

Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Streustofflagerung

FA 3.554

Forschungsstelle: Beratung für Betrieb und Erhaltung von Straßenverkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Holldorb), Karlsruhe

Bearbeiter: Holldorb, C. / Cypra, T. / Pape, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Oktober 2019

1 Aufgabenstellung

An den Winterdienst auf Bundesautobahnen und allen verkehrswichtigen Straßen werden aufgrund der Bedeutung dieser Verkehrsadern besonders hohe Anforderungen gestellt. Zentrale Bedeutung für einen anforderungsgerechten und wirtschaftlichen Winterdienst haben die optimierte Streustofflagerung sowie eine prozessoptimierte Beladung der Winterdienstfahrzeuge. Für die Dimensionierung der erforderlichen Streustofflagerkapazitäten liegen mit dem "Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen", den "Hinweisen zur Herstellung und Lagerung von Tausalzlösungen für den Winterdienst" sowie dem "Leitfaden für die Dimensionierung von Tausalzlagerkapazitäten – Leitfaden TAUSALA", der auf Grundlage der FE-Vorhaben 04.0243/2011/LRB "Kennzahlen im Betriebsdienst – KENNBET" und 04.0288/2015/KRB "Konzeption bedarfsgerechter Tausalzlagerkapazitäten – TAUSALA" eingeführt wurde, bereits umfassende Richtlinien 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 bezüglich 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.

Gesamtziel des Forschungsprojekts ist eine umfassende 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.

2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen einer Literatur- und Grundlagenrecherche wurden nationale und internationale Veröffentlichungen bezüglich der technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Streustofflagerung (Trockensalz und Salzlösung) und Streustoffbeladung detailliert zusammengetragen. Hierbei wurden auch bautechnische Aspekte und die Streustoffqualität berücksichtigt. Neben Forschungsberichten und Veröffentlichungen wurden Produktinformationen nationaler und internationaler Anbieter für Streustofflager recherchiert. Die geltenden gesetzlichen Vorgaben, Richtlinien, DIN-Normen und technischen Standards im

Winterdienst, für die Konstruktion von Streustofflagern und die umweltrechtlichen Vorgaben wurden ebenfalls zusammengestellt.

Zur Systematisierung der gemachten praktischen Erfahrungen mit den verschiedenen Systemen der Streustofflagerung und -beladung sowie der Erfassung von Kritik und Verbesserungsvorschlägen auf der Ebene der Straßen- und Autobahnmeistereien wurde ein Online-Fragebogen erarbeitet, für den insgesamt 447 Rückmeldungen, davon 48 aus Österreich, eingegangen sind. Aufgrund der hohen Anzahl der beteiligten Meistereien konnten mit den Rückmeldungen repräsentative Aussagen getroffen werden. Der Fragebogen bestand aus sieben Fragegruppen folgender Themenfelder:

- Allgemeine Angaben,
- Streustofflagerung am Gehöft,
- Streustofflagerung am Stützpunkt,
- Einsatzerfahrungen und Einsatz von Techniken bei der Streustofflagerung,
- Beladungssysteme,
- Salzlösung und
- Umweltaspekte bei Streustofflagerung und -beladung.

Auf Grundlage der Fragebogenergebnisse und weiterer Erfahrungen wurden zehn Streustofflager mit repräsentativen beziehungsweise neuen innovativen Lagerungs- und Beladungssystemen ausgewählt. Diese wurden in Kombination mit Experteninterviews vor Ort vertieft untersucht, wobei insbesondere die bautechnischen und konstruktiven Aspekte im Vordergrund standen.

Es wurden für drei ausgewählte Standorte umfassende Erhebungen zum betrieblichen Aufwand der Salzbeladung durchgeführt. Hierfür wurden für den Winter 2018/19 die Beladevorgänge mit Videotechnik aufgezeichnet, wobei die Datenschutzbestimmungen und Mitbestimmungspflichten des Personalrats beachtet wurden. Mit dieser Methodik konnte der Erhebungsaufwand vor Ort minimiert und ein Betriebsablauf gewährleistet werden, der durch die Erhebungen weitgehend ungestört ist. Aus den Videobeobachtungen konnten Kennzahlen der Beladevorgänge, wie Beladezeit, Zeit für Vor- und Nachbereitung, Rangierzeit, Wartezeit etc. abgeleitet werden. Es konnten insgesamt 383 Beladevorgänge mit dem Radlader, 290 Beladevorgänge unter dem Salzsilo und 504 Beladevorgänge für Salzsole ausgewertet werden. Daneben konnten 180 Anlieferungen, 102 Beladevorgänge eines Salztrichters und 15 Streumaschinenentleerungen analysiert werden.

Zur Ermittlung von Lebenszykluskosten (LZK) wurden für 48 ausgewählte Anlagen zur Streustofflagerung in Baden-Württemberg, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz Kostendaten ausgewertet. Die Kostendaten wurden nach Investitionskosten sowie Erhaltungs- und Betriebskosten differenziert und auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt (31.12.2018) indiziert. Da sich aus den Kosten für Erhaltung und laufenden Unterhalt, die durch die Straßenbauverwaltungen zur Verfügung gestellt wurden, keine statistisch abgesicherten Kenngrößen ableiten ließen, wurden diese pauschaliert in Abhängigkeit der Investitionskosten angesetzt. Die Betriebskosten lassen sich wie folgt unterteilen:

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

Es wurden für sechs Varianten zur Streustofflagerung LZK ermittelt. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss unterschiedlicher Eingangsparameter auf die LZK untersucht.

Die Bewertung der unterschiedlichen Lagerungskonzepte zur Streustofflagerung sowie Empfehlungen zu standardisierten Lagerungsvarianten, ihre Anordnung und Gestaltung wurden in den "Hinweisen für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst" (H LaStreu) zusammengestellt. Diese basieren auf dem Stand der Technik, den aktuellen Erfahrungen, der Erfassung des betrieblichen Aufwands und der Berechnung von Lebenszykluskosten für die Streustofflagerung, die im Rahmen des FE-Vorhabens durchgeführt wurden. Teil der H LaStreu sind acht Musterlösungen für standardisierte Lagerungsvarianten sowie bei Hallenlagerung Musterlösungen für vier Konstruktionsvarianten mit insgesamt zwölf Detaillösungen. Weiterhin wurden den H LaStreu Musterbauwerksbücher für Streustoffhalle und Streustoffsilo angehängt, die für diese Bauwerke Angaben zur Überwachung sowie die Dokumentation enthalten.

3 Untersuchungsergebnisse

Aus der Online-Umfrage lassen sich folgende wesentliche Ergebnisse ableiten:

- Auf über 90 % der Meistereigehöfte steht eine Streustoffhalle zur Verfügung, die mehrheitlich weniger als 1 000 t Lagerkapazität hat.
- Die Salzsole wird mehrheitlich auf der Meisterei erzeugt, nur bei ca. 1/3 der Meistereien wird sie angeliefert.
- Streustoffsilos auf dem Gehöft haben vielfach eine Kapazität zwischen 50 und 150 m³ oder darüber. Silos kleiner 50 m³ sind eher in Straßenmeistereien vorhanden.
- Auf den Stützpunkten wird das Salz zu 80 % in einer Halle gelagert, die Sole an den Stützpunkten wird überwiegend angeliefert.
- Der Wartungsaufwand und auch die Anfälligkeit für Schäden wird insbesondere für die Salzlöseanlage und die Fördertechnik höher eingeschätzt, der geringste Wartungsaufwand wird bei der Streustoffhalle gesehen.
- Bei Hallenlagerung kommt überwiegend der Radlader zur Beladung der Fahrzeuge zum Einsatz, der meist in einem separaten Unterstand abgestellt wird.
- In 15 % der Autobahn- und ca. 25 % der Straßenmeistereien ist kein paralleles Beladen von Trockenstoff und Sole möglich; über zwei Soleanschlüsse

verfügen über 35 % der Autobahnmeistereien, aber nur gut 20 % der Straßenmeistereien.

- In ca. der Hälfte der Meistereien treten bei Volleinsätzen häufig oder regelmäßig Wartezeiten bei der Beladung auf, vor allem in den Meistereien, in denen keine parallele Beladung möglich ist.
- Als Sole kommt überwiegend NaCl-Lösung zum Einsatz, nur in Hessen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt wird auch MgCl₂-Lösung verwendet.

Aus den Erhebungen zur Streustoffbeladung konnten mittlere Beladezeiten bei Beladung mit Radlader und mit Streustoffsilo abgeleitet werden. Die mittlere Bruttoladezeit bei separater Beladung von Streusalz mit dem Radlader kann mit 9 min angesetzt werden. Durch optimierte Bewegungsmuster für den Radlader kann diese um 1 min verkürzt werden. Bei Beladung unter dem Streustoffsilo liegt die Beladezeit im Mittel 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 mit Sole können überschlägig ca. 12 min angesetzt werden. Es wurde deutlich, dass die Zeitersparnis bei Parallelbeladung dem Zeitbedarf für die Streusalzbeladung entspricht. Der Zeitbedarf wird damit im Wesentlichen durch die Solebetankung bestimmt. 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 einen Salztrichter, mit dem ein Verladesilo befüllt wird, kann mit 6 min je Beladevorgang bei fünf Abkippvorgängen (5 t) angesetzt werden, was 1,2 min/t Streusalz entspricht.

Aus der LZK-Analyse wird zusammenfassend deutlich, dass die LZK bei Silolagerung in der Regel über denen der Hallenlagerung liegen. Nur bei geringen Lagerkapazitäten bis ca. 500 t, wie sie typischerweise häufiger auf Winterdienststützpunkten auftreten, sind die LZK für die Silolagerung geringer als bei Hallenlagerung. Gegenüber den Varianten "Halle mit Verladesilo" beziehungsweise "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 Salzlagerungskosten als bei der Beladung mit Radlader.

4 Folgerungen für die Praxis

Die Folgerungen für die Praxis aus den durchgeführten Untersuchungen sind in den "Hinweisen für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst" (H LaStreu) zusammengestellt. Wesentliche Empfehlungen sind:

- 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 Hallenlagerung sollten in der Regel an mindestens zwei Standplätzen Streustoff und Sole geladen werden können. Bei Autobahnmeistereien mit großem Fuhrpark oder Einsatz von drei Fahrzeugen in einer Räumstaffel sind nach Möglichkeit drei Standplätze vorzusehen. In Straßenmeistereien mit geringem Fuhrpark oder auf Stützpunkten kann auch ein Standplatz ausreichend sein. In diesem Fall sollte jedoch zumindest ein zweiter Standplatz für die Solebetankung ausgerüstet sein.
- Ein Streustoffsilos sollte aus betrieblichen Gründen und zur Vermeidung langer Lagerzeiten eine Lagerkapazität von 300 t nicht überschreiten. Bei reiner Silolagerung sind in der Regel mindestens zwei Silos vorzusehen, an denen parallel auch Sole getankt werden kann. Bei Lagerkapazitäten über 500 t und ausreichenden Platzverhältnissen werden für reine Silolagerung drei und gegebenenfalls mehr Silos empfohlen. Bei einer kombinierten Lagerung in Streustoffhalle mit Verladesilo sind neben dem Ladeplatz unter dem Streustoffsilos zwei 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 wird quer vor der Halle neben dem Hallentor positioniert. Bei Beladung von der Halle aus können sie seitlich neben der Halle angeordnet werden.
- Aus betrieblichen und ergonomischen Gründen ist eine witterungsgeschützte Anordnung der Ladeplätze sinnvoll: Entweder 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.
- Ein Höhenversatz zwischen Standfläche des Winterdienst-Lkw und Rangierbereich des Radladers von ca. 1,50 m ist zweckmäßig, sodass der Radlader die Streumaschine von oben befüllen kann.
- Alle Komponenten zur Steuerung von Soleanlagen sind zum Schutz vor Einfrieren und wegen der einfacheren Bedienung witterungsgeschützt zu installieren.
- Die Salzlöseanlage sollte in der Streustoffhalle stehen, wenn sie mit Radlader befüllt wird.
- Bei Hallenlagerung sollte die Schüttguthöhe an der Hallenwand im Regelfall 5 m betragen.
- Die Hallenzufahrt kann mit einem Tor verschlossen werden; alternativ kann auch eine an der Frontseite offene oder teilgeöffnete Halle mit Vordach und/oder ausreichenden Betriebsflächen vorgesehen werden.
- Sowohl für Streustoffhallen als auch für Streustoffsilos hat sich die Füllstandmessung mit Radar bewährt. Mit Radarmessung kann auch eine beginnende Brückenbildung im Streustoffsilos erkannt werden.
- Bei der Beschickung von Verladesilos sollte die Förderleistung der Fördereinrichtung so groß sein, dass das Verladesilo 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 sein.
- Streustoffhallen und Streustoffsilos sind Bauwerke und daher regelmäßig zu überprüfen, um den Anforderungen an Standsicherheit, Dauerhaftigkeit, Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Umweltschutz zu entsprechen. Es wird empfohlen, die Überprüfung in Begehung, Inspektion und eingehende Überprüfung zu strukturieren.