1 Einlagerung der Streustoffe	24	4.4	Beladung am Streustoffsilo	57
2.7.2 Beladung von Winterdienstfahrzeugen	24	4.5	Solebetankung	58
2.7.3 Füllstandmesssysteme	26	4.6	Anlieferung und Salztrichter	59
2.8 Rechtliche Rahmenbedingungen	28	4.7	Schlussfolgerungen	60
3 Aktuelle Erfahrungen	29	5 Lebenszykluskosten für die Streustofflagerung	62	
3.1 Online Umfrage bei deutschen Straßen- und Autobahnmeistereien	29	5.1	Methodik zur Ermittlung der Lebenszykluskosten.....	62
3.1.1 Übersicht.....	29	5.2	Erfasste Investitionskosten	63
3.1.2 Streustofflagerung am Gehöft.....	30			
3.1.3 Streustofflagerung am Stützpunkt.....	31			

5.3	Kosten für Erhaltung und laufenden Unterhalt	66
5.4	Betriebskosten	66
5.5	Lebenszykluskosten für unterschiedliche Varianten der Streustofflagerung	68
6	Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen.....	71
6.1	Bewertung von Varianten zur Streustofflagerung.....	71
6.1.1	Betriebliche Aspekte	71
6.1.2	Wirtschaftlichkeit	72
6.1.3	Weitere Aspekte	72
6.1.4	Empfehlungen für standardisierte Lagerungsvarianten	73
6.2	Empfehlungen.....	73
6.2.1	Anordnung der Streusalzlager	73
6.2.2	Bauliche Gestaltung von Streustoffhallen	74
6.2.3	Bauliche Gestaltung von Streustoffsilos.....	75
6.2.4	Füllstandmesssysteme	75
6.2.5	Ladetrichter und Fördereinrichtung für Salzlöseanlagen oder Verladesilo.....	75
6.3	Regelmäßige Überprüfung.....	76
6.4	Kostenabschätzung für unterschiedliche Musterlösungen und Konstruktionsvarianten bei Hallenlagerung	76
	Literatur.....	80
	Bilder	82
	Tabellen.....	84

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter:

<https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

Abkürzungen

AM	Autobahnmeisterei	WGK	Wassergefährdungsklasse
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen	WHG	Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
BSH	Brettschichtholz		
FS	Feuchtsalz		
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff		
H BeStreu	Hinweise für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst		
H LaStreu	Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst		
LK	Landkreis		
LZK	Lebenszykluskosten		
MK	Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst		
MgCl ₂	Magnesiumchlorid		
NaCl	Natriumchlorid		
OSB	Oriented Strand Board (Grobspanplatte)		
PE-HD	Polyethylen hoher Dichte		
PVC	Polyvinylchlorid		
RAM	Richtlinien für die Anlage von Meister-eien		
RP	Regierungspräsidium		
RÜV	Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes		
SAM	Straßen- und Autobahnmeisterei		
SM	Straßenmeisterei		
Stp	Stützpunkt		
TAUSALA	FE-Vorhaben 04.0288/2015/KRB „Konzeption bedarfsgerechter Tausalzlagekapazitäten“		
TAUSALA II	FE-Vorhaben 03.0554/2017/MRB „Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung“		
V4A-Stahl	korrosionsbeständige Stahlsorte (Chrom-Nickel-Molybdän-Legierung)		

1 Einleitung

An den Winterdienst auf Bundesautobahnen und allen verkehrswichtigen Straßen werden aufgrund der Bedeutung dieser Verkehrsadern besonders hohe Anforderungen gestellt. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Zuwächse im Straßengüterverkehr werden die Anforderungen zukünftig noch verstärkt werden. Die zusätzlichen Vorgaben, den Winterdienst bei häufig schnell wechselnden Randbedingungen (z. B. Wetterverhältnisse, Verkehrsaufkommen) wirtschaftlich und umweltschonend durchzuführen, erschweren diese Aufgabenstellung. Das Leitbild kann also nur gewährleistet werden, wenn der Winterdienst optimal organisiert und ausgestattet ist, die Einsätze rechtzeitig, d. h. in der Regel innerhalb kürzester Zeit bzw. präventiv durchgeführt werden können und Verlustzeiten auf ein Minimum reduziert werden. Eine zentrale Bedeutung hierbei haben die optimierte Streustofflagerung sowie eine prozessoptimierte Beladung der Winterdienstfahrzeuge. Für die Dimensionierung der erforderlichen Streustofflagerkapazitäten liegen Richtlinien [FGSV 2010] [FGSV 2015] und weitergehende Bemessungskonzepte [HOLLDORB/STREICH 2013] [HOLLDORB et.al. 2016] [BMVI 2019] vor.

Es bestehen bereits umfassende Kenntnisse und Grundlagen zur Lagerung von festen und flüssigen Streustoffen. Auch aus der Praxis sind hierzu innovative Lösungsansätze bekannt. Es fehlen jedoch insbesondere für Siloanlagen einheitliche Bemessungsansätze, die eine Vergleichbarkeit bzgl. Dauerhaftigkeit, Robustheit und Lebensdauer ermöglichen. Die gültigen Bemessungsnormen lassen noch einen zu großen Spielraum zu. Es fehlt weiterhin eine systematische Bewertung der unterschiedlichen Konzepte insbesondere unter wirtschaftlichen Aspekten, die den gesamten Lebenszyklus der Anlagen und auch die mit den Anlagen verbundenen Prozesskosten berücksichtigen. Hierfür ist u. a. eine differenzierte Analyse der Erfordernisse und Prozessabläufe an Gehöften und Stützpunkten der Straßen- und Autobahnmeistereien notwendig, um bei Erweiterungen oder Erneuerungen der Einrichtungen zur Lagerung und Beladung von Streustoffen wirtschaftliche und prozessoptimierte Gestaltungsgrundsätze und Musterbaupläne, differenziert nach zu berücksichtigenden Randbedingungen, erstellen zu können.

Daher wurde Prof. Holldorb gemeinsam mit den Projektpartnern Prof. Cypra und bauart Konstrukti-

ons GmbH & Co. KG durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen im Dezember 2017 mit dem FE-Vorhaben 03.0554/2017/MRB „Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung (TAUSALA II)“ beauftragt. Gesamtziel des Forschungsprojektes ist eine umfassenden betrieblich-organisatorische und baufachliche Analyse bestehender Einrichtungen und alternativer Bauweisen für die Tausalzlagerung. Mit den Bestandteilen Erfahrungssammlung, Kostenermittlung und Erhebungen zur Salzbeladung sollen unterschiedliche Bauweisen und Varianten bewertet und in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen Vorzugsvarianten bestimmt werden. Für die Vorzugsvarianten sollen Muster-Baupläne und ein Richtlinienentwurf erstellt werden.

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurde in insgesamt sieben Arbeitspakete unterteilt und ist in diesem Bericht dokumentiert. In Kapitel 2 ist der Stand der Technik auf Basis einer Literaturrecherche zusammengestellt. Kapitel 3 enthält die Auswertung von Erfahrungen, wobei der Schwerpunkt auf einer bundesweit durchgeführten Umfrage bei den Leitern der Autobahn- und Straßenmeistereien liegt, deren Ergebnisse durch Vor-Ort-Besichtigungen und Experteninterviews, insbesondere zu Bauweise und Konstruktion, ergänzt wurden. In Kapitel 4 ist die Erfassung und Bewertung des betrieblichen Aufwandes bei der Streustofflagerung und -beladung, die an drei ausgewählten Streustofflagern während des Winters 2018/19 erfolgte, dokumentiert. Kapitel 5 enthält die Ermittlung und Bewertung der Lebenszykluskosten für die Streustofflagerung.

Basierend auf den Kapiteln 2 bis 5 werden Empfehlungen für die Auswahl sinnvoller Lagerkonzepte sowie Empfehlungen, wie Streustofflager angelegt, baulich gestaltet und überwacht werden sollen, in den „Hinweisen für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst (H LaStreu)“ zusammengestellt, die im Anhang 17 als Entwurf zu finden sind. Sie enthalten auch Musterlösungen für standardisierte Lagerungsvarianten sowie Musterbauwerksbücher für Streustoffhalle und Streustoff-silo einschließlich Checklisten zur Überwachung. Die wesentlichen Empfehlungen der H LaStreu werden in Kapitel 6 dieses Schlussberichts zusammengefasst.

2 Stand der Technik

2.1 Übersicht

Für die Lagerung von Streustoffen kommen Streustoffhallen, Siloanlagen und Kombinationsanlagen (Halle/Silo) in Frage. Grundlegende Vorgaben geben die Richtlinien für die Anlage von Meistereien (RAM) [BMVI 2014] sowie die jeweiligen fachspezifischen Normen und Richtlinien. Für diesen Themenbereich gibt es weiterhin vertiefte Untersuchungen zur Dimensionierung der Streustofflagerkapazitäten [HOLLDORB/STREICH 2013] [HOLLDORB et al. 2016] sowie zur Optimierung der Prozessabläufe in den Meistereigehöften im Winterdienst [CYPRA et al. 2006], [SCHMAUDER et al., 2012], [RAUCH-LIEBICH 2013]. Gut gelagerte und schnell verfügbare Streustoffe charakterisieren den modernen, streustoffsparenden und wirkungsvollen Winterdienst [DURTH/HANKE 2004].

Zu diesem Forschungsprojekt gehört die Definition der Anforderungen für die Anordnung, Dimensionierung, Ausstattung etc. bei verschiedenen Streustofflagerstätten, jedoch nicht der Anforderungen an das Verfahren zur Herstellung von Salzlösungen. Daher werden Salzlöseanlagen nicht im Hinblick auf das Verfahren betrachtet.

2.2 Streustoffhallen

2.2.1 Bauweise und Konstruktion

Für die Lagerung von Streustoffen in Streustoffhallen geben die Richtlinien für die Anlage von Meistereien (RAM) [BMVI 2014] nur folgende, weit gefasste Anforderungen und Ausstattungshinweise:

- „Die Halle ist in Holzbauweise zu errichten.
- Die Toreinfahrt sollte an der Stirnseite der Halle, der Hauptwindrichtung abgekehrt, angeordnet werden; eine Schlupftür ist vorzusehen.
- Bei Schüttung in der Halle muss die lichte Raumhöhe in Firstlinie mindestens 9,00 m betragen.
- Schütthöhe an den Wänden: mind. 3,50 m
- Lichte Raumhöhe durchgängig: mind. 5,70 m
- Lichte Durchfahrts Höhe Tor: mind. 5,50 m
- Lichte Durchfahrtsbreite Tor: mind. 5,50 m

- In der Halle dürfen keine Stützen und an den Längswänden keine in den Hallenraum hineinragenden Pfeilervorlagen vorhanden sein.
- Hallenboden ist mit einer wasserdichten Decke (z. B. Gussasphalt) zu versehen und mit Gefälle zum Tor hinauszuführen; vor dem Tor ist das Tropfwasser auf einer geeigneten Fläche zu sammeln und umweltverträglich abzuführen.
- Für die Feuchtsalztechnologie / Soleausbringung sind in der Regel Sole-Mixstationen oder Soleerzeuger aufzustellen. Die Größe der Vorratsbehälter (doppelwandig) ist dem Bedarf anzupassen.“

Die Grundfläche einer Streustoffhalle orientiert sich im Wesentlichen an den örtlichen Gegebenheiten (Grundstücksabmessungen etc.) und den zu lagernden Feststoffmengen.

Es werden von verschiedenen auf dem Markt agierenden Anbietern Standardhallen - in der Regel in Holzbauweise - angeboten. Diese Hallen verfügen je nach Breite und Länge über eine Kapazität bis ca. 4.000 t Schüttgut.

Die Spannweite der Hallen beträgt bis ca. 20 m. Das Haupttragsystem der Hallen wird durch Rahmen gebildet. Aber auch eingespannte Stützen mit Einfeldträgern aus Brettschichtholz sind wirtschaftliche Varianten. In Dachebene und in der Hallenlängsrichtung erfolgt die Aussteifung der Konstruktion über Verbände bzw. Scheiben.

Die üblichen Hallenlängen sind zwischen 20 und 30 m und können modular im Raster (ca. 5 bis 6 m) erweitert werden. Die Zufahrt zu den Hallen erfolgt in der Regel an einer der Giebelseiten. Grundsätzlich sind bei der gewählten Hallenlänge auch die Rangierflächen und Fahrlängen zu berücksichtigen.

Bei den Rahmenkonstruktionen in Holzbauweise beträgt die Schüttwandhöhe vielfach ca. 4 m. Wenn es die notwendige Lagerkapazität in Verbindung mit einer begrenzten Grundfläche erfordert, besteht auch die individuelle Möglichkeit, die Schüttwände in Stahlbetonbauweise - Höhe bis ca. 8 m - zu erstellen und dann das überspannende Rahmentragwerk auf den Stahlbetonschüttwänden anzuordnen. Diese Mischbauweise wird in der Praxis häufig angewendet.

Die Stahlbetonschüttwände werden in einer Stahlbetonbodenplatte eingespannt und bilden somit einen biegesteifen Trog. Um die Dauerhaftigkeit der

Stahlbetonschüttwände zu gewährleisten, werden diese durch großformatige Holzwerkstoff- oder Kunststoffplatten vor einem direkten Kontakt mit dem Schüttgut und somit vor einem chemischen Angriff und einer mechanischen Beanspruchung geschützt.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Spannweiten des Tragwerkes auch bis 30 m Spannweite auszubilden. Es ist dann zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Spannweite die Konstruktionshöhe der Tragkonstruktion zunimmt und die Kosten für das Tragwerk ansteigen. Einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Kosten für ein stützenfreies Tragwerk haben insbesondere auch die standortspezifischen Schneelasten.

Die Gründung der Hallen erfolgt in Abhängigkeit der Baugrundbeschaffenheit und der Tragkonstruktion auf Streifenfundamenten oder einer lastabtragenden Bodenplatte. Die Streifenfundamente sind vor einem chemischen Angriff (Chloride), z. B. durch eine bituminöse Abdichtung nach DIN 18533 [2017], zu schützen. Werden tragende Bodenplatten aus Stahlbeton ausgeführt, so werden diese in der Regel mit einem Gussasphalt versehen. Dieser schützt die Bodenplatte sowohl vor dem chemischen Angriff als auch vor mechanischen Beanspruchungen. Diese Ausführung hat sich in Verbindung mit dem üblicherweise vorhandenen Radlader-Betrieb bewährt.

2.2.2 Materialien

Für die Ausbildung von weitgespannten Dachtragwerken hat sich die Holzbauweise und unter üblichen Randbedingungen auch die Stahlbauweise als sehr wirtschaftlich erwiesen. Holzbauteile und auch Holzwerkstoffe weisen neben einem geringen spezifischen Gewicht eine hohe Tragfähigkeit auf und besitzen gegenüber der chemischen Beanspruchung durch Chloride eine hohe natürliche Resistenz. Dies ist beim Einsatz in Streustoffhallen der wesentliche Vorteil gegenüber der Stahl- und auch Stahlbetonbauweise.

Stahlbetonbauteile, z. B. Wände, Stützen, Fundamente, Bodenplatte, werden vor dem chemischen Angriff durch Chloride besonders geschützt. Insbesondere für Bauteile, bei denen eine Rissbildung infolge von frühem und spätem Zwang (Schwinden, Temperaturwechsel etc.) nicht auszuschließen ist, sind besondere schützende Maßnahmen unentbehrlich, um die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Alle diese Maßnahmen bedürfen bei der Ausfüh-

rung einer besonderen Sorgfalt und einer regelmäßigen Überwachung zur Vermeidung von hohen Folgekosten.

2.2.3 Statische Nachweise

Die Standsicherheitsnachweise für das Tragwerk einschließlich aller Gründungsbauteile erfolgen auf der Grundlage der baurechtlich eingeführten Baubestimmungen. Die Einwirkungen auf das Tragwerk (Lastannahmen) sind auf der Grundlage der Normreihe der DIN EN 1991 „Einwirkungen auf Tragwerke“ [2010] zu ermitteln. Im Besonderen sei hier auf die DIN EN 1991-4:2010-12 „Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter“ verwiesen. Die Einwirkungen auf die Stützwände, die eine Beanspruchung durch das Schüttgut erfahren, sind gemäß DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 5.4 zu ermitteln. Es sind die Schüttkennwerte nach DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 4.2 in Ansatz zu bringen. Sind die Schüttgutkennwerte nicht bekannt, so sind diese basierend auf den Ausführungen der DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 4.3 zu ermitteln.

2.2.4 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente

SCHMAUDER et al. [2012] haben in den Untersuchungen zur Optimierung der Arbeitsabläufe bei Meistereigehöften auch weiterführende Gestaltungsvorschläge für verschiedene Streustofflagerstätten erarbeitet. Für Streustoffhallen sind diese Vorschläge übersichtlich in Tabelle 1 zusammengefasst. Hier sind insbesondere die Aspekte des gleichzeitigen Beladens von zwei Fahrzeugen, der Unterbringung des Radladers sowie der Anordnung von zwei Toren zum verbesserten Verbrauch des angelieferten Salzes zu erwähnen.

2.3 Streustoffsilo

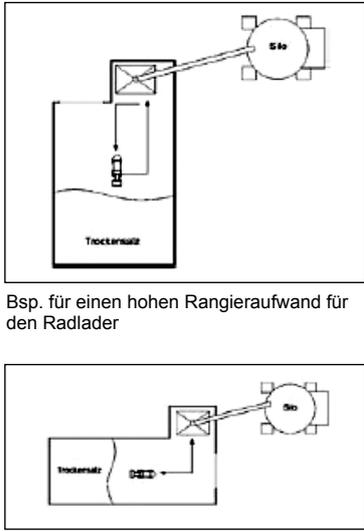
2.3.1 Bauweise und Konstruktion

Im Gegensatz zu Streustoffhallen sind Streustoffsilos ausschließlich standardisierte Ingenieurbauwerke. Nur geringfügige Anpassungen an den Standort können abweichend vom Standard der Hersteller realisiert werden.

Verschiedene Hersteller bieten Silos in unterschiedlichen Bauweisen und Größen an. Die Silos haben ein Fassungsvermögen von ca. 10 bis in der Regel

Aufgabenbereich/ Teilaufgabe	Ansatzpunkt	Gestaltungsziele	Mögliche Umsetzung(en)	Anmerkungen
Arbeitsvor- und -nachbereitung: Beladen und Betanken von Winterdienstfahr- zeugen	Fläche vor der Salzhalle	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglichung von zeitgleichem Beladen mehrerer Fahrzeuge • Verringerung des Rangieraufwands • Verkürzung von Zeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Fläche vor der Salzhalle sollte genügend Platz für das Abstellen von mindestens zwei Fahrzeugen bieten. Sie muss zudem genügend Platz für die Anlieferung des Trockensalzes bieten. • Bei der Dimensionierung der Fläche sind auch die Bewegungen des Radladers zu berücksichtigen 	
	Beleuchtung vor der Salzhalle	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Unfallrisikos • Verkürzung von Zeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist auf eine gute Beleuchtung des Beladeplatzes zu achten. • Besonders bei der Anbringung der Schlauchkupplung für die Betankung mit Sole sollte kein Schattenwurf durch das Personal auftreten. 	
	Unterbringung des Radladers	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Lebensdauer des Radladers • Verringerung von Wartungs- und Reparaturkosten • Verkürzung von Wegen • Verkürzung von Zeiten 	Einrichtung eines zur Torseite der Salzhalle offenen Unterstands für den Radlader neben der Salzhalle	Es konnte in den Feldanalysen beobachtet werden, dass der Radlader bei fehlendem Unterstand neben der Salzhalle regelmäßig in der Salzhalle abgestellt wird, wodurch Korrosionsschäden begünstigt werden.
	Kontrolle des Füll- standes der Salz- streuer während der Beladung	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung des Unfallrisikos • Vermeidung ungünstiger Körperhaltungen • Verkürzung von Zeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation eines Spiegelsystems in günstiger Sichthöhe für den Radladerfahrer • Errichtung eines Podests in Verbindung mit einem festen Beladepplatz für die Überwachung durch eine zweite Person • Eine Überdachung kann die zweite Person vor Witterungseinflüssen schützen. <div data-bbox="794 1317 1150 1608" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> </div> <p data-bbox="794 1615 1150 1659">Bsp. für den Einsatz von Spiegeln bei der Beladung mit dem Radlader</p> <div data-bbox="794 1686 1150 1977" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> </div> <p data-bbox="794 1984 1150 2029">Bsp. für den Einsatz eines Podests bei der Beladung mit dem Radlader</p>	Ungünstige Körperhaltungen entstehen für den Radladerfahrer bei der Sichtkontrolle aus der Fahrerkabine. Steht ein zweiter Mitarbeiter auf dem zu beladenden Fahrzeug, um den Füllstand zu kontrollieren, ist er einer Absturzgefahr ausgesetzt.

Tab. 1: Weiterführende Gestaltungsvorschläge für Streustoffhallen [SCHMAUDER et al. 2012]

Aufgabenbereich/ Teilaufgabe	Ansatzpunkt	Gestaltungsziele	Mögliche Umsetzung(en)	Anmerkungen
Arbeitsvor- und -nachbereitung: Beladen und Betanken von Winterdienstfahr- zeugen	Anzahl der Tore	<ul style="list-style-type: none"> verbessertes Ver- brauch des gelieferten Salzes ohne lange Zeit liegen bleibende Reste Ermöglichung des Be- ladens von Winter- dienstfahrzeugen wäh- rend der Salzanliefe- rung 	<ul style="list-style-type: none"> Installation von Toren auf 2 Seiten Von einer Seite wird Salz entnom- men, bis die Halle einen Füllstand von unter 50 % erreicht hat. Dann wird Salz auf dieser Seite angeliefert und die Entnahme erfolgt auf der anderen Seite. 	Zu beachten ist dabei, dass auf beiden Seiten der Salzhalle Möglichkeiten für die Beladung mit Trockensalz und die Betankung mit Sole eingerrichtet werden müssen.
	Positionierung des Trichters in der Salzhalle für die Befüllung eines Silos (bei Verwendung einer Kombination von Salzhalle und Silo)	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Rangieraufwands Verkürzung von Zeiten 	Bei dem Bau der Salzhalle mit Trocken- silo sollte der Trichter für die Bestückung des Silos an der Längsseite der Halle angeordnet werden, um die Wege für den Radlader zu verkürzen.	 <p>Bsp. für einen hohen Rangieraufwand für den Radlader</p> <p>Bsp. für kurze Wege für den Radlader</p>

Tab. 1: Fortsetzung

300 t, vereinzelt bis zu 1.000 t Streusalz. Sie werden in Holzbauweise oder auch aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) auf einem Stahlunterbau angeboten. Größere Silos sind häufiger aus Holz, kleinere hingegen oft aus GFK.

Aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahrzehnte werden die Unterbauten der Silos fast ausschließlich in Stahlbauweise angeboten. Ursächlich dafür ist, dass die Unterbauten in Holzbauweise keinen ausreichenden konstruktiven Holzschutz gegenüber den Witterungseinflüssen aufwiesen und es somit vermehrt zu Schädigungen infolge holzzerstörender Pilze (Fäulnis) gekommen war. Ein chemischer Holzschutz gemäß den Regeln der DIN 68800-3:2012-02 „Vorbeugender Schutz von Holz durch Holzschutzmittel“ [2012] reicht für den Unterbau allein nicht aus, um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion zu gewährleisten. Die Ausbildung des Holzunterbaus mit den erforderlichen konstruktiven

Holzschutzdetails ist zwar technisch möglich, war aber preislich den Alternativen in Stahlbauweise unterlegen. Vom Konstruktionsprinzip her entsprechen die heute als Standard angebotenen Stahlunterbauten denen der Holzunterbauten. Der Korrosionsschutz der Stahlunterbauten wird durch normativ geregelte Beschichtungen erbracht.

Die Unterbauten sind so geometrisch ausgebildet, dass eine ausreichende Durchfahrtshöhe und -breite für die Räum- und Streufahrzeuge besteht. In der Regel wird jedes Silo auf vier Hauptstützen abgelaftet. Der Unterbau ist in allen Konstruktionsvarianten als Rahmentragwerk ausgebildet, um auch die Horizontallasten (Windlasten, Stabilisierungslasten etc.) in die Fundamente abzuleiten.

Bis zu einer Größe von ca. 700 t Fassungsvermögen werden die Silozylinder aus einzelnen Holzdauben mit Nut und Feder (Holzdaubenbauweise) oder

auch aus 8 bis 12 massiven Holzplatten (Holzplattenbauweise), die an den Ecken über eine besondere Füge-technik verbunden werden, hergestellt. Die Holzdauben haben eine Breite von ca. 20 cm und somit entsteht ein annähernd runder Zylindergrundriss. Bei der Plattenbauweise entsteht ein regelmäßiges 8- bzw. 12-Eck im Grundriss. Silos mit einem Fassungsvermögen über 700 t werden ausschließlich in der Plattenbauweise angeboten.

Zur Aufnahme des Innendruckes haben alle Konstruktionen umliegende Spannringe aus Stahl. Die

Aussteifung erfolgt je nach Höhe entweder im Rahmen der Holzkonstruktion oder aber auch durch entsprechend angeordnete Stahldiagonalen und zusätzliche horizontal umlaufende Stahlringe aus gebogenem Profilstahl. Silos in Plattenbauweise werden vorrangig über die Siloplatten, die wiederum als Scheiben ausgebildet werden, horizontal ausgesteift.

Die Silos werden entweder als Einzelaufstellung oder als Gruppen- bzw. Reihenaufstellung ausgeführt. Bei einer sogenannten Mehrfachanordnung

Aufgabenbereich/ Teilaufgabe	Ansatzpunkt	Gestaltungsziele	Mögliche Umsetzung(en)	Anmerkungen
Arbeitsvor- und -nachbereitung: Beladen und Betanken von Winterdienstfahrzeugen	Beleuchtung der Beladungsflächen	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Unfallrisikos Verkürzung von Zeiten 	<ul style="list-style-type: none"> Es ist auf eine gute Beleuchtung des Beladungsplatzes zu achten. Besonders bei der Anbringung der Schlauchkupplung für die Betankung mit Sole sollte kein Schattenwurf durch das Personal und durch die Silos auftreten. 	
	Ausstattung der Silos	erhöhte Übersicht über Bestände	Der aktuelle Füllstand eines Silos sollte sich von außen ablesen lassen können	
	Anzahl der Silos	<ul style="list-style-type: none"> Ermöglichung von zeitgleichem Beladen mehrerer Fahrzeuge Verkürzung von Zeiten Erleichterte Bestandserfassung und Nachbestellung 	Es sollten mindestens drei Silos vorgesehen werden.	Mindestens drei Silos deshalb, weil es in Meistereien mit lediglich zwei Silos üblich ist, zunächst ein Silo zu leeren, und erst anschließend aus dem zweiten Silo Salz zu entnehmen, um zu vermeiden, dass beiden Silos zeitgleich das Salz ausgeht. Auf diese Weise ist es nicht möglich, zwei Fahrzeuge gleichzeitig zu beladen.
	Positionierung der Silos	<ul style="list-style-type: none"> Ermöglichung von zeitgleichem Beladen mehrerer Fahrzeuge Verringerung des Rangieraufwands Verkürzung von Zeiten 	<ul style="list-style-type: none"> Die Silos sollten parallel zueinander (und nicht in Reihe) positioniert werden, damit zeitgleiche Fahrzeugbewegungen unter mehreren Silos möglich sind. Die Silos sind so zu positionieren, dass eine Durchfahrt unter ihnen möglich ist und die Notwendigkeit, sie rückwärts zu unterfahren, vermieden wird. 	
	Ladepodest	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Unfallrisikos durch Ausrutschen und Stürze Verringerung der Gesundheitsgefährdung durch Salzstaub 	<ul style="list-style-type: none"> Treppen, die auch bei Schnee und Eis noch einen sicheren Tritt gewährleisten Einhausung des Podests, um Schutz vor Salzstaub, Wind und Schnee zu garantieren 	
	Bedienhebel	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung des Unfallrisikos durch Zurückschnellen des Hebels Verringerung der physischen Belastung 	<ul style="list-style-type: none"> Stellrichtung des Hebels nach vorne und nicht zur Seite Anbringung in Greifhöhe 	
	Kontrolle der Fahrzeugposition	<ul style="list-style-type: none"> Verkürzung von Zeiten Gewährleistung, dass das austretende Salz in den Streuer fällt 	Installation von Spiegeln gegenüber des Podests	

Tab. 2: Weiterführende Gestaltungsvorschläge für Streustoffsilos [SCHMAUDER et al. 2012]

erfolgt die Gründung in der Regel auf einer gemeinsamen Bodenplatte, während bei einer Einzelaufstellung die Anordnung von Einzelfundamenten unter den vier Silostützen die übliche Ausführung ist.

2.3.2 Materialien

Als Material für die Ausbildung der Silos hat sich der Werkstoff Holz über viele Jahre hin bewährt. Während Silozylinder, Silodach und Silotrichter ausschließlich in Holzbauweise hergestellt werden, werden die Unterbauten der Silos vielfach aus korrosionsgeschütztem Profilstahl hergestellt. Die Holzbauteile werden gemäß den Regeln der DIN 68800-3:2012-02 „Vorbeugender Schutz von Holz durch Holzschutzmittel“ [2012] imprägniert.

Zur Reduzierung der Reibung zwischen Schüttgut sowie Zylinder- und Trichteroberfläche werden häufig Kunststoffplatten im Siloinneren angeordnet. In den letzten Jahren werden auch Silozylinder und Trichter aus GFK hergestellt.

Einzelfundamente oder Bodenplatten für die Gründung der Silos sind aus Stahlbeton.

2.3.3 Statische Nachweise

Die Standsicherheitsnachweise für die Silobauten einschließlich aller Gründungsbauteile erfolgen auf der Grundlage der baurechtlich eingeführten Baubestimmungen.

Die Einwirkungen auf das Tragwerk (Lastannahmen) sind auf der Grundlage der Normenreihe der DIN EN 1991 „Einwirkungen auf Tragwerke“ [2010] zu ermitteln. Im Besonderen sei hier auf die DIN EN 1991-4:2010-12 „Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter“ verwiesen. Die Einwirkungen auf die Silowände und Silotrichter sind gemäß DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 5 zu ermitteln. Es sind die Schüttkennwerte nach DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 4.2 in Ansatz zu bringen. Sind die Schüttgutkennwerte nicht bekannt, so sind diese basierend auf den Ausführungen der DIN EN 1991-4:2010-12, Abs. 4.3 zu ermitteln.

Für die Bemessung von GFK-Silos gibt es derzeit keine baurechtlich eingeführten Normen. Die baurechtliche Verwendbarkeit wird daher im Rahmen von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Inhaber der Zulassung ist dann der jeweilige Hersteller. Die Zulassungen werden ausschließ-

lich vom Deutschen Institut für Bautechnik für den jeweiligen Anwendungsbereich erteilt.

2.3.4 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente

Wie oben beschrieben gibt es verschiedene Ausführungen von Streustoffsilos, die in der Regel mit einem Unterfahrgestell ausgestattet sind. Damit hat die Silotechnik den Vorteil, dass das Silo gleichzeitig als Lagerstätte und Beladungseinrichtung dient.

SCHMAUDER et al. [2012] haben in den Untersuchungen zur Optimierung der Arbeitsabläufe bei Meistereighöften auch für den Bereich der Silotechnik weiterführende Gestaltungsvorschläge gemacht. Für die Silos sind diese Vorschläge in Tabelle 2 aufgelistet. Insbesondere sind hier die Aspekte des gleichzeitigen Beladens von zwei Fahrzeugen (z. B. paralleles Positionieren, Aufstellen von mind. 3 Silos) und arbeitsschutzerhöhende Maßnahmen beim Beladen zu erwähnen.

2.4 Sole

2.4.1 Solelagerung

Für den Einsatz der Feuchtsalztechnologie (FS 30) bzw. Solesprühung (FS 100) gibt es zwei verschiedene Konzeptansätze. Entweder wird die Sole vor Ort in einer Salzlöseanlage hergestellt und in Sole-tanks gelagert (s. Bild 1) oder die Sole wird konzentriert oder gebrauchsfertig angeliefert und für den Einsatz gelagert. Laut SCHORSACK [2017] wird bspw. in Bayern sowohl in den Straßen- als auch an den Autobahnmeistereien zu über 80 % die Sole vor Ort produziert.



Bild 1: Tanks zur Solelagerung (Bild: Cypra)

Aufgabenbereich/ Teilaufgabe	Ansatzpunkt	Gestaltungsziele	Mögliche Umsetzung(en)	Anmerkungen
Arbeitsvor- und -nachbereitung: Beladen und Betanken von Winterdienstfahrzeu- gen	Kupplungen für den Tankvorgang	Verringerung des Unfallrisikos durch Spritzen von Sole	Es sollten Trockenkupplungen verwendet werden, da- mit Solerückstände bei der Entfernung des Schlauch- es nicht nach außen dringen können.	
	Kupplungsan- schlüsse am Win- terdienstfahrzeug	<ul style="list-style-type: none"> Verringerung der physi- schen Belastung Verringerung des Unfallrisi- kos bei Austreten von Sole 	Der Anschluss an das Fahrzeug sollte in einer Höhe von ca. 1 m ermöglicht werden, damit ein hohes Anhe- ben des schweren Schlauches oder ein Bücken mit dem Schlauch vermieden wird. Außerdem wird so ge- währleistet, dass es bei Soleaustritt zu keinen Verlet- zungen im Gesicht kommt	
	Bewegen des Schlauches	Verringerung der physi- schen Belastung	Lastenmanipulatoren (Galgen) können die physische Belastung für das Personal verringern.	
	Verbindung zwi- schen Tank und Zapfanlage	Verkürzung von Zeiten	Um die Pumpenleistung optimal nutzen zu können, sollte die Verbindung zwischen Tank und Zapfanlage möglichst kurz sein und keine großen Höhendifferen- zen aufweisen.	
	Ausschalten der Anlage	<ul style="list-style-type: none"> Vermeiden von Mehrarbeit Verkürzung von Zeiten 	Um auf ein regelmäßiges Kontrollieren des Tankfüll- stands verzichten zu können, sollte die Anlage über eine füllstandsbasierte Selbstabschaltung verfügen.	
	Schutz des Tank- platzes	Verringerung der Wetter- auswirkungen auf den Mit- arbeiter bei der Solebetan- kung von Fahrzeugen	Überdachung des Tankplatzes	

Tab. 3: Weiterführende Gestaltungsvorschläge beim Tanken von Sole [SCHMAUDER et al. 2012]

Wenn die Sole vor Ort am Gehöft bzw. auf dem Stützpunkt hergestellt wird, ist es wichtig, dass der Streustoff für die Soleherstellung prozessoptimiert der Salzlöseanlage aus der Streustoffhalle oder aus dem Streustoffsilo zugeführt werden kann. Die hergestellte Sole wird in stehenden oder liegenden doppelwandigen Tanks gelagert, um den Anforderungen der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [2018] gerecht zu werden, die eine Rückhaltevorrückung oder eine doppelwandige Anlage fordert (s. Kapitel 2.8).

Praktische Erfahrungen für Salzlöseanlagen werden im Beitrag von SCHORSACK [2017] aufgeführt. Aufgrund der Umstellung der Streutechnik mit vermehrtem Einsatz von FS 100 sind höhere und häufigere Produktionsmengen an Sole notwendig, was zu höherer Störanfälligkeit, erhöhtem Reinigungsaufwand und geringerem Solereinheitsgrad führt. Ursachen der Probleme liegen in materiellen und baulichen Aspekten der Salzlöseanlagen, die durch verfahrenstechnische Vorgaben beseitigt werden müssen. Mit der DIN EN 16811 [2016] für Enteisungsmittel und den ergänzenden „Hinweisen für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst“ (H BeStreu) [FGSV 2017] ist es nun möglich, das Ausgangsprodukt für die Soleerzeugung eindeutig vorzugeben. Auch die Normierung der Streumaschinen [DIN EN

15597-1 2017] trägt dazu bei, Anforderungen an die Salzlöseanlagen hinsichtlich der Betankungsleistung und der Solereinheit zu definieren [SCHORSACK 2017].

2.4.2 Weitere Gestaltungs- und Ausstattungselemente

Für den Bereich des Betankens mit Sole haben SCHMAUDER et al. [2012] in den Untersuchungen zur Optimierung der Arbeitsabläufe bei Meistereigehöften ebenfalls weiterführende Vorschläge bei der Gestaltung und Ausstattung der Solestationen zusammengestellt (s. Tabelle 3).

Weiterhin geben auch die Hinweise zur Herstellung und Lagerung von Tausalzlösungen für den Winterdienst [FGSV 2015] Informationen, wie eine Salzlöseanlage möglichst betriebssicher und wartungsarm betrieben werden kann.

2.5 Kombinationsanlagen

Bei Kombinationsanlagen werden einzelne Anlagenteile der Streustofflagerung und -beladung in einer Gesamtanlage kombiniert.

Dies kann zum einen die Kombination einer Streustoffhalle mit einem Streustoffsilo sein. Dabei wird das Silo über eine mechanische Förderanlage, z. B.



Bild 2: Self-Service-Anlage am Betriebshof Ceva (Italien)
(Bild: Holldorb)

Becherwerk, Förderschnecke, oder eine pneumatische Förderung mit der Streustoffhalle verbunden. Die Förderanlage wird in der Streustoffhalle über einen Einfülltrichter mit Salz beschickt, um das Streustoffsilos wieder zu befüllen. Das Silo kann jederzeit in Abhängigkeit des Silofüllstandes beschickt werden, unabhängig vom Lieferprozess mit speziellen Silofahrzeugen. Dieser Vorteil kommt insbesondere in der Winterzeit zum Tragen, wenn von vielen Meistereien gleichzeitig Salz zum Nachladen der Silos bestellt wird.

Zum anderen kann ein Streustofflager und Beladungssystem als Kompaktanlage bzw. Self-Service-Anlage konzipiert werden (s. Bild 2). Eine solche Anlage besteht entweder aus einem einzelnen zylindrischen Silo in Kompaktbauweise oder aus mehreren miteinander verbundenen Silos, die unter einem Dach in einem Gebäude (modulare Gebäude-Self-Service-Anlage) integriert sind. Eine Beladung der Winterdienstfahrzeuge erfolgt durch das Hineinfahren in das Gebäude. Sensoren erkennen das Fahrzeug und über Lichtsignale kann das Fahrzeug exakt unter der Beladungsöffnung positioniert werden. Der Fahrer kann sich mithilfe einer Registriernummer einen Zugang zum EDV-System verschaffen. Dabei kann über einen Monitor eine Lademenge bestimmt werden, was eine automatische Öffnung der Beladeeinrichtung veranlasst. Dabei wird auch die tatsächlich geladene Streustoffmenge mittels Wägezellen erfasst und verbraucherbezogen zugeordnet.

Der Vorteil des Systems liegt zum einen in der Automatisierung des Beladungsprozesses. Zum anderen erfolgt bei einer solchen Kompaktanlage das Be- und Entladen von Salz unter einem Dach oder in geschlossenen Behältern, was sich insbesondere bei Anlagen in Wasserschutzgebieten positiv

auswirkt [GREIMEL/KIPPES 2006]. Vorteile bieten diese Anlagen generell aus Gründen der verbesserten Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter sowie der Reduktion von Unfallgefahren, da Ein- und Aussteigen sowie alle Arbeiten zum Befüllen des Fahrzeugs witterungsgeschützt erfolgen.

2.6 Erforderliche Streustofflagerkapazitäten

Die Richtlinien für die Anlage von Meistereien (RAM) [BMVI 2014] enthalten nur pauschale Vorgaben für die Größe einer Streustoffhalle. Gemäß Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen [FGSV 2010] wird die erforderliche Lagerkapazität einer Meisterei aus dem Streustoffbedarf an Volleinsatztagen, multipliziert mit Lieferfrist zzgl. Zeitpuffer für das Auslösen der Nachbestellung und für eine Versorgungssicherheit ermittelt. Eine regionale Differenzierung erfolgt nicht, da der Streustoffbedarf je Volleinsatztag bundesweit generell gleich ist. Auch im Strategiepapier „Optimierung der Salzversorgung bei extremer Winterwitterung, Teil: Maßnahmen zur Vermeidung eines Salznotstands“ [Länderfachgruppe Straßenbetrieb 2011] wird weiterhin für die Bemessung der Lagerkapazitäten vom Streustoffbedarf je Volleinsatztag ausgegangen, wobei nach Mindestlagerkapazität je Meisterei und überregional erforderlicher Gesamtlagerkapazität unterschieden wird. Die Mindestlagerkapazitäten je Meisterei sind bundesweit in gleichem Maße erforderlich, da sie zur Abdeckung extremer Witterungsverläufe erforderlich sind, wie sie theoretisch im gesamten Bundesgebiet auftreten können. Für die überregional erforderliche Gesamtlagerkapazität können neben den Lagerkapazitäten der Meistereien auch zentrale Pufferlager genutzt werden. Empfohlen wird eine Differenzierung der Gesamtlagerkapazitäten nach Höhenlage und winterlicher Witterung.

Um eine anforderungsgerechte und regional differenzierte Dimensionierung der Salzlagerkapazitäten zu ermöglichen, wurde in den zwei FE-Projekten 04.0243/2011/LRB „Kennzahlen im Betriebsdienst – KENNBET“ [HOLLDORB/STREICH 2013] und 04.0288/2015/KRB „Konzeption bedarfsge rechter Tausalz lagerkapazitäten – TAUSALA“ [HOLLDORB et.al. 2016] ein neues Bemessungsmodell entwickelt und in dem „Leitfaden für die Dimensionierung von Tausalz lagerkapazitäten – Leit-

faden TAUSALA“ [BMVI 2019] für die praktische Anwendung umgesetzt.

Grundlage des neuen Bemessungsmodells ist die Anforderung, dass für alle Meistereien eine möglichst gleiche Versorgungssicherheit erreicht wird. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass das Restrisiko, dass die vorhandene Streustofflagerkapazität nicht ausreicht, in allen Meistereien gleich ist, unabhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Witterungsszenarien. Somit kann in Abhängigkeit eines angesetzten Restrisikos die erforderliche Lagerkapazität bestimmt werden. Dieser Ansatz ermöglicht es, die regional unterschiedlichen winterlichen Witterungsverläufe in Deutschland zu berücksichtigen, gleichzeitig aber für alle Meistereien eine gleiche Versorgungssicherheit zu erzielen. Auf Grundlage ermittelter volkswirtschaftlicher Kosten infolge eines unzureichenden Winterdienstes bei geringerer Versorgungssicherheit wurde die maximale Versorgungssicherheit im Leitfaden TAUSALA zugrunde gelegt. [HOLLDORB/ STREICH 2013] [HOLLDORB et.al. 2016] [BMVI 2019]

Neben der maximalen Versorgungssicherheit ist für die Dimensionierung der Salzlagerkapazitäten auch das Lager- und Logistikkonzept maßgebend. Hierbei kann nach ausschließlicher Nutzung von meistereibezogenen Salzlagern sowie einer differenzierten Lagerung auf Meistereien und zusätzlich in Puffer- und Zentrallagern unterschieden werden. Diese Puffer- und Zentrallager haben in der Regel weitgehend größere Lagerkapazitäten als die Lager der Meistereien und sind entweder angemietet oder spezifische Sonderlösungen. Winterdienstfahrzeuge werden bei diesen nicht direkt beladen. Die Dimensionierung der erforderlichen Salzlagerkapazität einer Meisterei hängt gemäß Leitfaden TAUSALA somit vom Lager- und Logistikkonzept ab. [HOLLDORB et.al. 2016] [BMVI 2019]

Grundlage des Leitfadens TAUSALA sind bundesweit festgelegte Bemessungswerte für den Streustoffbedarf bzw. die Tausalzlerkapazität je m² Streufläche. Diese Bemessungswerte resultieren aus den Auswertungen der vorliegenden Klimadaten im Rahmen der beiden FE-Vorhaben und sind im Leitfaden TAUSALA in Form von drei Karten in DIN A4 aufgenommen. Ein Beispiel ist in Bild 3 dargestellt.

Mithilfe des Bemessungswertes und der anzusetzenden Streufläche lässt sich der absolute Streustoffbedarf bzw. die Tausalzlerkapazität berech-

nen. Im Bemessungsmodell werden Betreuungs- und Gewichtungsfaktoren für folgende Einflussgrößen berücksichtigt [HOLLDORB et.al. 2016]:

- Straßenklasse
- Erhöhter Streustoffbedarf auf Deckschichten mit offenporigem Asphalt
- Erhöhter Streustoffbedarf auf winterdienstintensiven Abschnitten mit verkürzter Räumschleife, z. B. in Steigungsstrecken und Kammlagen
- Reduzierter Streustoffbedarf für Stand- und Seitenstreifen, für die keine temporäre Verkehrsfreigabe vorgesehen ist
- Reduzierter Streustoffbedarf für Durchfahrten von Park- und Rastanlagen
- Reduzierter Streustoffbedarf bei Einsatz von FS 100

Zur einfachen Anwendung des Leitfadens TAUSALA wurden fünf Formblätter A bis E als Teil des Leitfadens entwickelt. Darüber hinaus wurde für die praktische Anwendung auch ein DV-gestütztes Bemessungstool in VBA in der Tabellenkalkulationsanwendung Excel[®] von Microsoft implementiert. Der Entwurf des Leitfadens und das Bemessungstool wurden den Straßenbauverwaltungen der Länder zur Verfügung gestellt und finden in der Praxis vielfach Anwendung.

Im Leitfaden TAUSALA wird der Gesamtsalzbedarf berücksichtigt, der als Trockenstoff bzw. als Feststoffanteil in der Sole benötigt wird. Dieser ist anzusetzen, wenn die Sole auf der Meisterei in einer Salzlöseanlage hergestellt wird. Wird hingegen Sole gebrauchsfertig oder konzentriert angeliefert, reduziert sich die Streustofflagerkapazität gemäß Leitfaden TAUSALA.

Die Dimensionierung der Streustofflager ist auch unter der Berücksichtigung der vermehrten Sole-sprühung (FS 100) zu betrachten. Diese Entwicklung der letzten Jahre ist sowohl in Deutschland als auch international zu erkennen [HANKE 2017]. Dies hat insbesondere zur Folge, dass ausreichende Mengen an Salzlösung zu jeder Zeit während der Wintermonate zur Verfügung stehen müssen. Im Regelfall werden hierzu Salzlöseanlagen zur flexiblen und bedarfsabhängigen Herstellung von Salzlösungen vor Ort am Meistereigehöft oder am Stützpunkt eingesetzt. Für die Dimensionierung von Salzlöseanlagen und Soletanks auf Meistereien sind in den „Hinweisen zur Herstellung und Lage-

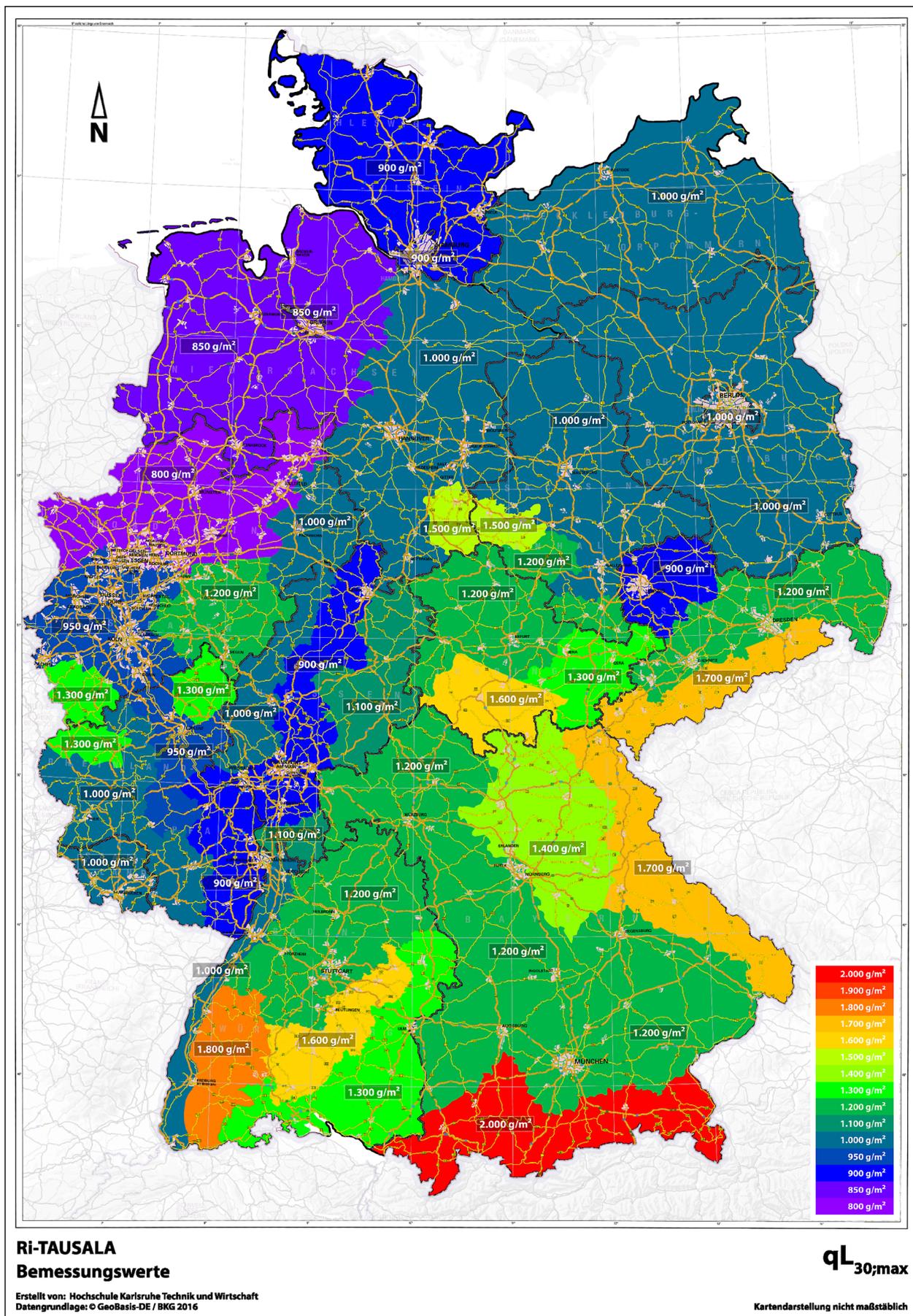


Bild 3: Bemessungswerte qL_{30;max} als Beispiel für die Bemessungswerte gemäß Leitfaden TAUSALA [BMVI 2019]

„Optimierung der Salzversorgung bei extremer Winterwitterung, Teil: Maßnahmen zur Vermeidung eines Salznotstands“ [Länderfachgruppe Straßenbetrieb 2011] auf Soleverbräuchen an Volleinsatztag. Als kritischer Bemessungsfall werden Volleinsätze an drei aufeinanderfolgenden Tagen angesetzt. Es wird differenziert nach Straßenklasse sowie den Bemessungsfällen „FS 30“ und „FS 100“.

Zusammenfassend wird deutlich, dass für die Dimensionierung der Salzlagerkapazitäten auf den Meistereien ein differenziertes Bemessungsmodell vorliegt und vielfach auch in der Praxis angewendet wird. Für die Dimensionierung der Solelager und Salzlöseanlagen liegen ebenfalls Bemessungswerte vor. Aussagen zur technischen Umsetzung der notwendigen Lagerkapazitäten werden in diesen Regelwerken jedoch nicht getroffen.

2.7 Integration in den Prozessablauf Winterdienst

2.7.1 Einlagerung der Streustoffe

Damit für Winterdienstseinsätze stets ausreichende Mengen an Streustoffen zur Verfügung stehen, sind vor der Winterdienst-Saison als auch während des Winters Streustoffe einzulagern.

Trockensalz wird geschützt vor Witterungseinflüssen entweder in Hallen, Silos bzw. Kombinationsanlagen gelagert (s. Kapitel 2.2, 2.3 und 2.5). Bei der Beschaffung von Streustoffen sind die Vorgaben gemäß den „Hinweisen für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst - H BeStreu“ [FGSV 2017] zu beachten.

Bei Einlagerung von Trockensalz in Streustoffhallen können Lastzüge mit Kippmulden eingesetzt werden. Das Salz wird nach dem Abkippen mit Radladern oder in seltenen Fällen mit Streustoffförderbändern in der Streustoffhalle entsprechend verschoben. Damit kann die Einlagerung von geliefertem Salz zeitsparend erfolgen. Wenn eine Streustoffhalle nur von einer Seite beschickt werden kann, bleiben regelmäßig Salzreste im hinteren Hallenbereich liegen, da eine Anlieferung so gut wie nie bei vollkommen leerer Halle erfolgt. Während der Anlieferung des Salzes ist das Tor blockiert und

es können keine Winterdienstfahrzeuge beladen werden.

Zur Einlagerung von Trockensalz bei Silos werden in der Regel spezielle Silofahrzeuge zum pneumatischen Befüllen eingesetzt. Nach CYPRA et al. [2006] ist zu beachten, dass zum Befüllen mit 25 t Salz etwa 45 bis 60 Minuten für Standardsilos benötigt werden, bei größeren Silos bis 300 t (Höhe ca. 25 m) mit Beladungszeiten über einer Stunde zu rechnen ist. Während der Wintermonate kann dies bei Nachbestellungen aufgrund begrenzter Fahrzeugkapazitäten eventuell zu Engpässen führen.

Es besteht weiterhin die Möglichkeit, die Einlagerung von Salz in Silos mit Streustoffhallen zu kombinieren. Dafür wird der Streustoff aus der Halle entnommen und über eine Förderanlage in das Silo transportiert. Vorteil ist, dass die Streustoffsilos jederzeit unabhängig von der Verfügbarkeit spezieller Silofahrzeuge nachgefüllt werden können und somit im Winterdienst jederzeit zum Beladen der Winterdienstfahrzeuge zur Verfügung stehen. Zu beachten ist, dass für eine solche Kombination entsprechende Platzverhältnisse auf dem Gehöft vorhanden sein müssen.

2.7.2 Beladung von Winterdienstfahrzeugen

Zur Vermeidung von Verlustzeiten beim Beladen von Fahrzeugen im Winterdienst sind die Anlagenteile zur Lagerung der Streustoffe prozessorientiert anzuordnen [BMVI 2014]. Bei der Beladung von Winterdienstfahrzeugen unterscheidet man die Beladung mit Trockensalz und von Sole. Nach dem Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst (MK 6a) [BMVBW 2004] sind die Möglichkeiten zur gleichzeitigen Beladung von mindestens zwei Winterdienstfahrzeugen mit Salz und Sole anzustreben.

Die Beladung der Fahrzeuge mit Trockensalz kann mit folgenden unterschiedlichen Systemen erfolgen:

- Streustoffsilos
- Radlader
- Streustoffförderband
- Brückenkran (selten)

Bei der Silotechnik fährt der Fahrer zum Beladen unter das Silo und steuert den Beladungsvorgang mittels eines Doppelsegmentschiebers mit Schiebergestänge. Der Beladungsvorgang kann im Ein-

mannbetrieb durchgeführt werden, beim Einsatz von zwei Arbeitern wird der Beladungsvorgang beschleunigt. Der Streustoff kann nahezu verlustfrei verladen werden. Es ist empfehlenswert, die einzelnen Streustoffsilos nacheinander zu entleeren, damit auch beim zeitaufwendigen Befüllen in weiteren Streustoffsilos noch ausreichenden Kapazitäten zur Verfügung stehen. Für ein gleichzeitiges Beladen von mehreren Winterdienstfahrzeugen sollten die Streustoffsilos parallel nebeneinander aufgestellt werden, damit sie unabhängig angefahren werden können. Nach SCHMAUDER et al. [2012] sollten bei reiner Silolagerung mindestens drei Silos auf einem Meistereigehöft aufgestellt werden.

Beim Radlader handelt es sich um ein universelles Lade- und Arbeitsgerät. Daher kann der Radlader auch während des Sommerdienstes durch Bestückung mit verschiedenen Anbaugeräten zu anderen Arbeiten, wie Erdarbeiten im Straßenseitenraum, Verschieben und Verladen von Baustoffen etc., eingesetzt werden. Die Beladung mit einem Radlader und einer Standardschaufel kann vom Fahrer selbst vorgenommen werden, es ist keine zweite Person notwendig. Die Beladungszeit per Radlader ist stark vom Geschick des Fahrers abhängig. Die Ladekapazität der Radladerschaufel ist mit ca. 1 m^3 so ausgelegt, dass mit wenigen Ladevorgängen der Streustoffbunker des Lkw beladen ist. Der Radlader ist gegebenenfalls mit einer Hochkippschaufel, eventuell auch mit Teleskoparm, ausgerüstet, um auch dreiachsige Lkw aufgrund ihrer höheren Ladekante oder Lkw auf der Seite mit einem Seitenpflug ohne Probleme schnell beladen zu können.

Bei einem Streustoffförderband handelt es sich um ein selbstfahrendes Endlosförderband mit Aufnahmeschnecke oder einem Becherwerk. Das Streustoffförderband kann sowohl zur Fahrzeugbeladung als auch zum Einlagern in der Lagerhalle genutzt werden. Außerhalb des Winterdienstes kann es nicht für weitere Aufgaben verwendet werden. Das Streustoffförderband kommt heutzutage immer weniger zum Einsatz und dient in vielen Fällen nur noch als Reserve beim Ausfall eines anderen Beladungssystems oder kommt an Stützpunkten zum Einsatz. Die Beladung mit einem Streustoffförderband muss durch zwei Personen erfolgen. Während eine Person das Förderband bedient, um mit der Aufnahmeeinheit das Trockensalz aus der Streustoffhalde aufzunehmen, muss eine zweite Person das zu beladene Winterdienstfahrzeug während der Beladung rangieren. Der Mitarbeiter an einem Streustoffförderband ohne Fernbedienung be-

findet sich im Gefahrenbereich, insbesondere wenn bei höherer Luftfeuchtigkeit die Rieselfähigkeit reduziert ist und sich Salzwände ausbilden.

Als Streustoffbeladungssystem kommt vereinzelt auch der Brückenkran mit Laufkatze, Seilwinde und Greifer zum Einsatz. Der Brückenkran wird im Einmannbetrieb per Fernsteuerung bedient. Nachdem das Winterdienstfahrzeug in die Lagerhalle gefahren ist, kann der Fahrer von einem Hochstand aus, der für den Überblick über den Beladungsvorgang notwendig ist, den Lkw beladen. Im Gegensatz zum Streustoffförderband befindet sich hier der Arbeiter außerhalb des Gefahrenbereichs. Der Greifer hat im Allgemeinen ein Fassungsvermögen von ca. $0,8$ bis $1,0 \text{ m}^3$. Damit sind zum Beladen eines 5 m^3 Streustoffbunkers mindestens fünf bis sechs Greifvorgänge notwendig. Der Ladevorgang pro Greifvorgang nimmt ca. 2 Minuten in Anspruch, woraus eine Gesamtbeladungszeit von 10 bis 12 Minuten resultiert. Der Greifer entnimmt das Salz von oben an unterschiedlichen Stellen, was einen relativ gleichmäßigen Abbau der Salzhalde ermöglicht und keine größeren Wände entstehen lässt. Ein vollständiger Abbau der Salzhalde ist auf effiziente Weise mit dem Brückenkran nicht möglich, hierzu muss zum Zusammenschieben der Salzreste ein Radlader o. ä. eingesetzt werden. Bei Einsatz eines Brückenkranes müssen Statik und Höhe der Streustoffhalle ausreichend dimensioniert werden.

Durch CYPRA et al. [2006] wurden mittlere Beladungszeiten unterschiedlicher Beladungssysteme mithilfe von Einsatzprotokollen und Vor-Ort-Beobachtungen in fünf Autobahnmeistereien ermittelt. Dabei wurden während zwei Wintern über 1.100 Beladungsvorgänge ausgewertet. Tabelle 4 zeigt die mittleren dabei gemessenen reinen Beladungszeiten unterschiedlicher Beladungssysteme; Angaben zu den Lademengen werden durch CYPRA et al. [2006] nicht gemacht. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Beladungssysteme Radlader und Silotechnik im Mittel etwa gleich schnell sind, aber deutlich kürzere Beladungszeiten als das Streustoffförderband haben. Weiterhin sind bei Berechnungsansätzen der Beladungszeiten entspre-

Beladungstechnik	t_{Mittel} [min]
Streustoffförderband	14
Radlader	5
Silotechnik	4

Tab. 4: Mittlere gemessene reine Beladungszeiten unterschiedlicher Beladungssysteme [CYPRA et al. 2006]

chende Zuschläge für Verlustzeiten anzulegen, da die reinen Beladungszeiten in der Praxis nicht eingehalten werden können.

Untersucht wurde durch CYPRA et al. [2006] auch, inwieweit sich die Gesamtbeladungszeit durch Wartezeiten verlängert, wenn zwei oder mehr Lkw am Gehöft bzw. Stützpunkt gleichzeitig laden müssen, aber die gleichzeitig verfügbaren Ladekapazitäten nicht ausreichen. Die Häufigkeit, dass zwei oder mehr Lkw gleichzeitig am Beladungsort in den untersuchten Meistereien laden wollten bzw. geladen haben, lag hier zwischen 5 und 40 %. Diese Häufigkeit und die sich daraus ergebenden zusätzlichen Wartezeiten waren insbesondere an Stützpunkten, die von mehreren Straßen- und Autobahnmeistereien angefahren werden, jedoch nur über ein Beladungssystem verfügen, besonders hoch.

Neben der Beladung mit Trockensalz hat die Betankung mit Sole einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtbeladungszeit. Durch den vermehrten Einsatz von Sole beim präventiven Winterdienst gewinnt die Betankung der Fahrzeuge mit Sole nochmals an Bedeutung. Des Weiteren ist zu betrachten, inwieweit Trockensalz und Sole gleichzeitig im Winterdienst geladen werden können. Davon abhängig ist zu entscheiden, ob der Soletank neben der Beladungsstelle (Halle/ Silo) aufgestellt sein muss oder ob er unabhängig von der Trockensalzbeladung entfernt platziert sein kann. Zur Minimierung der Betankungszeiten sollten die Salzlöse- und Soleanlagen gemäß dem Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen [FGSV 2010] über eine hohe Pumpenleistung verfügen. Weiterhin sollten die Schläuche und Tankstutzen mit ausreichenden Querschnitten bemessen sein.

Auch SCHMAUDER et al. [2012] haben weiterführende Untersuchungen zu Beladungszeiten im Winterdienst durchgeführt und ein Tool für Zeitdauerberechnungen von Winterdienstbeladungen mit Radlader und Silo entwickelt. Dieses Tool steht auch auf der Homepage der BASt (www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/winterdienstfahrzeuge.html?nn=1817946) zur Verfügung. Die zugrundeliegenden Zeiten der einzelnen Prozessschritte bei der Beladung sind theoretischer Natur auf Grundlage von Zeiten, die für manuelle Tätigkeiten mit dem MTM-Verfahren ermittelt wurden, bei dem jeder Grundbewegung eines Bewegungsablaufs Normzeitwerte zugeordnet werden. Für Prozesszeiten der Fahrzeuge und Geräte stammen die Zeiten größtenteils aus technischen Datenblättern.

Beladungs-system	Konstellationen		
	1 Fahrzeug 1 Person	1 Fahrzeug 2 Personen	2 Fahrzeuge 2 Personen
Radlader	9,8 min	8,3 min	14,8 min
Brückenkran	12,5 min	-	-
Silo	11,3 min	9,4 min	11,3 min

Tab. 5: Zeitvergleich für die Beladung von 5 m³ Trockensalz und 2.200 l Sole [SCHMAUDER et al. 2012]

Da sie nicht von Vor-Ort-Messungen stammen, lassen sich die ermittelten Zeiten nach SCHMAUDER et al. [2012] zwar für die Planung von Systemen zur Winterdienstbeladung einsetzen, sie sind aber nicht dafür geeignet, Ist-Zeiten zu überprüfen oder Arbeitsleistungen vom Personal zu bewerten. Weiterhin sind aus den Ergebnissen in SCHMAUDER et al. [2012] verschiedene Beispiellösungen für den Winterdienst mit Anordnung der Streustofflagerstätten und Beladungssysteme erarbeitet worden.

Im Ergebnis betrachten SCHMAUDER et al. [2012] die Beladung mit dem Streustoffförderband nicht weiter, da zur Beladung zwei Personen notwendig sind. Weiterhin wird herausgestellt, dass der Brückenkran hohe Beladungszeiten aufweist und für eine zeitgleiche Beladung von zwei Fahrzeugen ungeeignet ist. Die ermittelten Zeiten für die betrachteten Konstellationen zeigen, dass der Radlader für die Beladung und Betankung von einem Winterdienstfahrzeug schneller ist als das Silo, da er ein gleichzeitiges Beladen und Betanken ermöglicht. Bei der zeitgleichen Beladung und Betankung von zwei Fahrzeugen ist das Streustoffsilo das schnellste Beladungssystem. In Tabelle 5 ist ein Zeitvergleich für die Beladung eines 5-m³-Trockenstoffbehälters bei unterschiedlichen Konstellationen dargestellt.

Damit kommen SCHMAUDER et al. [2012] zum Schluss, dass aus zeitwirtschaftlichen Gründen eine Kombination von Salzhalle mit Radlader und Silo als Beladungssystem zu empfehlen ist. Es ist hier anzumerken, dass die Ergebnisse von SCHMAUDER et al. [2012] für Meistereigehöfte gelten, nicht jedoch für Stützpunkte.

2.7.3 Füllstandmesssysteme

Sowohl für die einzelnen Meistereien als auch für die zentralen Stellen der Straßenbauverwaltungen sind Kenntnisse über den Füllstand der einzelnen Lagersysteme bei Trockensalz und Sole von Interesse. Insbesondere für die meistereiübergreifende,

vorausschauende Bestellung von Streustoffen während des Winters ist ein aktueller Überblick über die Lagerbestände notwendig, unabhängig ob die Streustoffbestellung zentral oder dezentral erfolgt. Durch automatisierte Füllstandmesssysteme können z. B. Fahrten zur Füllstandkontrolle an Stützpunkten vermieden werden, da die Daten in einer Visualisierungsoberfläche angezeigt werden können.

Bei Füllstandmesssystemen sind folgende Einsatzfälle zu unterscheiden:

- Art des gelagerten Materials
 - Trockensalz
 - Salzlösung
- Art der Lagerungsstätte
 - Streustoffsilo
 - Streustoffhalle
 - Soletank

Für alle Einsatzfälle gibt es verschiedene Messsysteme.

Der Füllstand bei Streustoffsilos kann mit folgenden Messsystemen gemessen werden:

- Mechanische Lotsysteme: Hierbei wird ein Lotgewicht über ein Seilsystem bis auf die Schüttgutoberfläche hinabgelassen. Bei Entleerung des Silos sinkt das Lotgewicht entsprechend weiter nach unten, sofern es nicht zu einer Brückenbildung im Silo kommt. Die Höhenveränderung des Gewichts kann außen am Silo abgelesen werden. Dies ist ein zuverlässiges mechanisches System, welches aber keine Fernübertragung zulässt.
- Wägezellen: Der Füllstand kann über eine Siloverwiegung mittels Wägezellen erfolgen. Hierzu ist es notwendig, alle vier Stützen des Silos auf Wägezellen zu stellen, um präzise Ergebnisse zu erzielen. Es ist ein wartungsfreies System. Eine Nachrüstung von bestehenden Silos ist möglich, aber sehr aufwendig.
- Dehnungsmessstreifen: Beim Einsatz von Dehnungsmessstreifen wird der Füllstand indirekt über die Verformung der Silostützen durch Gewichtsveränderung erfasst. Die aufgeklebten bzw. angeschraubten Dehnungsmessstreifen messen die Ausdehnung bei Entleerung bzw. die Stauchung bei Befüllung des Silos. Um keine

fehlerhaften Ergebnisse durch unterschiedliches Verformungsverhalten einzelner Stützen, z. B. aufgrund von Sonneneinstrahlung, zu erhalten, ist es notwendig, alle vier Stützen mit Dehnungsmessstreifen auszustatten. Die Dehnungsmessstreifen sind vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.

- Radarsensoren: Die Messung mit Radarsensoren erfolgt mit hochfrequenten Radarsignalen, die von einer Antenne abgestrahlt und von der Schüttgutoberfläche reflektiert werden. Die Laufzeit des reflektierten Radarsignals ist proportional zum zurückgelegten Weg, woraus sich der Füllstand berechnen lässt. Die Radarmessung ist unabhängig von Umgebungseinflüssen, wie Salzanhaftungen, Staubbildung bei Silobefüllung oder Temperatureinflüssen. Radarsensoren können sehr einfach auch nachträglich bei Streustoffsilos installiert werden.
- Ultraschallsensoren: Ultraschallsensoren werden im Dachbereich eines Silos verbaut. Die durch den Sensor ausgestrahlten Ultraschall-Impulse werden von der Oberfläche des Schüttgutes im Silo reflektiert und wieder vom Sensor erfasst. Die Impulslaufzeit vom Sensor zur Oberfläche und zurück zum Empfänger wird vom Abstand der Schüttgutoberfläche bestimmt und beschreibt damit den Füllstand. Durch mechanisches Schwingungsverhalten des Sensors gibt es einen Bereich direkt unterhalb des Sensors, in dem keine Impulse empfangen werden können. Die Messung kann auch durch andere Umfeldfaktoren beeinflusst werden.
- Lasermesssysteme: Der Laserstrahl bewegt sich mit einem sehr geringen Abstrahlwinkel zur Schüttgutoberfläche und die reflektierten Signale werden vom Empfänger aufgenommen. Wie bei den anderen berührungslosen Systemen beruht auch das Lasermesssystem in der Regel auf dem Laufzeitverfahren von Wellen zur Ermittlung des Abstands zur Schüttgutoberfläche und damit des Füllstands. Ein weiteres Verfahren zur Distanzmessung bei der Lasermessung ist die Phasenmodulation. Problematisch stellen sich beim Lasermesssystem die Messstörungen bei Staubbildung im Silo dar, wie es z. B. beim Befüllen des Silos vorkommt. Weiterhin wird ein optisches System durch Anhaftungen von Salzaustaub gestört, sodass die Optik bedarfsabhängig gereinigt werden muss.

Bis auf das erste System können alle Systeme über eine Auswerteeinheit lokal visualisiert oder fernüberwacht werden.

Die genaue Ermittlung der eingelagerten Streustoffmenge in einer Streustoffhalle ist komplexer, da andere räumliche Strukturen als bei einem Silo vorliegen und der Streustoff in der Halle ungleichmäßig eingelagert sein kann. Grundsätzlich können folgende Systeme zum Einsatz kommen:

- **Wandmarkierungen:** Mithilfe von Markierungen an der Hallenwand kann die ungefähre Streustoffmenge, die sich in der Streustoffhalle befindet, abgeschätzt werden. Die Markierungen werden weiterhin auch beim Einlagern verwendet, um die maximale Schütthöhe nicht zu überschreiten.
- **Bildauswertung:** Auf Grundlage der bekannten Gebäudegeometrie der Streustoffhalle kann die eingelagerte Streustoffmenge durch Auswertung der Schüttguthaldenränder auf Webcam-Bildern ermittelt werden. Eine solche Auswertung wird in der Regel ein bis zwei Mal pro Tag durchgeführt und in einem Visualisierungsprogramm angezeigt.
- **Radarsensoren:** Der Messung erfolgt in gleicher Weise wie in Streustoffsilos und ist oben beschrieben. Für die Füllstandermittlung in einer Streustoffhalle werden in der Regel zwei Radarsensoren horizontal an der Hallenstirnseite auf mittlerer Schüttguthöhe installiert. Die eingelagerte Streustoffmenge wird unter Berücksichtigung der Hallentiefe durch Mittelung der beiden Abstandsmessungen bestimmt. Im Falle komplizierterer Haldenformen wird die Anzahl der Radarsensoren entsprechend erhöht.

Die Füllstandmessung von Soletanks kann unter Berücksichtigung der Tankgeometrie mit folgenden Messsystemen erfolgen:

- **Radarsensoren:** Der Messung mit Radarsensoren erfolgt mit hochfrequenten Radarsignalen, die von einer Antenne abgestrahlt und von der Flüssigkeitsoberfläche reflektiert werden. Die Laufzeit des reflektierten Radarsignals ist proportional zum zurückgelegten Weg, woraus sich unter Einbeziehung der Tankgröße und -form der Füllstand berechnen lässt.
- **Ultraschallsensoren:** Die durch den Sensor ausgestrahlten Ultraschallimpulse werden von der Oberfläche der Sole im Tank reflektiert und wie-



Bild 4: Beispiel einer Füllstandmessung in einer Salzhalle mit Radarsensoren (Bild: Landesbetrieb für Straßenbau Saarland)

der vom Sensor erfasst. Die Impulslaufzeit vom Sensor zur Oberfläche und zurück zum Empfänger wird vom Abstand der Flüssigkeitsoberfläche bestimmt und beschreibt damit unter Einbeziehung der Tankgeometrie den Füllstand.

- **Hydrostatische Druckmessung:** Für die Füllstandmessung von Soletanks können hydrostatische Druckmessumformer eingesetzt werden. Mit zunehmender Flüssigkeitshöhe nimmt der hydrostatische Druck am Tankboden zu, der vom über dem Tankboden hängenden Drucksensor erfasst wird.

2.8 Rechtliche Rahmenbedingungen

Neben den bereits in den vorangegangenen Kapiteln genannten Regelungen sind beim Bau und Unterhalt von Streustofflagern insbesondere die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [2018] zu beachten. Das WHG enthält Regelungen, um „durch eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen“ [WHG 2018]. Laut § 62, Absatz 3 versteht man unter wassergefährdenden Stoffen „feste, flüssige und gasförmige Stoffe, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen“. Des Weiteren müssen nach § 62 des WHG alle Anlagen zum Abfüllen, Lagern oder Herstellen wassergefährdender Stoffe so gebaut und unterhalten werden, dass durch den Betrieb keine Gewässerschäden entstehen.

Zur Kategorisierung wassergefährdender Stoffe wurden drei Wassergefährdungsklassen (WGK) eingeführt. Diese sind in § 3, Absatz 1 der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [2017] definiert:

- Wassergefährdungsklasse 1: Schwach wassergefährdende Stoffe
- Wassergefährdungsklasse 2: Deutlich wassergefährdende Stoffe
- Wassergefährdungsklasse 3: Stark wassergefährdende Stoffe

Laut § 4, Absatz 1 der AwSV [2017] ist jeder Betreiber einer Anlage, der beabsichtigt in dieser Anlage mit wassergefährdenden Stoffen umzugehen, dazu verpflichtet, diese Stoffe zu kategorisieren. Streusalz bzw. Salzlösungen für den Winterdienst werden der Wassergefährdungsklasse 1 zugeordnet.

Die AwSV [2017] erläutert unter anderem die technischen und organisatorischen Anforderungen an Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. Diese Anlagenteile müssen von anderen abgegrenzt werden und vom Anlagenbetreiber dokumentiert werden. Dazu zählen nicht nur alle Teile, die funktionale und verfahrenstechnische Zusammenhänge haben, sondern auch Flächen, die der Lagerung oder dem regelmäßigen Abstellen wassergefährdender Stoffe dienen. Zur Dokumentation zählen Informationen zum Aufbau der Anlage, zu den eingesetzten wassergefährdenden Stoffen, zur Bauart und zu Werkstoffen einzelner Anlagenteile, zur Sicherheitseinrichtung (z. B. Überlaufschutzrichtungen) und zur Standsicherheit.

Gemäß § 17 der AwSV [2017] müssen Anlagen so geplant und errichtet werden, beschaffen sein und betrieben werden, dass wassergefährdende Stoffe keine Möglichkeit haben, austreten zu können. Außerdem müssen Undichtheiten aller zugehörigen Teile der Anlage, die mit den wassergefährdenden Stoffen in Zusammenhang stehen, schnell ersichtlich sein, damit sie direkt behoben werden können. Des Weiteren müssen laut § 18 der AwSV [2017] Anlagen, die wassergefährdende Stoffe beinhalten, über eine Rückhaltevorrückung verfügen. Auf eine Rückhaltevorrückung kann verzichtet werden, wenn es sich bei der Anlage um eine doppelwandige Anlage handelt. Der Bereich zwischen den beiden Wänden ist hierbei mit einem Sensor auszustatten, der Leckagen in der inneren Wand erkennt und meldet.

Die Auslegung der rechtlichen Rahmenbedingungen für den speziellen Bereich des Winterdienstes und die Infrastruktureinrichtungen auf den Meistereigehöften und Stützpunkten werden in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich gehandhabt. Bei der Planung von Streustofflagern und Salzlöseanlagen sind die jeweils zuständigen unteren Wasserbehörden hinzuzuziehen. Der Betrieb derartiger Anlagen ist anzeigespflichtig, ggf. ist eine Einleitungsgenehmigung der unteren Wasserbehörde erforderlich.

3 Aktuelle Erfahrungen

3.1 Online Umfrage bei deutschen Straßen- und Autobahnmeistereien

3.1.1 Übersicht

Zur Systematisierung der gemachten praktischen Erfahrungen mit den verschiedenen Systemen der Streustofflagerung und -beladung sowie zur Erfassung von Kritik und Verbesserungsvorschlägen auf der Ebene der Straßen- und Autobahnmeistereien ist ein Online-Fragenbogen erarbeitet worden (s. Anhang 1). Insgesamt erfolgten im Zeitraum Juni bis August 2018 447 Rückmeldungen, wovon 399 Beantwortungen aus Deutschland und 48 aus Österreich stammten. Aus Deutschland antworteten 103 Autobahnmeistereien (AM), 19 Straßen- und Autobahnmeistereien (SAM) sowie 277 Straßenmeistereien (SM). Alle Rückmeldungen aus Österreich stammten von Straßenmeistereien verschiedener Bundesländer. Die Auswertungen der Umfrageergebnisse aus Österreich werden im Kapitel 3.2 zusammengefasst bzw. in Anhang 2 dargestellt.

Aufgrund der hohen Anzahl der beteiligten Meistereien können mit den Rückmeldungen repräsentative Aussagen erarbeitet werden. Die Antworten werden separat für Autobahnmeistereien (AM), Straßen- und Autobahnmeistereien (SAM) sowie Straßenmeistereien (SM) analysiert.

Der Fragebogen (s. Anhang 1) besteht aus sieben Fragegruppen verschiedener Themenfelder:

1. Allgemeine Angaben
2. Streustofflagerung am Gehöft
3. Streustofflagerung am Stützpunkt

4. Einsatzerfahrungen und Einsatz von Techniken bei der Streustofflagerung
5. Beladungssysteme
6. Salzlösung
7. Umweltaspekte bei Streustofflagerung und -beladung

3.1.2 Streustofflagerung am Gehöft

Bei der Frage der Art der Salzlagerung am Gehöft konnten mehrere Antworten ausgewählt werden. Fast 95 % aller Meistereien, unabhängig ob AM, SAM oder SM, lagern die Streustoffe in Streustoffhallen. Rund 41 % der Autobahnmeistereien, knapp 53 % der Straßen- und Autobahnmeistereien sowie gut 26 % der Straßenmeistereien nutzen auch Streustoffsilos zur Lagerung. Bild 5 zeigt differenziert, ob das Streustoffsilo nur zur Fahrzeugbeladung, nur zur Beschickung der Salzlöseanlage oder für beide Funktionen eingesetzt wird. In Autobahnmeistereien (8,7 %) bzw. in Straßen- und Autobahnmeistereien (26,3 %) wird das Streustoffsilo per Fördersystem von der Streustoffhalle aus befüllt. Bei den Straßenmeistereien ist das selten der Fall (3,6 %). In der Umfrage gab es nur eine Rückmeldung für den Einsatz einer Self-Service-Anlage / Integrierten Kompakt-Lagerhalle, wobei es sich in dem Fall um eine normale Streustoffhalle handelt.

Bei der Betrachtung der Art der Solelagerung ist festzustellen, dass es nur sehr vereinzelt Straßenmeistereien gibt, die keine Sole am Gehöft lagern. Mehrheitlich ist bei allen Meistereitypen eine Solelagerung mit eigener Soleherstellung vorhanden (s. Bild 6), rund 74 % bei den AM und 60 % bei den SM. Bei den Straßenmeistereien wurde teilweise mit „Sonstiges“ geantwortet. Kommentare dazu sind, dass am Gehöft Sole nur verdünnt wird, die Anlage defekt ist oder die Herstellung bei einer anderen Meisterei erfolgt.

Die Lagerkapazitäten von Trockensalz am Gehöft sind bei allen Meistereitypen mehrheitlich nicht größer als 1.000 m³; Bei den Autobahnmeistereien sind dies gut die Hälfte und bei den Straßenmeistereien sind es knapp drei Viertel. Nur wenige Meistereien (12,7 % bei AM, 5,6 % bei SAM und 5,1 % bei SM) haben Lagerkapazitäten am Gehöft, die größer als 2.000 m³ sind (s. Bild 7).

Bei der Solelagerung am Gehöft (s. Bild 8) liegen die Kapazitäten in 81 % der Straßenmeistereien bei

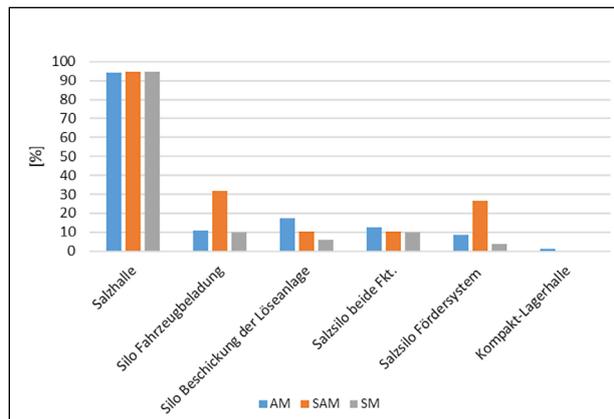


Bild 5: Art der Salzlagerung am Gehöft (Mehrfachnennungen möglich)

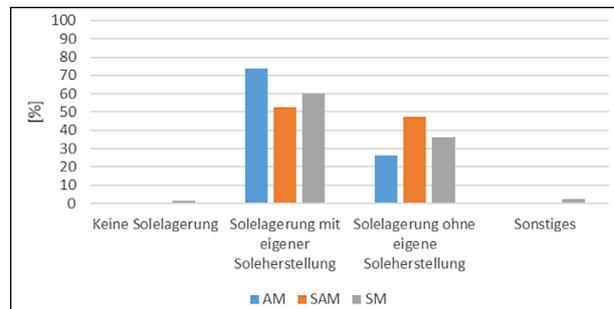


Bild 6: Art der Solelagerung am Gehöft

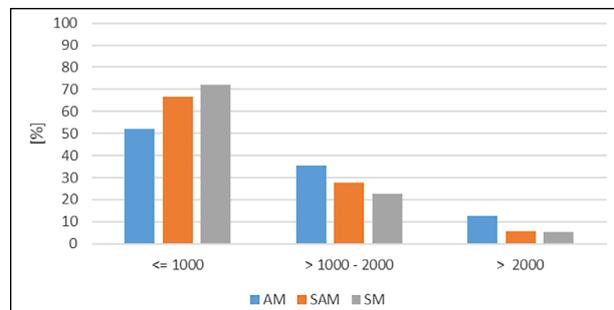


Bild 7: Ungefähre Lagerkapazität von Trockensalz in m³ am Gehöft

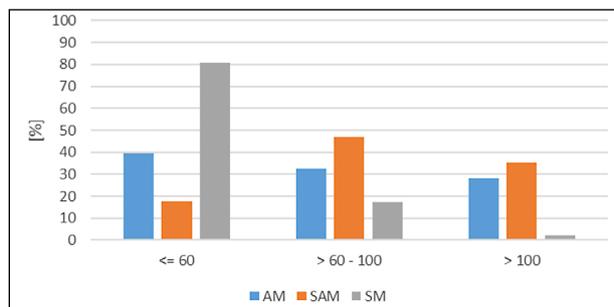


Bild 8: Ungefähre Lagerkapazität von Sole in m³ am Gehöft

maximal 60 m³. Bei den Autobahnmeistereien sind häufig größere Lagerkapazitäten von Sole am Gehöft vorhanden: Etwa ein Drittel der Lagerkapazitäten liegen zwischen 60 und 100 m³ und weitere 28 % der Autobahnmeistereien haben Lagerkapazi-

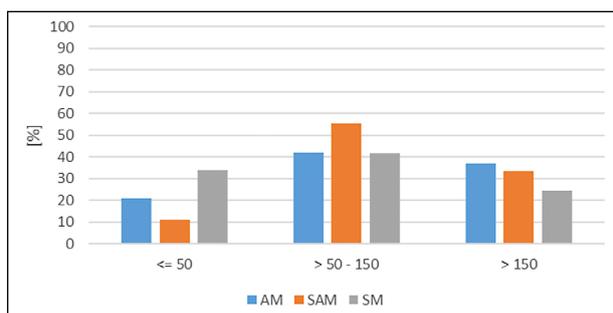


Bild 9: Kapazität des größten Streustoffsilos in m³ am Gehöft

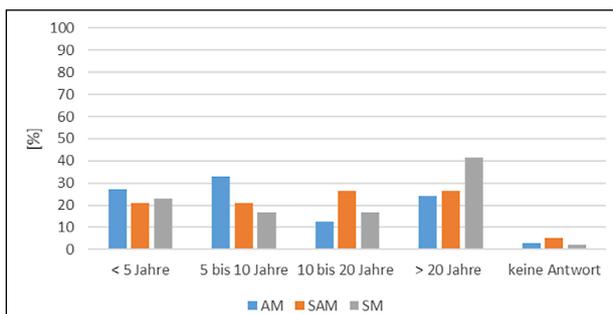


Bild 10: Alter des neuesten Lagersystems (Halle, Silo etc.) am Gehöft

täten, die über 100 m³ betragen. Ein Grund der höheren Lagerkapazitäten von Sole bei Autobahnmeistereien ist sicherlich der vermehrte Einsatz der FS 100 – Streutechnologie.

Die jeweils größten Silos sind, wie man Bild 9 entnehmen kann, mehrheitlich bei allen Meistereitypen Streustoffsilos zwischen 50 und 150 m³. Der Anteil der sehr großen Silos über 150 m³ ist bei Autobahnmeistereien mit 37 % deutlich größer als bei Straßenmeistereien (25 %). Bei AM sind dies meistens Silos mit Größen zwischen 250 und 400 m³.

Es wurde auch das ungefähre Alter des neuesten Lagersystems (Halle, Silo etc.) am Gehöft abgefragt. Hier zeigt Bild 10 eine relativ homogene Verteilung für AM und SAM. Es wird aber auch deutlich, dass bei Straßenmeistereien die neuesten Lagersysteme in über 41 % der Fälle über 20 Jahre alt sind.

3.1.3 Streustofflagerung am Stützpunkt

Bei der Frage der Art der Salzlagerung am Stützpunkt werden in Bild 11 bis Bild 16 nur die Antworten der Meistereien dargestellt, die einen oder mehrere Stützpunkte haben. Rund 30 % der Meistereien gaben an, keinen Stützpunkt in ihrem Betreuungsgebiet zu unterhalten. Bei den verbleibenden Meistereien haben 80 % der AM und SM Streustoff-

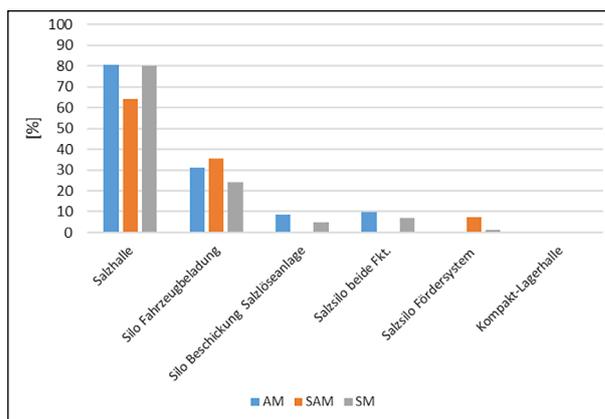


Bild 11: Art der Salzlagerung am Stützpunkt

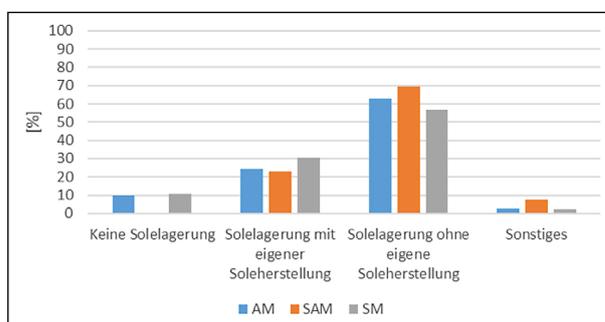


Bild 12: Art der Solelagerung am Stützpunkt

hallen am Stützpunkt, bei den SAM sind es 64 %. Rund 50 % der Autobahnmeistereien, knapp 36 % der Straßen- und Autobahnmeistereien sowie 36 % der Straßenmeistereien nutzen auch Streustoffsilos zur Lagerung an den Stützpunkten. Bild 11 zeigt differenziert, ob das Streustoffsilosilo nur zur Fahrzeugbeladung, nur zur Beschickung der Salzlösanlage oder für beide Funktionen eingesetzt wird. Streustoffsilos, die per Fördersystem von der Streustoffhalle aus befüllt werden, spielen an Stützpunkten keine Rolle. In der Umfrage gab es eine Rückmeldung für den Einsatz einer Self-Service-Anlage / Integrierten Kompakt-Lagerhalle am Stützpunkt.

Bei der Betrachtung der Art der Solelagerung (s. Bild 12) ist festzustellen, dass es bei 10 % der Straßen- als auch Autobahnmeistereien keine Solelagerung an einem Stützpunkt gibt. Im Gegensatz zur Situation an den Gehöften findet man bei den Stützpunkten bei allen Meistereitypen mehrheitlich eine Solelagerung ohne Herstellung vor Ort vor. Nur in rund einem Viertel der Fälle findet an den Stützpunkten eine eigene Soleherstellung statt. In der Regel wird die Sole im Meistereigehöft hergestellt und dann durch Meistereipersonal zu den Stützpunkten geliefert.

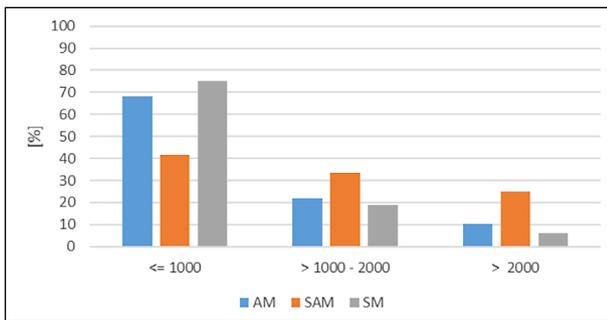


Bild 13: Ungefähre Lagerkapazität von Trockensalz in m³ am Stützpunkt

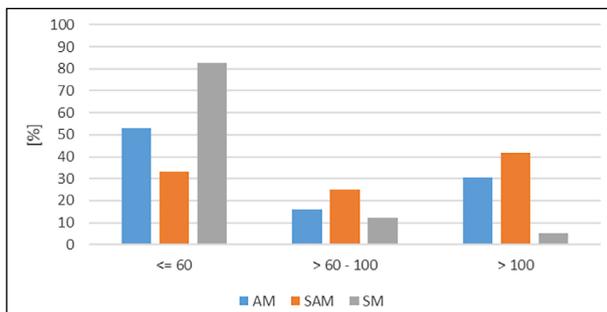


Bild 14: Ungefähre Lagerkapazität von Sole in m³ am Stützpunkt

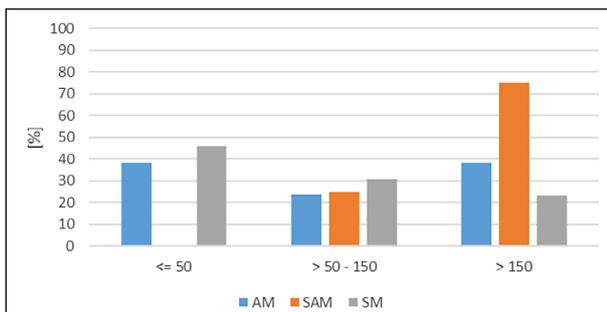


Bild 15: Kapazität des größten Streustoffsilos in m³ am Stützpunkt

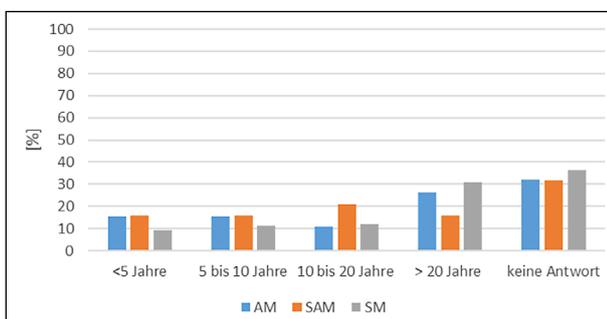


Bild 16: Alter des neuesten Lagersystems (Halle, Silo etc.) am Stützpunkt

Die Lagerkapazitäten von Trockensalz an den Stützpunkten sind bei rund drei Viertel der AM und SM nicht größer als 1.000 m³. Nur wenige Meistereien (10,1 % bei AM, 25 % bei SAM und 6,2 % bei SM) haben Lagerkapazitäten an den Stützpunkten, die größer als 2.000 m³ sind (s. Bild 13).

Bei der Solelagerung an den Stützpunkten liegen die Kapazitäten in 83 % der Straßenmeistereien bei maximal 60 m³ (s. Bild 14). Auch bei den Autobahnmeistereien sind über die Hälfte der Stützpunkte mit maximal 60 m³ Lagerkapazität ausgestattet. Bei etwa einem Drittel der Autobahnmeistereien sind Lagerkapazitäten von über 100 m³ Sole vorhanden. Dies ist bei Straßenmeistereien nur in Einzelfällen festzustellen. Da an den Stützpunkten in der Regel nur nachgeladen wird, sind dort im Vergleich zum Gehöft wesentlich geringere Lagerkapazitäten notwendig.

Die Größe des größten Silos an Stützpunkten ist, betrachtet über alle Meistereitypen, sehr unterschiedlich (s. Bild 15). Bei dieser Frage ist allerdings zu beachten, dass es in diesem Fall nur sehr wenige Rückmeldungen gab (29 % bei AM, 21 % bei SM) und daher keine repräsentative Aussage für diesen Punkt gemacht werden kann.

Im Vergleich zu den Rückmeldungen zum Alter des neuesten Lagersystems am Gehöft (s. Bild 10) fallen für den Bereich des Alters der neuesten Lagersysteme an den Stützpunkten (s. Bild 16) zwei Dinge deutlich auf. Zum einen gab rund ein Drittel der Teilnehmer zu dieser Frage keine Antwort. Zum anderen ist festzustellen, dass bei den Stützpunkten auch bei den Autobahnmeistereien die Lagersysteme insgesamt älter sind. Bei 31 % der AM sind die neuesten Lagersysteme älter als 20 Jahre.

3.1.4 Einsatzerfahrungen und Einsatz von Techniken bei der Streustofflagerung

Mit einer permanenten Überwachung der Füllstände bzw. mit zentraler Kenntnis, welche Streustoffmengen an den Meistereigehöften und Stützpunkten noch vorhanden sind, besteht die Möglichkeit, ein Salzmanagement-System zu betreiben bzw. drohende Engpässe vorausschauend durch frühzeitige Nachlieferungen zu vermeiden.

Daher wurde zum einen gefragt, ob für die Trockensalzlagerung in der Streustoffhalle eine Füllstandmessung vorhanden ist. Die Rückmeldungen zeigen deutlich, dass über alle Meistereitypen hinweg in rund 90 % der Fälle kein Messsystem vorhanden ist. In wenigen Einzelfällen gibt es in den Meistereien eine Füllstandüberwachung per Bildauswertung oder ein anderes System (s. Bild 17). Hierbei war in der Regel eine Markierung an den Wänden in der Streustoffhalle gemeint.

Bei der automatischen Füllstandmessung im Streustoffsilo (s. Bild 18) stellt sich die Sache anders dar, da eine technische Umsetzung der Füllstandmessung im Silo einfacher ist. Hier haben nur noch 39 % der AM, 44 % der SAM und 51 % der SM keine Füllstandmessung. Neben dem System mit Wägezellen kommt in der Regel eine Radarmessung oder ein mechanisches Seilsystem (Kommentare aus „Ja, anderes System“) zum Einsatz.

Von besonderem Interesse sind auch praktische Erfahrungen mit innovativen Streustofflagersystemen, welche von Standard-Lagersystemen (rechteckige Streustoffhalle mit einem Tor ohne spezielle Ladesysteme) abweichen, um ggf. Ansätze daraus für zukünftige Empfehlungen zur Konzeption von

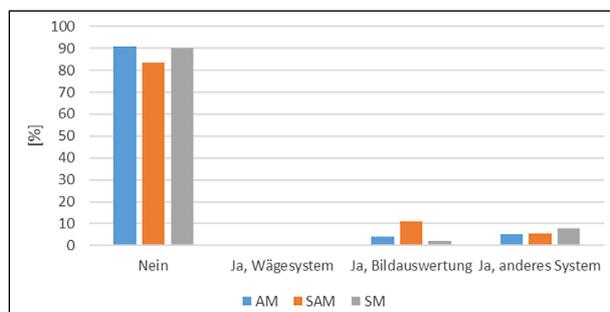


Bild 17: Füllstandüberwachung von Trockensalz in der Streustoffhalle

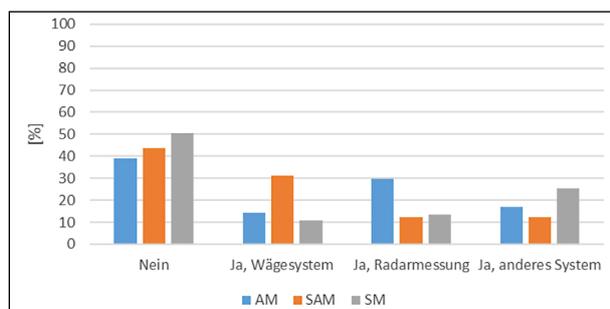


Bild 18: Füllstandmessung von Trockensalz im Streustoffsilo

Streustofflagerstätten zu übernehmen. Aus der Umfrage gab es u. a. folgende Rückmeldungen, wobei der Einsatz einer Rundhalle und eine Halle mit zwei Hallentoren an den Stirnseiten am häufigsten genannt wurden:

- Einsatz einer Rundhalle bzw. 8-Eck-Halle
- Streustoffhalle mit 2 Hallentoren
- Rechteckige Halle mit einem Tor in der Längsseite (s. Bild 19)
- Streustoffhalle mit Möglichkeit, 3 Fahrzeuge gleichzeitig mit Sole zu betanken
- Streustoffhalle mit Hallentoren mit 9 m Höhe (Dadurch können die Liefer-Lkw mit komplett aufgestellter Kippmulde bis an den Hallenrand vorfahren.)
- Salzbunker. Hier wurde die Salzlagerstätte an die Geländeform angepasst, sodass der Bunker von oben beschickt wird und von unten das Salz via Radlader geladen wird.
- Pneumatische Beschickung eines 200 m³ Hochsilos von der Streustoffhalle (1.400 t) aus über Abwurfschacht mit Radlader

Sowohl bei einer Rundhalle als auch bei einer rechteckigen Halle mit einem Tor in der Längsseite (s. Bild 19) besteht der Vorteil, dass die Bereiche der Neueinlagerung von Salz und die der Entnahme stets unterschiedlich sind, sodass keine alten Salzlagerreste in der Streustoffhalle entstehen können. Weiterhin von Vorteil ist, dass über die Zeit hinweg alle Bereiche der Halle einmal freigelegt sind, sodass dort die Hallenkonstruktion geprüft und ggf. gewartet oder repariert werden kann.

Für einen effizienten Winterdienst ist es wichtig, Verlustzeiten zu minimieren. Dazu gehören die Be-



Bild 19: Streustoffhalle mit einem Tor in der Längsseite (Bild: AM Herford)



Bild 20: Schnellkupplung für tropffreies Betanken der Sole
(Bild: AM Inning)

ladungszeiten der Winterdienstfahrzeuge. In der Umfrage wurden die Teilnehmer gefragt, ob vom Standard abweichende, effiziente Beladesysteme zum Einsatz kommen oder Anpassungen durchgeführt wurden, welche die Abläufe im Winterdienstbetrieb optimiert haben. Hier gab es u. a. folgende Rückmeldungen:

- Gleichzeitiges Beladen Trockensalz und Sole
- Einsatz von Schnellkupplungen beim Sole-Tanken
- Einsatz von leistungsstärkeren Pumpen bei Solebeladung
- Einsatz von Teleskopladern
- Einsatz eines großen Radladers

Neben dem häufigen Einsatz von Radladern wurde auch vermehrt der Einsatz von Teleskopladern genannt. Danach wurde mehrfach das gleichzeitige Beladen von Trockensalz und Sole als effizientes Beladesystem gemeldet. Beim Sole-Tanken kommen mehrheitlich Schnellkupplungen mit Abreißsystem zum Einsatz (s. Bild 20). Durch die Vorrichtung ist ein schnelles und vor allem tropffreies Befüllen mit Sole möglich.

Anlagenteil	AM	SAM	SM
Streustoffhalle	1,6	1,6	1,7
Streustoffsilo	2,6	2,3	2,5
Salzlöseanlage	3,2	3,8	3,4
Beladegeräte	2,4	2,6	2,8
Fördertechnik	3,1	3,6	3,5

Tab. 6: Durchschnittliche Bewertung des Wartungsaufwandes (1 = gering bis 5 = hoch)

Anlagenteil	AM	SAM	SM
Streustoffhalle	1,6	1,5	1,8
Streustoffsilo	2,2	2,1	2,5
Salzlöseanlage	2,8	3,1	3,0
Beladegeräte	2,5	2,4	2,8
Fördertechnik	2,9	3,6	3,2

Tab. 7: Durchschnittliche Bewertung der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit (1 = selten / keine teuren Schäden bis 5 = häufig / teure Schäden)

Für die Gesamtbeurteilung der eingesetzten Techniken bei der Streustofflagerung ist auch die Betrachtung des Wartungsaufwandes sowie die Qualität und Dauerhaftigkeit der verschiedenen Anlagenteile wichtig. Hierbei wurden folgende Anlagenteile beurteilt:

- Streustoffhalle
- Streustoffsilo
- Salzlöseanlage
- Beladegeräte
- Fördertechnik (Becherwerk, pneumatische Förderung, Schnecke etc.)

Bezüglich des Wartungsaufwandes (Reinigung / Instandsetzung) konnten die einzelnen Anlagenteile auf einer Skala von 1 (geringer Aufwand) bis 5 (hoher Aufwand) beurteilt werden. Tabelle 6 zeigt, dass die Beurteilung der einzelnen Anlagenteile bzgl. des Wartungsaufwandes, dargestellt als durchschnittliche Bewertung, meistereityübergreifend ähnlich ist. Am wartungsintensivsten fallen insbesondere die Salzlöseanlagen und die Fördertechniken auf, da diese Anlagenteile auch am störungsanfälligsten sind.

Weiterhin wurden die einzelnen Anlagenteile bezüglich der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit auf einer Skala von 1 bis 5 beurteilt, wobei 1 für „selten bzw. keine teuren Schäden“ und 5 für „häufig bzw. teure Schäden“ steht. In Tabelle 7 sind die Durchschnittswerte der

Bewertungen für die einzelnen Anlagenteile getrennt nach Meistereityp aufgelistet. Auch hier zeigt sich wie bei der Beurteilung des Wartungsaufwandes eine meistereitypübergreifend ähnliche Bewertung. Ebenso werden auch hier die Anlagenteile Salzlöseanlage und Fördertechnik am schlechtesten beurteilt, d. h. bei diesen Anlagenteilen treten häufiger bzw. teurere Schäden auf als bei den anderen Systemteilen.

3.1.5 Beladungssysteme

Bild 21 zeigt, welche Beladungssysteme zum Einsatz kommen, wobei mehrere verschiedene Beladungssysteme in einer Meisterei genutzt werden können. Der Radlader tritt mit 85,6 % bei den Straßenmeistereien und 89,3 % bei den Autobahnmeistereien aufgrund seines effizienten Beladungsvermögens deutlich hervor, gefolgt vom Einsatz des Streustoffsilos. Streustoffladebänder spielen mit 10,7 % (AM), 17,6 % (SAM) und 22,4 % (SM) nur noch eine untergeordnete Rolle. Dies ist sicherlich auf die hohen Beladungszeiten und dem notwendigen Einsatz von zwei Mitarbeitern zurückzuführen, sodass bei Neubeschaffungen oftmals auf effizientere Beladungssysteme wie einen Radlader umgestellt wird. Auch der Einsatz von Hallenkränen ist nur vereinzelt genannt worden. Unter „Sonstigen Beladungssystemen“ sind als Kommentar Teleskopklader und Gabelstapler genannt worden.

Um Beladungsgeräte, wie Radlader oder Streustoffförderbänder, vor Korrosion und Witterungseinflüssen zu schützen, benötigen Beladungssysteme insbesondere während des Winters geschützte Abstellbereiche. Dies ist bei den Meistereien in der Regel auch der Fall, nur in wenigen Einzelfällen gibt es keinen separaten Unterstand für die Beladungsgeräte (s. Bild 22). Meistens werden die Beladungsgeräte in einer separaten Halle bzw. einem separaten Unterstand abgestellt, in einem Viertel der Meistereien werden die Beladungsgeräte in der Streustoffhalle selbst geparkt. Dies werden in den meisten Fällen die Streustoffförderbänder selbst oder eingesetzte Radlader auf Stützpunkten sein.

Wenn Winterdienstseinsätze in Staffel gefahren werden oder wenn ein Streustofflager von mehreren Meistereien / Kommunen genutzt wird, kommt es regelmäßig vor, dass mehrere Fahrzeuge parallel geladen werden müssen. Bild 23 zeigt, inwieweit auf dem Gehöft die Möglichkeit besteht, das Winterdienstfahrzeuge parallel beladen werden können. Bei rund einem Viertel der Straßenmeistereien ist

eine parallele Beladung von Fahrzeugen im Winterdienst nicht möglich, bei Autobahnmeistereien ist dies nur bei 16 % und bei SAM sogar nur bei 5 % nicht möglich. Bei jeweils etwa einem Drittel der AM ist ein paralleles Beladen von Trockenstoff und Sole gleichzeitig für ein Fahrzeug (da am gleichen Fahrzeugstandort geladen wird) möglich bzw. zwei Fahrzeuge können gleichzeitig mit Sole betankt werden (da zwei Sole-Tankanschlüsse vorhanden sind). In Straßenmeistereien können bei 35 % Trockenstoff und Sole gleichzeitig für ein Fahrzeug geladen und bei 23 % zwei Fahrzeuge gleichzeitig mit Sole betankt werden. Sonstige Kombinationsmöglichkeiten sind im Wesentlichen Varianten, dass mehr als ein Fahrzeug gleichzeitig mit Trockensalz und Sole beladen werden kann bzw. dass die Beladung von zwei Fahrzeugen zwar gleichzeitig stattfindet, die

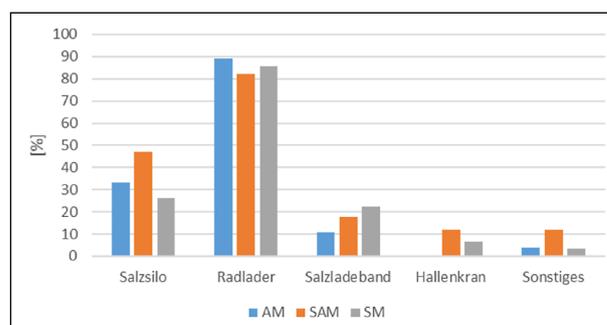


Bild 21: Einsatz von Beladungssystemen (Mehrfachnennungen möglich)

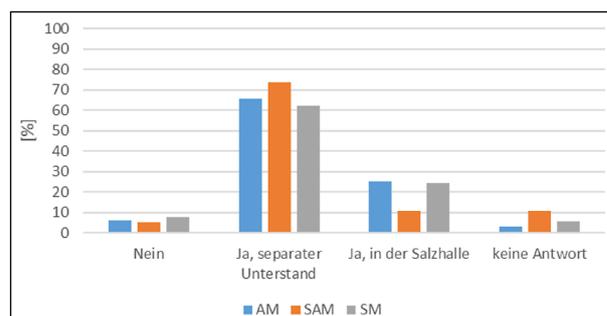


Bild 22: Geschützter Abstellbereich für Beladungsgeräte

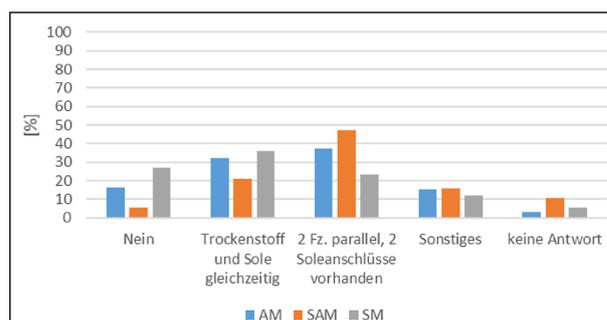


Bild 23: Möglichkeit einer parallelen Beladung von Winterdienstfahrzeugen auf dem Gehöft

Betankung mit Sole und die Beladung mit Trockensalz aber jeweils zeitlich und räumlich versetzt stattfindet.

Bild 24 und Bild 25 zeigen die Einschätzungen der Meistereien, inwieweit es bei der Trockensalzbeladung im Winterdienst zu Wartezeiten kommt, da ein anderes Winterdienstfahrzeug die Beladestelle blockiert. Sowohl bei den Autobahn- als auch bei den Straßenmeistereien ist festzustellen, dass Wartezeiten in etwa 50 % der Fälle häufig bzw. regelmäßig bei Volleinsätzen auftreten. Aus der weiteren Differenzierung bezogen auf die Form der Salzlagerung (nur Streustoffhalle, nur Streustoffsilo, oder beides) am Gehöft wird deutlich, dass bei Vorhandensein von Silos bzw. der Kombination Streustoffhalle / Silo weniger Wartezeiten auftreten und somit

die betrieblichen Abläufe während des Winterdienstes optimiert werden. Die Verfügbarkeit mehrerer Beladestellen ist somit durchaus ein Kriterium, das für zukünftige Meistereikonzeptionen bzw. bei der Planung von neuen Streustofflagern zu berücksichtigen ist.

Nach Einschätzung der Meistereien kommt es auch bei der Solebetankung im Winterdienst in knapp der Hälfte der Meistereien häufig bzw. regelmäßig bei Volleinsätzen zu Wartezeiten, da ein anderes Winterdienstfahrzeug die Beladestelle blockiert (s. Bild 26).

Bei Betrachtung auftretender Wartezeiten bei der Trockensalzbeladung in Autobahnmeistereien differenziert nach Anzahl der Lademöglichkeiten (s. Bild 27) zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit von Wartezeiten am geringsten ist, wenn Trockenstoff und Sole parallel geladen oder mind. zwei Fahrzeuge parallel laden können und zwei Soleanschlüsse vorhanden sind. Ähnliche Tendenzen, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, sind bei den Straßenmeistereien festzustellen (s. Bild 28).

Bei differenzierter Untersuchung der Wartezeiten bei der Solebetankung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung (s. Bild 29) ist dies bei Autobahnmeistereien ebenfalls feststellbar. Meistereien, die keine parallele Beladung ermögli-

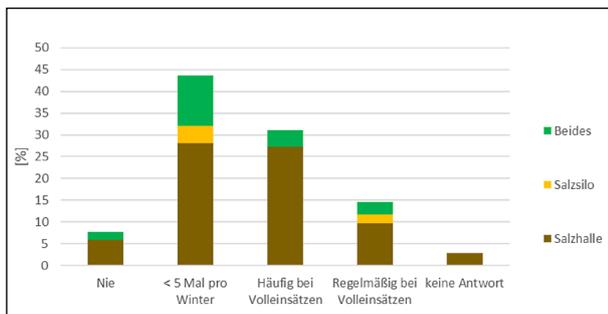


Bild 24: Wartezeiten bei Beladung im Winterdienst bezogen auf die Form der Salzlagerung bei Autobahnmeistereien

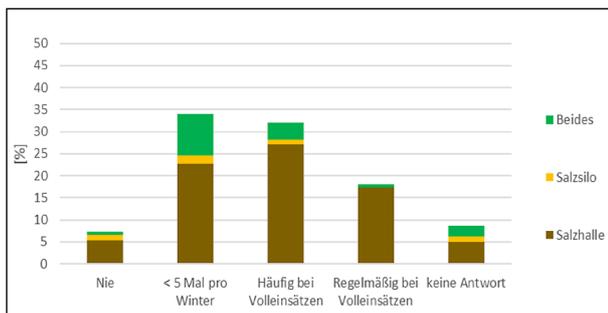


Bild 25: Wartezeiten bei Beladung im Winterdienst bezogen auf die Form der Salzlagerung bei Straßenmeistereien

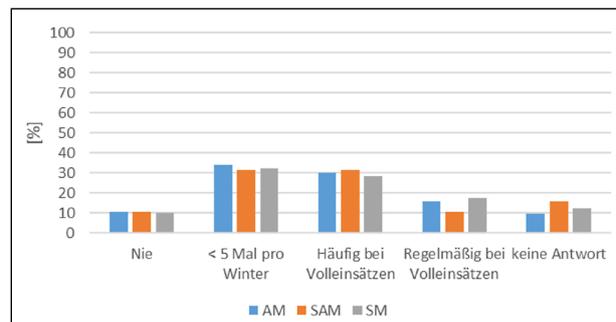


Bild 26: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst

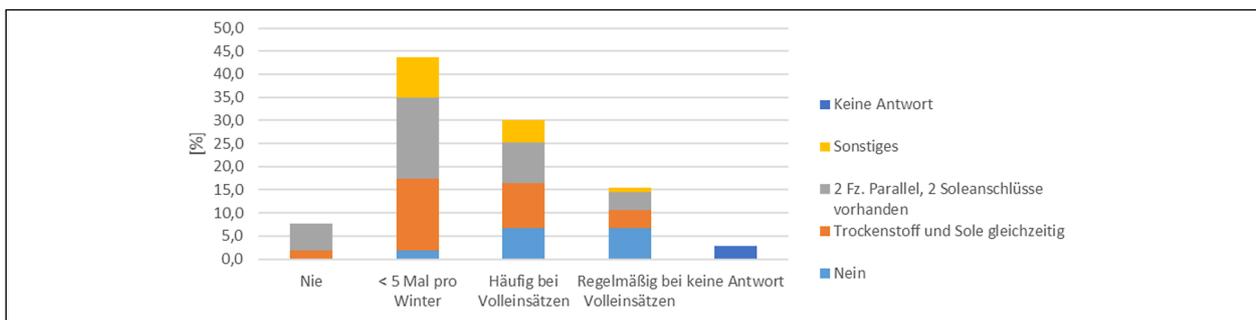


Bild 27: Wartezeiten bei Trockensalzbeladung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Autobahnmeistereien

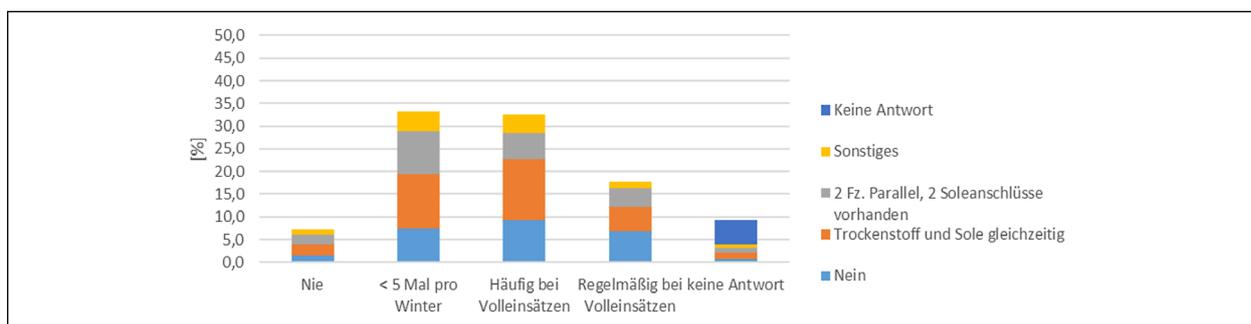


Bild 28: Wartezeiten bei Trockensalzbeladung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Straßenmeistereien

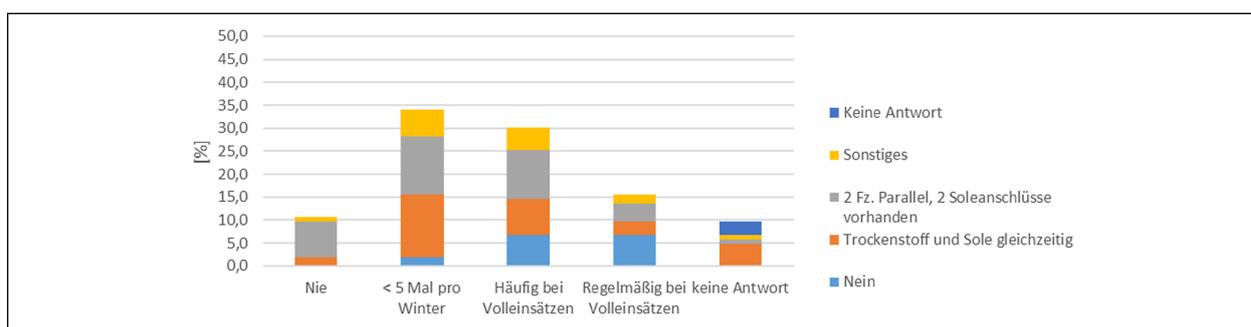


Bild 29: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Autobahnmeistereien

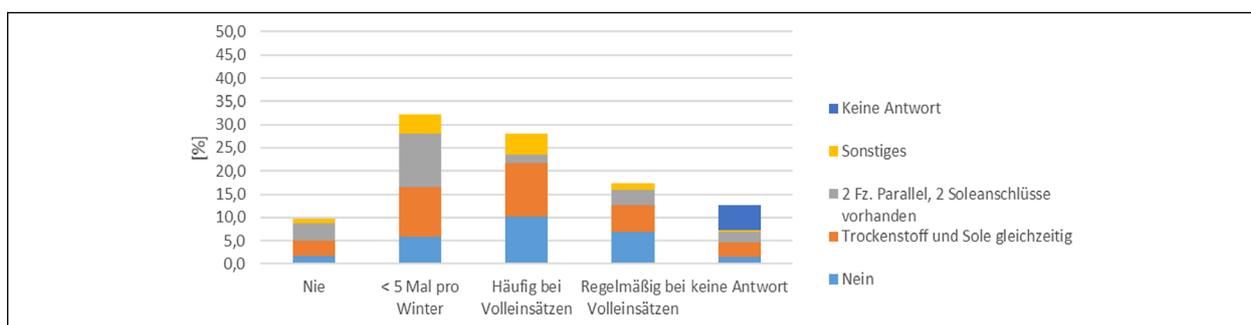


Bild 30: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Straßenmeistereien

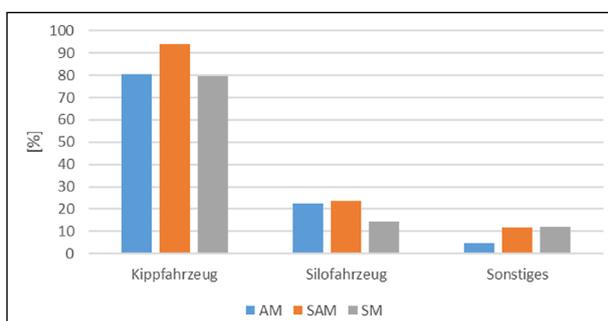


Bild 31: Streustoffanlieferung für Streustoffhallen

chen können, haben häufig oder regelmäßig im Winterdienst das Problem mit Wartezeiten. Bei Straßenmeistereien (s. Bild 30) sind diese Beobachtungen vergleichbar festzustellen.

Streustoffhallen werden in rund 80 % der Fälle mit Kippfahrzeugen mit Streustoffen befüllt (s. Bild 31). In rund 15 bis 20 % der Fälle geschieht das auch mit Silofahrzeugen. Unter „Sonstiges“ wird als wei-

tere Anlieferungsmöglichkeit „Lkw mit Schubboden“ genannt oder aufgrund der örtlichen / baulichen Gegebenheiten muss das Salz vor der Streustoffhalle abgekippt und anschließend mit dem Radlader in der Streustoffhalle eingelagert werden.

3.1.6 Salzlösung

Bei der Betrachtung, welche Arten von Salzlösungen von den Meistereien im Winterdienst eingesetzt werden, ist in Bild 32 deutlich zu sehen, dass in 80 % der Autobahnmeistereien und bei knapp 70 % der Straßenmeistereien Natriumchloridlösung im Winterdienst verwendet wird. Bis auf wenige Einzelfälle kommt ansonsten Magnesiumchloridlösung in den Meistereien zum Einsatz. Der Einsatz von Magnesiumchloridlösung beschränkt sich aber auf Meistereien der Bundesländer Hessen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt.

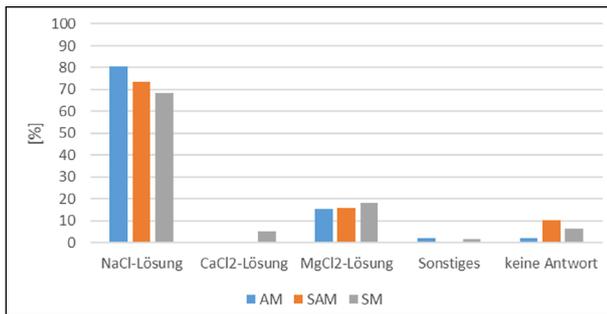


Bild 32: Einsatz von Salzlösungen in Meistereien

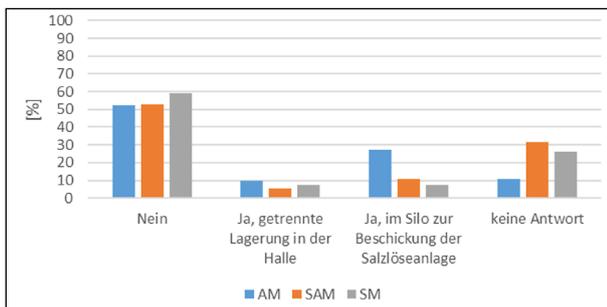


Bild 33: Einsatz unterschiedlicher Salzqualitäten

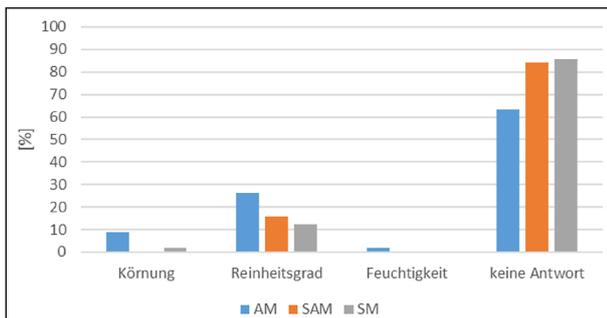


Bild 34: Grund für die Einlagerung verschiedener Salzqualitäten

Wenn das Salz (NaCl) zum einen als Streustoff und zum anderen zur Herstellung von Salzlösung eingesetzt wird, werden mehrheitlich keine unterschiedlichen Salzqualitäten verwendet. Bild 33 zeigt aber auch, dass knapp 30 % der Autobahnmeistereien hochwertigeres Salz im Silo zur Beschickung der Salzlöseanlage lagern. Der Grund dafür ist im Wesentlichen im höheren Reinheitsgrad des Salzes zu suchen (s. Bild 34). Dadurch können Verunreinigungen und damit Reinigungs- und Wartungsarbeiten bei den Salzlöseanlagen reduziert werden.

3.2 Ergänzende Online-Umfrage bei österreichischen Straßenmeistereien

Bei der Online-Umfrage kamen 48 Rückmeldungen von österreichischen Straßenmeistereien, deren

wesentlichen Ergebnisse in diesem Kapitel dargestellt werden. Die dazugehörigen Graphiken befinden sich im Anhang 2. Zur besseren Vergleichbarkeit sind dort die entsprechenden Diagramme mit den Umfrageergebnissen aus Deutschland rechts in den Abbildungen hinzugefügt.

In Österreich lagern im Gegensatz zu Deutschland nur 17 % aller Straßenmeistereien den Streustoff in Streustoffhallen. Überwiegend erfolgt die Salzlagerung in Streustoffsilos, davon knapp 80 % rein zur Fahrzeugbeladung. Über 50 % der Straßenmeistereien haben weiterhin Silos, die sowohl zur Fahrzeugbeladung als auch zur Beschickung einer Salzlöseanlage genutzt werden. Der hohe Anteil der Silolagerung begründet sich im hohen Durchsatz im Winterbetrieb und hat sich historisch ergeben. Ergänzend ist festzuhalten, dass österreichische Meistereien mehr Stützpunkte und mehr Fahrzeuge pro Betreuungskilometer haben. Die Umlaufzeiten im Winterdienst betragen auf Autobahnen max. 3 Stunden, im nachgeordneten Straßennetz max. 5 Stunden.

Die Lagerkapazitäten von Trockensalz am Gehöft ist bei österreichischen Meistereien fast ausschließlich kleiner als 1.000 m³. Nur wenige Meistereien (7 %) haben Lagerkapazitäten am Gehöft, die größer als 1.000 m³ sind. Die größten Silos sind mit über 73 % mehrheitlich Streustoffsilos mit über 150 m³ Lagerkapazität. Kleine Silos (< 50 m³ Lagerkapazität) sind bei den ausgewerteten Straßenmeistereien in Österreich gar nicht vorhanden. Dies macht deutlich, dass in Österreich eine andere Strategie als in Deutschland verfolgt wird. Es wird der Schwerpunkt wie oben beschrieben auf Silolagerung (weniger auf Streustoffhallen) gelegt. Die notwendigen Lagerkapazitäten werden mit großen Silos umgesetzt.

Bei der Betrachtung der Art der Solelagerung ist festzustellen, dass es nur vereinzelte Straßenmeistereien gibt, die keine Sole am Gehöft lagern. Bei über 70 % der Straßenmeistereien ist eine Solelagerung mit eigener Soleherstellung vorhanden, weitere 21 % haben eine Solelagerung ohne eigene Soleherstellung. Bei der Solelagerung am Gehöft liegen die Kapazitäten in 73 % der Straßenmeistereien bei maximal 60 m³. Etwa 20 % der Lagerkapazitäten liegen zwischen 60 und 100 m³ und weitere 7 % der Straßenmeistereien haben Lagerkapazitäten über 100 m³. Diese Verhältnisse sind vergleichbar mit Straßenmeistereien in Deutschland.

Bei der Betrachtung der Altersverteilung der Lagersysteme (Halle, Silo etc.) am Gehöft ist in Österreich eine relativ homogene Verteilung festzustellen. Fast ein Drittel der Meistereien haben Lagersysteme, die jünger als 5 Jahre sind, und nur 19 % sind älter als 20 Jahre. Dies unterscheidet sich deutlich zu deutschen Straßenmeistereien, bei denen die Lagersysteme zu 41 % über 20 Jahre alt sind.

In Österreich lagern im Gegensatz zu Deutschland nur 16 % aller Meistereien den Streustoff auf Stützpunkten in Streustoffhallen. Die weit vorherrschende Art der Salzlagerung erfolgt auch hier in Streustoffsilos, davon über 80 % rein zur Fahrzeugbeladung. Über 20 % der Straßenmeistereien haben weiterhin Silos, die sowohl zur Fahrzeugbeladung als auch zur Beschickung einer Salzlöseanlage genutzt werden. Damit ist diese Verteilung ähnlich der auf österreichischen Gehöften. Wie auf österreichischen Gehöften sind die Lagerkapazitäten von Trockensalz am Stützpunkt fast ausschließlich (94 %) kleiner als 1.000 m³. Nur wenige Meistereien (6 %) haben Lagerkapazitäten am Stützpunkt, die größer als 1.000 m³ sind. Bei der Betrachtung der Art der Solelagerung ist festzustellen, dass bei 39 % der ausgewerteten Straßenmeistereien in Österreich keine Solelagerung an einem Stützpunkt vorhanden ist. Jeweils zu knapp 30 % findet man bei den Stützpunkten eine Solelagerung ohne Herstellung und mit Soleherstellung vor Ort vor. Im Gegensatz zu deutschen Straßenmeistereien kommen damit alle Varianten in etwa gleich stark verteilt vor. Bei der Solelagerung an den Stützpunkten liegt die Kapazität in 78 % der österreichischen Straßenmeistereien bei maximal 60 m³. Lagerkapazitäten von über 100 m³ Sole wurden von den ausgewerteten Straßenmeistereien nicht angegeben. Da an den Stützpunkten in der Regel nur nachgeladen wird, sind dort im Vergleich zum Gehöft wesentlich geringere Lagerkapazitäten notwendig. Die Größe der größten Silos an Stützpunkten erscheint in Österreich sehr ähnlich der Situation an den Gehöften. Mit über 64 % sind mehrheitlich Streustoffsilos mit über 150 m³ Lagerkapazität auf den Stützpunkten vorhanden. Kleine Silos (< 50 m³ Lagerkapazität) sind für die Stützpunkte der ausgewerteten Straßenmeistereien wie bei den Gehöften gar nicht angegeben worden.

Im Vergleich zu den Rückmeldungen zum Alter des neuesten Lagersystems am Gehöft fallen für den Bereich des Alters der neuesten Lagersysteme an den Stützpunkten zwei Aspekte deutlich auf. Zum

einen gab rund ein Drittel der Teilnehmer zu dieser Frage keine Antwort. Zum anderen ist festzustellen, dass auf den Stützpunkten die Lagersysteme insgesamt älter sind, mit einem Schwerpunkalter zwischen 10 und 20 Jahren (27 %).

Bei der Frage, ob für die Trockensalzlagerung in der Streustoffhalle eine Füllstandmessung vorhanden ist, gab es nur in einem Fall ein vorhandenes Messsystem. Es ist hierbei aber auch zu erwähnen, dass Salzlagerung in Streustoffhallen in Österreich eine untergeordnete Rolle spielt, der Standardfall ist die Lagerung im Streustoffsilos. Bei der automatischen Füllstandmessung im Silo stellt sich die Sache anders dar. Hier haben nur noch 22 % der Straßenmeistereien keine Füllstandmessung. Das Standardsystem bei der Füllstandmessung bei Silos ist der Einsatz eines Systems mit Wägezellen (67 %). Die verbleibenden 11 % sind mechanische Messsysteme mittels Seilgewicht.

Für die Gesamtbeurteilung der eingesetzten Techniken bei der Streustofflagerung ist auch die Betrachtung des Wartungsaufwandes sowie die Qualität und Dauerhaftigkeit der verschiedenen Anlagenteile (Streustoffhalle, Streustoffsilos, Salzlöseanlage, Beladegeräte, Fördertechnik) wichtig. Bezüglich des Wartungsaufwandes (Reinigung / Instandsetzung) konnten die einzelnen Anlagenteile auf einer Skala von 1 (geringer Aufwand) bis 5 (hoher Aufwand) beurteilt werden. Tabelle 8 zeigt die Beurteilung der einzelnen Anlagenteile bzgl. des Wartungsaufwandes, dargestellt als durchschnittliche Bewertung. Am wartungsintensivsten fallen insbesondere die Salzlöseanlagen und die Beladegeräte auf. Verglichen mit den Ergebnissen der deutschen Straßenmeistereien (s. Tabelle 6) sind hier die Beurteilungen durchweg besser. Insbesondere Wartungsaufwände bei Silos, Salzlöseanlagen und Fördertechniken werden als wesentlich weniger kritisch erachtet.

Anlagenteil	SM Österreich
Streustoffhalle	1,7
Streustoffsilos	1,8
Salzlöseanlage	2,5
Beladegeräte	2,4
Fördertechnik	2,0

Tab. 8: Durchschnittliche Bewertung des Wartungsaufwandes (1 = gering bis 5 = hoch) bei österreichischen Straßenmeistereien

Anlagenteil	SM Österreich
Streustoffhalle	1,7
Streustoffsilo	1,8
Salzlöseanlage	2,4
Beladegeräte	2,2
Fördertechnik	2,3

Tab. 9: Durchschnittliche Bewertung der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit (1 = selten / keine teuren Schäden bis 5 = häufig / teure Schäden) bei österreichischen Straßenmeistereien

Weiterhin wurden die einzelnen Anlagenteile auch bezüglich der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit auf einer Skala von 1 bis 5 beurteilt, wobei 1 für „selten bzw. keine teuren Schäden“ und 5 für „häufig bzw. teure Schäden“ steht. In Tabelle 9 sind die Durchschnittswerte der Bewertungen für die einzelnen Anlagenteile aufgelistet. Auch hier werden im Durchschnitt bessere Beurteilungen der Anlagenteile bezogen auf Qualität und Dauerhaftigkeit als in deutschen Straßenmeistereien (s. Tabelle 7) vergeben. Es zeigt sich wie bei der Beurteilung des Wartungsaufwandes eine ähnliche Bewertung; die Anlagenteile Salzlöseanlagen, Beladegeräte und Fördertechniken werden am schlechtesten beurteilt, d. h. bei diesen Anlagenteilen treten häufiger bzw. teurere Schäden auf als bei den anderen Systemteilen. Silos werden verglichen mit Deutschland wesentlich weniger kritisch beurteilt.

Bei der Frage, welche Beladungssysteme am Gehöft bzw. am Stützpunkt zum Einsatz kommen, ist das Streustoffsilo bei den Beladungssystemen mit 92 % führend, da Streustoffsilos in Österreich auch das primäre Lagerungssystem sind. Der Radlader tritt als Beladungssystem mit 15 % verglichen zu 86 % bei den Straßenmeistereien in Deutschland eher in den Hintergrund. Alle anderen Beladungssysteme sind vernachlässigbar. Um Beladungsgeräte wie Radlader oder Salzladebänder vor Korrosion und Witterungseinflüssen zu schützen, benötigen Beladungssysteme insbesondere während des Winters geschützte Abstellbereiche. Dies ist bei den Meistereien in der Regel auch der Fall, nur in wenigen Einzelfällen gibt es keinen separaten Unterstand für die Beladungsgeräte. Meistens werden die Beladungsgeräte in einem separaten Unterstand (36 %) abgestellt oder in der Streustoffhalle geparkt (36 %). Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass die Beladung aus einer Streustoffhalle heraus nur eine untergeordnete Rolle spielt und

dies damit Aussagen weniger Straßenmeistereien sind.

Bei rund 19 % der österreichischen Straßenmeistereien ist keine parallele Beladung von Winterdienstfahrzeugen mit Trockenstoff und Sole auf dem Gehöft möglich. Ein paralleles Beladen von Trockenstoff und Sole ist bei 54 % der Meistereien möglich, bei knapp 15 % können zwei Fahrzeuge gleichzeitig mit Sole betankt werden, da zwei Sole-Tankanschlüsse vorhanden sind. Bei den sonstigen Kombinationsmöglichkeiten sind im Wesentlichen die Möglichkeiten gemeint, dass sogar mehr als zwei Fahrzeuge gleichzeitig mit Trockensalz und Sole beladen werden können, da sich an mehreren Silos jeweils auch eine Möglichkeit der Solebetankung befindet. Die Einschätzungen der österreichischen Meistereien, inwieweit es bei der Trockensalzbeladung und der Solebetankung zu Wartezeiten kommt, da ein anderes Winterdienstfahrzeug die Beladestelle blockiert, zeigen deutlich, dass Wartezeiten zu rund 90 % der Fälle nie bzw. weniger als 5 Mal pro Winter bei Volleinsätzen auftreten. Dies unterscheidet sich deutlich zu den Einschätzungen bei deutschen Straßenmeistereien. Bei deutschen Straßenmeistereien wird angegeben, dass Wartezeiten in etwa 50 % der Fälle häufig bzw. regelmäßig bei Volleinsätzen auftreten. Eine Begründung ist in der eingesetzten hohen Anzahl von Streustoffsilos zu suchen, die ein paralleles Beladen ermöglichen und darin, dass die Fahrzeuge an den Silos gleichzeitig mit Sole betankt werden.

Bei der Betrachtung, welche Arten von Salzlösungen im Winterdienst eingesetzt werden, ist deutlich zu sehen, dass in 85 % der Straßenmeistereien Natriumchloridlösung im Winterdienst verwendet wird. Bis auf wenige Einzelfälle kommt ansonsten Calciumchloridlösung in den Meistereien zum Einsatz. Unter „Sonstige“ wurden Angaben gemacht, dass Natriumchlorid- und Calciumchloridlösung gemeinsam eingesetzt werden.

Wenn das Salz zum einen als Streustoff und zum anderen zur Herstellung von Salzlösung eingesetzt wird, werden in Österreich keine unterschiedlichen Salzqualitäten verwendet.

3.3 Besichtigung bestehender Anlagen

Auf Grundlage der Fragebogenergebnisse und weiterer Erfahrungen wurden Streustofflager mit reprä-

sentativen bzw. neuen innovativen Lagerungs- und Beladungssystemen ausgewählt und vor Ort vertieft untersucht. Dies wurde im Rahmen von Experteninterviews in Kombination mit einer Vorortbesichtigung durchgeführt, bei der insbesondere die bautechnischen und konstruktiven Aspekte im Vordergrund standen.

3.3.1 Streustoffhalle AM Kirchheim/Teck

Die Streustoffhalle der AM Kirchheim/Teck (s. Bild 35) wurde durch den Forschungsnehmer am 04.06.2019 gemeinsam mit der Vertreterin des RP Stuttgart, dem Leiter der AM Kirchheim/Teck sowie dem Architekten besichtigt. Anhang 3 enthält eine Fotodokumentation.

Die Streustoffhalle der AM Kirchheim/Teck wurde 2014 gebaut und hat eine Kapazität von ca. 2.800 t. Die Halle ist als eine der ersten Neubauten auf dem Meistereigelände errichtet worden und kann vollständig umfahren werden, was jedoch im täglichen Betrieb nicht erforderlich ist. Links und rechts vom Hallentor befindet sich je ein Anschluss für die Solebetankung, sodass zwei Fahrzeuge parallel mit Salz und Sole beladen werden können.

Das Hallentor hat eine Durchfahrtshöhe von 9,20 m und eine Durchfahrtsbreite von 6,00 m, sodass bei Anlieferung ein Sattelschlepper mit hochstehender Kippmulde und zur Streumaschinenentleerung ein Winterdienstfahrzeug mit angebautem Schneepflug durchfahren kann. Um die hohe Lagerkapazität zu erreichen, ist die Schütthöhe an den Seitenwänden im hinteren Hallenbereich auf 6 m festgelegt, diese Höhe kann mit vorhandener Teleskopschiebeeinrichtung am Radlader eingelagert werden.

Die Streustoffhalle ist so breit, dass das Salz wechselseitig links oder rechts bis zur hinteren Wand vollständig entnommen werden kann, ohne die Salzversorgung zu gefährden. Hierdurch kann zum einen die Lagerdauer begrenzt werden; zum anderen ist es möglich, die Innenwände der Streustoffhalle auf Schäden zu kontrollieren. In der Halle ist die Salzlöseanlage installiert, die über einen Trichter durch den Radlader befüllt wird. Zur besseren Sicht auf den Füllstand des Salztrichters ist ein Spiegel installiert. Die Salzlöseanlage ist durch eine Betonwand von der Lagerfläche getrennt.

Der Hallenboden ist mit Gussasphalt abgedichtet und hat ein Gefälle zur Hallenmitte. Ein Ablauf ist dort nicht vorhanden, evtl. eintretendes Wasser

wird vom Salz aufgesaugt. Die Bodenabdichtung ist am Betonsockel der Außenwände hochgezogen. Die Außenwände sind aus Beton und ihre Bewehrung ist mit einer Überdeckung von 6 cm ausgeführt. Zusätzlich sind sie mit Holz verschalt, sodass das Streusalz nicht in Kontakt mit den Betonwänden kommen kann. Diese Verschalung ist oben abgedichtet, sodass kein Salz zwischen Holzverschalung und Betonkonstruktion fallen kann. Die Halle verfügt über eine natürliche Belüftung.

Das Hallentor wird manuell ohne Motor geöffnet und geschlossen. Es ist nur oben mit Spezialrollen, die ansonsten für Kranbahnen verwendet werden, an einem IPE Stahlträger aufgehängt. Es ist leichtgängig und lässt sich problemlos von einer Person öffnen und schließen.

Bisher sind keine nennenswerten baulichen Mängel aufgetreten; die Halle hat sich nach Aussage der Meistereileitung in der Winterdienstpraxis bewährt.



Bild 35: Streustoffhalle AM Kirchheim/Teck, Außenansicht (Bild: Holldorb)



Bild 36: AM Hannover: Gesamtansicht der Streustoffhalle mit Verladesilo und Salzlöseanlage (Bild: Cypra)

3.3.2 Streustoffhalle mit Verladesilo AM Hannover

Als Beispiel einer kombinierten und redundanten Lagerungstechnik mit Halle und Silo (s. Bild 36) wurde die AM Hannover durch den Forschungsnehmer am 26.11.2018 gemeinsam mit dem Vertreter der Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr und dem Leiter der AM Hannover besichtigt. Anhang 4 enthält eine Fotodokumentation.

Die Streustoffhalle ist eine Holzkonstruktion mit einem Tor an der Stirnseite. Die Streustoffhalle mit Verladesilo und Salzlöseanlage kann komplett umfahren werden. So kann auch das Verladesilo zur Beladung der Winterdienst-Fahrzeuge immer vorwärts angefahren werden.

Die Kombination Streustoffhalle / Verladesilo bedeutet bei der AM Hannover, dass beide Systeme redundant zum Beladen genutzt werden können. Das Salz für die Halle wird mit Kippmulden-Lkw angeliefert. Aufgrund des 9 m hohen Tors können die Lkw mit aufgestellter Kippmulde bis zum Hallentor einlagern. Die Winterdienst-Fahrzeuge werden mit einem Radlader beladen. Parallel steht ein Streustoffsilo zur Verfügung. Dies bedeutet, dass bei Ausfall eines Beladungssystems (Radlader oder Silo) immer ein zweites System redundant zur Verfügung steht.

Winterdienst-Fahrzeuge können an drei unabhängig voneinander anfahrbaren Punkten mit Salzlösung betankt werden. Parallel dazu können die Fahrzeuge mit Radlader oder am Silo mit Trockensalz beladen werden.

Die 9 m hohe Hallenzufahrt wurden bislang mit Kunststofflamellen flexibel verschlossen, um insbesondere den Eintrag von Schmutz in die Halle zu vermeiden. Wie auch Bild 36 zeigt, fallen die Lamellen durch die permanente Beanspruchung mit der Zeit ab. Daher untersucht die niedersächsische Straßenbauverwaltung zurzeit alternative Tore, wie z. B. leichte Windschutzfalltore, die auch bei Logistikhallen eingesetzt werden. Da der Motor bei diesen gekapselt ist, ist er vor Korrosion durch die salzhaltige Luft geschützt.

3.3.3 Streustoffhalle mit Verladesilo SM Northeim

Als weiteres Beispiel einer kombinierten und redundanten Lagerungstechnik mit Halle und Silo wurde

die SM Northeim (s. Bild 37) durch den Forschungsnehmer am 26.11.2018 gemeinsam mit dem Vertreter der Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, dem Leiter der SM Northeim und dem Architekten besichtigt. Anhang 5 enthält eine Fotodokumentation.

Die SM Northeim befindet sich nördlich von Göttingen in Niedersachsen. Auf dem Gehöft musste die Streustoffhalle erneuert werden. Aufgrund der bereits bestehenden Infrastruktureinrichtungen und Gebäude auf dem Gehöft kam nur ein Bereich an der hinteren Grundstücksgrenze in Betracht, da so auch die Einschränkungen der Zufahrtswege im Hof geringer waren. Weiterhin waren bei den Planungen Landschaftsaspekte (Begrenzung Höhe) sowie der Lärmschutz (insbesondere Rückwärtsfahren der Lkw und Radlader bei Winterdienstesätzen) zu berücksichtigen. Aufgrund dieser Gegebenheiten wurde eine Streustoffhalle mit einem Tor an der Hallenlängsseite unmittelbar an der Grundstücksgrenze gebaut. Diese Halle ist insgesamt ein Element länger, da die Lagerfläche durch die Zufahrt in Hallenmitte geringer ist.

Die Streustoffhalle hat einen Betonsockel, der auf der Innenseite mit Siebdruckplatten zum Schutz des Betons beplankt ist. Die Siebdruckplatten dienen als Anlagerfläche für das Salz und als mechanischer Anfahrerschutz. Die Halle hat ein nach hinten abfallendes Pultdach, um so ein flexibles Abladen mit den Kippmulden zu ermöglichen. Wie bei der AM Hannover ist die Hallenzufahrt mit Kunststofflamellen verschlossen, eine abnehmbare Querstrebe in 4,50 m Höhe soll den Verschleiß reduzieren.

Die Kombination Streustoffhalle / Verladesilo bedeutet, dass beide Systeme redundant zum Einla-



Bild 37: Gesamtansicht der Streustoffhalle mit Verladesilo und Salzlöseanlage der SM Northeim (Bild: Cypra)

gern als auch zum Beladen genutzt werden können. Das Salz für die Halle wird mit Kippmulden-Lkw angeliefert. Aufgrund der 9 m Zufahrtsöffnung können die Lkw mit aufgestellter Kippmulde bis zum Hallentor einlagern. Die Winterdienst-Fahrzeuge werden mit einem Radlader beladen. Parallel steht ein Verladesilo zur Verfügung. Dieses Silo kann sowohl mit einem Silofahrzeug als auch mit einem Fördersystem aus der Streustoffhalle befüllt werden. Als Fördersystem hat sich eine Endlos-schnecke (ca. 20 m lang) aus Kunststoff-Schneckenflügeln bewährt, da sie zuverlässig und wartungsarm arbeitet. Dazu befüllt ein Radlader einen Salztrichter, aus dem das Salz in das Streustoffsilo gefördert wird. So besteht zum Beladen der Winterdienst-Fahrzeuge neben der Streustoffhalle parallel ein Streustoffsilo zur Verfügung. Im Ergebnis bedeutet das, dass auch bei Ausfall eines Lagerungs- bzw. Beladungssystems ein zweites redundantes System zur Verfügung steht.

Streustoffsilos zeichnen sich dadurch aus, dass Fahrzeuge beim Winterdiensteinsatz sehr schnell beladen werden können. Da das Verladesilo auch unabhängig von Silofahrzeugen bedarfsabhängig wieder befüllt werden kann, kommt es auch bei Lieferengpässen zu keinen Einschränkungen im Winterdienstbetrieb. Das Silo kann vorwärts angefahren werden und hat eine Durchfahrtsbreite von 5,50 m. Die Beleuchtung ist so installiert, dass es beim Einfahren zu keinen Blendungen des Fahrers kommt.

Im Bereich des Verladesilos befindet sich auch die Salzlöseanlage. Diese wird direkt aus dem Silo mit Salz beschickt. Steuerung und Technik befinden sich in einem abgeschlossenen und beheizbaren Technikraum. Aus Sicherheitsgründen ist ein Anfahrerschutz im Bereich der Tank- und Soleanlage installiert.

Die Füllstandmessung wird bei dem Streustoffsilo mit Dehnmessstreifen durchgeführt. Um Einflussfaktoren, wie z. B. ungleiche Sonnenbestrahlung, auszugleichen, werden die Dehnmessstreifen kreuzweise an allen vier Stützen verschraubt. Der Füllstand wird durch eine Anzeige an der Hallenwand visualisiert, die u. a. vom Verwaltungsgebäude der Meisterei sichtbar ist.

In Niedersachsen wird mit Salz belastetes Oberflächenwasser auf dem Gehöft aufgefangen und in einem unterirdischen Tank (10 m³) mit Filtersystem gelagert. Hier wird das Prinzip der Wiedergewin-

nung verfolgt, d. h. das aufgefangene Wasser wird im Winter zur Soleherstellung verwendet. Der Füllstand des Tanks wird überwacht. Im Sommer, wenn das Wasser nicht belastet ist, wird es über einen Überlauf in den Regenablauf geleitet.

3.3.4 Streustoffhalle mit Verladesilo SAM Frankfurt

Die Streustoffhalle mit Verladesilo wurde durch den Forschungsnehmer am 31.07.2019 gemeinsam mit Vertretern von HessenMobil, des Landesbetriebs Bau und Immobilien Hessen und dem Leiter der SAM Frankfurt besichtigt. Anhang 6 enthält eine Fotodokumentation.

Die SAM Frankfurt an der A 5 nördlich von Frankfurt betreut hochbelastete Autobahnen im Rhein-Main-Gebiet und einzelne Strecken des nachgeordneten Netzes. Die Streustoffhalle wurde 2014 auf dem Gelände der Meisterei gebaut, das aus den 1970'iger Jahren stammt. Die Halle hat eine Lagerkapazität von 3.200 t. Die Winterdienst-Lkw werden in der Regel über das Verladesilo beladen. Aufgrund der Hallengeometrie ist die Begutachtung der rückseitigen Wand nur bei weitgehend vollständiger Entleerung der Streustoffhalle möglich (s. Bild 38).

Die Hallenwände mit einer Stärke von 0,40 m sind auf einer Höhe von ca. 4,50 m aus Beton, darüber schließt eine Holzkonstruktion an. Die Wände sind mit einer 3 mm starken Beschichtung aus Polyethylen (PE-HD) geschützt, die innen auf die Schalung aufgeklebt wird und sich beim Betonieren fest mit der Betonwand verbindet. Die Nähte der in Bahnen aufgetragenen Beschichtung werden nach dem Ausschalen verschweißt. Diese Versiegelung wird bis auf Höhe der Bodenplatte ausgeführt; am Wandsockel ist ein zusätzliches Schrammbord (ca. 30 cm



Bild 38: Streustoffhalle mit Verladesilo und Soletanks der SAM Frankfurt (Bild: Pape)

hoch) zum Schutz vor Anfahrtschäden angebracht. Kleinere Schäden an der Beschichtung können mit Reparaturflicken durch das Meistereipersonal einfach behoben werden.

Die Halle besitzt im oberen Bereich eine umlaufende Lüftung. Die Dachträger sind gekrümmte Brett-schichtholzbinden als Einfeldträger. Das Dach hat eine Dachschalung. Die lichte Höhe in Hallenmitte beträgt 12 m. Der Hallenboden ist eine Betonbodenplatte mit einer zweifachen Beschichtung und Bitumenschweißbahn, auf dem ein Gussasphalt aufgebracht ist. Sie hat im vorderen Bereich auf einer Tiefe von 4 m ein Gefälle nach außen, ansonsten ist sie ohne Gefälle ausgebildet. Das Hallentor ist 9 m hoch, sodass die Streustoffe in der Regel mit vollständig aufgestellter Kippmulde in der Halle abgekippt werden können. Bei dreiachsigen Kipp-sattelanhängern kann die Höhe im gekippten Zustand auch bis zu 10 m sein [MEILLER 2019]. Die Streu-maschinenentleerung erfolgt in der Regel in der Halle. Das Hallentor kann manuell betrieben werden, eine besondere Wartung ist nicht erforderlich. Bisher hat sich die Mechanik nach Aussagen des Meistereileiters bewährt.

Das Verladeseilo hat eine Kapazität von 200 t und steht auf einem Betonunterbau, sodass kein zusätzlicher Anprallschutz erforderlich ist. Es wird über einen Beladetrichter in der Streustoffhalle beladen, der ein Fassungsvermögen von ca. 6 t hat. Die Beladung erfolgt in der Regel durch den Platzwart mit Radlader. Das Salz wird über eine pneumatische Anlage in den Trichter gefördert. Das Verladeseilo ist mit einem Infrarotsensor ausgerüstet, der die Förderung bei entsprechendem Füllstand ausschaltet. Da das Salz horizontal in das Silo gegen ein Prallholz eingblasen wurde, kam es vielfach zu einer starken Staubbildung beim Einblasen und damit zu Fehlfunktionen der Abschalt-einrichtung, sodass der Auslass im Silo umgerüstet wurde. Das Salz wird jetzt über einen Bogen von oben in das Silo mittig eingblasen. Die Fördereinrichtung wird zweimal jährlich gewartet; besonderer Verschleiß ist bisher nicht festzustellen.

Die Solebetankung erfolgt getrennt von der Streustoffbeladung. Hierfür stehen zwei reguläre Anschlüsse zu Verfügung; ein dritter Anschluss mit größerem Durchfluss (B-Rohr) wird vor allem zur Befüllung der Sprühmaschinen für FS 100 verwendet. Die Sole ist $MgCl_2$ -Sole und wird konzentriert angeliefert und gelagert. Beladeflächen am Verladeseilo und den Soleanschlüssen sind als WHG-Flä-

chen ausgebildet, die Fläche vor der Streustoffhalle hingegen nicht, da hier regulär keine Be- und Entladevorgänge stattfinden. Um den Ladevorgang effizienter abzuwickeln, ist bei Winterdienst-einsätzen ein Mitarbeiter auf dem Gehöft stationiert und steht als Ladehilfe zur Verfügung.

3.3.5 Streustoffhalle mit Verladeseilo AM Reiskirchen

Die Streustoffhalle mit Verladeseilo der AM Reiskirchen (s. Bild 39) wurde durch den Forschungsnehmer am 31.07.2019 gemeinsam mit Vertretern von HessenMobil, des Landesbetriebs Bau und Immobilien Hessen und dem Leiter der AM Reiskirchen besichtigt. Anhang 7 enthält eine Fotodokumentation.

Die Halle wurde 2012 als Ersatz für die alte Halle auf dem seit 1938 bestehenden Gelände der AM Reiskirchen errichtet. Die AM Reiskirchen betreut die A 5 und weitere Autobahnen in Mittelhessen. Die Halle hat eine Lagerkapazität von ca. 2.500 t, das Verladeseilo verfügt über 220 t.

Die Halle ist wie in Frankfurt eine Betonkonstruktion mit aufgeständerten Holzwänden und Holzdach. Die Betonwände sind ebenfalls mit der grünen Polyethylen-Beschichtung geschützt. Aufgetretene Anfahrtschäden konnten durch die Meistereimitarbeiter einfach repariert werden.

Das Silo ist ein GFK-Silo, das in zwei Teilen angeliefert wurde. Es steht auf einem Stahlunterbau; der Füllstand wird über vier Dehnmessstreifen erfasst, die zwischen Silo und Stahlunterbau angebracht sind. Nach entsprechender Justierung ist die Mengenerfassung zuverlässig. Da das Silo dicht ist, bil-



Bild 39: Streustoffhalle mit Verladeseilo aus GFK der AM Reiskirchen (Bild: Holldorb)

det sich im Sommer bei Erwärmung Feuchtigkeit im Siloinneren, die zu einer Verklumpung des Streusalzes führen kann. Daher wird das Silo über die Sommermonate vollständig entleert.

Die Befüllung des Silos erfolgt ebenfalls pneumatisch. Hierfür ist in der Streustoffhalle kein Trichter aufgestellt, sondern der Trichter ist unterhalb der Bodenplatte angeordnet, sodass das Salz ebenerdig mit dem Radlader in die Verladeeinheit eingefüllt werden kann. Hierdurch müssen die Zulaufschläuche in Leerrohren unter dem Gelände geführt werden, was die Zugänglichkeit erschwert. Problematisch ist in diesem Zusammenhang auch die Ausführung der Schläuche in Kunststoff, da diese durch die kontinuierliche Salzbeaufschlagung rasch abgerieben werden.

Als Sole kommt ebenfalls $MgCl_2$ -Sole zum Einsatz, die angeliefert wird. Aufgrund der stärkeren Aggressivität ist die Soleanlage in V4A-Edelstahl ausgeführt. Für die Solebetankung stehen zwei Anschlüsse zur Verfügung, von denen einer auch parallel mit der Streustoffbeladung am Silo genutzt werden kann. Ein weiterer Solenanschluss mit größerem Durchfluss (B-Rohr) für die Betankung von FS 100-Fahrzeugen ist vorgesehen.

3.3.6 Siloanlage AM Rodgau

Die Siloanlage der AM Rodgau wurde durch den Forschungsnehmer am 31.07.2019 gemeinsam mit Vertretern von HessenMobil, des Landesbetriebs Bau und Immobilien Hessen und einem Mitarbeiter der AM Rodgau besichtigt. Anhang 8 enthält eine Fotodokumentation.

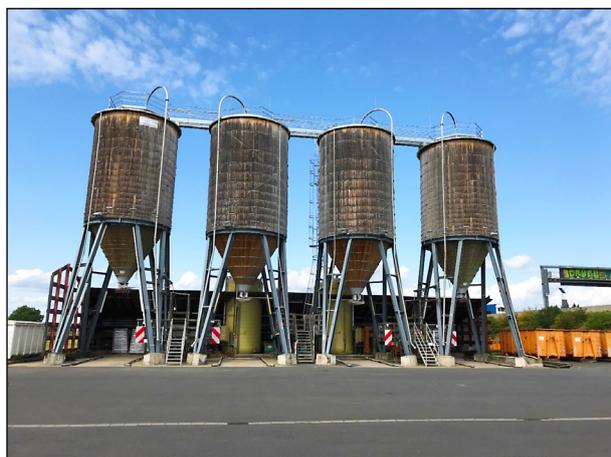


Bild 40: Siloanlage mit 4 Holzsilos der AM Rodgau (Bild: Holl-dorb)

Auf dem Gehöft der AM Rodgau stehen vier Holzsilos mit einer Lagerkapazität von insgesamt 800 t (s. Bild 40). Weitere Lagerkapazitäten für Streusalz sind auf dem Gehöft nicht vorhanden, allerdings stehen bei Bedarf Lagerkapazitäten an den Stützpunkten Offenbach und Weiskirchen sowie auch meistereiübergreifend zur Verfügung. Durch die AM Rodgau werden die A 3 und weitere hochbelastete Autobahnen südlich und östlich von Frankfurt betreut. Die beiden in der Mitte stehenden Silos wurden 2007, die beiden äußeren 2009 errichtet; sie sind von verschiedenen Herstellern.

Die beiden mittleren Silos verfügen am Holzzylinder über diagonal verspannte Stahlstreben. An den beiden äußeren Silos sind hingegen unten Zugstäbe angeordnet, die den Holzzylinder mit dem Stahlringkranz des Unterbaus verbinden. Ein gesonderter Anfahrerschutz ist bei allen Silos nicht installiert; die Statik der Silounterbauten ist auf einen Anprall mit ca. 10 km/h durch Lkw ausgelegt. In einem der mittleren Silos ist es einmal zu einer Brückenbildung gekommen. Schäden am Silo oder eine Schiefstellung des Silos wurden beim Einsturz der Salzbrücke jedoch nicht festgestellt. Am rechts außen stehenden Silo ist hingegen eine leichte Schiefstellung erkennbar, die jedoch weder die Standsicherheit noch die Nutzung einschränken. Bei den beiden mittleren Silos sind an den Stützenfüßen Bohrungen in den Stahlprofilen vorhanden, die die dauerhafte Beaufschlagung mit salzhaltigem Wasser und somit Korrosion an der Stahlkonstruktion vermeiden. Die Entwässerung der Verkehrsflächen im Bereich der Siloanlage erfolgt über Ölabscheider. Eine Rückhaltung des Oberflächenwassers ist nicht vorgesehen.

Die Silos stehen auf Stahlunterbauten und können nur rückwärts durch die Winterdienstfahrzeuge angefahren werden. Für ein einfaches Rangieren sind auf dem Boden Führungsschienen installiert. Da die Soletanks hinter den beiden in der Mitte stehenden Streustoffsilos stehen, reicht der Platz hier nicht aus, um 3-Achser Lkw zu beladen; diese können nur an den äußeren Silos mit Salz gefüllt werden. Der Beladevorgang wird durch einen weiteren Mitarbeiter auf dem Gehöft unterstützt. Um Salzverwehungen beim Beladevorgang zu minimieren, wurden nachträglich Schürzen am Siloausslass installiert, die manuell auf Streuerhöhe abgelassen werden. Die Bedienung der Silos erfolgt von Podesten, die als Holzkonstruktion mit Stahlgitterrosttreppe ausgeführt sind. Aufgrund von Feuchtigkeit und Verwitterung ist mit einer erhöhten Rutschgefahr

und geringeren Dauerhaftigkeit zu rechnen, sodass eine vollständige Stahlkonstruktion mit Gitterrosten vorteilhaft wäre. Aus diesen Gründen wurden bereits die Verbindungsbrücken oben auf den Silos als Stahlkonstruktion mit Gitterrosten erneuert.

An den Streustoffsilos stehen auch die Anschlüsse für die Solebetankung zur Verfügung, sodass Streustoff und Sole parallel geladen werden. Allerdings reicht die Pumpenleistung nicht für das Beladen mehrerer Fahrzeuge gleichzeitig. Aufgrund der schwachen Pumpenleistung wird die Sole von oben in die Soletanks der Fahrzeuge eingefüllt. Als Sole kommt $MgCl_2$ -Sole zum Einsatz, die konzentriert angeliefert wird und auf dem Gehöft gebrauchsfertig mit Wasser verdünnt wird. In einem Tank wird konzentrierte Sole, im anderen Tank gebrauchsfertige Sole gelagert.

Das Streusalz wird mit Silofahrzeugen angeliefert und eingeblasen. Dieser Befüllvorgang dauert maximal 1 h. Nachlieferungen erfolgen, sobald ein Silo geleert wurde. Vereinzelt kommt es zu Verstopfungen des Füllrohres, wenn sehr feines Salz angeliefert wird. Beim Befüllen setzt sich das Salz im Silo um bis zu 1 m. Der Füllstand des Silos wird mit Laser erfasst und nur direkt am Silo angezeigt. Beim Befüllen kann diese Messung infolge der Salzstaubentwicklung im Silo verfälscht sein, sodass zur korrekten Anzeige ggf. abgewartet werden muss, bis sich der Salzstaub gesetzt hat.

Die Silos werden durch eine Fremdfirma einmal jährlich gewartet und geprüft. Für die insgesamt eintägige Begutachtung ist auch ein Hubsteiger erforderlich.

3.4 Besichtigung neuer Streustoffhallen

3.4.1 Streustoffhalle SM Geislingen

Die Streustoffhalle der SM Geislingen (s. Bild 41) wurde durch den Forschungsnehmer am 04.06.2019 gemeinsam mit der Vertreterin des RP Stuttgart, dem Leiter der SM Geislingen sowie dem Architekten besichtigt. Anhang 9 enthält eine Fotodokumentation.

Die Streustoffhalle wurde 2016 als erstes Gebäude der Ersatzbauten auf dem Gehöft der SM Geislingen errichtet und hat eine Lagerkapazität von 1.440 t. Sie steht derzeit im rückwärtigen Bereich des Meistereigelandes, wird aber nach Fertigstel-

lung der Hochbaumaßnahmen auf dem Gehöft eine direkte Zufahrt erhalten. Die Halle ist nicht umfahrbar. Die Gesamtbaukosten betragen 920.000 € incl. Tiefbau. Die Halle wurde mit dem Deutschen Holzbaupreis 2017 ausgezeichnet. [BMVI 2017]

Die Halle hat im Eingangsbereich einen Dachüberstand, unter dem Fahrzeuge und Geräte kurzzeitig abgestellt werden können. Weiterhin können hier die Winterdienstfahrzeuge witterungsgeschützt beladen werden; auch die Salzlöseanlage soll in diesem Bereich untergebracht werden. Das Eingangsportal dient auch zum Schutz der Halle bei geöffnetem Hallentor im Winter. Das Tor hat eine Durchfahrthöhe von 9 m und eine Durchfahrtsbreite von 5,50 m. Es ist an einer Tigerschiene aufgehängt und kann durch eine Person manuell bedient werden.

Die Halle ist eine Holz-Beton-Konstruktion, bei der das Tragwerk so ausgebildet ist, dass keine Konstruktionshohlräume existieren, in die Salz gelangen kann, z. B. zwischen Holzverschalung und Betonwand. Hierfür wurden die seitlichen Schüttwände aus massivem Brettschichtholz (BSH) auf Betonquerschotten im Abstand von 2,50 m aufgelagert. Die Schütthöhe an den Seitenwänden beträgt 5 m. Die Betonquerschotten tragen auch die Stützen aus BSH für die Dachkonstruktion. Die obere Außenfassade besteht aus PVC Wellplatten und ist vorgehängt, sodass eine natürliche Belüftung vorhanden ist. Das Dach hat eine Neigung von 2,5 % und besteht aus aussteifenden Massivholzplatten, die auf Dachbindern aus BSH aufliegen und mit einer bituminösen Dachdeckung abgedichtet sind. Der Hallenboden ist eine Gussasphaltdecke und weist ein Gefälle zur Hallenmitte auf, sodass evtl. anfallende Flüssigkeiten sich dort sammeln und vom Salz aufgesaugt werden.



Bild 41: Streustoffhalle SM Geislingen, Außenansicht Frontseite (Bild: Pape)

Durch die Hallengeometrie ist es nicht möglich, Streusalz so zu entnehmen bzw. zu lagern, dass alle Teile der Konstruktion zur Kontrolle von innen zugänglich sind. Allerdings sind alle Konstruktionsteile von außen einsehbar und zugänglich. Im Sockelbereich sind die Betonbauteile unter dem Holz geschützt. Die zwischen den Betonquerschotten verlaufenden Streifenfundamente aus Stahlbeton sind nicht besonders gegen Tausalzangriff geschützt, da davon ausgegangen wird, dass die Bodenabdichtung einen Tausalzangriff verhindert.

Bisher sind keine Schäden oder Mängel aufgetreten. Konstruktionsprinzip und Nutzungsmöglichkeiten entsprechen in vollem Umfang den Anforderungen der Meistereimitarbeiter.

3.4.2 Streustoffhalle SM Münsingen

Die Streustoffhalle der SM Münsingen des LK Reutlingen (s. Bild 42) wurde durch den Forschungsnehmer am 04.06.2019 gemeinsam mit der Leitung der SM Münsingen besichtigt. Anhang 10 enthält eine Fotodokumentation.

Die Streustoffe werden auf dem Gehöft der SM Münsingen in einer Halle gemeinsam mit den Holzhackschnitzeln für die Heizanlage des gesamten Gehöfts gelagert. Die Halle wurde im Zuge des Neubaus des gesamten Gehöfts gebaut und Ende 2018 in Betrieb genommen. Sie hat eine Lagerkapazität von 1.600 t Streusalz und verfügt über eine Salzlöseanlage mit 50 m³ Solelagerkapazität [LRA REUTLINGEN 2019].

Der Lagerbereich für das Streusalz ist ca. 1,20 m erhöht, sodass eine einfache Beladung der Winterdienst-Lkw mit Radlader erfolgen kann. Hierfür fah-



Bild 42: Streustoffhalle SM Münsingen, kombinierte Halle für die Lagerung von Streusalz (links) und Holzhackschnitzeln (rechts) (Bild: Pape)

ren die Streufahrzeuge seitlich an den Ladebereich, der in beiden Richtungen angefahren werden kann, sodass kein Rangieren der Winterdienst-Lkw erforderlich ist. Am Ladebereich kann auch Sole getankt werden. Die Salzlöseanlage befindet sich ebenfalls im erhöhten Hallenbereich und wird über einen Trichter direkt mit dem Radlader beschickt. Der Trichter wurde mit Holz vollständig verkleidet, sodass kein Streusalz neben den Trichter in schwer zugängliche Bereiche fallen kann. Für die Soleaufbereitung wird Niederschlagswasser von den Dachflächen des Gehöfts genutzt, das in einer 1.000 m³ Zisterne gespeichert wird.

Die Zufahrten befinden sich zwischen den Lagerflächen für Streustoffe und Holzhackschnitzeln an Hallenvorder- und -rückseite und sind offen ohne Tore angeordnet. Die Hallenrückseite ist über eine separate Gehöftzufahrt direkt vom Straßennetz erreichbar. Für die Anlieferung von Streustoffen ist der erhöhte Lagerbereich über eine Rampe anfahrbar, die mit einem Schiebetor verschlossen ist. Aufgrund der Hallengeometrie ist es möglich, den Lagerbereich rechts oder links vollständig zu leeren, sodass Seiten- und Rückwand für Kontrollen zugänglich sind und das Salz auch im hinteren Hallenbereich nicht zu lange gelagert wird.

Die Halle ist eine Holz-Beton-Konstruktion mit Betonstützen 60 x 60 cm in einem Raster von ca. 5 m. Die Seitenwände des Salzlagerbereichs bestehen aus einer BSH-Konstruktion auf einem Betonsockel, vor dem eine Verschleißplatte angeordnet ist. Im Schlitz zwischen Verschleißplatte und Hallenboden kann sich Streusalz ablagern. Die Außenwände sind mit einer offenen Holzlamellenkonstruktion verkleidet. Durch die offenen Zufahrten und die offene Verkleidung ist für eine ausreichende natürliche Belüftung gesorgt. Das Dach besteht aus Massivholzplatten auf BSH Holzbindern. Der Hallenboden hat einen Asphaltaufbau, das Gefälle ist nach außen gerichtet, sodass anfallendes Niederschlagswasser über die Entwässerung der vorgelagerten Freiflächen abgeführt werden kann.

Durch die kombinierte Nutzung der Halle für Streustoffe und Holzhackschnitzeln konnten die Baukosten reduziert werden. Der Streustofflagerung (ohne Planungskosten und Kosten für die Soleanlage) wurden Baukosten von 450.000 € zugeordnet. Erste Erfahrungen aus dem Winter 2018/19 zeigen, dass die Halle den Nutzungsanforderungen in vollem Umfang entspricht, insbesondere die Anordnung



Bild 43: SM Merzig, Gesamtansicht des Gebäudekomplexes mit integrierter Streustoffhalle rechts (Bild: Cypra)

des erhöhten Ladebereichs für die Winterdienst-Lkw hat sich bewährt.

3.4.3 Streustoffhalle SAM Merzig

Die neue Streustoffhalle der Straßen- und Autobahnmeisterei (SAM) Merzig im Saarland (s. Bild 43) wurde durch den Forschungsnehmer am 13.06.2019 gemeinsam mit der Abteilungsleitung Betrieb des Landesbetriebs für Straßenbau und der Leitung der SAM Merzig besichtigt. Anhang 11 enthält eine Fotodokumentation.

Auf Grund des baulichen Zustands und den sehr beengten Platzverhältnissen wird die aktuelle SAM

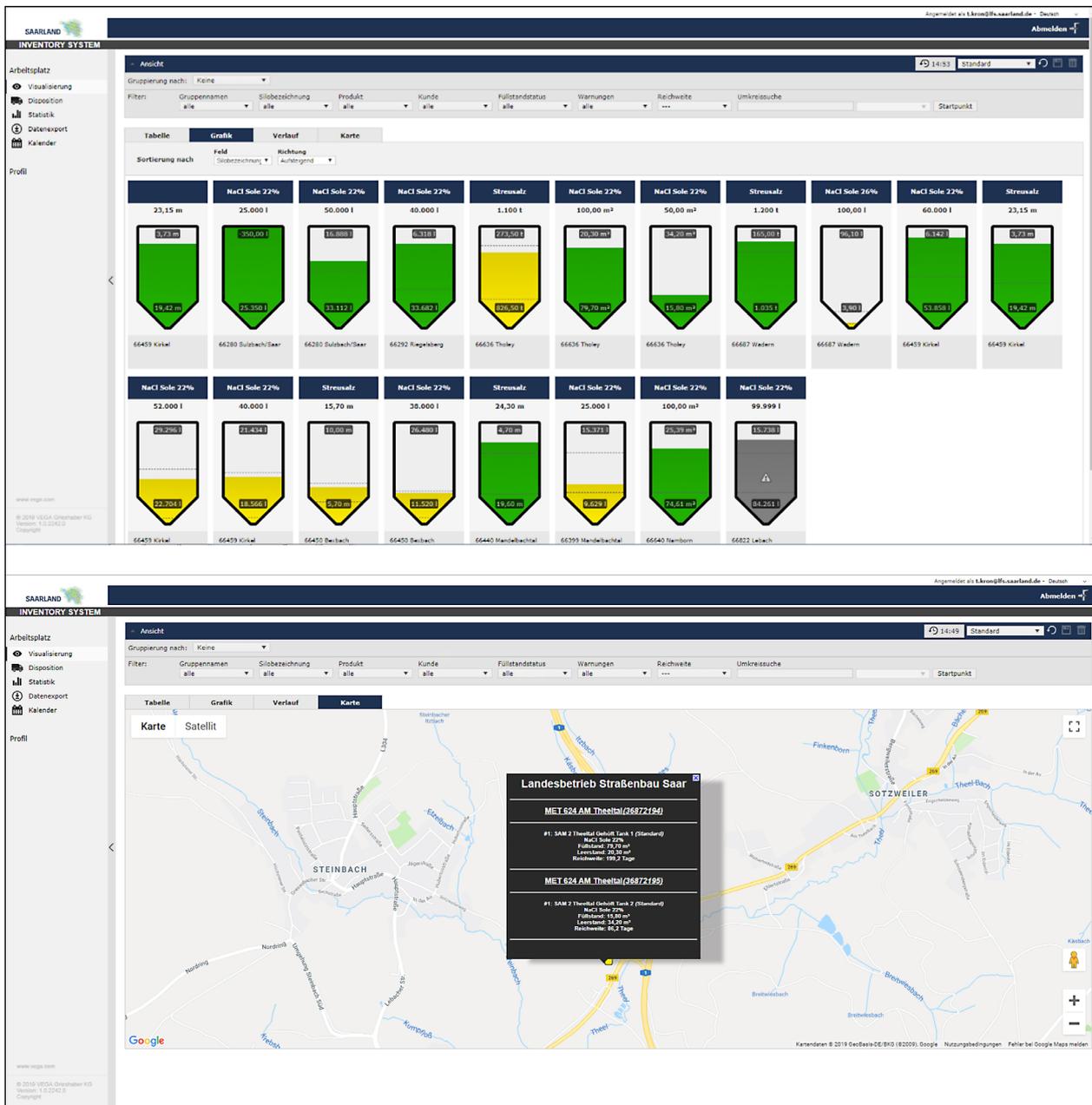


Bild 44: Zentrale Visualisierung der Füllstände in den saarländischen Meistereien (Bild: Landesbetrieb für Straßenbau Saarland)

Merzig 2019 in ein komplett neues Gehöft umziehen. Auf dem rund 1,47 ha großen Gelände wird mittig ein Gebäudekomplex erstellt, der neben dem Verwaltungsgebäude, der Werkstatt, den Technikräumen sowie der Fahrzeug- und Lagerhalle auch die Streustoffhalle beinhaltet. Der Gebäudekomplex ist rund 45 m x 100 m groß. Durch dieses Konzept kann das Gebäude umfahren werden und die Betriebsdienstfahrzeuge können aufgrund der Parkanordnung in der Halle vorwärts in als auch aus der Halle fahren. Damit ist es auch möglich, die Fahrzeughalle mit wenigen Toren zu betreiben.

Die Streustoffhalle befindet sich im hinteren Bereich des Gehöfts, sodass durch Beladungsvorgänge etc. die anderen betrieblichen Abläufe der Meisterei nicht beeinflusst werden. Die Streustoffhalle hat bei einer Grundfläche von 17 m x 15 m eine Lagerkapazität von 1.000 t bis 1.200 t. Die Schütthöhe beträgt 6 m. Der untere Bereich der Hallenwände bis auf Höhe der maximalen Schüttung ist aus Beton, der auf der Innenseite mit Grobspanplatten aus Holz (sog. „OSB-Platten“) als zusätzlichem Schutz verkleidet ist. Der obere Bereich der Streustoffhalle ist eine Holzkonstruktion mit Betonstützen.

Die Streustoffhalle wird mit zwei 9 m hohen Schiebetoren (Stahl-Holzkonstruktion) verschlossen. Damit kann der Lkw bis an den Hallenausgang mit aufgestellter Mulde das Salz abladen. Die Streustoffhalle ist im Regelfall geschlossen, wird aber im Winter während der Winterdienst-Einsätze geöffnet bleiben. Ergänzend wurde im Bereich der Tore eine Halterung zur Aufnahme einer Sperreinrichtung installiert, um im Falle eines Brandes der Streustoffhalle salzhaltiges Löschwasser zurückzuhalten, da sich das Gehöft direkt neben der Saar befindet.

Zum Beladen stellen sich die Winterdienst-Fahrzeuge an eine der drei Sole-Betankungsstellen, die unabhängig voneinander angefahren werden können. Das Fahrzeug wird dann mit dem Radlader parallel zur Betankung beladen. Der Radlader wird in der gemeinsamen Fahrzeug- und Gerätehalle untergestellt.

Die Salzlöseanlage mit der gesamten Steuerungstechnik wird neben der Streustoffhalle in einem kleinen Holzgebäude installiert. Damit ist die Anlage vor Witterungseinflüssen geschützt und kann nur von berechtigten Personen bedient werden. Aus einer Schütteinrichtung in der Halle, die von dem Radlader befüllt wird, wird die Salzlöseanlage zur Soleherstellung mit einem Becherwerk beschickt.

Die Salzlöseanlage hat eine Nennleistung von 10.000 l/h und 1.000 l Puffer. Insgesamt können in den liegenden Tanks 100 m³ Salzlösung gelagert werden.

In den saarländischen Meistereien werden die Füllstände der Soletanks, der Streustoffsilos und auch der Streustoffhallen mithilfe von Radarsensoren erfasst. Die Füllstände aller Salz- und Solelager werden in einem zentralen System online visualisiert (s. Bild 44).

3.4.4 Rundhalle AM Efringen-Kirchen

Die AM Efringen-Kirchen (s. Bild 45) wurde durch den Forschungsnehmer am 01.04.2019 gemeinsam mit einem Vertreter des Regierungspräsidiums Freiburg und dem Leiter der AM Efringen-Kirchen besichtigt. Anhang 12 enthält eine Fotodokumentation.

Das Zuständigkeitsgebiet der AM Efringen-Kirchen liegt im äußersten Südwesten Baden-Württembergs und grenzt direkt an Frankreich und die Schweiz. Das Regierungspräsidium Freiburg hat sich bei der Erneuerung der Gebäude auf dem Gehöft der AM Efringen-Kirchen dazu entschieden, die Streustoffhalle als Rundhalle zu konzipieren. Die Rundhalle befindet sich in der hinteren Ecke des Gehöfts. Die Halle hat ein Durchmesser von 26 m mit einer Lagerkapazität von 1.500 t. Die Schütthöhe beträgt 6 m. Das Salz kann an verschiedenen Stellen in der Halle be- und entladen werden. Somit ist es möglich, z. B. auch unterschiedliche Salzqualitäten für Trockenstoff und für die Salzlöseanlage in der Halle zu lagern. Derzeit wird allerdings nur eine Salzqualität verwendet.



Bild 45: Gesamtansicht der Rundhalle mit Umfahrung der AM Efringen-Kirchen (Bild: Cypra)

Die Stahlbetonwände, welche in hoher Qualität vor Ort hergestellt wurden, sind 30 cm dick. Die an der Außenseite sichtbaren Vliesabdrücke haben nur eine optische Funktion. Auf der Innenseite der Betonwände sind keine zusätzlichen Beschichtungen oder Verschalungen vorgenommen worden, das Salz wird direkt an der Betonmauer gelagert. Da das Salz an verschiedenen Stellen in der Rundhalle gelagert werden kann, kann die Wandoberfläche ohne größeren Aufwand kontrolliert werden. Die Belüftung findet über ein Deckenlicht in der Kuppel statt, wodurch starke Luftzüge in der Halle vermieden werden können.

Die Torhöhe beträgt nur 6 m, da der gesamte Ablaufvorgang mit der Kippmulde in der Rundhalle stattfindet und der Lkw mit wieder eingefahrener Mulde aus der Halle fährt. Bei der Rundhalle kommt ein Stapeltor zum Einsatz, das seit dem Einbau keine technischen Probleme verursacht. Im Standardfall ist das Tor geschlossen, um den Eintrag von Schmutz und Laub in die Halle zu vermeiden. Per Fernbedienung wird das Tor im Winterdienst geöffnet bzw. geschlossen.

Zur Beladung mit Trockensalz fährt der Winterdienst-Lkw in die Halle, wo er witterungsgeschützt mit einem Radlader beladen wird. Die Beleuchtung der Halle kann auch vom Lkw aus gesteuert werden. Für die Rückwärtsfahrt kann eine gesonderte Beleuchtung geschaltet werden, damit es keine Blendungen für die Rückfahrkamera beim Einfahren gibt.

Es befinden sich an der Halle zwei Ladestellen für die Solebetankung, eine am Hallentor und eine an der Hallenseite mit separater Hallenumfahrung, um Rückwärtsfahren an dieser Solebetankungsstelle zu vermeiden. Damit ist eine parallele Betankung von zwei Fahrzeugen mit Sole möglich. Die Solebetankungsstelle an der Hallenseite soll insbesondere für die FS-100 Beladung verwendet werden.

Die Salzlöseanlage mit der gesamten Steuerungstechnik ist in der Halle integriert. Damit wird vermieden, dass tiefe Temperaturen im Winter den Salzlösevorgang negativ beeinflussen. Aus einem Trichtersilo in der Halle, der von dem Radlader befüllt wird, wird die Salzlöseanlage beschickt. Insgesamt können in dem stehenden Soletank 40 m³ Salzlösung gelagert werden.

Da sich die Rundhalle auf dem Meistereigehöft befindet, wird der Füllstand mit Trockensalz in der

Halle aktuell lediglich mit einem Videobild überwacht. Der Füllstand des Soletanks wird wie für die Tanks und Streustoffsilos auf den Stützpunkten mittels Radartechnik überwacht und mit einer zentralen Fernwirkanlage visualisiert.

4 Erfassung des betrieblichen Aufwandes

4.1 Erfassungs- und Auswertemethodik

Die effiziente Nutzung der Streustofflagerstätten spielt für die Gesamtbewertung der Systeme eine wesentliche Rolle. Aus der Literatur sind zwar Angaben zum Zeitbedarf bei unterschiedlichen Systemen zur Streustoffbeladung bekannt (s. Kapitel 2.7.2), diese basieren jedoch nur auf einzelnen Vor-Ort-Erhebungen bzw. theoretischen Ansätzen. Weitere Prozesse neben der Beladung der Winterdienstfahrzeuge, z. B. die Streustoffanlieferung oder die Beladung eines Salztrichters, sind hierbei nicht berücksichtigt. Daher wurden im Rahmen des FE-Vorhabens die Betriebsabläufe bei der Streustofflagerung umfassend erhoben.

Für die Erfassung bieten sich unterschiedliche Methoden an:

- Erfassung durch geschultes Erfassungspersonal vor Ort
- Erfassung der Betriebsabläufe durch die Mitarbeiter der Meistereien
- Videoerfassung der Betriebsabläufe mit Auswertung durch geschultes Auswertepersonal

Die Erfassung vor Ort durch geschultes Erfassungspersonal ist mit einem erheblichen personellen Aufwand verbunden. Da die Beladung der Winterdienstfahrzeuge witterungsabhängig und somit nicht langfristig planbar ist und vielfach außerhalb regulärer Arbeitszeiten auch in den Nachtstunden und am Wochenende erfolgt, können bei einer Erfassung vor Ort nur wenige Arbeitsprozesse stichprobenhaft erfasst werden. Weiterhin besteht die Gefahr, dass bei einer Beobachtung vor Ort die Mitarbeiter der Meistereien die Arbeitsabläufe nicht wie in der regulären Praxis durchführen, sodass die erhobenen Daten nur eingeschränkt repräsentativ sind. Vorteil der Vor-Ort-Erfassung ist die umfassende und detaillierte Beobachtung des gesamten Arbeitsablaufs.

Werden die Betriebsabläufe durch die Meistereimitarbeiter erfasst, ist dies in einfacher Form und für einen größeren Umfang an Arbeitsprozessen möglich. Allerdings können nur wenige ausgewählte und eindeutig vorab definierte Kenngrößen erfasst werden, die die Besonderheiten des Arbeitsablaufs ggf. nur eingeschränkt widerspiegeln. Weiterhin besteht die Gefahr, dass die erfassten Daten aufgrund der Vielzahl der Erfasser nicht vergleichbar sind, eine umfassende Qualitätssicherung der erfassten Daten ist nicht möglich. Auch der Erfassungsaufwand für das Meistereipersonal und die möglichen Verzögerungen im Winterdienst sprechen gegen eine Erfassung durch das Meistereipersonal.

Für die Videoerfassung ist eine aufwendige Installation von Videokameras und Aufzeichnungsgeräten notwendig. Generell können nur die im Sichtfeld der Videokameras durchgeführten Arbeitsprozesse analysiert werden. Mit der Videoerfassung können jedoch über einen längeren Zeitraum alle Arbeitsprozesse aufgezeichnet und systematisch ausgewertet werden. Es besteht die Möglichkeit, die Auswertungen zu wiederholen oder zu prüfen, was zur Qualitätssicherung beiträgt. Weiterhin können vor der Erfassung nicht berücksichtigte Arbeitsprozesse in der Analyse aufgegriffen und spezifische Einflussgrößen auch nachträglich analysiert werden. Vorteil der Langzeit-Videoerfassung ist auch, dass der reguläre Betriebsablauf nicht gestört wird und dass so praxismgerechte Betriebsabläufe erfasst werden. Aufgrund der potenziellen Erfassung personenbezogener Daten sind umfassende Datenschutz- und Mitbestimmungsregelungen einzuhalten.

Da die Erfassung durch geschulte Mitarbeiter vor Ort bei einem erheblichen Erfassungsaufwand keinen wesentlichen Erkenntnisgewinn gegenüber den aus der Literatur bekannten Informationen erwarten lässt und da bei der Erfassung durch die Meistereimitarbeiter die Qualität der erfassten Daten nicht gesichert werden kann, erfolgte zur Analyse der Betriebsabläufe eine Videoerfassung mit anschließender Auswertung an Bildschirmarbeitsplätzen.

Da mit den Erhebungen ein erheblicher Aufwand verbunden ist, wurden sie an drei ausgewählten Standorten im Winter 2018/19 durchgeführt. Es wurden ausschließlich Standorte von Autobahnmeistereien einbezogen, um aufgrund der 24/7 Einsatzzeit an allen Wochentagen rund um die Uhr

mehr Beladevorgänge erfassen zu können und zum anderen eine bessere Vergleichbarkeit zu ermöglichen, da überwiegend Meistereipersonal im Einsatz ist. Es wurden folgende Standorte ausgewählt:

- AM Hannover: Streustoffhalle mit Verladesilo
Das Verladesilo wird über einen Salztrichter in der Halle und eine pneumatische Fördereinrichtung befüllt. Es stehen insgesamt drei Anschlüsse für die Solebetankung zur Verfügung (rechts vom Hallentor, am Verladesilo, an der Rückwand der Streustoffhalle). Die AM Hannover betreut das Autobahnnetz rund um Hannover. Hierfür stehen insgesamt zehn meistereieigene Fahrzeuge und sechs Fremd-Lkw zur Verfügung.
- Stützpunkt (Stp) Friolzheim der AM Karlsruhe: 4 Streustoffsilos:
Die Streustoffsilos werden über eine zentrale Fördereinrichtung mit Salztrichter befüllt, der direkt durch den Liefer-Lkw angedient wird. Die Salzsole wird angeliefert. An jedem Streustoffsilos befindet sich ein Anschluss für die Solebetankung. Vom Stp Friolzheim wird eine Winterdienstschleife auf der A 8 betreut, wofür Fahrzeuge am Stützpunkt stationiert sind. Bis Jahresende 2018 wurde vereinzelt von weiteren Lkw Salz in Friolzheim geladen, da die Streustoffhalle auf dem Meistereigehöft neu gebaut wurde. Die AM Karlsruhe verfügt insgesamt über elf Winterdienst-Lkw und zwei FS 100 Anhänger sowie zwei Fremd-Lkw.
- Stützpunkt (Stp) Merklingen der AM Ulm: Streustoffhalle, Beladung mit Radlader
Die Salzlöseanlage mit Salztrichter befindet sich in der Streustoffhalle. Es befindet sich ein Anschluss für die Solebetankung links vom Hallentor. Die Winterdienst-Lkw stehen zur Beladung vor oder neben der Halle. Vom Stp Merklingen aus werden in erster Linie der Alaufstieg der A 8 sowie Abschnitte auf der Albhochfläche betreut. Insgesamt verfügt die AM Ulm über acht Winterdienstfahrzeuge.

Für die Videoerfassung wurden handelsübliche Überwachungskameras eingesetzt, die nachtsichtfähig bis 30 m und für den Außeneinsatz geeignet sind (Schutzklasse IP 66). Für die Videoerfassung wurde ein separates Netzwerk installiert, das unabhängig von auf dem Meistereigelände installierten Datennetzwerken betrieben wurde. Die Videodaten wurden vor Ort auf einer Festplatte gespeichert. Die Videodaten wurden nicht fortlaufend, sondern er-

eignisgesteuert aufgezeichnet. Ereignisse waren typischerweise Bewegungen im Bildausschnitt. Die Kameras waren über Ethernet-Kabel mit dem Server verbunden (max. 100 m); eine separate Stromversorgung der Kameras war nicht erforderlich. Der Server war in einem verschließbaren Serverschrank installiert, der in einem Gebäude auf der Meisterei fest installiert wurde. Der Server benötigte einen Stromanschluss und war bis -10°C funktionsfähig. Zur Überwachung der ordnungsgemäßen Funktion der Anlage durch den Forschungsnehmer verfügte der Server über eine SIM-Karte. Eine Übertragung von Videodaten erfolgte damit jedoch nicht. Der Aufbau der Videoerfassungsanlage ist in Bild 46 exemplarisch dargestellt. Abweichend hiervon wurden in der AM Hannover und am Stp Frieolzheim je fünf Kameras installiert. Kamerastandorte und exemplarische Bilder sind in Anhang 13 bis 15 zusammengestellt.

Erfassungskonzept und vorgesehene Anlagen wurden mit den zuständigen Straßenbauverwaltungen, Meistereileitungen und Personalräten abgestimmt. In der AM Hannover wurde das Erfassungskonzept zusätzlich dem Meistereipersonal vorgestellt. Hier wurde aus Datenschutzgründen auf Wunsch der Mitarbeiter ein zusätzlicher Schalter installiert, mit dem durch das Meistereipersonal alle Kameras manuell ein- und ausgeschaltet werden konnten. Dadurch war die Videoerfassung nur in Betrieb, wenn Winterdiensteinsätze vorgesehen waren. Eine zu-

sätzliche Leuchte signalisierte in Hannover, ob die Anlage eingeschaltet war oder nicht. An allen Standorten wurde datenschutzkonform auf die Videoaufzeichnung hingewiesen (s. Bild 47).

Das Videomaterial wurde durch qualifiziertes Auswertepersonal ausgewertet, das hierfür geschult und in den Datenschutzbestimmungen unterwiesen wurde. Es wurden alle relevanten Ereignisse tabellarisch dokumentiert. Ausgewertet wurden:

- Relevante Kamera
- Fahrzeug Kennzeichen oder Nummer (soweit erkennbar), dient ggf. zur Zuordnung der Streumaschinen- oder Soletankkapazität
- Art der Tätigkeit
- Anfangs- und Endzeit gemäß Tabelle 10, hierbei Unterscheidung nach Brutto- und Nettozeiten
 - Bruttozeit: Beginn und Ende des gesamten Prozesses
 - Nettozeit: Beginn und Ende des unmittelbaren Arbeitsschritts
- Bei Einsatz Radlader zusätzlich Anzahl der Kippvorgänge als Maß für die geladene Streustoffmenge sowie Bewegungsmuster (nur Stp Merklingen)

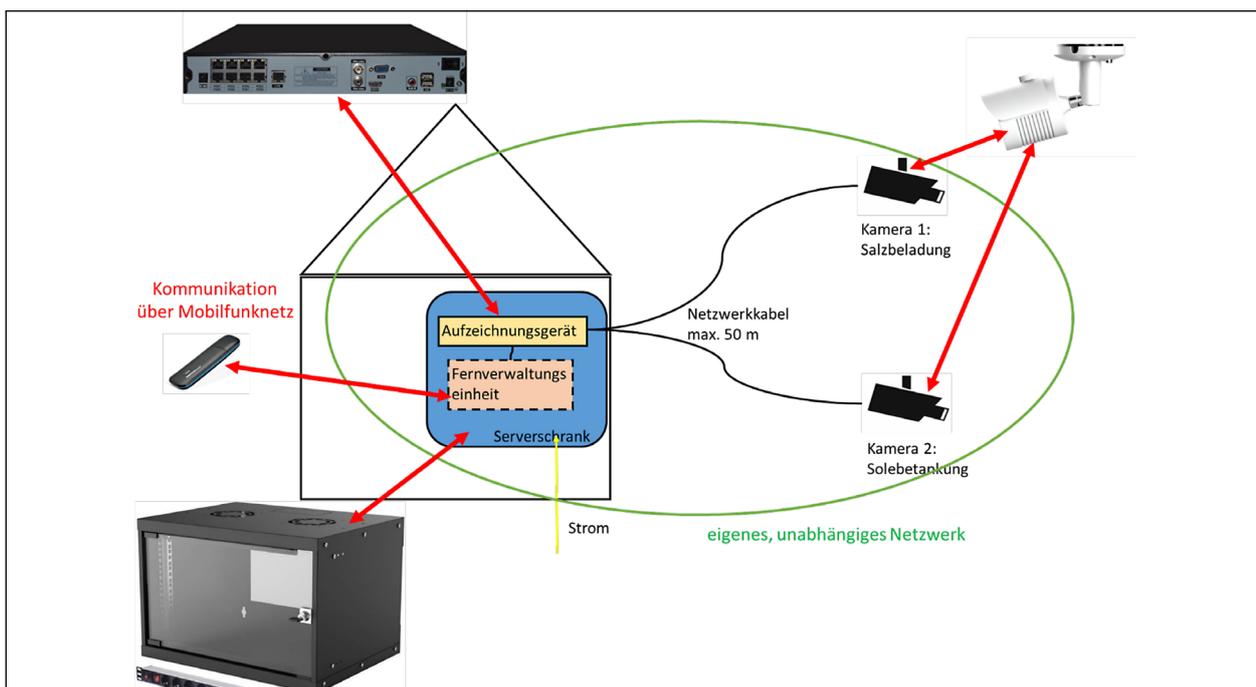
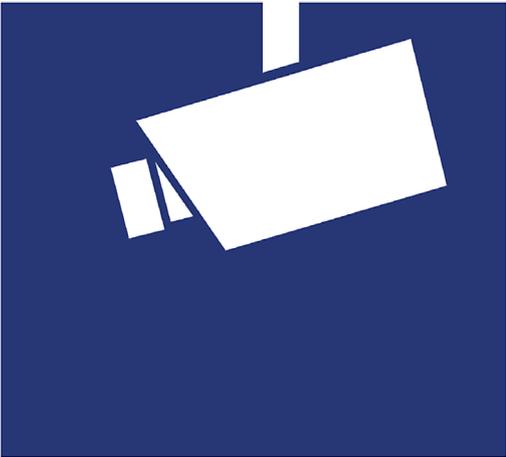


Bild 46: Aufbau und Komponenten zur Videoerfassung der Streustofflager

Videoaufzeichnung



Name und Kontaktdaten des Verantwortlichen:
 Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb
 Wiesenäckerweg 18B, 76229 Karlsruhe
 E-Mail: christian.holldorb@holldorb-consult.de

Zweck und Rechtsgrundlage der Datenverarbeitung:
 Forschung, Art. 6 Abs. 1 S. 1 lit. f DSGVO

Berechtigte Interessen, die verfolgt werden:
 Forschung zur Erfassung von Beladungszeiten im Winterdienst im Rahmen des Forschungsprojektes 03.0554/2017/MRB „Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen

Speicherdauer oder Kriterien für die Dauer der Speicherung:
 Erfassung der Beladungsvorgänge bis 31.03.2019. Die Videoaufnahmen stehen ausschließlich dem Forschungsnehmer zur Verfügung und werden nicht an Dritte weitergegeben. Alle Videoaufnahmen erfolgen mit geringer Auflösung. Die Videoaufnahmen werden anonymisiert ausgewertet und im Anschluss an die Auswertung vollständig gelöscht. Einzelne Aufnahmen ohne Personenbezug werden zur Dokumentation des Verfahrens genutzt.

Bild 47: Datenschutzkonformes Hinweisschild zur Videoerfassung

Tätigkeit	Nettozeit	Bruttozeit
Beladung mit Radlader	AM Hannover: Radlader fährt los, Radlader wird abgestellt Stp Merklingen: Radlader fährt zum 1. Mal aus Halle, fährt zum letzten Mal in die Halle	Winterdienst Lkw kommt zum Stillstand / Winterdienst-Lkw fährt ab
Beladung am Streustoffsilos	Beginn und Ende der Salzbefüllung oder wenn der Mitarbeiter auf dem Podest steht, Unterbrechungen der Salzbefüllung bei Rangieren des Lkw werden der Netto-Zeit zugeordnet	Winterdienst Lkw kommt zum ersten Mal zum Stillstand / Winterdienst-Lkw fährt ab
Betankung mit Salzsole	Mitarbeiter nimmt Soleschlauch oder öffnet Verschluss am Soletank, Mitarbeiter bringt Soleschlauch in Ausgangsposition oder schließt Verschluss am Soletank	Winterdienst Lkw kommt zum ersten Mal zum Stillstand / Winterdienst-Lkw fährt ab
Parallele Beladung Salz & Sole	wie für separate Tätigkeit (Nettozeiten unterscheiden sich für die beiden Beladevorgänge)	Winterdienst Lkw kommt zum Stillstand / Winterdienst-Lkw fährt ab (Bruttozeiten sind für beide Ladevorgänge gleich)
Befüllung Salztrichter	Beginn des ersten Ladevorgangs / Ende des letzten Abkippvorgangs über dem Salztrichter	Mitarbeiter steigt erstmals in Radlader oder Radlader fährt in den Bildbereich / Mitarbeiter steigt aus Radlader oder Radlader fährt aus dem Bildbereich
Anlieferung Streustoff mit Lkw	Muldenkipper hebt sich; Mulde ist leer (Stp Merklingen nicht erfasst)	AM Hannover, Stp Merklingen: Lkw fährt rückwärts in die Halle, fährt wieder aus der Halle: Stp Friolzheim: Lkw ist im Videobild sichtbar
Anlieferung Salzsole mit Tankfahrzeug	Mitarbeiter nimmt Soleschlauch oder öffnet Verschluss am Tanklastzug, Mitarbeiter bringt Soleschlauch in Ausgangsposition oder schließt Verschluss am Fahrzeug)	Tankfahrzeug kommt zum Stillstand / Tankfahrzeug fährt wieder los
Streustoffumlagerung mit Radlader (nur AM Hannover)	keine Nettozeit	Mitarbeiter steigt erstmals in Radlader oder Radlader fährt in den Bildbereich / Mitarbeiter steigt aus Radlader oder Radlader fährt in den Bildbereich
Entleerung Streumaschine	keine Nettozeit	Streumaschine in Betrieb

Tab. 10: Definition von Netto- und Bruttozeit für die Auswertung der Videoerfassung

- Information, ob Beladung von Salz und Sole separat, nacheinander oder parallel erfolgten
- Weitere Bemerkungen, z. B. über besondere oder nicht prozesszugehörige Zeiten, wie Kontrollen, Reinigungsarbeiten, Pausen etc.

Die geladenen Streustoffmengen und getankten Solemengen wurden nicht erfasst.

Standort	Zeitraum	Bemerkungen	
Stp Friolzheim	23.10.	Installation	
	24.10. – 26.10.		
	29.10. – 31.10.		
	13.11.		
	19.11. – 23.11.		
	25.11. – 28.11.		
	03.12.		
	04.12. – 12.12.		Ausfall Videoerfassung nur Kamera 1, 4 und 5
	12.12. – 18.12.		
	21.12.		
	24.12. – 25.12.		
	27.12. – 29.12.		
	01.01. – 03.01.		
	03.01. – 05.01.		
	09.01. – 11.01.	nur Kamera 1, 4 und 5	
	14.01. – 19.01.		
	21.01. – 05.02.		
11.02. – 13.02.			
15.02.			
20.02.			
11.03.			
10.04.	Abbau		
AM Hannover	19.10.	Installation	
	13.12. – 19.12.		
	21.01. – 26.01.		
	28.01. – 06.02.		
	12.02.		
	10.03. – 11.03.		nur Kamera 3
	12.03. – 13.03.		
	19.03. – 21.03.		
	27.03. – 28.03.		
	03.04.		
	12.04.	Abbau	
Stp Merklingen	22.10.	Installation	
	28.10. – 29.10.		
	16.11.		
	19.11.		
	25.11. – 27.11.		
	09.12. – 14.12.		
	16.12. – 21.12.		
	24.12. – 27.12.		
	29.12.		
	02.01. – 08.02.		Wechsel Festplatte (12.02.)
	10.02. – 15.02.		
	18.02. – 21.02.		
	27.02.		
	05.03.		
	11.03.	Abbau	
25.03. – 26.03.			
10.04.			

Tab. 11: Zeitraum der Videoerfassung (nur relevante Erfassungstage)

4.2 Umfang der Erfassung

Die Anlagen zur Videoerfassung wurden im Oktober 2018 installiert und im April 2019 wieder abgebaut. In Tabelle 11 sind alle Erfassungstage zusammengestellt.

In Friolzheim fiel die Anlage aus technischen Gründen vom 04.12. bis 12.12. aus, danach waren bis auf wenige Tage nur die Kameras 1, 4 und 5 in Betrieb. Diese konnten jedoch einen Großteil der Beladevorgänge am Standort aufzeichnen, da in Absprache mit dem Meistereileiter bevorzugt die beiden Silos angefahren wurden, die von diesen Kameras überwacht wurden. In der AM Hannover fielen nur kurzzeitig vier Kameras aus; an Kamera 1, die an der Solefüllstation im rückwärtigen Hallenbereich installiert war, wurden keine relevanten Vorgänge erfasst. Am Stp Merklingen wurde die Festplatte aus Kapazitätsgründen einmal getauscht, an den anderen Standorten war die Kapazität der Festplatte von 4 TB für den gesamten Zeitraum ausreichend.

Insgesamt wurden 1.177 Beladevorgänge von Winterdienstfahrzeugen erfasst, bei denen repräsentative Beladezeiten ermittelt werden konnten (s. Tabelle 12). In der AM Hannover wurde der Radlader nur in Ausnahmen für die Beladung der Winterdienstfahrzeuge eingesetzt, sodass Daten zum Radladereinsatz überwiegend für den Stp Merklingen vorliegen. Die Silobeladung erfolgte an der AM Hannover und am Stp Friolzheim gleichermaßen, die Solebetankung konnte an allen Standorten umfassend erhoben werden.

	Friolzheim	Hannover	Merklingen	Gesamt
Beladung mit Radlader		7	376	383
davon ohne Solebetankung		4	197	201
davon Solebetankung folgend		2	37	39
davon Solebetankung parallel		1	142	143
Beladung mit Salzsilo	140	150		290
davon ohne Solebetankung	68	97		165
davon Solebetankung folgend	21	23		44
davon Solebetankung parallel	51	30		81
Solebetankung	155	152	197	504

Tab. 12: Anzahl der ausgewerteten Ladevorgänge für Winterdienstfahrzeuge

	Friolzheim	Hannover	Merklingen	Gesamt
Streusalz Anlieferung & Abkippen	63	25	71	159
Soleanlieferung	21			21
Beladung Salztrichter		102		102
davon nur Beladung		86		86
davon in Komb. mit Lkw-Beladung		1		1
davon in Komb. mit Salzumlagerung		15		15
Salzumlagerung	7	55		62
davon in Komb. mit Beladung Salztrichter		15		15
Streuertleerung		15		15

Tab. 13: Anzahl weiterer erfasster Vorgänge

Bei weiteren 95 Beladevorgängen konnten keine eindeutigen Beladezeiten zugeordnet werden, im Wesentlichen, da

- zwei Fahrzeuge in Kombination beladen wurden, sodass zusätzliche Wartezeiten entstanden,
- nicht tätigkeitsbedingte Abstimmungen des Winterdienstpersonals erfolgten,
- die Fahrzeuge aufgrund nicht tätigkeitsbedingter Pausenzeiten länger am Standort blieben,
- Anfangs- oder Endzeitpunkt nicht erkennbar waren.

Neben der Beladung der Winterdienstfahrzeuge mit Salz und Sole konnten an allen Standorten auch die Anlieferung von Streusalz mit Lkw, am Stp Friolzheim die Soleanlieferung sowie in der AM Hannover die Beladung des Salztrichters, das Umlagern vom Streusalz durch den Radlader und die Entleerung von Streufahrzeugen erfasst werden (s. Tabelle 13).

4.3 Beladung mit Radlader

Am Stp Merklingen gab es in Abhängigkeit der Position des Winterdienstfahrzeugs fünf unterschiedliche Bewegungsmuster für den Beladevorgang durch den Radlader (s. Bild 48). Bei den Bewegungsmustern V0, V90 und V180 fährt der Radlader vorwärts, bei den Bewegungsmustern R90 und R0 rückwärts aus der Halle. Beim Bewegungsmuster V0 fährt der Radlader rückwärts in die Halle und wendet dort; bei allen anderen Bewegungsmustern fährt er vorwärts in die Halle zurück, sodass dort

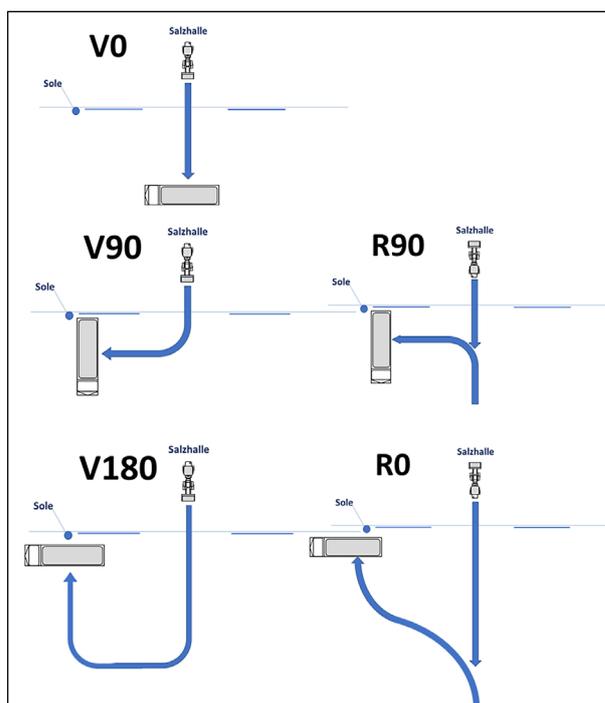


Bild 48: Bewegungsmuster Radlader am Stp Merklingen

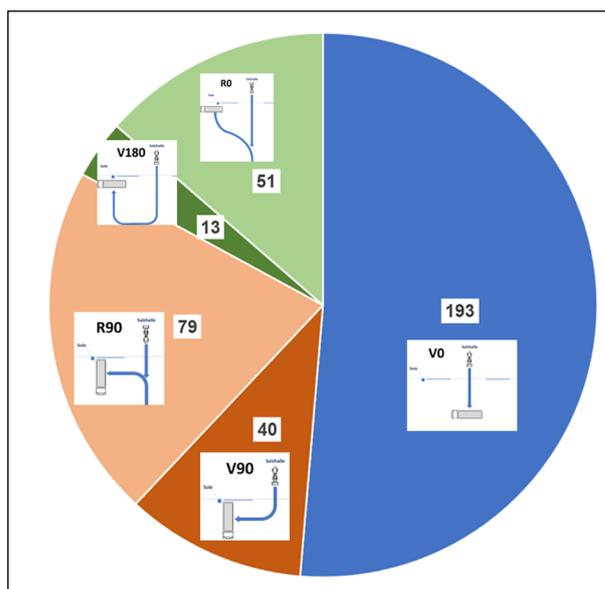


Bild 49: Anzahl der Beladevorgänge mit Radlader am Stp Merklingen, differenziert nach Bewegungsmuster

kein Wenden erforderlich ist. Die Bewegungsmuster wurden während eines Ladevorgangs beibehalten.

Bei Bewegungsmuster V0 steht das Winterdienstfahrzeug vor der Halle und kann nicht parallel mit Sole betankt werden. Der Abstand zur Halle ist unterschiedlich, teilweise steht der Lkw auch direkt vor dem Hallentor. In allen Fällen ist der Abstand jedoch so gering, dass der Radlader nicht vor der Halle, sondern nur in der Halle drehen kann. Bei den an-

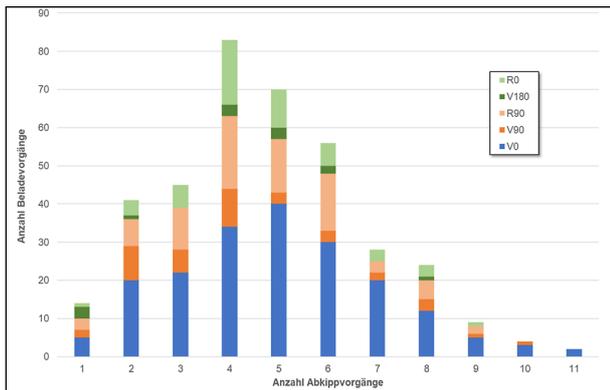


Bild 50: Anzahl der Beladevorgänge mit Radlader am Stp Merklingen, differenziert nach Anzahl Abkippvorgänge und Bewegungsmuster

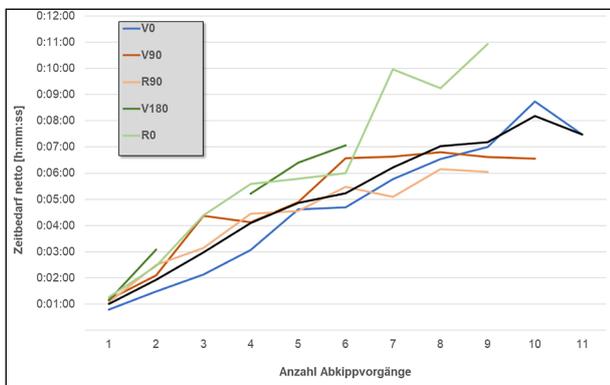


Bild 51: Mittlere Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen

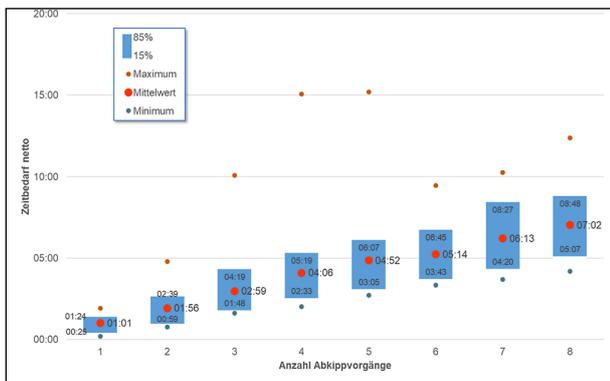


Bild 52: Statistische Kennwerte für die Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen

deren Bewegungsmustern steht der Lkw links neben der Halle, wo sich der Soleanschluss befindet.

Bei über der Hälfte der Ladevorgänge stand das Winterdienstfahrzeug vor der Halle und konnte so nicht parallel mit Sole beladen werden. Bei gut ein Drittel der Vorgänge stand der Lkw rückwärts an der Solestation, bei ca. 1/6 seitlich an der Solestation (s. Bild 49). Mögliche Gründe für die unterschiedliche Lkw-Ausrichtung und die dabei erfassten variierenden Bewegungsmuster sind zum einen betrieb-

liche Vorgänge, zum anderen aber auch persönliche Präferenzen einzelner Mitarbeiter, die jedoch nicht weiter analysiert wurden, da aus Datenschutzgründen keine personenbezogene Auswertung erfolgte.

Bild 50 zeigt die Anzahl der Ladevorgänge differenziert nach Anzahl der Abkippvorgänge. Vielfach waren vier bis sechs Abkippvorgänge zur Beladung des Winterdienst-Lkw erforderlich, häufig wurden aber auch nur zwei oder drei durchgeführt. Es ist davon auszugehen, dass der Trockenstoffbehälter in der Regel vollgefüllt wird, sodass insbesondere bei den Ladevorgängen mit nur wenigen Abkippvorgängen die Streumaschine vor der Beladung noch teilgefüllt war. Dies lässt sich häufig auch auf den Videobildern erkennen.

Um den Einfluss des Bewegungsmusters des Radladers und der Anzahl der Abkippvorgänge auf die Beladezeit zu analysieren, wird die mittlere Nettobeladezeit ausgewertet, da diese nicht durch den Zeitbedarf für eine ggf. parallel stattfindende Solebetankung oder andere Tätigkeiten beeinflusst wird (s. Bild 51). Die Beladezeit bei Einsatz des Radladers hängt im Wesentlichen von der Anzahl der Abkippvorgänge ab; der Einfluss des Bewegungsmusters ist hingegen deutlich geringer. Generell ist die Beladung bei V0 schneller, sodass die Positionierung des Winterdienst-Lkw unmittelbar vor dem Hallentor bevorzugt dann gewählt wurde, wenn keine Betankung mit Sole notwendig war.

Bei der Positionierung des Lkw an der Solestation sind für die Bewegungsmuster V90 und R90 geringere Beladezeiten als für die Bewegungsmuster V180 und R0 erkennbar. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass bei diesen Bewegungsmustern der Lkw rückwärts an die Solestation rangieren muss, während er bei den anderen parallel zur Hallenfront anfahren kann, wodurch aufgrund der Umfahrungsmöglichkeit der Streustoffhalle auf ein Rangieren verzichtet werden kann. Die kürzere Beladezeit mit dem Radlader bei V90 und R90 gegenüber V180 und R0 wird somit durch den zusätzlichen Zeitbedarf für das Rangieren des Lkw zum Teil kompensiert. Da das Rangieren und auch das Umfahren der Halle nicht erfasst wurden, können diese nicht quantifiziert werden.

In Bild 52 sind als statistische Kennwerte für die Nettobeladezeit neben dem Mittelwert auch minimale und maximale Werte sowie die 15- und 85-% Quantile dargestellt, wobei aufgrund der geringen

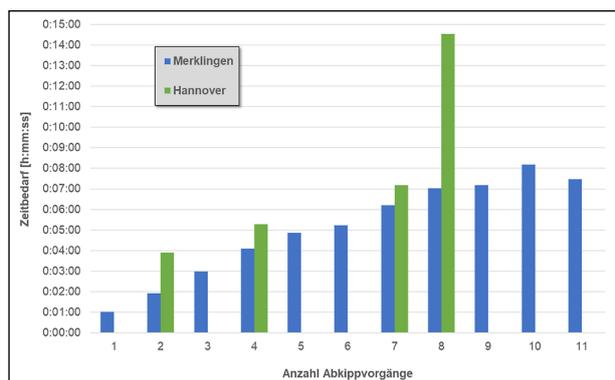


Bild 53: Mittlere Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen (376 Beladevorgänge) und in der AM Hannover (7 Beladevorgänge)

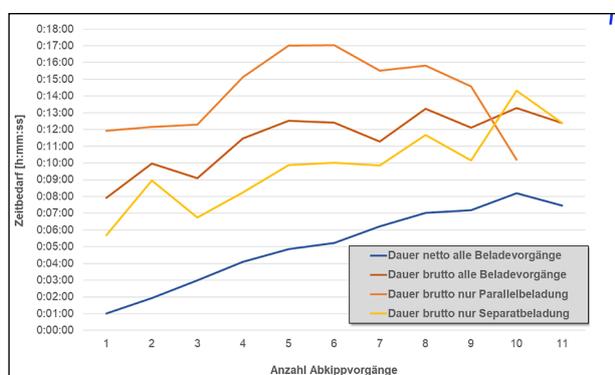


Bild 54: Mittlere Netto- und Bruttobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen

	alle Beladevorgänge	nur Parallelbeladung	nur Separatbeladung
Anzahl Ladevorgänge	376	179	197
Mittlere Anzahl Abkippvorgänge	4,7	4,6	4,8
Dauer netto [m:s]	0:04:24	0:04:48	0:04:10
Dauer brutto [m:s]	0:11:22	0:14:59	0:09:10

Tab. 14: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Radladerbeladung am Stp Merklingen

Datenbasis mehr als acht Abkippvorgänge nicht dargestellt sind.

Im Vergleich zum Stp Merklingen liegen die Beladezeiten in der AM Hannover höher (s. Bild 53). Da hier nur sehr wenige Ladevorgänge mit Radlader stattfanden, kann dies u. a. darauf zurückgeführt werden, dass die Routine bei Befüllung des Lkw mit Radlader nicht vorhanden ist. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass im Stp Merklingen bei der Nettoladezeit das erste Laden der Ladeschaufel in der Streustoffhalle und die letzte Fahrt in der Streustoffhalle nicht erfasst wurden. Tendenziell werden die am Stp Merklingen erfassten Nettoladezeiten be-

stätigt. Überschlägig kann für den Stp Merklingen eine Nettoladezeit von ca. 1 min je Abkippvorgang angesetzt werden, bei Ladevorgängen mit vielen Abkippvorgängen ist sie tendenziell geringer.

Analysiert man die mittlere Bruttoladezeit, so wird deutlich, dass diese mehrere Minuten über der Nettoladezeit liegt und dass die Bruttoladezeit bei Parallelbeladung (Streusalz und Sole werden gleichzeitig befüllt) nicht mehr von der Anzahl der Abkippvorgänge abhängig ist (s. Bild 54). Für die Ladevorgänge, bei denen nur Streusalz geladen wird (Separatbeladung), liegt die Bruttoladezeit im Mittel ca. 5 min über der Nettoladezeit, was unabhängig von der Anzahl der Abkippvorgänge ist. Bei Parallelbeladung beträgt die Bruttoladezeit hingegen im Mittel ca. 15 min, weitgehend unabhängig von der Anzahl der Abkippvorgänge (s. Tabelle 14).

4.4 Beladung am Streustoffsilo

Die Beladung am Streustoffsilo konnte an den Standorten Friolzheim und Hannover erfasst werden. Die wesentlichen Kenngrößen sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Hierbei ist wiederum nach paralleler Beladung von Salz und Sole sowie separater Beladung von Salz differenziert.

Die Nettoladezeiten in Hannover sind deutlich schneller als am Stp Friolzheim. Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass in Hannover häufig mehrere Lkw unmittelbar hintereinander beladen werden, wobei ein Mitarbeiter für alle Fahrzeuge den Streustoffsilo bedient, sodass die Fahrer die Winterdienst-Lkw unmittelbar rangieren können und nicht aussteigen müssen. Bei der Parallelbeladung ist dies nicht möglich, da der Winterdienst-Lkw unter dem Streustoffsilo für die Betankung der Sole länger steht. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass am Stp Friolzheim der Füllvorgang häufig nicht eindeutig erkennbar ist, sodass die Verweilzeit des Mitarbeiters auf dem Bedienpodest maßgebend ist. Inwieweit auch die Lademenge für die Unterschiede in den Beladezeiten maßgebend ist, kann nicht beurteilt werden, da sie nicht erfasst wurde. Aus den Vi-deobildern wird jedoch deutlich, dass in der AM Hannover häufig nur eine Teilfüllung erfolgte, am Stp Friolzheim ist der Füllgrad der Winterdienst-Lkw vor der Beladung nicht erkennbar.

Die Bruttoladezeit bei separater Beladung unterscheidet sich zwischen den beiden Standorten noch deutlicher: Sie beträgt in Friolzheim im Mittel knapp

	alle Beladevorgänge	nur Parallelbeladung	nur Separatbeladung
Anzahl Ladevorgänge			
Friolzheim	140	51	89
Hannover	149	29	120
Nettoladezeit [m:s]			
Friolzheim	04:09	04:16	03:59
Hannover	01:15	02:00	01:04
Bruttoladezeit [m:s]			
Friolzheim	11:35	17:46	07:59
Hannover	04:10	10:04	02:47

Tab. 15: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Beladung am Streustoffsilo am Stp Friolzheim und in der AM Hannover

	1 Mitarbeiter	2 Mitarbeiter
Anzahl Ladevorgänge		
Friolzheim	69	20
Hannover	81	39
Nettoladezeit [m:s]		
Friolzheim	04:18	03:13
Hannover	01:13	00:47
Bruttoladezeit [m:s]		
Friolzheim	08:17	06:56
Hannover	03:16	01:48

Tab. 16: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die separate Beladung am Streustoffsilo am Stp Friolzheim und in der AM Hannover bei 1 und 2 Mitarbeitern

8 min, in Hannover weniger als 3 min. Auch dies ist auf die Beladung mehrerer Lkw unmittelbar hintereinander zurückzuführen, zum anderen sind am Stp Friolzheim zum Teil langwierigere Rangiermanöver zu beobachten, wenn die Position des Lkw während der Beladung geändert werden muss. Bei Parallelbeladung liegt die mittlere Bruttoladezeit bei 10 bzw. knapp 18 min, was wiederum vor allem auf die Solebetankung zurückzuführen ist.

Für die separate Beladung von Streusalz am Streustoffsilo sind die Ladezeiten weiter nach der Anzahl der eingesetzten Mitarbeiter differenziert worden (s. Tabelle 16). Am Stp Friolzheim wurden 20 % der Ladevorgänge, in der AM Hannover 33 % der Ladevorgänge, bei denen nicht parallel auch Sole getankt wurde, durch zwei Mitarbeiter durchgeführt. An beiden Standorten sind die Ladezeiten bei Einsatz von zwei Mitarbeitern geringer als bei nur einem Mitarbeiter. Die Zeitersparnis bei den Nettoladezeiten von im Mittel ca. 1 min bzw. 0,5 min resultiert daraus, dass der Fahrer des Winterdienst-Lkw

bei der Neupositionierung des Lkw während des Ladevorgangs nicht aus- und einsteigen muss. Die noch größere Zeitersparnis bei der Bruttoladezeiten (knapp 1,5 min) ist zusätzlich darauf zurückzuführen, dass der Fahrer auch zu Beginn und Ende des Ladevorgangs nicht aus- und einsteigen muss.

4.5 Solebetankung

Die Nettoladezeit für die Solebetankung wird im Wesentlichen durch die Gesamtfördermenge sowie die Förderleistung der Soleanlage bestimmt. Die tatsächlich getankte Solemenge ist im Rahmen der Erfassung nicht dokumentiert worden, es liegen jedoch Angaben zur Kapazität der Soletanks der Winterdienstfahrzeuge vor. In Bild 55 ist die mittlere Nettoladezeit für die Solebetankung in Abhängigkeit der Kapazität der Soletanks dargestellt. Wie zu erwarten nimmt die mittlere Nettoladezeit mit der Kapazität zu. Am Stp Merklingen ist diese Korrelation am stärksten ausgeprägt, an den beiden anderen Standorten ist sie geringer.

Die mögliche Förderleistung der Soleanlage wird zum einen durch die Pumpenkennlinie der installierten Pumpe und zum anderen durch die Förderhöhe zwischen Solevorratsbehälter auf dem Standort und dem Soletank des Winterdienstfahrzeugs bestimmt. Diese hängt wiederum von der Höhenlage und von Verlusten in Rohrleitungen, Ventilen und weiteren Aggregaten ab. Für den Stp Merklingen und die AM Hannover wird die Förderleistung aufgrund der vorliegenden Pumpenkennlinie und der örtlichen Verhältnisse mit 20 m³/h abgeschätzt, am Stp Friolzheim ist eine stärkere Pumpe installiert, sodass 30 m³/h zugrunde gelegt werden können.

In Bild 56 sind gemessene mittlere Nettoladezeit und theoretische Füllzeit gegenübergestellt. Am Stp Merklingen und in der AM Hannover liegt die gemessene Nettoladezeit unter der theoretischen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Soletanks nicht vollständig befüllt werden. Dies ist insbesondere bei den Fahrzeugen mit Kapazitäten über 7 m³ zu erkennen, was vermuten lässt, dass die Soletanks noch teilgefüllt waren. Am Standort Friolzheim hingegen ist die Nettoladezeit größer als die theoretische, was tendenziell eher Vollfüllungen der Soletanks erkennen lässt.

Zusammenfassend beträgt die gemessene mittlere Nettoladezeit für die Solebetankung bei üblichen Soletankkapazitäten zwischen 2,5 und 3,5 m³ auf

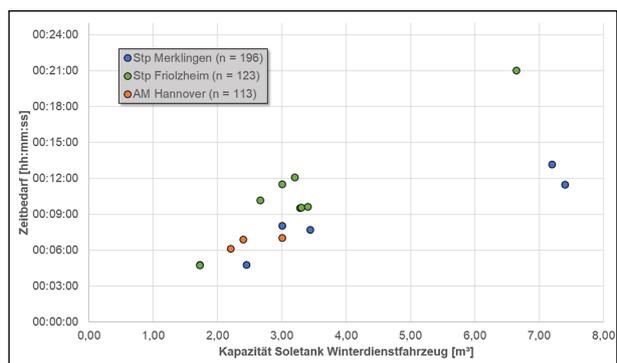


Bild 55: Mittlere Nettoladezeit für die Solebetankung in Abhängigkeit der Kapazität der Soletanks der Winterdienstfahrzeuge

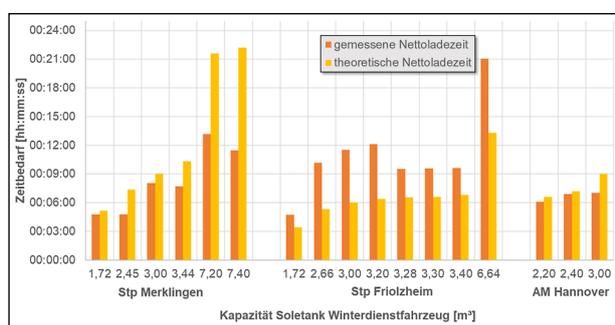


Bild 56: Gegenüberstellung von gemessener mittlerer Nettoladezeit und theoretischer Nettoladezeit bei Vollfüllung für die Solebetankung in Abhängigkeit der Kapazität der Soletanks der Winterdienstfahrzeuge

	alle Beladevorgänge	nur Parallelbeladung	nur Separatbeladung
Anzahl Ladevorgänge	250	153	97
Merklingen	101	96	5
Friolzheim	96	45	51
Hannover	53	12	41
Nettoladezeit [m:s]	08:39	08:18	09:14
Merklingen	07:57	08:00	06:52
Friolzheim	10:18	09:39	11:01
Hannover	07:03	06:09	07:18
Bruttoladezeit [m:s]	13:20	14:05	12:09
Merklingen	13:17	13:32	08:29
Friolzheim	15:49	16:45	14:59
Hannover	08:54	08:18	09:04

Tab. 17: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Solebetankung von Winterdienstfahrzeugen mit einer Soletankkapazität zwischen 2,5 und 3,5 m³

dem Winterdienstfahrzeug 8 min 39 s. Bei Fahrzeugen mit 6,5 bis 7,5 m³ Fassungsvermögen beträgt die mittlere Nettoladezeit 14 min 47 s.

In Tabelle 17 sind für die häufigsten Ladevorgänge mit Soletankkapazitäten zwischen 2,5 und 3,5 m³

mittlere Netto- und Bruttoladezeiten zusammengestellt. Hierbei wird unterschieden, ob auch parallel Trockenstoff oder nur Sole beladen wird. Am Stp Friolzheim sind sowohl Netto- als auch Bruttoladezeiten höher als an den beiden anderen Standorten; mögliche Ursache hierfür kann sein, dass in Friolzheim mehr Sole getankt wurde, da die Soletanks leer waren. Da in Friolzheim eine stärkere Pumpe als an den beiden anderen Standorten installiert ist, ist nicht davon auszugehen, dass die Pumpenleistung ursächlich war. Die um ca. 1 min höhere Nettoladezeit bei separater Beladung gegenüber der Parallelbeladung an den Standorten Friolzheim und Hannover kann auf höhere Lademengen bei separater Beladung zurückgeführt werden, da an diesen beiden Standorten große Solemengen separat getankt werden, um den Siloladeplatz nicht zu lange zu blockieren.

Im Mittel über alle Standorte ist die Bruttoladezeit bei Parallelbeladung mit 14 min ca. 6 min über der Nettoladezeit, bei separater Beladung liegt sie mit 12 min hingegen nur ca. 3 min über der Nettoladezeit. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass durch die kombinierte Beladung zusätzliche Tätigkeiten ausgeführt werden, die eine zusätzlichen Zeitbedarf hervorrufen.

4.6 Anlieferung und Salztrichter

An allen drei Standorten konnte auch die Anlieferung von Streusalz erfasst und ausgewertet werden. In der Regel wurde das Streusalz mit Lkw-Sattelzügen mit Kippeinrichtung angeliefert, die eine Ladekapazität von 25 t haben. Bei den insgesamt 159 beobachteten Anlieferungen wurden somit knapp 4.000 t Salz abgekippt. Die mittleren Entladezeiten sind in Bild 57 zusammengestellt. Für Merklingen konnten keine Nettoladezeiten erfasst werden, da dort keine Kamera in der Streustoffhalle installiert war. Die deutlich geringere Bruttoentladezeit am Stp Friolzheim resultiert vor allem daraus, dass dort das Absenken des Kippers nicht mehr erfasst werden konnte, da dies außerhalb des Bildbereichs der Erfassungskamera erfolgte. Es ist davon auszugehen, dass der Abkippvorgang in den Salztrichter am Stp Friolzheim ähnlich lange dauert wie das Abkippen in der Streustoffhalle an den beiden anderen Standorten. Die mittlere Bruttoentladezeit liegt bei ca. 7 min.

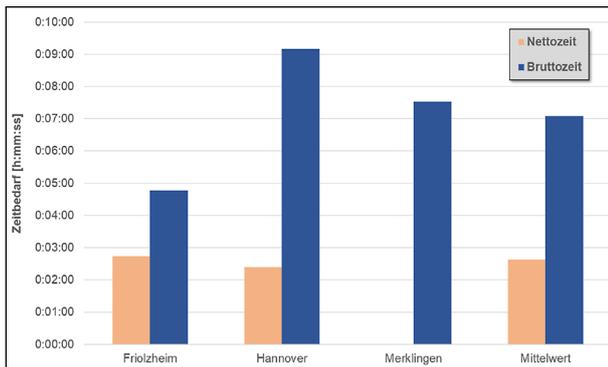


Bild 57: Mittlere Entladezeit Lkw bei der Salzanlieferung

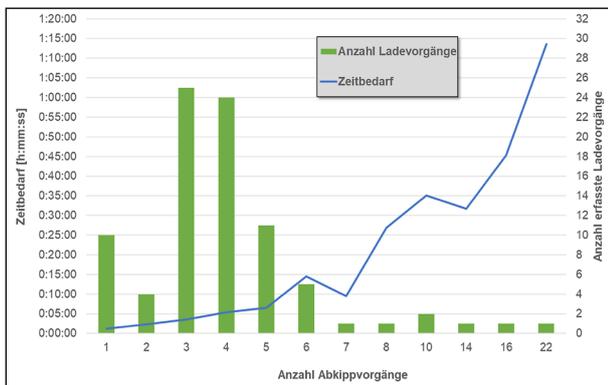


Bild 58: Mittlere Bruttoladezeit und Anzahl der erfassten Ladevorgänge für den Salztrichter in der AM Hannover

Sole wurde nur am Stp Friolzheim angeliefert. Es konnten insgesamt 21 Liefervorgänge ausgewertet werden. Die Lieferzeit für das Pumpen der Sole in den Solevorratsbehälter liegt im Mittel netto bei 33 min und brutto bei 49 min.

In der AM Hannover wurde auch das Beladen des Salztrichters in der Streustoffhalle erfasst. Der Ladevorgang wird stark durch die Ladekapazität und die Förderleistung der Fördereinrichtung bestimmt. In der Regel ist der Salztrichter nach vier bis fünf Kippvorgängen gefüllt, sodass erst nach einer Wartezeit weiteres Salz nachgefüllt werden kann. Zum Teil wird in dieser Zeit Salz in der Halle umgelagert, zum Teil werden auch andere Tätigkeiten auf dem Gehöft erbracht, die jedoch vielfach außerhalb des Bildbereichs der Kameras lagen. Die Nettoladezeiten unterscheiden sich von den Bruttoladezeiten kaum, sodass nur die Bruttoladezeiten für die Analyse herangezogen werden.

In Bild 58 sind die Anzahl der Ladevorgänge sowie der mittlere hierfür erforderliche Zeitbedarf in Abhängigkeit der Anzahl der Kippvorgänge zusammengestellt. Es wird deutlich, dass nur selten mehr als fünf Ladeschaufeln während eines Ladevorgangs in den Salztrichter gefüllt werden. Bei mehr

Abkippvorgängen steigt die Beladezeit überproportional, da es zu Warte- und Stillstandzeiten kommt. Bei bis zu fünf Ladeschaufeln ist der Zeitbedarf proportional zur Anzahl der Abkippvorgänge, er beträgt 78 s je Abkippvorgang. Die Einzelwerte variieren jedoch stark, das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 = 0,24$. Vielfach wurden während eines Arbeitstages mehrere Ladevorgänge durchgeführt, die immer wieder durch andere Tätigkeiten unterbrochen wurden, damit der Salztrichter über die Fördereinrichtung wieder geleert werden kann.

In der AM Hannover wurden insgesamt 62 Vorgänge erfasst, bei denen Streusalz in der Streustoffhalle ein- oder umgelagert wurde, bei 15 Vorgängen erfolgte dies in Kombination mit der Befüllung des Salztrichters. Vielfach erfolgte die Salzumlagerung nach Anlieferung durch einen Sattelzug, zum Teil auch nach Streumaschinenentleerungen. Der mittlere Zeitbedarf für die Umlagerung beträgt 05:49 min, wenn ausschließlich diese Tätigkeit durchgeführt wurde, und 15:40 min, wenn parallel auch Salz in den Salztrichter gefüllt wurde. Ein Teil der Ein- und Umlagerungen lässt sich unmittelbar der Belieferung mit Sattelzügen je 25 t zuordnen. Für diese 13 erfassten Liefervorgänge lag der Zeitbedarf für die Ein- und Umlagerung bei durchschnittlich 19 min je Sattelzug.

In der AM Hannover wurden auch 15 Entleerungen der Streumaschine in der Streustoffhalle erfasst. Die mittlere Entleerungszeit betrug knapp 21 min.

4.7 Schlussfolgerungen

Aus den erfassten Daten lassen sich zusammenfassend die in Tabelle 18 dargestellten Beladezeiten ableiten. Sie gelten für die häufig eingesetzten Winterdienst-Lkw mit einem Fassungsvermögen von 5 bis 8 m³ Trockenstoff und 2,5 bis 3,5 m³ Solebehälter und sind als mittlere Verladezeiten zu verstehen, die neben der Vollfüllung auch Teilbeladungen berücksichtigen.

Für die Streusalzbeladung ist die Beladung am Streustoffsilo die schnellste Möglichkeit, insbesondere wenn ein zweiter Mitarbeiter verfügbar ist, sodass für das Rangieren des Lkw unter dem Silo nicht ein- und ausgestiegen werden muss. Für die parallele Beladung von Salz und Sole ist vor allem die Beladezeit der Sole maßgebend, aufgrund zusätzlicher Wege liegt sie jedoch höher als für die Solebetankung allein.

Der Vergleich mit den in der Literatur veröffentlichten Daten lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der durch CYPRA et al. [2006] veröffentlichte Zeitbedarf von 5 min bei Beladung mit dem Radlader wird durch den mittlere Nettoladezeit von 04:52 für 5 Abkippvorgänge am Stp Merklingen bestätigt. Es wird jedoch auch deutlich, dass diese 5 min nicht maßgebend für den Gesamtprozess sind, sondern dass insgesamt 9 min anzusetzen sind, um vor allem die Laufwege zwischen Winterdienst-Lkw und Radlader sowie das Starten und Abstellen des Radladers zu berücksichtigen.
- Der durch SCHMAUDER et al [2012] ermittelte Zeitbedarf für die parallele Beladung von Streusalz mit dem Radlader und Sole von 9,8 min für die Beladung einer 5 m³ Streumaschine durch eine Person wird nicht bestätigt. Er liegt in der Praxis mit ca. 14 min deutlich höher, obwohl SCHMAUDER et al. [2012] alle wesentlichen Prozessschritte in das Berechnungsmodell aufgenommen haben.
- CYPRA et al. [2006] hatten eine Beladezeit bei der Silobeladung von 4 min ermittelt. Die für die AM Hannover ermittelten Nettoladezeiten sind deutlich geringer, die für Friolzheim ermittelten Nettoladezeiten bestätigen hingegen diese Werte.
- SCHMAUDER et al. [2012] haben Zeiten für die kombinierte Beladung von Salz am Streustoffsilo und Sole berechnet. Diese Ladezeit beträgt für ein Ladevolumen von 5 m³ Streusalz 9,4 min, wenn nur ein Fahrzeug durch einen Mitarbeiter beladen wird, und 11,3 min, wenn zwei Mitarbeiter den Ladevorgang für zwei Fahrzeuge durchführen. Die in der AM Hannover erfasste Bruttoladezeit von 10 min bei Parallelbeladung entspricht diesen Werten, die in Friolzheim erfassten Ladezeiten sind mit im Mittel knapp 18 min hingegen deutlich höher. Berücksichtigt man, dass am Stp Friolzheim eher von Vollfüllungen auszugehen ist, während in der AM Hannover gerade bei Parallelbeladung meist nur Teilfüllungen erfolgten, wird deutlich, dass die von SCHMAUDER et al. [2012] theoretisch ermittelten Ladezeiten in der Praxis nicht erreicht werden.

Die mittlere Bruttoladezeit bei separater Beladung von Streusalz mit dem Radlader kann mit 9 min angesetzt werden. Durch optimierte Bewegungsmus-

	Nettoladezeit	Bruttoladezeit
Streustoffbeladung mit Radlader¹⁾	5 min	9 min
Streustoffbeladung mit Streustoffsilo		
Beladung durch 1 Mitarbeiter	3 min	6 min
Beladung durch 2 Mitarbeiter	2 min	4 min
Solebetankung	9 min	12 min
Parallele Beladung Salz & Sole		14 min
1) bei für den Radlader optimierter Fahrzeugposition ist die Netto- und die Bruttoladezeit 1 min geringer		

Tab. 18: Ermittelte mittlere Beladezeiten für die Streustoffbeladung von Winterdienstfahrzeugen

	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		

Tab. 19: 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

ter für den Radlader kann diese um 1 min verkürzt werden. Vorteilhaft sind Bewegungsmuster, bei denen auf zusätzliche Wendevorgänge außerhalb der Halle verzichtet werden kann; ideal ist daher die Positionierung des Winterdienst-Lkw unmittelbar und parallel vor dem Hallentor. Allerdings ist in dieser Position keine parallele Beladung mit Sole oder eines weiteren Winterdienst-Lkw möglich.

Bei Beladung unter dem Streustoffsilo liegt die Beladezeit im Mittel der beiden erfassten Standorte bei 6 min, wobei eine Zeitersparnis von ca. 2 min erreicht werden kann, wenn ein zweiter Mitarbeiter den Ladevorgang durchführt. Die Beladezeit gegenüber der Radladerbeladung ist somit bei der Silobeladung geringer, was jedoch nur bei der separaten Beladung von Streustoff und Sole relevant ist.

Bei paralleler Beladung von Streusalz und Sole ist eine mittlere Gesamtladezeit von 14 min anzusetzen. Für die alleinige Betankung von Sole variieren die Ladezeiten zwischen den Standorten erheblich:

In Merklingen und Hannover beträgt die Bruttoladezeit 8 bzw. 9 min, in Friolzheim hingegen 15 min. Die höheren Ladezeiten in Friolzheim resultieren vermutlich vor allem aus der Vollfüllung, während an den beiden anderen Standorten die Soletanks der Fahrzeuge noch teilgefüllt waren. Überschlägig können ca. 12 min für die Betankung mit Sole angesetzt werden.

Für den Vergleich von paralleler und separater Beladung von Salz und Sole ist ggf. zusätzlich ein Umsetzen des Fahrzeugs zu berücksichtigen. Hierfür können ca. 2 min Fahr- und Rangierzeit angesetzt werden. In Tabelle 19 sind die Gesamtzeiten für Parallel- und Separatbeladung zusammengestellt. Es wird deutlich, dass die Zeitersparnis bei Parallelbeladung dem Zeitbedarf für die Streusalzbeladung entspricht. Der Zeitbedarf wird damit im Wesentlichen durch die Solebetankung bestimmt.

Verfügen die Winterdienstfahrzeuge über deutlich größere Soletanks, wie z. B. für die FS 100 Ausbringung erforderlich, ist davon auszugehen, dass der zusätzliche Zeitbedarf vor allem durch die Förderleistung der Pumpen bestimmt wird. Bei einer Förderleistung von 20 m³/h sind somit 3 min/m³ Sole zu berücksichtigen.

Aufgrund der ermittelten Beladezeiten mit dem Radlader (Bruttoladezeit 9 min, Nettoladezeit 5 min) ist die Beladung von zwei Winterdienstfahrzeugen mit Salz und Sole in 14 min möglich, wenn zwei Standplätze zur Beladung zur Verfügung stehen.

Die Beladezeit für den Salztrichter kann mit 6 min je Beladevorgang bei 5 Abkippvorgängen (5 t) angesetzt werden, was 1,2 min/t Streusalz entspricht. Für das Ein- und Umlagern von Streusalz in der Streustoffhalle lassen sich 19 min je Anlieferung (25 t) ansetzen.

Die erhebliche Spannweite bei den ermittelten Ladezeiten ist nicht unmittelbar auf einzelne Ursachen zurückzuführen, sondern resultiert auch stark aus den individuellen Fertigkeiten des eingesetzten Personals: Daher werden im Ergebnis der Videoerfassung auch folgende Ansätze zur Optimierung der Ladezeiten formuliert:

- Umfassende Schulung und Einweisung des Personals bei den Beladevorgängen
- Unterstützung durch Markierungen zur optimalen Positionierung des Winterdienst-Lkw

- Unterstützung des Ladevorgangs durch einen zweiten Mitarbeiter bei der Silobeladung
- Ausreichend dimensionierter Salztrichter zur Befüllung eines Verladesilos

5 Lebenszykluskosten für die Streustofflagerung

5.1 Methodik zur Ermittlung der Lebenszykluskosten

Im Rahmen einer Lebenszykluskosten-(LZK-)Analyse wurden für ausgewählte Anlagen zur Streustofflagerung Kostendaten ausgewertet. Hierfür werden die Kostendaten nach Investitionskosten sowie Erhaltungs- und Betriebskosten differenziert. Es wurden Kostendaten aus den Straßenbauverwaltungen von

- Baden-Württemberg
- Niedersachsen
- Rheinland-Pfalz

einbezogen. Im Rahmen der Erhebung wurde deutlich, dass nicht für alle betrachteten Streustofflager alle Kostendaten zur Verfügung standen. Insbesondere für Erhaltung und Betrieb der Anlagen zur Streustofflagerung war eine detaillierte Zuordnung vielfach nicht möglich, sodass diese zum Teil auf plausiblen Abschätzungen basieren. Die Investitionskosten hängen stark von Größe, Ausstattung, baulichen und konjunkturellen Randbedingungen ab, sodass diese in erster Linie die Größenordnung der erforderlichen Investitionen für unterschiedliche Anlagentypen widerspiegeln können.

Um die zu unterschiedlichen Zeitpunkten angefallenen Kosten miteinander vergleichen zu können, wurden sie auf den einheitlichen Bezugszeitpunkt 31.12.2018 indexiert. Basis für die Indexierung ist der Preisindex für den Neubau gewerblicher Betriebsgebäude, der vom Statistischen Bundesamt vierteljährlich ermittelt wird [Destatis 2019]. Da in der Regel nur eine Jahresangabe für den Bauzeitpunkt vorlag, wurde für Maßnahmen ab 2009 vereinfacht der für das 3. Quartal gültige Indexwert berücksichtigt; für länger zurückliegende Kostenangaben liegt nur ein Jahresindexwert vor (s. Bild 59).

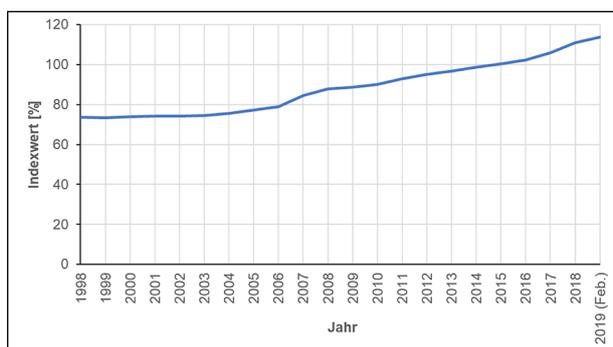


Bild 59: Entwicklung des Preisindex für den Neubau gewerblicher Betriebsgebäude ab 1998, Datenquelle: Destatis [2019]

Bauliche Anlage	Angesetzte Lebensdauer	Grundlagen
Streustoffhalle	40 Jahre	Erfahrungswert, u. a. angesetzt im FE-Vorhaben „Kennzahlen im Betriebsdienst“ [HOLLDORB/STREICH 2013]
Streustoff-silo	25 Jahre	20 Jahre gemäß „Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst“, Entwurf Oktober 2018 [FGSV 2018] In Österreich, wo überwiegend Silolagerung erfolgt, ist ein größerer Anteil der Anlagen zur Lagerung älter als 20 Jahre (s. Kapitel 3.2). Daher werden 25 Jahre als realistisch angesehen.
Soletank	15 Jahre	Erfahrungswert analog Salzlöseanlage, GFK-Tanks für den Weinbau 12 Jahre gemäß AfA-Tabelle [BMF 1991]
Salzlöseanlage	15 Jahre	10 Jahre gemäß AP „Hinweise zur Herstellung und Lagerung von Tau-salzlösungen für den Winterdienst“ [FGSV 2015] 20 Jahre gemäß „Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst“, Entwurf Oktober 2018 [FGSV 2018]

Tab. 20: Angesetzte Lebensdauer für die Anlagen zur Streustofflagerung

Die einmalig anfallenden Investitionskosten werden für die LZK-Analyse in gleichmäßige Jahreskosten umgewandelt. Diese setzen sich aus den Abschreibungskosten in Abhängigkeit der Lebensdauer sowie kalkulatorischen Zinsen für das eingesetzte Kapital zusammen. Die Lebensdauer wird gemäß Tabelle 20 angesetzt.

Um die Kosten für die Verzinsung des eingesetzten Kapitals bei den Lebenszykluskosten zu berücksichtigen, kann vereinfacht die Hälfte der für die volle Investition anfallenden Zinskosten angesetzt

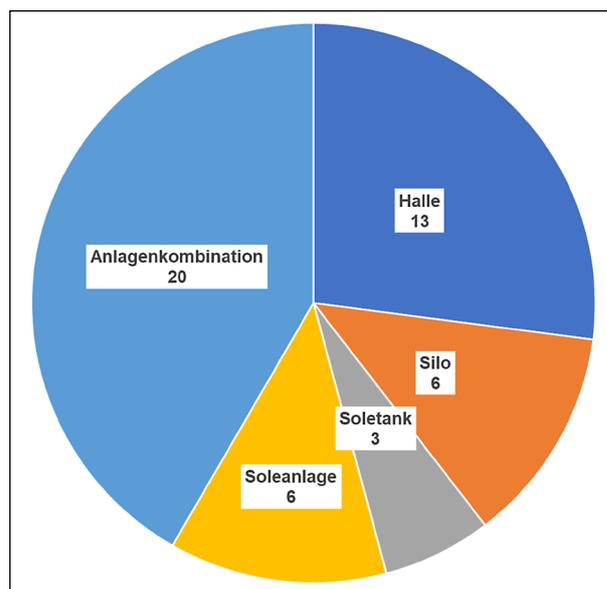


Bild 60: Verteilung der Art der baulichen Anlage zur Ermittlung der Investitionskosten

werden, da durch die lineare Abschreibung der zu verzinsende Abschreibungsbetrag im Mittel 50 % der Gesamtinvestition beträgt. Als Kalkulationszins werden 3 % angesetzt [HOLLDORB/STREICH 2013] [HOLLDORB et al. 2015].

5.2 Erfasste Investitionskosten

Insgesamt wurden für 48 bauliche Anlagen zur Streustofflagerung Investitionskosten zur Verfügung gestellt und ausgewertet. Die Verteilung nach Art der Anlage kann Bild 60 entnommen werden. Die älteste Anlage ist aus dem Jahr 1990, die jüngste wurde Anfang 2019 fertiggestellt. Soletanks stehen für die Solelagerung zur Verfügung. Soleanlagen bestehen aus Soletanks zur Lagerung und einer Salzlöseanlage. Unter Anlagenkombinationen wurden die Anlagen zusammengefasst, die aus unterschiedlichen baulichen Anlagenteilen bestehen. Vielfach sind dies Kombinationen aus Halle oder Silo zur Streustofflagerung sowie Soletanks und einer Salzlöseanlage. Zum Teil verfügen diese Anlagenkombinationen auch über ein zusätzliches Ver-ladesilo zur Beladung der Winterdienstfahrzeuge und ggf. auch der direkten Beschickung der Salzlöseanlage. Bei der Auswertung der Kostendaten für die Anlagenkombinationen werden die jeweiligen Anlagenteile berücksichtigt.

Die Baukosten umfassen alle mit der Anlage verbundenen Maßnahmen, dies sind in der Regel auch die Außenanlagen und kann zum Teil den Abriss

des Altbestandes enthalten. Eine eindeutige Zuweisung ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, insbesondere, wenn die Anlage im Rahmen eines Meistereineubaus errichtet wurde.

Neben den Baukosten werden bei den Investitionskosten auch die externen Planungskosten berücksichtigt. Diese wurden für Anlagen in Baden-Württemberg mit durchschnittlich 5,0 % der Baukosten und für Anlagen in Rheinland-Pfalz mit 11,5 % der Baukosten angegeben. In Niedersachsen werden pauschal 21 % der Baukosten angesetzt. Für die weitere Kostenanalyse werden als Mittel der drei Bundesländer 12,5 % der Baukosten als externe Planungskosten berücksichtigt, wenn nur die Baukosten und keine externen Planungskosten angegeben sind. Für die Anlagen, für die die externen Planungskosten berücksichtigt sind, werden diese übernommen. Angaben zu internen Planungskosten liegen nur vereinzelt vor, da sie sich nur schwer abschätzen lassen. Sie bleiben in der LZK-Analyse daher unberücksichtigt.

Investitionskosten für Streustoffhallen

Im Rahmen der Analyse werden Investitionskosten für insgesamt 13 Streustoffhallen als einzelne bauliche Anlage berücksichtigt. Die Investitionskosten variieren in einer Spannweite von ca. 0,4 bis 1,2 Mio. €, wobei höhere Kosten zum Teil auch auf zusätzliche Anlagenteile, z. B. einen Fahrzeugunterstand, zurückzuführen sind. Im Mittel betragen die Investitionskosten 657.000 €, für neun Anlagen liegen die Investitionen unter 650.000 €. Bild 61 zeigt die auf 2018 indextierten Kosten in Abhängigkeit des Baujahres, Bild 62 in Abhängigkeit der Lagerkapazität.

Es wird deutlich, dass auch die indextierten Investitionskosten für jüngere Anlagen tendenziell ansteigen, was z. B. in einer höherwertigen Ausstattung und gestiegenen baulichen Anforderungen aus dem Arbeits- und Umweltschutz begründet sein kann. Weiterhin wird deutlich, dass die Investitionskosten zwar mit größerer Lagerkapazität zunehmen, dass sie aber zu diesen nicht direkt proportional sind, sondern aus einem Fixkostenanteil und einem variablen Anteil bestehen. Dies erscheint plausibel, da die Kosten für einzelne Anlagenteile, z. B. Türe und Toren, Elektroinstallation, Unterstände, kaum von der Lagerkapazität abhängen. Zu beachten ist jedoch, dass das Bestimmtheitsmaß für die lineare Regression mit 0,165 nur sehr gering ist.

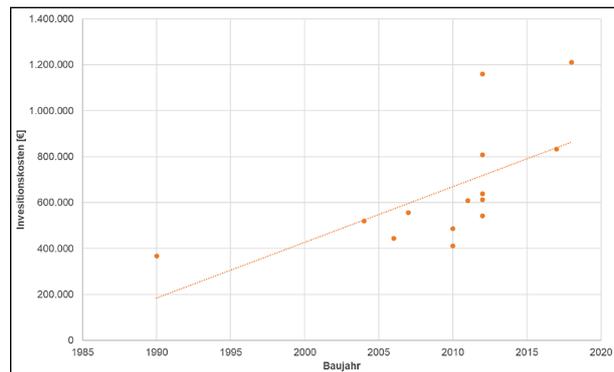


Bild 61: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffhallen in Abhängigkeit des Baujahres

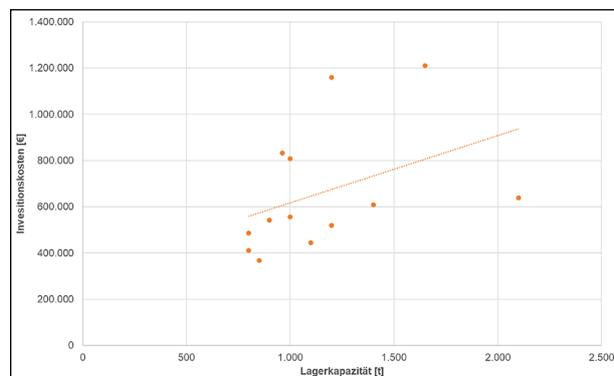


Bild 62: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffhallen in Abhängigkeit der Lagerkapazität

Auch im Rahmen des FE-Vorhabens „Kennzahlen für den Betriebsdienst“ [HOLLDORB/ STREICH 2013] wurden vorgesehene Investitionen für Streustoffhallen ausgewertet. Grundlage waren Angaben für acht Baumaßnahmen aus dem Jahr 2011. Für diese wurde ein direkt linearer Ansatz von 750 €/t ermittelt, was bei Preisstand 2018 ca. 900 €/t entspricht.

Auf Grundlage der ausgewerteten Kostendaten können die Investitionskosten (I_{Halle}) für neue Streustoffhallen überschlägig mit

$$I_{\text{Halle}} [\text{€}] = 400.000 \text{ €} + 400 \text{ €/t} \times \text{Lagerkapazität [t]}$$

abgeschätzt werden. Hierbei wird auch berücksichtigt, dass für neuere Streustoffhallen tendenziell höhere Investitionen angefallen sind (s. Bild 61).

Investitionskosten für Streustoffsilos

Zur Abschätzung der Investitionskosten für Streustoffsilos stehen Kostendaten von fünf Baumaßnahmen zur Verfügung, bei denen teilweise nur ein Silo, teilweise auch mehrere Silos errichtet wurden. Bild 63 macht deutlich, dass die Investitionen

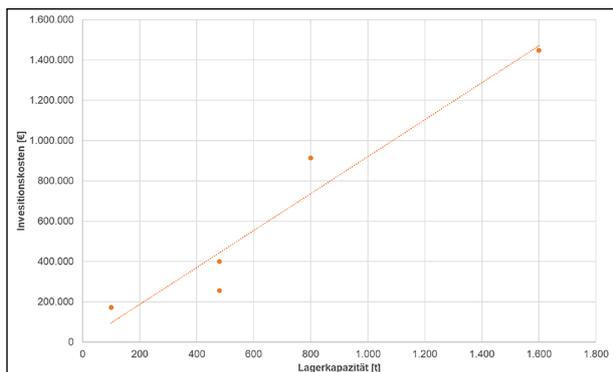


Bild 63: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffsilos in Abhängigkeit der Lagerkapazität

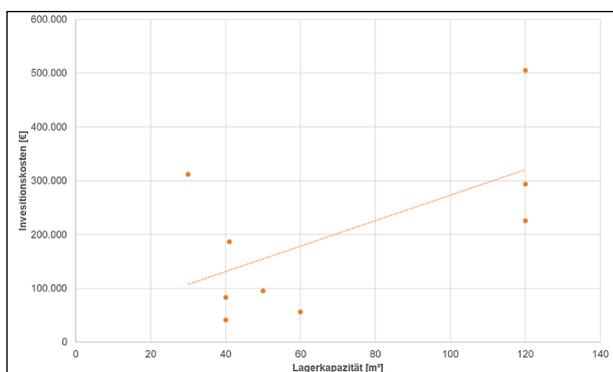


Bild 64: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Soletanks in Abhängigkeit der Lagerkapazität

bei Streustoffsilos weitgehend proportional zur Lagerkapazität sind, sie lassen sich auf Grundlage der verfügbaren Daten mit 920 € je Tonne Lagerkapazität abschätzen. Für eine Lagerkapazität von 1.000 t ist die Silolagerung somit ca. 120.000 € (15 %) teurer als die Hallenlagerung. Bei Lagerkapazitäten geringer 750 t sind hingegen die Investitionskosten bei Silolagerung tendenziell geringer als bei Hallenlagerung.

Investitionskosten für Soletanks und Salzlöseanlagen

Für insgesamt neun Anlagen liegen Kostendaten für die Errichtung von Soletanks und Salzlöseanlagen vor. Bei drei Maßnahmen wurden nur Soletanks zur Lagerung errichtet, bei den anderen Maßnahmen ist neben der Solelagerung auch eine Salzlöseanlage integriert. Die Anlagen wurden zwischen 2001 und 2019 gebaut. Da keine Kostendaten nur für die Errichtung einer Salzlöseanlage vorliegen, werden diese pauschal mit 75.000 € abgeschätzt, wie es auch im aktuellen Entwurf der Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst“ erfolgt [FGSV 2018]. Berücksichtigt man diesen pauschalen An-

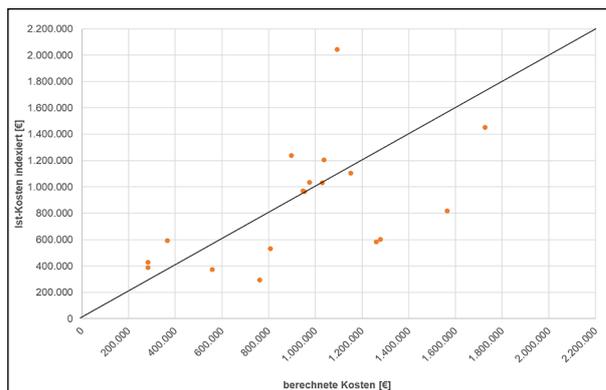


Bild 65: Gegenüberstellung von erhobenen Ist-Kosten und berechneten Kosten für Anlagenkombinationen zur Streustofflagerung

teil, lassen sich auch für die Maßnahmen, bei denen neben den Soletanks auch eine Salzlöseanlage errichtet wurde, die Kosten für die Soletanks in Abhängigkeit der Lagerkapazität angeben (s. Bild 64).

Für zwei Soletanks sind deutlich höhere Investitionskosten im Vergleich zu den anderen Anlagen mit vergleichbarer Lagerkapazität angegeben worden, die Gründe hierfür lassen sich aus den pauschalen Kostenangaben nicht ableiten. Die geringen Investitionskosten für die Anlage mit 60 m³ Lagerkapazität sind darauf zurückzuführen, dass hier keine Tiefbauarbeiten notwendig waren. Ähnlich wie bei Streustoffsilos ist die Tendenz zu erkennen, dass die Investitionskosten für die Soletanks mit zunehmender Lagerkapazität steigen. Ein Einfluss von Baujahr, Anzahl der Tanks oder Existenz einer Salzlöseanlage als Bestandteil der Maßnahme lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht ableiten. Daher werden die Investitionskosten auf Grundlage der vorliegenden Daten überschlägig mit 2.900 € je m³ Tankkapazität angesetzt.

Investitionskosten für Anlagenkombinationen

Bei den erfassten Kostendaten für Anlagekombinationen handelt es sich in der Regel um eine Halle oder Silo zur Streustofflagerung sowie Soletanks und eine Salzlöseanlage. Bei den niedersächsischen Anlagen wird die Streustoffhalle häufig mit einem Verladesilo kombiniert. Bei zwei Maßnahmen ist auch eine Fahrzeughalle integriert; diese bleiben bei der weiteren LZK-Analyse unberücksichtigt. In Bild 65 sind die erhobenen Ist-Gesamtkosten den berechneten Gesamtkosten gegenübergestellt, die sich für die einzelnen Anlagenteile entsprechend den oben ermittelten Kostenansätzen ergeben:

$$I_{\text{Halle}} [\text{€}] = 400.000 \text{ €} + 400 \text{ €/t} \times \text{Lagerkapazität [t]}$$

$$I_{\text{Silo}} [\text{€}] = 920 \text{ €/t} \times \text{Lagerkapazität [t]}$$

$$I_{\text{Löse}} [\text{€}] = 75.000 \text{ €}$$

$$I_{\text{Sole}} [\text{€}] = 2.900 \text{ €/m}^3 \times \text{Lagerkapazität [m}^3\text{]}$$

Die Abweichungen zwischen berechneten und erhobenen Gesamtkosten sind zum Teil erheblich. Bei vier Anlagen liegen die erhobenen Ist-Kosten deutlich unter den Kosten, die für die Einzelkomponenten berechnet wurden; dies kann evtl. auf Effizienzvorteile beim kombinierten Neubau zurückzuführen sein. Andererseits sind die erhobenen Kosten bei einer Anlage in etwa doppelt so hoch wie die berechneten Kosten für die einzelnen Anlagenteile. In der Summe aller 18 betrachteten Anlagenkombinationen liegen die erhobenen Ist-Kosten ca. 8 % unter den berechneten Gesamtkosten.

5.3 Kosten für Erhaltung und laufenden Unterhalt

Neben den aus den Investitionen resultierenden Abschreibungs- und Kapitalkosten können die Kosten für Erhaltung und laufenden Unterhalt als fixe Jahreskosten im Rahmen der LZK-Analyse angesetzt werden. Aus den Daten, die durch die Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellt wurden, lassen sich keine statistisch abgesicherten Kenngrößen ableiten, da sich die Angaben auf Einzelmaßnahmen beziehen oder zum Teil abgeschätzt wurden.

Typische Erhaltungsmaßnahmen sind Reparaturen bzw. Austausch von Pumpen, Fördereinrichtungen, beweglichen Anlagenteilen und Elektroinstallationen. Zusätzlich sind Erhaltungsmaßnahmen an Türen, Fenster, Schlössern sowie Malerarbeiten genannt. Die Kosten für diese Maßnahmen liegen in der Regel unter 10.000 €. Vereinzelt fallen für umfassende Sanierungsmaßnahmen, wie Dach- oder Fassadensanierung sowie den Austausch kompletter Anlagenteile auch deutlich höhere Kosten bis zu 100.000 € an. Diese Kosten bleiben im Rahmen der Erhaltungskosten unberücksichtigt, da sie in der Regel eine Verlängerung der Lebensdauer zur Folge haben und somit den Investitionskosten zuzuordnen wären.

Aus vorliegenden Kostendaten für insgesamt neun Standorte lassen sich im Mittel 0,46 % der Investi-

tionsskosten p. a. für die Erhaltung ableiten. Zusätzlich fallen interne Kosten für den laufenden Unterhalt durch Mitarbeiter der Meistereien an, z. B. regelmäßig notwendige Wartungsarbeiten, Kontrollprüfungen. Für insgesamt 13 Standorte liegen Angaben zu diesem internen Aufwand vor. Als mittlerer Stundensatz werden auf Basis von Kostensätzen aus Baden-Württemberg, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz 45 €/h angesetzt. Die Angaben zum laufenden Unterhalt variieren sehr stark, es ist weder eine eindeutige Korrelation zur Anlagengröße noch zu den Investitionen erkennbar. Die Kosten variieren von unter 100 € bis 2.700 € p. a. und betragen im Mittel 880 € p. a. je Standort, dies sind ca. 0,11 % der Investitionskosten p. a.

Bei Analyse der Einzelmaßnahmen wird deutlich, dass die Aufwendungen für Soleanlagen und Fördereinrichtungen an Verladesilos überproportional sind. Dies deckt sich mit den im Rahmen der bundesweiten Umfrage erhobenen Einschätzung zum Erhaltungs- und Reparaturaufwand. Hierbei wurde der Wartungsaufwand für Salzlöseanlagen und Förderanlagen im Mittel ebenfalls deutlich höher angegeben als für Hallen und Silos (s. Kapitel 3.1.4).

In HOLLDORB/STREICH [2013] wurden pauschal 2 % der Investitionskosten p. a. für die Erhaltung von Streustofflagern angegeben. Für Soleanlagen und Salzlöseanlagen kommt dieser Instandhaltungssatz ebenfalls zum Ansatz [FGSV 2015, FGSV 2019]. Aufgrund der oben dargestellten aktuellen Erhebungen erscheint für Hallen und Silos dieser Anteil, der sich auf allgemeinen Ansätzen für Hochbauten stützt, jedoch zu hoch. Es wird deutlich, dass in der Praxis der Erhaltungsaufwand deutlich geringer ist.

Auf Grundlage der vorliegenden Kostendaten, den Umfrageergebnissen und den in der Literatur verwendeten Ansätzen werden im Rahmen der LZK-Analyse für Erhaltung und laufenden Unterhalt folgende Ansätze verwendet:

$$E_{\text{Halle, Silo}} = 1 \% \text{ der Investitionskosten p. a.}$$

$$E_{\text{Sole}} = 2 \% \text{ der Investitionskosten p. a.}$$

$$E_{\text{Förder}} = 2 \% \text{ der Investitionskosten p. a.}$$

5.4 Betriebskosten

Für die LZK-Analyse unterschiedlicher Varianten der Streustoffbevorratung sind die Betriebskosten

	Personal [€/h]	Radlader [€/h]	Strom [€/kWh]
Baden-Württemberg ¹⁾	42,00 – 47,00	51,10	0,111 – 0,200
Niedersachsen	45,00	39,15	0,294
Rheinland-Pfalz	36,62	19,82	0,119
Ansatz	45,00	35,00	0,20

¹⁾ Spannweite der Angaben für einzelne Standorte

Tab. 21: Kostensätze für die Berechnung der Betriebskosten, Stand 2018

für alle mit der Streustofflagerung und der Beladung der Streufahrzeuge zusammenhängenden Komponenten zu berücksichtigen.

Die Betriebskosten sind im Wesentlichen proportional dem Umsatz an Streustoffen bzw. Sole und können daher auf diesen bezogen werden. Sie lassen sich wie folgt unterteilen:

- Einlagern/Umlagern von Streusalz bei Hallenlagerung
- Anlieferung von Streusalz bei Silolagerung
- Beschickung Streustoffsilo und Salzlöseanlage mit Radlader
- Beladung Winterdienstfahrzeuge mit Radlader

Die Betriebskosten setzen sich aus den folgenden Kostenarten zusammen:

- Personalkosten
- Kosten Radlader
- Stromkosten
- Differenzkosten Streustoff bei Anlieferung mit Silofahrzeug

Auf Grundlage der von den beteiligten Straßenbauverwaltungen genannten Kostensätze werden einheitliche mittlere Kostensätze für die Ermittlung der Betriebskosten angesetzt (s. Tabelle 21).

Einlagern/Umlagern von Streusalz bei Hallenlagerung

Aus der Videoaufzeichnung für die AM Hannover konnte ein Zeitbedarf für die Ein- und Umlagerung von ca. 19 min je Anlieferung (25 t) abgeleitet werden (s. Kapitel 4.5). Für die AM Rottweil wurde im Rahmen der Kostenerhebung ein Zeitbedarf von 20 min je Sattelzug für Personal und 15 min für Radlader angegeben. Die eingelagerte Salzmenge betrug in der AM Rottweil bei einer Hallenkapazität

von 2.000 t im Mittel der Jahre 2013 bis 2017 3.346 t, was dem 1,67-fachen der Hallenkapazität entspricht.

Aus den Erhebungen liegen für insgesamt 18 Standorte in Baden-Württemberg und Niedersachsen Angaben zum Personalaufwand für die Einlagerung und das Umlagern von Streustoffen bei Hallenlagerung vor. Angaben zur Menge der eingelagerten Streustoffe liegen in der Regel jedoch nicht vor. Der Personalaufwand variiert zwischen 10 und 103 h pro Jahr, im Mittel beträgt er 36 h/a. Da keine Angaben zum Umfang der eingelagerten Salzmengen vorliegen, lassen sich aus diesen Angaben keine Aufwandswerte ableiten. Nur die Größenordnung der vorgenannten 20 min je Sattelzug erscheint plausibel, da dies einer jährlichen Liefermenge von 2.700 t je Halle entsprechen würde.

In der LZK-Analyse wird der für die AM Hannover und die AM Rottweil abgeleitete Aufwand je Sattelzug (25 t) angesetzt. Mit den in Tabelle 21 angegebenen Kostenätzen ergibt sich der Kostenaufwand für die Ein- und Umlagerung überschlägig zu 1 €/t.

Anlieferung von Streusalz bei Silolagerung

Bei der Silolagerung ist in der Regel kein Personal- oder Geräteaufwand zu berücksichtigen, da das Streusalz direkt vom Silofahrzeug in das Streustoffsilo eingeblasen wird. Nur die Organisation und Überwachung der Anlieferung ist zu berücksichtigen.

In der Erhebung wurde ein Personalaufwand zwischen 2 und 15 h je Silostandort genannt, vereinfacht werden pauschal 10 h je Silostandort angesetzt, was Kosten von pauschal 450,- € entspricht.

Aufgrund der Anlieferung mit Silofahrzeugen, der längeren Entladezeit und ggf. höherer Anforderungen an die Salzqualität ist Streusalz, das in das Silo eingeblasen wird, in der Regel teurer als Streusalz, das mit Lkw in der Halle abgekippt wird. Diese Mehrkosten sind regional unterschiedlich und variieren auch in Abhängigkeit der Lieferbedingungen. Auf Grundlage von Erfahrungswerten werden 5 €/t Mehrkosten für die Siloanlieferung angesetzt.

Beschickung Streustoffsilo mit Radlader

Der Zeitbedarf für die Beschickung des Salztrichters wurde für die AM Hannover mit 1,2 min/t Streusalz (s. Kapitel 4.5) ermittelt. Dies entspricht Kosten für Personal und Radlader von ca. 1,60 €/t Streusalz.

Der Transport vom Salztrichter zum Silo erfolgt pneumatisch oder mechanisch, z. B. über eine Förderschnecke. Die Leistungsaufnahme dieser Aggregate kann mit 50 kW angesetzt werden. Bei einer Förderleistung von 10 t/h beträgt der Energieverbrauch 5 kWh/t was Energiekosten von 1,00 €/t entspricht. Insgesamt sind in der LZK-Analyse somit 2,60 €/t Streusalz zu berücksichtigen, das mittels Radlader, Salztrichter und Fördereinrichtung in das Streustoffsilos gefördert wird. Wird das Salz direkt durch den anliefernden Lkw in einen Salztrichter abgekippt, werden nur die Kosten für die Förderung in Höhe von 1,00 €/t angesetzt.

Beschickung Salzlöseanlage mit Radlader

Erfolgt die Befüllung der Salzlöseanlage direkt mit dem Radlader, können wie für die Beschickung des Streustoffsilos 1,60 €/t Streusalz für Personal und Radlader angesetzt werden. Vereinfacht sind je Tonne Sole ca. 0,25 t Streusalz notwendig, sodass der Aufwand für die Beschickung ca. 0,3 min/t Sole und die Kosten ca. 0,40 €/t Sole betragen. Wird die Salzlöseanlage über ein Silo beschickt, entstehen keine Kosten für die Beschickung, da dies automatisch im freien Fall erfolgt.

Beladung Streufahrzeug mit Radlader

Auf Grundlage der Erhebungen am Stp Merklingen kann für die Beladung mit Radlader eine Nettoeinsatzzeit von 1 min je Abkippvorgang angesetzt werden (s. Tabelle 14). Bei einem Schaufelinhalt von 1 t und Radladerkosten von 35 €/t sind somit überschlägig 0,60 €/t für die Beladung anzusetzen.

Neben den Einsatzkosten für den Radlader sind zusätzliche Personalkosten bei der Radladerbeladung anzusetzen, da diese länger als die Silobeladung dauert. Nach Tabelle 19 sind für die Radladerbeladung 8 statt 6 min notwendig. Bei Personalkosten von 45 €/h und eine Belademenge von 5 t je Beladungsvorgang resultieren hieraus zusätzliche Kosten von 0,30 €/t.

5.5 Lebenszykluskosten für unterschiedliche Varianten der Streustofflagerung

Um unterschiedliche Varianten der Streustofflagerung monetär vergleichen zu können, werden für diese die Lebenszykluskosten (LZK) berechnet. Diese LZK berücksichtigen alle mit der Lagerung verbundenen Kosten. Für die Beladung der Winter-

dienstfahrzeuge (Radlader statt Silo) und die unterschiedlichen Materialkosten (Mehrkosten für Anlieferung mit Silofahrzeug) werden nur die entscheidungsrelevanten Differenzkosten angesetzt. In Tabelle 22 sind die für die LZK verwendeten Berechnungsansätze zusammengefasst, deren Herleitung in den vorhergehenden Abschnitten umfassend erläutert wurde.

Im Rahmen der LZK-Analyse werden für folgende Varianten Lebenszykluskosten ermittelt (s. Bild 66):

- (1) Lagerung in Halle ohne Salzlöseanlage
- (2) Lagerung in Halle und getrennte Beschickung der Salzlöseanlage über separaten Streustoffsilos (Kapazität 100 t)
- (3) Lagerung in Halle und Beschickung der Salzlöseanlage über Salztrichter mit Radlader
- (4) Lagerung in Halle mit Verladesilo (Kapazität 100 t) mit Fallrohr zur Löseanlage (Beschickung über Salztrichter mit Radlader)

Investition Streusalzlagerung	
Inv. Kosten Halle	400.000 € + 400 €/t Lagerkapazität
Inv. Kosten Silo	920 €/t Lagerkapazität
Inv. Kosten Trichter & Fördereinrichtung	50.000 € Schnecke, 10.000 € für Trichter oder Fallrohr, 100.000 € für Großtrichter
Abschreibungsdauer	40 Jahre für Halle, 25 Jahre für Silo oder Fördereinrichtung
Kapitalkosten	3 % Zinssatz
Erhaltung	
Erhaltung Halle, Silo	1 % p. a. vom Invest
Erhaltung Fördereinrichtung	2 % p. a. vom Invest
Betrieb	
Einlagerung/Umlagerung Halle	1,00 €/t Salzumsatz
Anlieferung Silosalz	pausch 450 € p. a.
Zusätzliche Salzkosten bei Siloanlieferung	5,00 €/t
Beschickung Salztrichter mit Radlader	1,60 €/t Salzumsatz im Trichter
Betrieb Förderschnecke	1,00 €/t Salzumsatz
Radlader zur Beladung	0,60 €/t
Zusätzlicher Zeitbedarf Radlader ggü. Silo	0,30 €/t

Tab. 22: Ansätze für die Berechnung der LZK unterschiedlicher Varianten zur Streustofflagerung

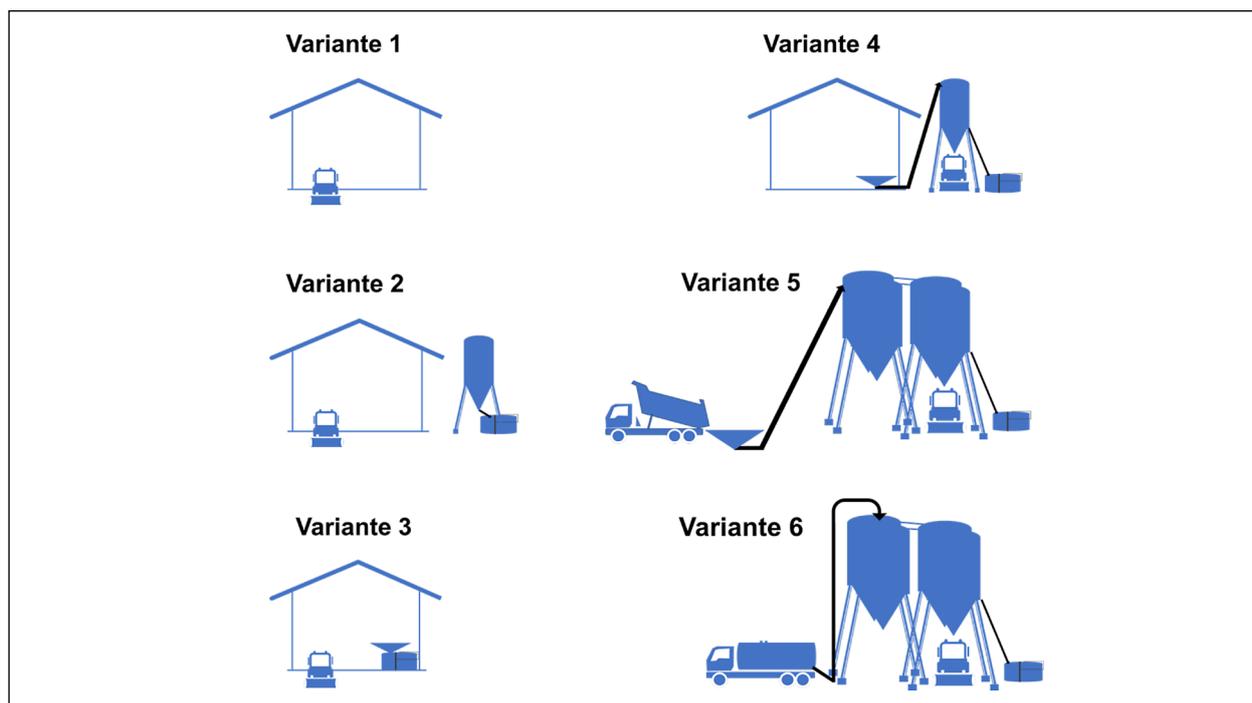


Bild 66: Varianten der Streustofflagerung für die LZK-Analyse

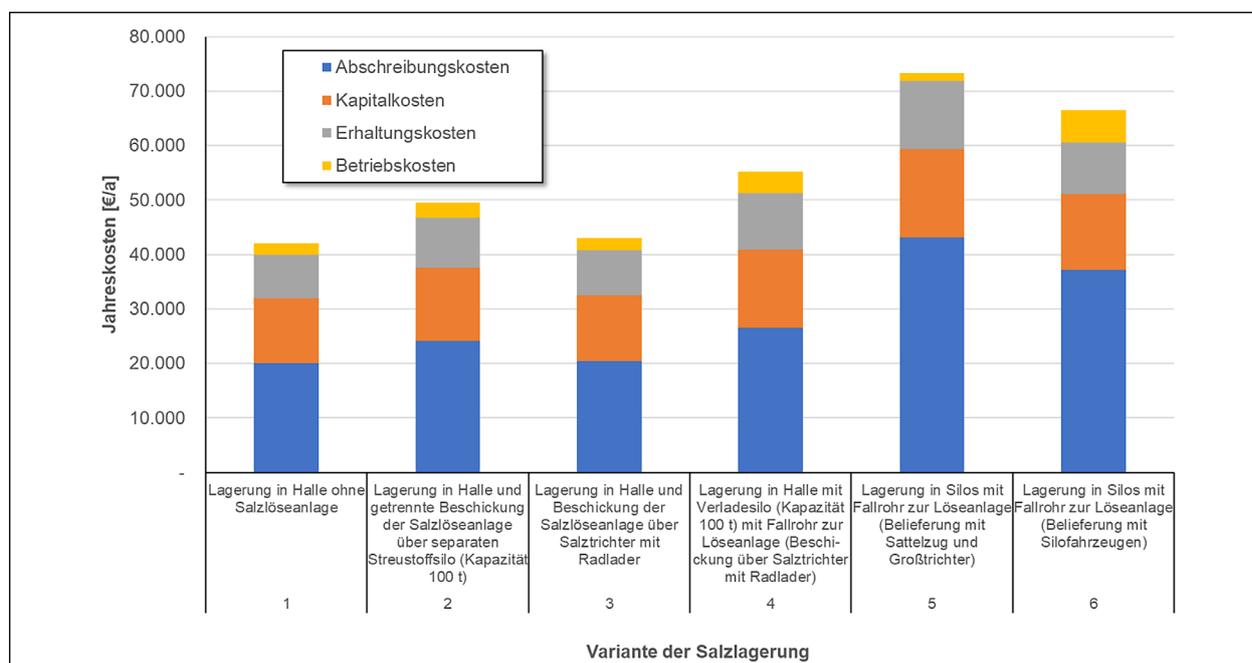


Bild 67: Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Varianten zur Streustofflagerung bei einer Salzumsatz von 1.100 t/a und einer Lagerkapazität von 1.000 t, differenziert nach Kostenart

- (5) Lagerung in Silos mit Fallrohr zur Löseanlage (Belieferung mit Sattelzug und Großtrichter)
- (6) Lagerung in Silos mit Fallrohr zur Löseanlage (Belieferung mit Silofahrzeugen)

Im Basisszenario wird eine Lagerkapazität von 1.000 t vorgesehen. Der Jahresumsatz an Salz wird auf Grundlage von Verbrauchsstatistiken ausgewählter Straßenbauverwaltungen mit dem 1,1-fa-

chen, d. h. 1.100 t, angesetzt. Für das Verladesilo wird eine Lagerkapazität von 100 t angesetzt. Zur Ermittlung des Streustoffbedarfs für die Salzlöseanlage wird im Basisszenario vom ausschließlichen Einsatz von FS 30 ausgegangen. Für die Berechnung der zur Herstellung der Sole erforderlichen Salzmenge wird entsprechend den Hinweisen zur Herstellung und Lagerung von Tausalzungen für

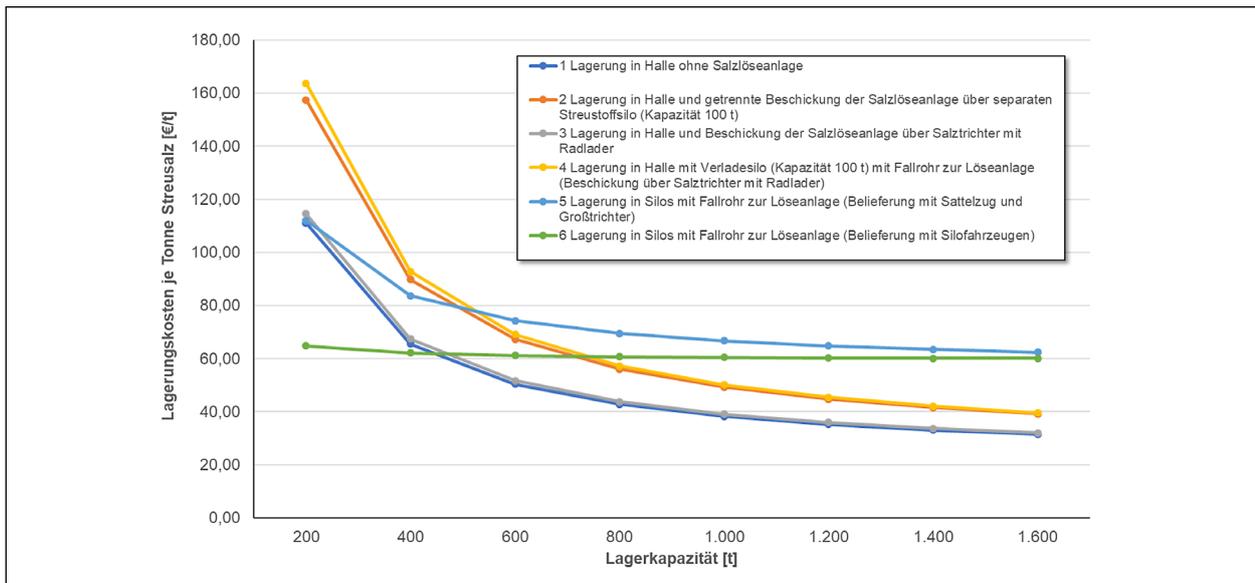


Bild 68: Lagerungskosten für die unterschiedlichen Varianten zur Streustofflagerung in Abhängigkeit der Lagerkapazität

den Winterdienst [FGSV 2015] eine 20 %-ige Lösung mit einer Dichte von $1,2 \text{ t/m}^3$ angesetzt.

In Bild 67 sind die LZK für die Varianten zur Streustofflagerung als Jahreskosten zusammengestellt. Es wird deutlich, dass die LZK bei der Lagerung in der Streustoffhalle geringer sind als bei der ausschließlichen Lagerung in einer Siloanlage. Maßgebend sind bei der Silolagerung die höheren Abschreibungs- und Kapitalkosten, die zum einen aus höheren Investitionskosten und zum anderen aus der kürzeren Abschreibungsdauer für Silos resultieren. Die bei der Hallenlagerung anfallenden Betriebskosten des Radladers für die Beladung der Winterdienstfahrzeuge, die Ein- und Umlagerung sowie die Beladung der Salztrichter (Variante 1 bis 4) sind deutlich geringer als die Mehrkosten für die Silolagerung (Variante 5 und 6). Bei der Silolagerung ist die Belieferung mit Silofahrzeugen trotz höherem Salzpreis günstiger als die Belieferung mit Sattelzug und Einlagerung über Großtrichter und Förderschnecke. Günstigste Variante für die Streustofflagerung ist Variante 1 ohne Salzlöseanlage. Für die Herstellung von Salzlösung ist die Beschickung der Löseanlage unmittelbar über einen Salztrichter die günstigste Variante.

Bild 68 stellt die Lagerungskosten je Tonne Streusalz in Abhängigkeit der Lagerkapazität für die unterschiedlichen Lagervarianten dar. Insbesondere bei geringer Lagerkapazität bis 1.000 t sind die fixen Kosten aus Abschreibung und Verzinsung für die größenunabhängigen Investitionskostenbestandteile maßgebend für die Lagerkosten. Nur bei Variante 6 sind diese deutlich geringer, sodass bei

dieser Variante die Lagerungskosten je Tonne kaum von der Lagerkapazität abhängen. Bei den anderen Varianten ist die Rangfolge der Lagerungskosten weitgehend unabhängig von der Lagerkapazität.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss unterschiedlicher Eingangsparameter auf die LZK untersucht. Hierfür werden die Eingangsparameter gemäß Tabelle 22 zugrunde gelegt und gezielt einzelne Eingangsparameter variiert. Es werden in erster Linie die Parameter variiert, die unabhängig von der betrachteten Fragestellung nicht eindeutig definiert werden können, z. B. der Zinssatz, oder für die keine abgesicherte Datengrundlage zur Verfügung steht, z. B. der Erhaltungsaufwand. Folgende Eingangsparameter werden variiert:

- Salzsatz bezogen auf die Lagerkapazität von 1.000 t: von 50 % bis 200 %
- Zinssatz für das eingesetzte Kapital: von 1,0 % bis 5,0 %
- Abschreibungsdauer der baulichen Anlagen: von 25 bis 60 Jahre
- Anteil des jährlichen Erhaltungsaufwandes vom Invest: von 0,5 % bis 4,0 %

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in Anhang 16 zusammengestellt. Die Lagerungskosten je Tonne Streusalz werden durch die variierten Eingangsparameter absolut in unterschiedlich starkem Maß beeinflusst. Unbeeinflusst von den variierten Eingangsparametern ist jedoch die relative Zuord-

nung der LZK der verschiedenen Varianten zueinander. Nur für das Szenario, bei dem für Halle und Silo gleiche Abschreibungsdauern von 40 a angesetzt werden, sind die Lagerungskosten für die Varianten 2, 4 und 6 in etwa gleich, d. h. die abschließliche Lagerung im Silo (Variante 6) ist nicht teurer als die Lagerung in einer Halle mit zusätzlichem Verladesilo oder Silo für die Salzlöseanlage.

Zusammenfassend wird deutlich, dass die LZK bei Silolagerung in der Regel über denen der Hallenlagerung liegen. Nur bei geringen Lagerkapazitäten bis ca. 500 t, wie er typischerweise häufiger auf Winterdienststützpunkten auftritt, sind die LZK für die Silolagerung geringer als bei Hallenlagerung. Gegenüber der Variante Halle mit Verladesilo bzw. Halle und Beschickung der Salzlöseanlage aus zusätzlichem Silo ist die reine Silolagerung bis zu einer Lagerkapazität von 700 t wirtschaftlicher. Wie zu erwarten führt die Lagerung in einer Halle mit Beladung über einen Verladesilo zu höheren Lagerungskosten als bei der Beladung mit Radlader.

6 Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen

Die Bewertung der unterschiedlichen Lagerungskonzepte zur Streustofflagerung sowie Empfehlungen zu standardisierten Lagerungsvarianten, ihre Anordnung und Gestaltung sind in den Hinweisen für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst (H LaStreu) zusammengestellt. Den Entwurf der H LaStreu enthält Anhang 17. Die H LaStreu basieren auf dem Stand der Technik, den aktuellen Erfahrungen sowie der Erfassung des betrieblichen Aufwandes und der Berechnung von Lebenszykluskosten für die Streustofflagerung, die in den vorstehenden Kapiteln dokumentiert sind. Im nachfolgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Bewertung und die wichtigsten Empfehlungen zusammengefasst.

6.1 Bewertung von Varianten zur Streustofflagerung

Bei der Bewertung von Varianten zur Streustofflagerung werden die üblichen Lagerkonzepte berücksichtigt:

- Lagerung in Streustoffhalle und Beladung mit Radlader

- Lagerung in Streustoffhalle und Beladung unter Verladesilo
- Lagerung in Siloanlage

6.1.1 Betriebliche Aspekte

Wesentlicher betrieblicher Aspekt zur Bewertung der Varianten ist die Beladung der Winterdienstfahrzeuge mit Streusalz. In der Regel werden bei Hallenlagerung die Streustoffbehälter der Winterdienstfahrzeuge mit Radlader oder unter einem zusätzlichen Verladesilo beladen. Bei Silolagerung fahren die Winterdienstfahrzeuge ebenfalls direkt unter die Streustoffsilos.

Die etwas schnellere Beladung mit Streustoffen unter einem Silo gegenüber dem Radlader führt insgesamt zu keinen Vorteilen, da die Solebetankung in der Regel maßgebend ist. Wesentlich ist die Möglichkeit, parallel Streusalz und Sole zu laden, was bei Hallenlagerung mit Radladerbeladung und Lagerung in einer Siloanlage mit mehreren Streustoffsilos gegeben ist. Bei Hallenlagerung und Beladung unter einem Verladesilo ist diese parallele Beladung nur an einem Standplatz möglich, sodass weitere Ladestellen für die Betankung mit Sole vorzusehen sind.

Zusammenfassend kann eine effiziente Beladung der Winterdienstfahrzeuge mit allen Lagerungskonzepten gewährleistet werden, sodass unter diesem Aspekt die Lagerungskonzepte in der Regel als gleichwertig einzustufen sind.

Bei Hallenlagerung wird das Streusalz durch Lkw oder Sattelzug mit Muldenkipper angeliefert und bodengleich abgeladen. Bei Silolagerung wird das Streusalz in der Regel mit Silofahrzeugen angeliefert und in die Streustoffsilos eingeblasen. Alternativ kann auch bei reiner Silolagerung die Anlieferung mit Sattelzügen erfolgen, wenn eine Fördereinrichtung mit bodengleich installiertem Einfülltrichter mit ausreichender Kapazität installiert ist. Neben den kürzeren Entladezeiten bietet die Anlieferung mit Muldenkipper den Vorteil, dass diese Fahrzeuge zahlreicher und einfacher verfügbar sind, sodass die Versorgungssicherheit höher ist.

Als weiterer wichtiger betrieblicher Aspekt ist die Standentleerung von Streumaschinen einzustufen, für die entsprechende Flächen in jeder Meisterei vorzusehen sind. In der Regel erfolgt die Standentleerung auf dem Gehöft der Meisterei. Bei der Lagerung in der Streustoffhalle sind die notwendigen Flächen in der Halle vorhanden und das Streusalz

kann mit dem Radlader wieder eingelagert werden. Bei reiner Silolagerung ist dies nicht möglich, wenn das Streusalz in die Silos eingeblasen wird. Wenn die Befüllung über einen bodengleichen Einfülltrichter erfolgt, kann dieser auch für die Standentleerung genutzt werden.

6.1.2 Wirtschaftlichkeit

Wesentlicher Aspekt einer wirtschaftlichen Streustofflagerung sind geringe LZK für die Lagerung der Streustoffe, incl. der Einlagerung und der Beladung der Winterdienstfahrzeuge. Darüber hinaus können geringe Beladezeiten die Stillstand- und Wartezeiten der Winterdienstfahrzeuge auf dem Gehöft reduzieren, was neben einer Einsparung von Personalkosten auch zu einer Verkürzung der Umlaufzeiten im Winterdienst führen kann. Hieraus können volkswirtschaftliche Einsparungen aufgrund eines verbesserten Winterdienstes resultieren.

Auf Grundlage der LZK-Analyse (s. Kapitel 5.5) entfallen die geringsten LZK auf die Varianten, bei denen die Streustoffe in der Halle gelagert werden. Nur bei Lagerkapazitäten bis zu 500 t ist die Silolagerung mit geringeren LZK verbunden. Die Lagerung in der Halle mit einem zusätzlichen Verladesilo bzw. die Beschickung einer Salzlöseanlage aus einem zusätzlichen Silo ist in der Regel teurer als der Einsatz des Radladers für die Beladung der Winterdienstfahrzeuge und die Beladung des Salztrichters der Salzlöseanlage. Die geringeren Beladezeiten am Streustoffsilo führen somit gegenüber der Beladung mit dem Radlader zu keinen wirtschaftlichen Vorteilen, sondern aufgrund der höheren Investitionen auch zu höheren Gesamtkosten. Entscheidend für die wirtschaftliche Beladung der Winterdienstfahrzeuge sind ausreichend Standplätze für die Parallelbeladung von Streustoff und Sole. Je nach Anzahl der Fahrzeuge und der Einsatzplanung sind zwei, ggf. drei Standplätze für die Beladung mit Salz und Sole sinnvoll.

Die im Rahmen der LZK durchgeführte Sensitivitätsanalyse hat deutlich gemacht, dass die Bewertung der Wirtschaftlichkeit weitgehend unabhängig von nicht unmittelbar beeinflussbaren bzw. nicht prognostizierbaren Eingangsgrößen (Salzumsatz, Zinssatz, Lebensdauer, Erhaltungsaufwand) ist. Allerdings wird sie stark von den erforderlichen Investitionen geprägt, die stark von den örtlichen Verhältnissen abhängen und daher sehr stark variieren (s. Kap. 5.2). Daher sollte die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Lagerkonzepte individuell auf Grundla-

ge standort- und anlagenspezifischer Werte für jede Planung erfolgen.

6.1.3 Weitere Aspekte

Die Beschickung einer Salzlöseanlage ist sowohl bei Hallenlagerung als auch bei Silolagerung möglich. Bei reiner Silolagerung, einem zusätzlichen Verladesilo oder einem separaten Streustoffsilo nur für die Soleherstellung ist eine automatische Beschickung über ein Fallrohr möglich, sodass die Anlage über einen längeren Zeitraum autark im Einsatz sein kann.

Generell ist Streusalz, das den Anforderungen der DIN EN 16811 „Winterdienstausrüstung – Enteisungsmittel, Teil 1 und Teil 2“, incl. der Nationalen Anhänge [DIN 16811 2016] sowie den H BeStreu „Hinweisen für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst“ [FGSV 2017] entspricht, sowohl für die Hallen- als auch die Silolagerung geeignet. Allerdings wird hierin bei Silolagerung eine höhere Anforderung an den Feuchtegehalt (max. 0,6 M.-%) gestellt. Um Brückenbildung und Verstopfungen von pneumatischen Fördereinrichtungen zu verhindern, ist die ausreichende Rieselfähigkeit des Streusalzes nachzuweisen (mind. 45 % bei Anlieferung, gemessen mit der Auslaufbox nach Sonntag gemäß Anhang 2 der H BeStreu).

Bei der Auswahl eines zweckmäßigen Lagerkonzeptes sind weiterhin folgende standortspezifische Aspekte zur berücksichtigen:

- Auf dem Gehöft einer Meisterei wird ein Radlader häufig auch für andere Arbeiten im Sommerdienst benötigt und ist somit ganzjährig vorhanden.
- Auf einem Stützpunkt wird der Radlader meist nur für die Salzein- und -auslagerung benötigt. Wenn auf einem Stützpunkt kein Waschplatz zur Verfügung steht, kann die Lebensdauer des Radladers aufgrund von Korrosion stark beeinträchtigt werden.
- Das Diebstahlrisiko für den Radlader ist auf einem nicht ständig besetzten Stützpunkt höher als auf dem Gehöft einer Meisterei.
- Bei nicht ständig besetzten Stützpunkten sollten alle Komponenten zur Streustofflagerung möglichst einfach konzipiert sein, sodass Ausfälle durch Betriebsstörungen minimiert werden.

6.1.4 Empfehlungen für standardisierte Lagerungsvarianten

Es wird empfohlen, in der Planungsphase für ein Streustofflager die standort- und nutzungsspezifischen Randbedingungen bei der Bewertung möglicher Lagerkonzepte zu berücksichtigen. Weiterhin sollte eine projektspezifische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden. Hierfür sind die Ansätze zur Ermittlung der Lebenszykluskosten gemäß Tabelle 22 zu prüfen und ggf. anzupassen.

Musterlösungen für standardisierte Lagerungsvarianten sind im Entwurf der H LaStreu zusammengestellt, die als Anhang 17 diesem Bericht beigelegt sind. Die Abmessungen ergeben sich zum einen aus der erforderlichen Lagerkapazität und zum anderen aus den örtlichen Verhältnissen.

Die Streustofflagerung auf einem Meistereigehöft sollte in der Regel in Streustoffhallen erfolgen. Im Einzelfall kann die Kombination aus Streustoffhalle und Verladesilo trotz höherer Lebenszykluskosten sinnvoll sein.

Die Streustofflagerung auf nicht ständig besetzten Stützpunkten von Autobahn- und Straßenmeistereien, die vor allem zum Nachladen im Winterdienst genutzt werden und an denen keine Winterdienstfahrzeuge stationiert sind, sollte bei geringen Lagerkapazitäten (bis ca. 500 t) in Siloanlagen erfolgen. Bei größeren erforderlichen Lagerkapazitäten ist die Hallenlagerung auch auf Stützpunkten in der Regel wirtschaftlicher. Allerdings kann aus weiteren betrieblichen Gründen eine Silolagerung trotzdem sinnvoll sein. Bei der Silolagerung ist in der Regel aus wirtschaftlichen Gründen die Anlieferung mit Silofahrzeugen zu empfehlen.

Bei ständig besetzten Stützpunkten oder Stützpunkten, an denen Winterdienstfahrzeuge stationiert sind, können sowohl Hallenlagerung als auch Silolagerung zweckmäßig sein.

6.2 Empfehlungen

6.2.1 Anordnung der Streusalzlager

Die H LaStreu enthält zahlreiche Anforderungen an die Lage der Streustofflager auf dem Gehöft oder auf dem Stützpunkt, die je nach vorhandenen Platzverhältnissen bei der Planung zu berücksichtigen sind. Die wesentlichen Anforderungen sind

- Ausreichende Rangierflächen für die Winterdienstfahrzeuge
- An- und Abfahrt der Standplätze für die Streustoffbeladung (Salz und Sole) im Regelfall ohne Rückwärtsfahrt
- Anordnung der Zufahrt zur Streustoffhalle auf der der Hauptwindrichtung entgegengesetzten Seite

Bei Hallenlagerung sollten in der Regel an mindestens 2 Standplätzen Streustoff und Sole geladen werden können. Bei Autobahnmeistereien mit großem Fuhrpark oder Einsatz von 3 Fahrzeugen in einer Räumstaffel sind nach Möglichkeit 3 Standplätze vorzusehen. In Straßenmeistereien mit geringem Fuhrpark oder auf Stützpunkten kann auch ein Standplatz ausreichend sein. In diesem Fall sollte jedoch zumindest ein 2. Standplatz für die Solebetankung ausgerüstet sein.

Ein Streustoffsilo sollte aus betrieblichen Gründen und zur Vermeidung langer Lagerzeiten eine Lagerkapazität von 300 t nicht überschreiten. Bei reiner Silolagerung sind in der Regel mindestens 2 Silos vorzusehen, an denen parallel auch Sole getankt werden kann. Bei Lagerkapazitäten über 500 t und ausreichenden Platzverhältnissen werden für reine Silolagerung 3 und ggf. mehr Silos empfohlen. Bei einer kombinierten Lagerung in Streustoffhalle mit Verladesilo sind neben dem Ladeplatz unter dem Streustoffsilo 2 weitere Ladeplätze vorzusehen, an denen Sole getankt werden kann.

Ideal ist ein Anfahren der Ladeplätze ohne Rückwärtsfahrt. Dafür sind sie bei Hallenlagerung in Hallenlängsrichtung in Verlängerung der Hallenseitenwände anzuordnen oder das Winterdienstfahrzeug quer vor der Halle neben dem Hallentor positioniert. Bei Beladung von der Halle aus können sie seitlich neben der Halle angeordnet werden. Voraussetzung für diese Anordnung sind ausreichende Rangierflächen und/oder Umfahrmöglichkeiten der Streustoffhalle. Bei Silolagerung sind die Silos so anzuordnen, dass alle Silos gleichzeitig ohne Rückwärtsfahrt angefahren werden können.

Empfohlen wird die witterungsgeschützte Anordnung der Ladeplätze in der Streustoffhalle mit hierfür ausgewiesener Betriebsfläche vor der Lagerfläche oder vor der Streustoffhalle unter einem vorgezogenen Dachüberstand oder seitlich neben der

Streustoffhalle unter einem seitlich geschlossenen Schleppdach. Hierdurch ist es möglich

- witterungsgeschützt ein- und auszusteigen sowie alle Arbeiten am Fahrzeug beim Beladen witterungsgeschützt durchzuführen,
- eine Beaufschlagung der für die Beladung vorgesehenen Fläche mit Niederschlag zu vermeiden, sodass das von der Ladefläche abzuführende Oberflächenwasser erheblich reduziert wird,
- die Lärmemissionen beim Beladen zu reduzieren, was bei Standorten in der Nähe von Wohnbebauung von Bedeutung ist.

Empfohlen wird weiterhin ein Höhenversatz zwischen Standfläche des Winterdienst-Lkw und Rangierbereich des Radladers von ca. 1,50 m, sodass der Radlader die Streumaschine von oben befüllen kann. Die Ausbildung des Höhenversatzes kann je nach Geländeverlauf in unterschiedlicher Weise erreicht werden.

Bei Silobeladung ist der Einsatz unterstützender Einrichtungen zur exakten Positionierung des Winterdienst-Lkw zu prüfen, z. B. Leitschienen zur Querführung und visuelle Hilfen zur exakten Positionierung in Längsrichtung.

Alle Komponenten zur Steuerung von Soleanlagen sind zum Schutz vor Einfrieren und wegen der einfacheren Bedienung witterungsgeschützt zu installieren. Dies kann in der Streustoffhalle, in einem separaten Anbau oder in einem separaten Gebäude oder Container erfolgen.

Die Anordnung der Salzlöseanlage in der Streustoffhalle wird empfohlen, wenn sie mit Radlader befüllt wird. Dies ermöglicht kurze Wege. Weiterhin werden Ausfällungen und Betriebsstörungen bei tiefen Temperaturen durch die witterungsgeschützte Lage reduziert. Bedienung, Kontrolle und Wartung können ebenfalls witterungsgeschützt erfolgen. Wenn zur Streustofflagerung eine Siloanlage oder eine Kombination aus Streustoffhalle und Verladeseilo vorgesehen ist, kann die Salzlöseanlage direkt über ein Fallrohr von einem Silo aus mit Salz beschickt werden.

Die Anlagen zur Betankung mit Sole sind mit ausreichender Förderleistung und Förderdruck auszustatten. Bei ausschließlichem Einsatz von FS 30 sind mindestens 20 m³/h, bei FS 100 mindestens 30 m³/h an jedem Soleanschluss vorzusehen.

6.2.2 Bauliche Gestaltung von Streustoffhallen

Als Baustoff hat sich Holz aufgrund seiner natürlichen Resistenz gegenüber der chemischen Beanspruchung durch Chloride bewährt. Daneben kommt Stahlbeton für Fundamente, Bodenplatte und Sockelbereich zum Einsatz; diese Bauteile sind gegenüber Salzbeaufschlagung zu schützen.

Bei Streustoffhallen wird nach der Lagerfläche, die aus der erforderlichen Lagerkapazität gemäß dem Leitfaden TAUSALA resultiert, und einer Betriebsfläche für Rangieren des Radladers, Salzlöseanlage, Trichter für die Beschickung eines Verladeseilos, die Standentleerung sowie ggf. witterungsgeschützte Ladeplätze für Winterdienstfahrzeuge differenziert.

Die Geometrie der Streustoffhalle ist von den örtlichen Randbedingungen abhängig. Spannweiten bis zu 35 m können wirtschaftlich hergestellt werden, sodass auch quadratische Grundrisse, insbesondere bei großen Lagerkapazitäten sinnvoll sind. Die lichte Höhe im Firstbereich sollte 12 m betragen, um Streustoffe einfach in der Halle abkippen zu können. Die Schüttguthöhe an der Hallenwand sollte im Regelfall 5 m betragen, in der Mitte kann sie auch etwas höher sein (6 m). Hiermit wird eine wirtschaftliche Ausnutzung des vorhandenen Hallenvolumens erreicht.

Der Hallenboden ist in der Regel eine Bodenplatte aus Stahlbeton, die mit einer mehrlagigen Abdichtung, i. d. R. aus Gussasphalt, zum Schutz vor Korrosion und mechanischer Beanspruchung abgedichtet ist. Im Bereich der Betriebsfläche ist eine Neigung von mindestens 1,5 % zur Entwässerung vorzusehen; für die Lagerfläche kann auf eine Neigung verzichtet werden.

Die Hallenzufahrt kann mit einem Tor verschlossen werden; neben mechanischen Schiebetoren aus Holz können auch textile Windschutzfalltüre zweckmäßig sein, da diese auch während der Winterdienststeinsätze leicht geöffnet und geschlossen werden können. Mechanische Holztore bleiben während der Wintersaison vielfach länger geöffnet und können so keinen Schutz vor Niederschlag und Schmutzeintrag bieten. Tore sollten eine Durchfahrtsbreite von 5,50 m und eine Durchfahrts Höhe von 9 m aufweisen, damit bei der Salzanlieferung der Sattelaufleger auch mit aufgestellter Mulde durch das Tor fahren kann.

Alternativ kann auch eine an der Frontseite offene oder teilgeöffnete Halle vorgesehen werden, wenn durch ein Vordach und/oder ausreichende Betriebsflächen die Streustoffe witterungsgeschützt gelagert werden.

In der Regel sind Dachtragwerk und Außenwände in Holzbauweise zu errichten, Bei kleineren Hallen mit Schütthöhen bis 3,50 m können die Außenwände auf einen Betonsockel aufgestellt werden. Bei größeren Schütthöhen sind zur Lastabtragung die Außenwände entweder in Stahlbeton auszuführen oder es sind Dreiecksböcke in Holz bzw. Stahlbetonwandscheiben vorzusehen. Stahlbetonwände und -bauteile sind entweder mit PE-Platten oder mit einer Vorsatzschale aus Holz zu schützen, wobei besonders auf die Abdichtung der Anschlüsse zu achten ist. Von großer Bedeutung für eine lange Lebensdauer ist auch die einfache Zugänglichkeit aller korrosionsgefährdeten Bauteile.

6.2.3 Bauliche Gestaltung von Streustoffsilos

Als Baustoffe für Streustoffsilos kommen in der Regel Holz für Silo und Trichter, Stahl für den Unterbau sowie Stahlbeton für Fundamente und Bodenplatte zum Einsatz. Alternativ ist auch der Einsatz von GFK-Silos möglich, insbesondere bei geringem Fassungsvermögen. Für Leitern, Podeste etc. wird feuerverzinkter Stahl empfohlen, damit diese eine ausreichende Lebensdauer haben und die Rutschgefahr minimiert wird.

Streustoffsilos sind in der Regel rund. Um die Lagerzeit der Streustoffe im Silo zur Vermeidung von Verbackungen und Verklumpungen zu reduzieren, und aus betrieblichen Gründen sollten sie Kapazitäten zwischen 100 t und 300 t aufweisen. Es wird eine Durchfahrtshöhe von 4.50 m empfohlen; die Durchfahrtsbreite ist abhängig von der maximalen Breite der eingesetzten Schneepflugkombination.

Die Streustoffsilos aus Holz werden in der Regel mit Nut- und Feder-Bohlen vor Ort errichtet und mit außenliegenden Spannringen stabilisiert. Bei dieser Daubenbauweise hat sich ein Verhältnis von maximal 1:1,5 für Zylinderhöhe zu Zylinderdurchmesser als vorteilhaft erwiesen. Die Bemessung und Konstruktion erfolgt für einen Streustoff, der den Empfehlungen der H BeStreu entspricht. Daher ist eine regelmäßige Überprüfung der angelieferten Streustoffe, insbesondere Rieselfähigkeit und Feuchtegehalt erforderlich, um Schäden durch Brückenbildungen zu vermeiden.

Die Befüllung der Streustoffsilos sollte in der Regel durch Einblasen des Streusalzes mit Druckluft durch das anliefernde Silofahrzeug erfolgen, da dies in der Regel wirtschaftlicher als die Anlieferung mit Lkw und das Abkippen in eine separate Fördereinrichtung ist. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Liefersicherheit bei der Anlieferung mit Silofahrzeugen. Das Salz sollte zentrisch in Silomitte eingeblasen werden.

6.2.4 Füllstandmesssysteme

Der Einsatz von Füllstandmesssystemen hat den Vorteil, dass für die zentrale Bestellung von Streustoffen während des Winters fortlaufend ein aktueller Überblick über die Lagerbestände möglich ist. Daneben können die einzelnen Füllstandangaben auch lokal durch eine Anzeige für die Winterdienstmitarbeiter dargestellt werden. Durch ein zentrales Erfassungssystem wird eine Füllstandüberwachung auch für entlegene Streustofflager an Stützpunkten jederzeit und ohne zusätzliche Fahrten möglich.

Sowohl für Streustoffhallen als auch für Streustoffsilos hat sich die Füllstandmessung mit Radar bewährt. Bei Streustoffsilos können auch Wägezellen und Dehnmessstreifen zum Einsatz kommen, allerdings sind diese an allen vier Stützenfüßen anzubringen und Dehnmessstreifen sind vor Sonneneinstrahlung zu schützen. Eine beginnende Brückenbildung kann mit diesen nicht erkannt werden.

Werden keine automatisch arbeitenden Füllstandmesssysteme eingesetzt, können zur Abschätzung des Füllstandes in Streustoffhallen Markierungen an der Hallenwand sinnvoll sein. Bei Silos kann auch ein einfaches mechanisches Lotsystem zum Einsatz kommen.

Für die Füllstandmessung von Soletanks werden Radar- oder Ultraschallsensoren oder hydrostatische Messumformer empfohlen.

6.2.5 Ladetrichter und Fördereinrichtung für Salzlöseanlagen oder Verladesilo

Wenn eine Salzlöseanlage aus einem Vorratsbehälter mit Salz beschickt wird, sind die Dimensionierung des Vorratsbehälters und die Förderleistung auf die Löseleistung der Salzlöseanlage abzustimmen. In der Regel ist eine Kapazität des Vorratsbehälters von 6 t ausreichend, damit ein chargenweises Befüllen durch den Radlader im ein- bis zweistündigen Turnus ausreicht.

Bei der Beschickung von Verladesisilos sollte die Förderleistung der Fördereinrichtung so groß sein, dass das Verladeseilo innerhalb eines Tages komplett gefüllt werden kann, in der Regel ist eine Förderleistung von ca. 10 t/h zu empfehlen. Damit eine chargenweise Befüllung durch den Radlader möglich ist, sollte das Trichtervolumen ausreichend dimensioniert seine.

Der Ladetrichter ist in der Streustoffhalle auf der Betriebsfläche so anzuordnen, dass die Fahrwege und Rangierfahrten für den Radlader minimiert werden. Die Höhe des Salztrichters sollte in der Regel 3 m über Bodenplatte nicht überschreiten. Die Förderung des Streusalzes kann entweder mechanisch über Becherwerke und Förderschnecken oder über eine pneumatische Fördereinrichtung mit Druckluft erfolgen.

6.3 Regelmäßige Überprüfung

Streustoffhallen und Streustoffsilos sind Bauwerke und daher regelmäßig zu überprüfen, um den Anforderungen an Standsicherheit, Dauerhaftigkeit, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Umweltschutz zu entsprechen. Weiterhin können durch eine regelmäßige Kontrolle Mängel und Schäden frühzeitig erkannt werden, sodass zum einen die Instandsetzungskosten deutlich geringer sind und zum anderen mit einer erhöhten Lebensdauer zu rechnen ist.

Es wird empfohlen, die Kontrolle wie folgt zu strukturieren:

- Begehung durch einen Verfügungsberechtigten (z. B. Meistereileiter oder unterwiesener Mitarbeiter der Meisterei)
- Inspektion durch fachkundige Person (z. B. Ingenieur der Straßenbauverwaltung)
- Eingehende Überprüfung durch eine besonders fachkundige Person (z. B. Ingenieur mit besonderen Fachkenntnissen für Hallen- bzw. Silobauten)

Auf Grundlage der VDI Richtlinie 6200 „Standsicherheit von Bauwerken“ [2010] und der Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes (RÜV) [BMVBS 2008] für die regelmäßige Überprüfung der Bauwerke sowie Erfahrungen werden die in Tabelle 23 zusammengestellten Intervalle für die Überwachung

Art der Untersuchung	Begehung	Inspektion in Anlehnung an VDI-Richtlinie 6200	Eingehende Überprüfung in Anlehnung an VDI-Richtlinie 6200
durchzuführen durch	Verfügungsberechtigten	fachkundige Person	eine besonders fachkundige Person
Streustoffhalle	3	5	15
Streustoffsilo (mit Fassungsvermögen bis 500 t und/oder Höhe bis 20 m.)	1	4	12
Streustoffsilo (mit Fassungsvermögen > 500 t und/oder Höhe > 20 m.)	1	4	10

Tab. 23: Empfohlene Intervalle in Jahren für die bauliche Überwachung von Streustoffhallen und Streustoffsilos

empfohlen. Die Intervalle für Inspektion und eingehende Überprüfung sollten im Rahmen der Inspektion an den baulichen Zustand und die einwirkenden Randbedingungen angepasst werden. Die Anforderungen der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV) [2019] an die Überwachung sind zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse aller Kontrollen sind in einem bauwerksspezifischen Bauwerksbuch zu dokumentieren. Im Anhang 3.1 und Anhang 3.2 der H LaStreu sind Muster-Bauwerksbücher für Streustoffhalle und Streustoffsilo enthalten. Sie enthalten auch Musterchecklisten zu den zu kontrollierenden Bauteilen sowie Muster für die Dokumentation von Mängeln.

6.4 Kostenabschätzung für unterschiedliche Musterlösungen und Konstruktionsvarianten bei Hallenlagerung

Wesentlich für die Wirtschaftlichkeit der Streusalz-lagerung sind die Investitionskosten (s. Kapitel 5.5). Daher werden für die unterschiedlichen Musterlösungen und Konstruktionsvarianten der Hallenlagerung, die in der H LaStreu in Anhang 2 und Anhang

3 zusammengestellt sind, die Kostendifferenzen ermittelt und als relative Mehr- oder Minderkosten gegenüber der Musterlösung 1 bzw. der Konstruktionsvariante 1 dargestellt. Die Kostenabschätzung basiert auf folgenden Grundlagen:

- Kostenabschätzung für Hallen mit 1.000 t und mit 2.500 t Lagerkapazität
- Vergleich folgender Musterlösungen:
 - Lösung 1: Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und Lademöglichkeiten vor der Halle
 - Lösung 2: Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und seitlich ebenerdiger Lademöglichkeit
 - Lösung 3: Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und seitlich erhöhter Lademöglichkeit
 - Lösung 4: Offene Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und mit ebenerdigen Lademöglichkeiten in der Halle
 - Lösung 5: Offene Streustoffhalle mit Salzlöseanlage sowie mit ebenerdiger und mit erhöhter Lademöglichkeit in der Halle

Für die Halle mit 1.000 t Lagerkapazität wird die Konstruktionsvariante 4 (Hallentragwerk in Holzbauweise mit Dreigelenkrahmen), für die Halle mit 2.500 t Lagerkapazität die Konstruktionsvariante 1.4 (Holzbauweise mit Satteldachträger auf Stahlbetonwand mit Vorsatzschale) zugrunde gelegt.

- Vergleich folgender Konstruktionsvarianten:
 - Variante 1: Hallentragwerk in Holzbauweise aufgelagert auf Stahlbetonwand (Korrosionsschutz durch Holzvorsatzschale)
 - Variante 2: Hallentragwerk in Holzbauweise mit Dreiecksstrebenbock
 - Variante 3: Hallentragwerk in Holzbauweise aufgelagert auf Stahlbetonwandscheiben
 - Variante 4: Hallentragwerk in Holzbauweise (nur 1.000 t Lagerkapazität, da für 2.500 t Lagerkapazität bei geringer Schüttguthöhe die erforderliche Hallengröße unwirtschaftlich ist)

Für jede Konstruktionsvariante werden die Lösung 1 (Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und Lademöglichkeiten vor der Halle) und die Lösung 4 (Offene Streustoffhalle mit Salzlöseanlage und mit ebenerdigen Lademöglichkeiten in der Halle) zugrunde gelegt.

- Schüttguthöhe:
 - 3,50 m bei 1.000 t Lagerkapazität
 - 5,50 m bei 2.500 t Lagerkapazität (nur Konstruktionsvarianten 1 bis 3, da Konstruktionsvariante 4 nur für Schüttguthöhe bis ca. 4 m umsetzbar)
- Hallenbreite:
 - 15,00 m bei 1.000 t Lagerkapazität (für Lösung 1 bis 3)
 - 20,00 m bei 1.000 t Lagerkapazität (für Lösung 4 und 5)
 - 20,00 m bei 2.500 t Lagerkapazität
- Länge Betriebsfläche:
 - 8,00 m bei Lösung 1 bis 3 (erforderlich für Salzlöseanlage und Rangiermöglichkeit)
 - 12,00 m bei Lösung 4 und 5 (erforderlich für Niederschlagsgeschützte Lagerung und Lademöglichkeit in der Halle)
- Gesamt Investitionskosten gemäß Tabelle 22:
 - 800.000 € bei 1.000 t Lagerkapazität
 - 1.200.000 € bei 2.500 t Lagerkapazität

Auf Basis dieser Grundlagen lassen sich für die wesentlichen Leistungspositionen Mehr- und Mindermengen der zu vergleichenden Musterlösungen und Konstruktionsvarianten ermitteln und hieraus mithilfe von Einheitspreisen Mehr- oder Minderkosten ableiten. Diese werden in Relation zu den Gesamt-Investitionskosten gemäß Tabelle 22 gesetzt, die neben den reinen Investitionskosten für die Salzhalle auch Kosten für Tiefbau, Außenanlagen, Planungskosten etc. berücksichtigen. Die Einheitspreise basieren auf aktuellen Erfahrungswerten für den Bau von Streustoffhallen und vergleichbaren Bauwerken.

Bei den Mehr- und Mindermengen werden je nach betrachteter Musterlösung und Konstruktionsvariante insbesondere folgende Positionen berücksichtigt.

- Fläche Hallenboden incl. Tragschicht
- Dachfläche
- Dachbinder und -stützen (Spannweite & Anzahl)
- Stahlbetonwände (incl. Holzvorsatzschale und Fundamente)
- Stahlbetonschotten und Brettschichtholz-Abdeckung (Konstruktionsvariante 3)
- Dreieckstrebenböcke (Konstruktionsvariante 2 mit Massivholzscheibe)
- Aussteifung für Holzkonstruktionen
- Schleppdach mit seitlichem Witterungsschutz (Lösung 2 und 3)
- Hallentor (Lösung 1, 2 und 3)
- Flügelwände für Rampen (Verkehrsflächen der Rampen bleiben unberücksichtigt, da im Bereich der Rangierflächen)
- Aushub für Halle und Rampen

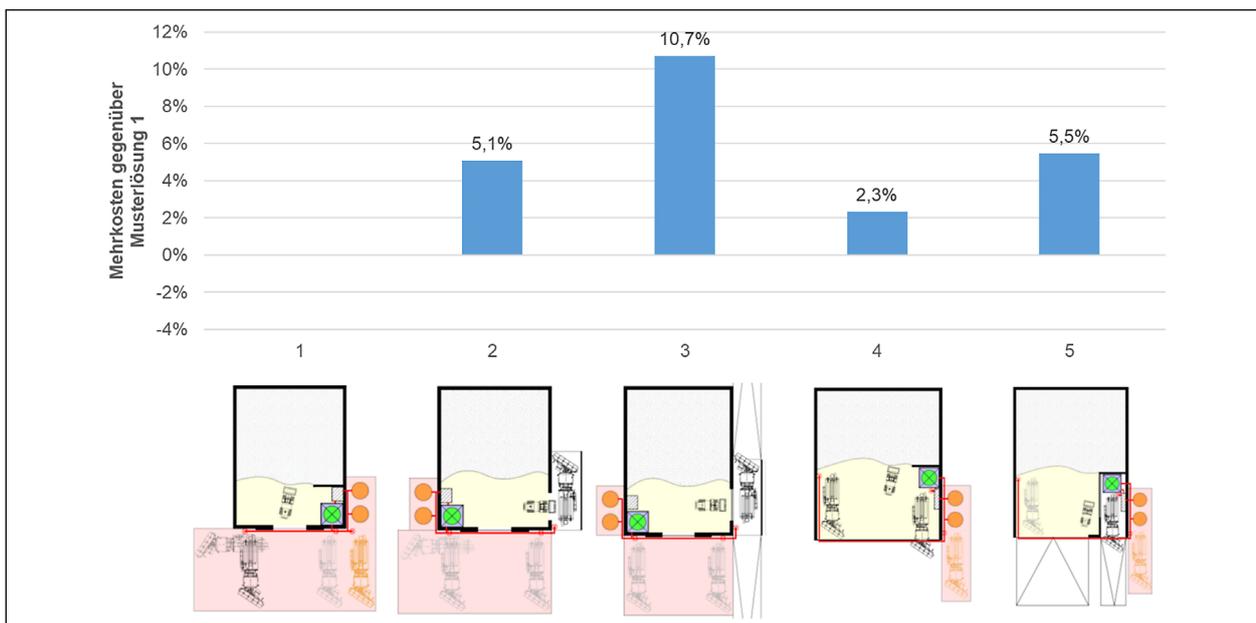


Bild 69: Mehrkosten unterschiedlicher Musterlösungen gegenüber Musterlösung 1 für die Hallenlagerung bei 1.000 t Lagerkapazität

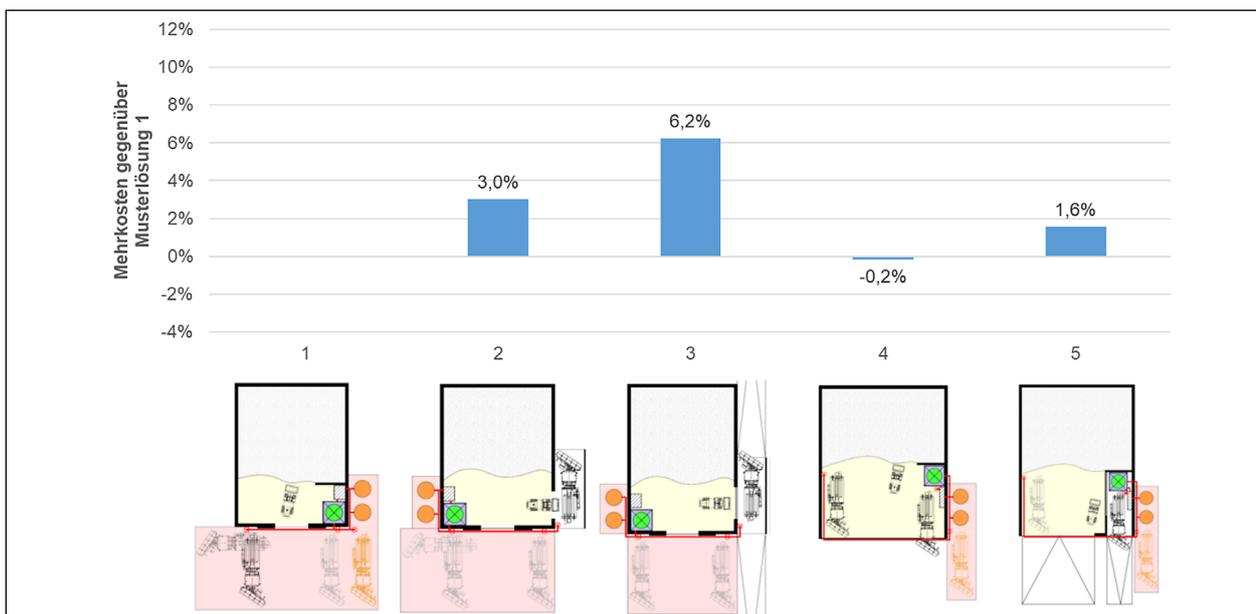


Bild 70: Mehrkosten unterschiedlicher Musterlösungen gegenüber Musterlösung 1 für die Hallenlagerung bei 2.500 t Lagerkapazität

- Sicherheitszuschlag von 10 % auf die angesetzten Einheitspreise für alle Positionen

In Bild 69 und Bild 70 sind die Mehrkosten für die Musterlösungen 2 bis 5 gegenüber der Lösung 1 dargestellt. Für alle Musterlösungen sind sie mit ca. 2 bis 11 % relativ gering und liegen weitgehend in Rahmen der Genauigkeit der Kostenschätzung. Aus dem Vergleich wird deutlich, dass insbesondere die seitliche Lademöglichkeit für Winterdienstfahrzeuge mit zusätzlichen Investitionen für das Schleppdach mit seitlichem Witterungsschutz (Lö-

sung 2 und 3) verbunden ist. Auch für erhöhte Lademöglichkeiten (Lösung 3 und 5) fallen Mehrkosten an. Diese Mehrkosten sind bei größerer Lagerkapazität jedoch weniger deutlich, da sie weitgehend mengenunabhängig sind. Die Lösungen mit Tor (Lösung 1) und offen ohne Tor (Lösung 4) sind weitgehend kostenneutral, da die Mehrkosten für die zusätzliche Hallenfläche durch die Einsparungen für Giebelwand und Tor kompensiert werden. Bei der geringen Lagerkapazität (Bild 69) resultieren sie vor allem aus der größeren angesetzten Hallenbreite,

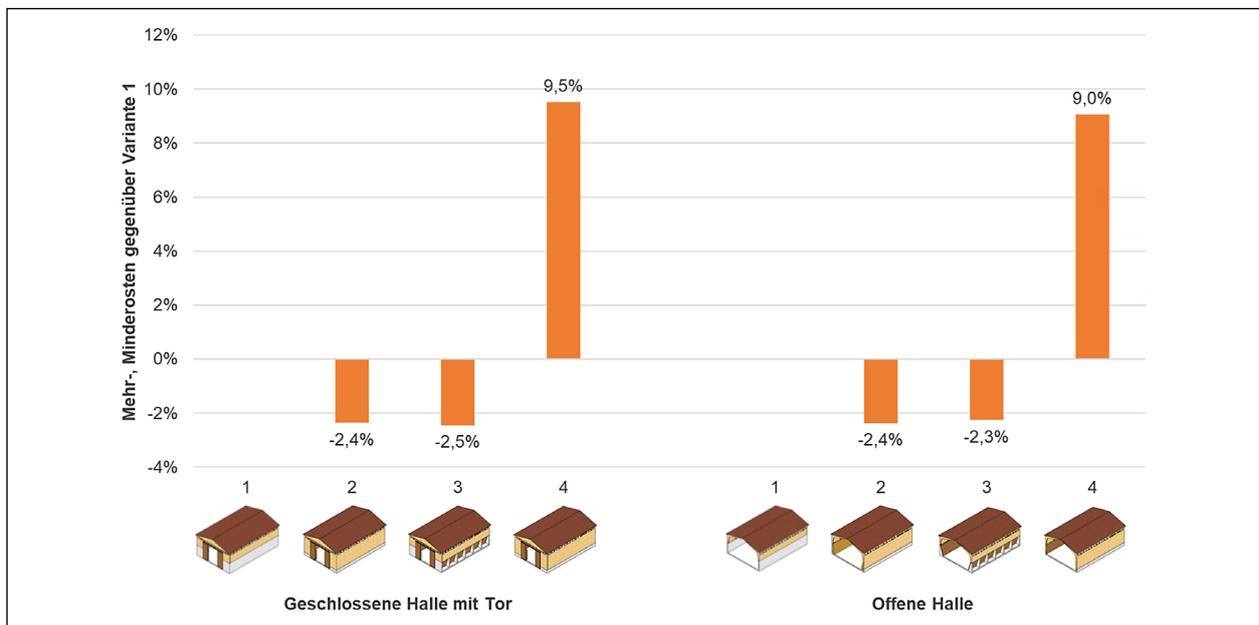


Bild 71: Mehr-/Minderkosten unterschiedlicher Konstruktionsvarianten gegenüber Konstruktionsvariante 1 bei 1.000 t Lagerkapazität

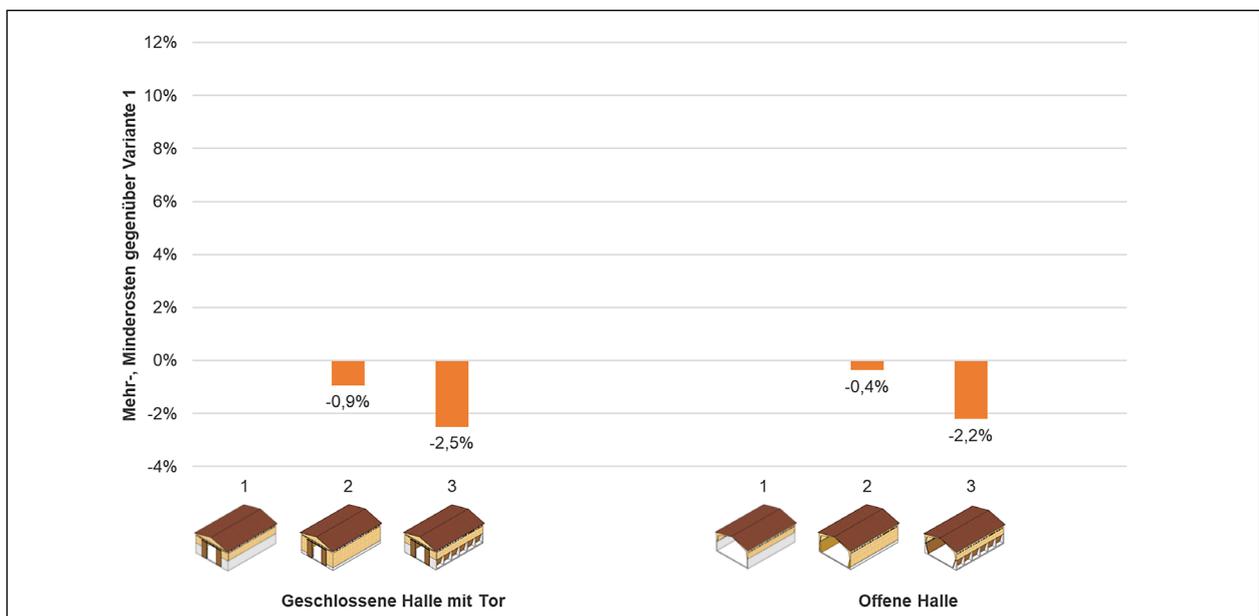


Bild 72: Mehr-/Minderkosten unterschiedlicher Konstruktionsvarianten gegenüber Konstruktionsvariante 1 bei 2.500 t Lagerkapazität

die für das Beladen von zwei Winterdienstfahrzeugen in der Halle notwendig ist.

Bild 71 und Bild 72 visualisieren die Mehr- oder Minderkosten für die unterschiedlichen Konstruktionsvarianten, jeweils für Lösung 1 (geschlossene Halle mit Tor) und Lösung 4 (offene Halle). Auch diese sind mit – 3 % bis + 10 % relativ gering. Es fällt auf, dass die Konstruktionsvarianten 2 und 3, bei denen die Schüttgutlasten über Dreiecksstrebenböcke aus Holz oder Stahlbeton in den Untergrund abgeleitet werden, trotz etwas geringerem Hallenquerschnitt tendenziell günstiger als die Konstruktionsvarianten 1 und 4 mit senkrechter Stahlbetonwand bzw. senkrechten Stahlstützen sind. Für die untersuchten Lösungen 1 und 4 sind die Mehr- oder Minderkosten der Konstruktionsvarianten jeweils weitgehend gleich.

Die durchgeführten Kostenschätzungen machen deutlich, dass die Investitionen für die in den H LaStreu dargestellten Musterlösungen und Konstruktionsvarianten in ähnlicher Größenordnung liegen und nicht signifikant voneinander abweichen. Die tatsächlich erforderlichen Investitionen werden im Einzelfall erheblich stärker durch die Randbedingungen vor Ort (Flächenverfügbarkeit, Geländeverlauf) sowie bauwirtschaftliche Aspekte (Baukonjunktur, regionale Einflüsse) geprägt, sodass alle dargestellten Musterlösungen und Konstruktionsvarianten wirtschaftlich für die Streustofflagerung sein können.

Literatur

- AwSV - Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV), in Kraft getreten am 18.04.2017 (BGBl. I, S 905)
- BetrSichV - Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung) in Kraft getreten am 03.02.2015 (BGBl. I. S. 49); zuletzt geändert am 30.04.2019 (BGBl. I. S. 554)
- BMF – Bundesministerium der Finanzen
AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig „Weinbau und Weinhandel“, in der Fassung vom 06.12.1991
Bonn 1991
- BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Richtlinie für die Überwachung der Verkehrssicherheit von baulichen Anlagen des Bundes (RÜV)
Berlin 2008
- BMVBW - Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst (MK 6 a): Optimierung von Einsatzverfahren – Empfehlungen für die Organisation bei Autobahn- und Straßenmeistereien
Bonn 2004
- BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur / Länderfachgruppe Straßenbetrieb
Richtlinie für die Anlage von Meistereien – RAM, Ausgabe 2014
FGSV Verlag Köln 2014
- BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Straßenmeisterei Geislingen – Neubau Streuthalle (Broschüre)
Staatliches Hochbauamt Ulm 2017
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Leitfaden für die Dimensionierung von Tausalzlagern – Leitfaden TAUSALA
Berlin 2019
- CYPRA, T.; ROOS, R.; ZIMMERMANN, M.
Optimierung des Winterdienstes auf hochbelasteten Autobahnen
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V135
Bergisch-Gladbach 2006
- Destatis – Statistisches Bundesamt
Preisindices für die Bauwirtschaft, Februar 2019 (1. Vierteljahresausgabe)
Fachserie 17, Reihe 4
Wiesbaden 2019
- DIN EN 1597-1, Winterdiensttausrüstung – Streumaschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Angaben für Streumaschinen
Beuth-Verlag, Berlin 2017
- DIN EN 16811-1, Winterdiensttausrüstung – Enteisungsmittel – Teil 1: Natriumchlorid - Anforder-

- rungen und Prüfmethode
Beuth-Verlag, Berlin 2016
- DIN EN 16811-2, Winterdienstausrüstung – Enteisungsmittel - Teil 2: Calcium- und Magnesiumchlorid - Anforderungen und Prüfmethode
Beuth-Verlag, Berlin 2016
- DIN 18533-2, Abdichtung von erdberührten Bauteilen - Teil 2: Abdichtung mit bahnenförmigen Abdichtungsmitteln
Beuth-Verlag, Berlin 2017
- DIN EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
Beuth Verlag, Berlin 2010
- DIN EN 1991-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter
Beuth Verlag, Berlin 2010
- DIN EN 1991-4/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter
Beuth Verlag, Berlin 2010
- DIN EN 68800-3:2012-02, Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln
Beuth Verlag, Berlin 2012
- DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.
Regel für Sicherheit und Gesundheitsschutz – Straßenbetrieb Straßenunterhalt
BGR/GUV-R 2108
Berlin 2011
- DURTH, W.; HANKE, H.
Handbuch Straßenwinterdienst
Kirschbaum Verlag
Bonn 2004
- FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen
Köln 2010
- FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Hinweise zur Herstellung und Lagerung von Tausalzlösungen für den Winterdienst
Köln 2015
- FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Hinweise für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst – H BeStreu
Köln 2017
- FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst – H SoLA, Entwurf Oktober 2018
Köln 2018
- GREIMEL, A.; KIPPES, G.
Salz und Sole aus der Selbstbedienungsanlage des Landkreises Rosenheim
Salzburg 2006
- HANKE, H.
Internationale Studien und Erfahrungen zur Entwicklung der Streutechnik
Tagungsband zum Straßenbetriebsdienst- Kolloquium 2017 der FGSV
Köln 2017
- HOLLDORB, C.; STREICH, M.
Kennzahlen im Betriebsdienst
Schlussbericht zum FE-Vorhaben
04.0243/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Karlsruhe 2013 (unveröffentlicht)
- HOLLDORB, C.; STREICH, M.; UHLING, M.; SCHÄUFELE, I.
Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten
Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 258
Bergisch Gladbach 2015
- HOLLDORB, C.; SCHAPPACHER, J.; WACHSMANN, J.
Konzeption bedarfsgerechter Tausalzlagekapazitäten (TAUSALA)
Schlussbericht zum FE-Vorhaben
04.0288/2015/KRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
Karlsruhe 2016 (unveröffentlicht)

Länderfachgruppe Straßenbetrieb

Strategiepapier „Optimierung der Salzversorgung bei extremer Winterwitterung, Teil: Maßnahmen zur Vermeidung eines Salznotstands“ – Anlage zum Maßnahmenkatalog Winterdienst
Bonn 2011

LRA Reutlingen

Neubau der Straßenmeisterei Münsingen (Informationsblatt)
Landratsamt Reutlingen 2019

MEILLER - Franz Xaver Meiller Fahrzeug- und Maschinenfabrik - GmbH & Co KG (Herausg.)
Technische Daten Kippsattelanhänger 3-Achser Baureihe 44/3
auf <https://www.meiller.com/de/produkte/kippsattel/> (abgerufen am 20.12.2019)
München 2019

RAUCH-LIEBICH, S.

Baukonzeption für Autobahn- und Straßenmeistereien – RAM 2013 – Umsetzung der optimierten Anlagekonzepte für Meistereigehöfte in der Praxis
Tagungsband zum Straßenbetriebsdienst- Kolloquium 2013 der FGSV
Köln 2013

SCHMAUDER, M.; JUNG, P.; PARITSCHKOW, S.
Anlagekonzeptionen für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V212
Bergisch Gladbach 2012

SCHORSACK, P.

Praktische Erfahrungen und Empfehlungen für Salzlöseanlagen
Tagungsband zum Straßenbetriebsdienst- Kolloquium 2017 der FGSV
Köln 2017

VDI 6200, Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung, Ausgabe 2010-02
Beuth-Verlag, Berlin 2010

WHG - Wasserhaushaltsgesetz - Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
in Kraft getreten am 31.07.2009 (BGBl. I. S. 2585); zuletzt geändert am 04.12.2018 (BGBl. I. S. 2254, 2255)

Bilder

- Bild 1: Tanks zur Solelagerung (Bild: Cypra)
- Bild 2: Self-Service-Anlage am Betriebshof Ceva (Italien) (Bild: Holldorb)
- Bild 3: Bemessungswerte $q_{L30;max}$ als Beispiel für die Bemessungswerte gemäß Leitfaden TAUSALA [BMVI 2019]
- Bild 4: Beispiel einer Füllstandmessung in einer Salzhalle mit Radarsensoren (Bild: Landesbetrieb für Straßenbau Saarland)
- Bild 5: Art der Salzlagerung am Gehöft (Mehrfachnennungen möglich)
- Bild 6: Art der Solelagerung am Gehöft
- Bild 7: Ungefähre Lagerkapazität von Trockensalz in m^3 am Gehöft
- Bild 8: Ungefähre Lagerkapazität von Sole in m^3 am Gehöft
- Bild 9: Kapazität des größten Streustoffsilos in m^3 am Gehöft
- Bild 10: Alter des neuesten Lagersystems (Halle, Silo etc.) am Gehöft
- Bild 11: Art der Salzlagerung am Stützpunkt
- Bild 12: Art der Solelagerung am Stützpunkt 30
- Bild 13: Ungefähre Lagerkapazität von Trockensalz in m^3 am Stützpunkt
- Bild 14: Ungefähre Lagerkapazität von Sole in m^3 am Stützpunkt
- Bild 15: Kapazität des größten Streustoffsilos in m^3 am Stützpunkt
- Bild 16: Alter des neuesten Lagersystems (Halle, Silo etc.) am Stützpunkt
- Bild 17: Füllstandüberwachung von Trockensalz in der Streustoffhalle
- Bild 18: Füllstandmessung von Trockensalz im Streustoffsilos
- Bild 19: Streustoffhalle mit einem Tor in der Längsseite (Bild: AM Herford)
- Bild 20: Schnellkupplung für tropffreies Betanken der Sole (Bild: AM Inning)
- Bild 21: Einsatz von Beladungssystemen (Mehrfachnennungen möglich)

- Bild 22: Geschützter Abstellbereich für Beladungsgeräte
- Bild 23: Möglichkeit einer parallelen Beladung von Winterdienstfahrzeugen auf dem Gehöft
- Bild 24: Wartezeiten bei Beladung im Winterdienst bezogen auf die Form der Salzlagerung bei Autobahnmeistereien
- Bild 25: Wartezeiten bei Beladung im Winterdienst bezogen auf die Form der Salzlagerung bei Straßenmeistereien
- Bild 26: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst
- Bild 27: Wartezeiten bei Trockensalzeladung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Autobahnmeistereien
- Bild 28: Wartezeiten bei Trockensalzeladung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Straßenmeistereien
- Bild 29: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Autobahnmeistereien
- Bild 30: Wartezeiten bei Solebetankung im Winterdienst bezogen auf die Möglichkeit paralleler Beladung bei Straßenmeistereien
- Bild 31: Streustoffanlieferung für Streustoffhallen
- Bild 32: Einsatz von Salzlösungen in Meistereien
- Bild 33: Einsatz unterschiedlicher Salzqualitäten
- Bild 34: Grund für die Einlagerung verschiedener Salzqualitäten
- Bild 35: Streustoffhalle AM Kirchheim/Teck, Außenansicht (Bild: Holldorb)
- Bild 36: AM Hannover: Gesamtansicht der Streustoffhalle mit Verladeseilo und Salzlöseanlage (Bild: Cypra)
- Bild 37: Gesamtansicht der Streustoffhalle mit Verladeseilo und Salzlöseanlage der SM Northeim (Bild: Cypra)
- Bild 38: Streustoffhalle mit Verladeseilo und Soletanks der SAM Frankfurt (Bild: Pape)
- Bild 39: Streustoffhalle mit Verladeseilo aus GFK der AM Reiskirchen (Bild: Holldorb)
- Bild 40: Siloanlage mit 4 Holzsilos der AM Rodgau (Bild: Holldorb)
- Bild 41: Streustoffhalle SM Geislingen, Außenansicht Frontseite (Bild: Pape)
- Bild 42: Streustoffhalle SM Münsingen, kombinierte Halle für die Lagerung von Streusalz (links) und Holzhackschnitzel (rechts) (Bild: Pape)
- Bild 43: SM Merzig, Gesamtansicht des Gebäudekomplexes mit integrierter Streustoffhalle rechts (Bild: Cypra)
- Bild 44: Zentrale Visualisierung der Füllstände in den saarländischen Meistereien (Bild: Landesbetrieb für Straßenbau Saarland)
- Bild 45: Gesamtansicht der Rundhalle mit Umfahrung der AM Efringen-Kirchen (Bild: Cypra)
- Bild 46: Aufbau und Komponenten zur Videoerfassung der Streustofflager
- Bild 47: Datenschutzkonformes Hinweisschild zur Videoerfassung
- Bild 48: Bewegungsmuster Radlader am Stp Merklingen
- Bild 49: Anzahl der Beladevorgänge mit Radlader am Stp Merklingen, differenziert nach Bewegungsmuster
- Bild 50: Anzahl der Beladevorgänge mit Radlader am Stp Merklingen, differenziert nach Anzahl Abkippvorgänge und Bewegungsmuster
- Bild 51: Mittlere Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen
- Bild 52: Statistische Kennwerte für die Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen
- Bild 53: Mittlere Nettobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen (376 Beladevorgänge) und in der AM Hannover (7 Beladevorgänge)
- Bild 54: Mittlere Netto- und Bruttobeladezeit mit dem Radlader am Stp Merklingen

- Bild 55: Mittlere Nettoladezeit für die Solebetankung in Abhängigkeit der Kapazität der Soletanks der Winterdienstfahrzeuge
- Bild 56: Gegenüberstellung von gemessener mittlerer Nettoladezeit und theoretischer Nettoladezeit bei Vollfüllung für die Solebetankung in Abhängigkeit der Kapazität der Soletanks der Winterdienstfahrzeuge
- Bild 57: Mittlere Entladezeit Lkw bei der Salzanlieferung
- Bild 58: Mittlere Bruttoladezeit und Anzahl der erfassten Ladevorgänge für den Salztrichter in der AM Hannover
- Bild 59: Entwicklung des Preisindex für den Neubau gewerblicher Betriebsgebäude ab 1998, Datenquelle: Destatis [2019]
- Bild 60: Verteilung der Art der baulichen Anlage zur Ermittlung der Investitionskosten
- Bild 61: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffhallen in Abhängigkeit des Baujahres
- Bild 62: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffhallen in Abhängigkeit der Lagerkapazität
- Bild 63: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Streustoffsilos in Abhängigkeit der Lagerkapazität
- Bild 64: Investitionskosten (indexiert auf 2018) für Soletanks in Abhängigkeit der Lagerkapazität
- Bild 65: Gegenüberstellung von erhobenen Ist-Kosten und berechneten Kosten für Anlagenkombinationen zur Streustofflagerung
- Bild 66: Varianten der Streustofflagerung für die LZK-Analyse
- Bild 67: Lebenszykluskosten für die unterschiedlichen Varianten zur Streustofflagerung bei einer Salzumsatz von 1.100 t/a und einer Lagerkapazität von 1.000 t, differenziert nach Kostenart
- Bild 68: Lagerungskosten für die unterschiedlichen Varianten zur Streustofflagerung in Abhängigkeit der Lagerkapazität
- Bild 69: Mehrkosten unterschiedlicher Musterlösungen gegenüber Musterlösung 1 für die Hallenlagerung bei 1.000 t Lagerkapazität
- Bild 70: Mehrkosten unterschiedlicher Musterlösungen gegenüber Musterlösung 1 für die Hallenlagerung bei 2.500 t Lagerkapazität
- Bild 71: Mehr-/Minderkosten unterschiedlicher Konstruktionsvarianten gegenüber Konstruktionsvariante 1 bei 1.000 t Lagerkapazität
- Bild 72: Mehr-/Minderkosten unterschiedlicher Konstruktionsvarianten gegenüber Konstruktionsvariante 1 bei 2.500 t Lagerkapazität

Tabellen

- Tab. 1: Weiterführende Gestaltungsvorschläge für Streustoffhallen [SCHMAUDER et al. 2012]
- Tab. 2: Weiterführende Gestaltungsvorschläge für Streustoffsilos [SCHMAUDER et al. 2012]
- Tab. 3: Weiterführende Gestaltungsvorschläge beim Tanken von Sole [SCHMAUDER et al. 2012]
- Tab. 4: Mittlere gemessene reine Beladungszeiten unterschiedlicher Beladungssysteme [CYPRA et al. 2006]
- Tab. 5: Zeitvergleich für die Beladung von 5 m³ Trockensalz und 2.200 l Sole [SCHMAUDER et al. 2012]
- Tab. 6: Durchschnittliche Bewertung des Wartungsaufwandes (1 = gering bis 5 = hoch)
- Tab. 7: Durchschnittliche Bewertung der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit (1 = selten / keine teuren Schäden bis 5 = häufig / teure Schäden)
- Tab. 8: Durchschnittliche Bewertung des Wartungsaufwandes (1 = gering bis 5 = hoch) bei österreichischen Straßenmeistereien

-
- Tab. 9: Durchschnittliche Bewertung der Konstruktion und Ausführung in Hinblick auf Qualität und Dauerhaftigkeit (1 = selten / keine teuren Schäden bis 5 = häufig / teure Schäden) bei österreichischen Straßenmeistereien
- Tab. 10: Definition von Netto- und Bruttozeit für die Auswertung der Videoerfassung
- Tab. 11: Zeitraum der Videoerfassung (nur relevante Erfassungstage)
- Tab. 12: Anzahl der ausgewerteten Ladevorgänge für Winterdienstfahrzeuge
- Tab. 13: Anzahl weiterer erfasster Vorgänge
- Tab. 14: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Radladerbeladung am Stp Merklingen
- Tab. 15: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Beladung am Streustoffsilo am Stp Friolzheim und in der AM Hannover
- Tab. 16: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die separate Beladung am Streustoffsilo am Stp Friolzheim und in der AM Hannover bei 1 und 2 Mitarbeitern
- Tab. 17: Mittlere Netto- und Bruttoladezeiten für die Solebetankung von Winterdienstfahrzeugen mit einer Soletankkapazität zwischen 2,5 und 3,5 m³
- Tab. 18: Ermittelte mittlere Beladezeiten für die Streustoffbeladung von Winterdienstfahrzeugen
- Tab. 19: 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
- Tab. 20: Angesetzte Lebensdauer für die Anlagen zur Streustofflagerung
- Tab. 21: Kostensätze für die Berechnung der Betriebskosten, Stand 2018
- Tab. 22: Ansätze für die Berechnung der LZK unterschiedlicher Varianten zur Streustofflagerung
- Tab. 23: Empfohlene Intervalle in Jahren für die bauliche Überwachung von Streustoffhallen und Streustoffsilos

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2018

- V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoff-rückhalt und Standfestigkeit von Banketten**
Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50
- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand**
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**

Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2019

- V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50
- V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50
- V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**
Kappich, Westermann, Holst € 15,50
- V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50
- V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00
- V 318: **Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**
Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50
- V 319: **Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**
Lippold, Vettters, Ressel, Alber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 320: **Einsatzbereiche und Entwurfsэлеmente von Rad-schnellverbindungen**
Malik, Lange, Andriessse, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00
- V 322: **Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**
Hausmann € 18,00
- V 323: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**
Fitschen, Nordmann € 31,50
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- #### 2020
- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**
Diegmann, Wurstthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00
- V 324: **Konzept zur Bewertung des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten mit und ohne LSA**
Vortisch, Buck, Leyn, Baier, Schuckkieß, Schimpf, Schmotz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**
D. Schmitt, J. Gerlach, M. Schwedler, F. Huber, H. Sander
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 326: **Straßenverkehrszählung 2015 – Methodik der manuellen Zählungen**
Schmidt, Frenken, Mahmoudi € 15,50
- V 327: **Straßenverkehrszählung 2015 – Ergebnisse**
Frenken, Mahmoudi € 16,50

- V 328: **Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Entwicklung von Nachrüstlösungen**
Meisel, Balzer-Hebborn, Eilmers, Jungfeld, Klostermeier, Kübler, Schmitz, Schwedhelm, Yu
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 329: **Streckenbezogene Glättevorhersage**
Schedler, Gutbrod, Müller, Schröder € 24,50
- V 330: **Führung des Radverkehrs an Landstraßen**
Baier, Leu, Rittershaus
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 331: **Leitfaden für die Streckenfreigabe für den Einsatz von Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel, Förg, Süßmann € 17,00
- V 332: **Räumliche Linienführung von Autobahnen**
Lippold, Zösch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 333: **Passive Schallschutzmaßnahmen – Akustische Wirksamkeit**
Hänisch, Heidebrunn € 17,00
- V 334: **Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Lindner, Kluth, Ruhnau, Schulze € 17,00
- V 335: **Ermittlung aktualisierter Grundlagen für Beschleunigungsvergütungen in Bauverträgen**
Geistefeldt, Hohmann, von der Heiden, Finkbeiner € 16,00
- V 336: **Vergleich der Detektoren für die Verkehrserfassung an signalisierten Knotenpunkten**
Ungureanu, Ilić, Radon, Rothe, Reichert, Schober, Stamatakis, Heinrich € 18,50
- V 337: **Bridge-WIM Pilotversuch – Begleitung und Auswertung**
Kathmann, Scotti, Kucera € 18,50
- V 345: **Aufbau einer Datenbank zur Berechnung exemplarischer Lärmsituationen mit Geräuschemissionsdaten der Straße und meteorologischen Daten**
Liepert, Skowronek, Eberlei, Crijenkovic, Müller, Schady, Elsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 346: **Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen**
Müller, Huth, Liepert € 15,00
- V 347: **Chancen in der Verkehrsbeeinflussung durch Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation**
Schwietering, Löbbeling, Spangler, Gabloner, Busch, Roszak, Dobmeier, Neumann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 348: **Einsatz und Verkehrssicherheit von Fußgängerüberwegen**
Bohle, Busek, Schröder € 18,50
- V 349: **Straßenbepflanzung und Verkehrssicherheit – Ermittlung unfallbeeinflussender Merkmale auf Basis empirischer Modelle unter besonderer Berücksichtigung der Bepflanzung im Seitenraum an Landstraßen**
Schreck-von Below € 22,00
- V 350: **Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen**
Bartolomaeus, Strigari, Sammet
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 351: **Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung – TAUSALA II**
Holldorb, Cypra, Pape
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.

2021

- V 338: **Streckenbeeinflussungsanlagen – Entwurf eines regelungstechnischen Modells zur verbesserten Harmonisierung des Verkehrsablaufs**
Schwietering, Schwietering, Maier, Hakenberg, Pyta, Abel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 339: **Aktualisierung der Datenbank MARLIS**
Schneider, Turhan, Pelzer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 340: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2017**
Fitschen, Nordmann € 31,00
- V 341: **Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen**
Eckert, Hendrich, Horlacher, Kathmann, Scotti, von Heel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter [https:// bast.opus.hbz-nrw.de/](https://bast.opus.hbz-nrw.de/) heruntergeladen werden.
- V 342: **Entwicklung eines aktuellen, echtzeit-verfügbaren Key Performance Indicator (KPI) Systems für das deutsche Autobahnnetz**
Peter, Janko, Schick, Waßmuth, Friedrich, Bawidamann € 21,00
- V 343: **Kreisverkehre an Landstraßen Auswirkungen der Erkennbarkeit und der Zufahrtsgestaltung auf die Verkehrssicherheit**
Schmotz, Schröter, Schemmel, Lippold, Schulze € 21,50
- V 344: **Verkehrsträgerübergreifende Lärmkumulation in komplexen Situationen**
Popp, Eggers, Heidebrunn, Cortes € 21,00
- Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48
- Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Webseite finden und bestellen.
- www.schuenemann-verlag.de
- Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.