

# **Empfehlungen zum praxisgerechten Betrieb von Tausalzlöseanlagen**

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**

# **Empfehlungen zum praxisgerechten Betrieb von Tausalzlöseanlagen**

**Schlussbericht**

**von**

**Dr. Franz Götzfried**

**SALT RESEARCH + CONSULTING  
Bad Wimpfen**

**und**

**Dipl. Ing. Dražan Bunoza**

**WINDIP- WINTERDIENST PRÜFSTELLE  
Boppard**

**Forschungsprojekt im Auftrag der BASt  
FE 03.0571/2018/MRB**

**Mai 2021**



---

## **Kurzfassung · Abstract**

### **Empfehlungen zum praxisgerechten Betrieb von Tausalzlöseanlagen**

Für einen hoch effizienten, nachhaltigen und kostenminimierten Winterdienst ist der Einsatz von Sole von großer Bedeutung. Frühere Forschungsarbeiten und die praktischen Erfahrungen haben das bestätigt. Damit für die Soleverwendung bei der FS30- oder FS100-Streuung ausreichend Sole, hergestellt aus Natriumchlorid, mit guter Qualität zur Verfügung steht, müssen geeignete Tausalzlöseanlagen beschafft und betrieben werden. Damit kann eine ausreichende Verfügbarkeit von Sole sichergestellt werden. In vielen Fällen ist die Eigenherstellung von Sole auch wirtschaftlicher als eine Fremdbeschaffung.

Erste Anforderungen an Tausalzlöseanlagen wurden in einem aktuellen europäischen Normungsprojekt formuliert. Allerdings wurden die technischen Zusammenhänge bei der Soleherstellung bislang nicht untersucht und es sind verschiedene Probleme bei der Soleherstellung berichtet worden.

Ziel der Forschungsarbeit war die Beurteilung der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher technischer Ausführungen von Tausalzlöseanlagen. Dabei wurden die Zusammenhänge zwischen der verfahrenstechnischen und sonstigen technischen Ausführung der Anlagen, den Umfeldbedingungen und der Salzqualität untersucht. Als Nutzen soll zukünftig eine leistungsfähige und zuverlässige Arbeit der Tausalzlöseanlagen erreicht werden, die kostengünstig die ausreichende Bereitstellung von Sole für einen effektiven Winterdienst ermöglichen.

Schwerpunkte der Bearbeitung stellten eine Online-Umfrage bei Straßenbauverwaltungen in Deutschland, Österreich, den Niederlanden und in der Schweiz dar, um deren Erfahrungen und mögliche Optimierungspotenziale bei der Produktion von Sole zu erfassen. Aufbauend auf den Umfrageergebnissen wurden in Deutschland praktische Untersuchungen mit Salzlöseanlagen, die mit aufwärts gerichtetem Wasserdurchfluss oder Zwangsumlauf arbeiteten, durchgeführt. Die Abhängigkeiten der Soleproduktionskapazität und der Solequalität vom Systemdesign, der verwendeten Salzqualität und den Temperaturen des Lösewassers und des Salzes wurden bestimmt. Die Ergebnisse verschiedener Methoden zur Online-Messung und manuellen Messung der Solekonzentration wurden mit Laborergebnissen verglichen.

Alle erzielten Ergebnisse wurden verwendet, um technische Anforderungen an Tausalzlöseanlagen und Empfehlungen für deren Betrieb und für die Beschaffung neuer Anlagen einschließlich der Auswahl der Salzqualität zu formulieren.

Unbedingt notwendige Bestandteile einer Leistungsbeschreibung für Tausalzlöseanlagen wurden identifiziert (u.a. Anforderungen an die Produktionsleistung und Solequalität (Konzentration, Reinheit), Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes, Vorgaben für die Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Abnahmekriterien).

### **Recommendations for the practical operation of brine production systems**

The use of brine is of great importance for a highly efficient, sustainable, and cost-minimized winter service. Earlier research and practical experience have confirmed this. In order that sufficient brine, made from sodium chloride, of good quality is available for the use in the prewetted



salt spreading or for direct liquid application, suitable brine production systems must be procured and operated. In this way, sufficient availability of brine can be ensured. In many cases, producing brine in-house is also more economical than sourcing it from outside.

The first requirements for brine production systems were formulated in an actual European standardization project. However, the technical relationships in the production of brine have not yet been investigated and various problems in the production of brine have been reported.

The aim of the research was to assess the performance of different technical versions of brine production systems. The connections between the process engineering and other technical design of the plants, the environmental conditions and the salt quality were examined. As a benefit, efficient and reliable work of the brine production systems is to be achieved in the future, which enables the adequate supply of brine for an effective winter service at low cost.

At the beginning of the process there was an online survey of the road construction authorities in Germany, Austria, the Netherlands, and Switzerland to record their experiences and possible optimization possibilities in the production of brine. Based on the survey results, practical studies were carried out in Germany with brine production systems that work according to the constructions with upward water flow and forced circulation. The dependencies of the brine production capacity and the brine quality on the system design, the salt quality used, and the temperatures of the water for dissolution and the salt were determined. The results of various methods for online measurement and manual measurement of the brine concentration were compared with laboratory results.

All results obtained were used to formulate technical requirements for salt systems and recommendations for their operation and for the procurement of new systems including the selection of salt quality.

Absolutely necessary components of a performance description for brine production systems were identified (including requirements for production capacity and brine quality (concentration, purity), requirements for occupational safety and environmental protection, specifications for instrumentation and control engineering, acceptance criteria).

## Summary

### Recommendations for the practical operation of brine production systems

## 1 Definition of project

The application of brines in winter service is on the one hand an essential prerequisite for the correct distribution of solid de-icing salts (FS30 technology) and on the other hand a prerequisite for a longer period of de-icing agents on the road (FS100 technology). The use of FS100 technology requires new technology for the application and increased availability of brines. When providing brines, in-house production is in many cases cheaper and more environmentally friendly than delivery of ready-made salt solutions due to the high proportion of water to be transported in the solution.

For the provision of sufficient quantities of solution through in-house production, powerful and reliably working dissolving systems must be available. In operation, however, difficulties often arise with regard to the production capacity and reliability of the systems. In many cases the causes are not exactly known. However, an essential dependency on the salt quality is seen, which the system manufacturers cannot usually name precisely.

The aim of the research was to assess the performance of different technical versions of production systems for NaCl brine. The focus of the work was on the process engineering concepts that were mostly used in practice. The connections between the process engineering and other technical design of the plants, the environmental conditions and the salt quality should be examined. As a result, recommendations had to be drawn up for the correct operation of existing systems and for the procurement of new systems. As a benefit, efficient and reliable work of the brine production systems is to be achieved in the future, which enables the adequate provision of brine for effective winter service at low cost.

## 2 Methods

One focus of the project was initially a survey of motorway and road service depots as well as municipalities in Germany, Austria, Switzerland, and the Netherlands in order to record their experiences and possible optimization potentials in the production of brine. Based on the survey results, practical investigations were carried out in road service depots with different brine production systems and different salt qualities. Brine production systems were tested that continuously produce brine with upward water flow through the salt (upflow systems) and systems that produce brine in circulation mode (batch systems). All test results obtained in winter 2019/20 and summer 2020 were used to formulate technical requirements for brine production systems and recommendations for their operation, including the selection of the salt quality. These can also be used to formulate delivery specifications in tenders.



Continuously working brine production system with salt silo, technology container and brine tanks in the AM Erlangen (Picture: Salt Research & Consulting)

### 3 Results

The following findings could be obtained from the answers received from the participants in the survey:

- In the winter of 2018/19, the German motorway service depots participating in the survey produced and consumed an average of 796 m<sup>3</sup> of brine for the FS30 and FS100 distribution. In some cases, very low brine consumption was reported. At the road maintenance depots, the average consumption was significantly lower at 441 m<sup>3</sup>.
- The continuous upflow process and the batch process (circulation) are used for brine production. The continuous downflow method is rarely used.
- Almost 50% of the de-icing salt solution systems installed in Germany are more than 10 years old. In Austria and Switzerland, the systems are more recent.
- In Germany half of the systems are set up outdoors. The other systems are housed in the salt storage hall, in an extension or in a separate building. In Austria, the systems are set up outdoors, while in Switzerland the systems are exclusively located in the salt warehouse or in a separate building. In the Netherlands, the systems are mostly outdoors.
- While in Germany the brine is mainly made from rock salt, in Austria and Switzerland evaporated salt is the starting material. In the Netherlands, evaporated salt is mostly used, along with sea salt and rock salt.
- Rock salts for brine production correspond to grain classes F and M of DIN EN 16811-1. Evaporated salt corresponds to grain class EF.

- The rock salts are characterized either by a high content of insoluble components or a high content of sulphate. During procurement, the salt is subject to higher requirements that go beyond the requirements of DIN EN 16811-1.
- The salt dissolving systems are filled with the salt via downpipes and screw conveyors from silos or with wheel loaders from the salt storage hall.
- In the answers from Germany and Switzerland, it is noticeable that in these countries the brine is produced to a very large extent with drinking water from the public network.
- The practical production output of the brine production systems in the systems installed in German motorway and road service depots is often lower than stated by the manufacturers.
- The concentration of the ready-to-use brine produced is mostly in the range of 20-23 mass% in all countries.
- When rock salts are used, insoluble residues arise which, after their automatic or manual removal from the brine production systems, are usually blended with the de-icing salt in the warehouse or are sent to landfills.
- The ready-to-use brine is mostly cleaned by sedimentation in the brine storage tank. Other methods used are filtration and cleaning in hydrocyclones.
- The brine production requires a personnel expenditure of approx. 0.5 to 2 hours per day. The personnel expenditure depends on the salt used, the dissolving process and the degree of automation of the system.
- There is general satisfaction with the salt dissolving systems. Nevertheless, potential for improvement is seen in the following points:
  - Salt quality
  - Silo truck cleanliness
  - Installation of the dissolving systems
  - Salt supply to the dissolving system
  - Operating mode (fully automatic)
  - Remote monitoring
  - Production capacity
  - Operation at low temperatures
  - Brine purity
  - Brine storage volume
  - Cleaning the dissolving system
  - Pumps
  - Pipelines
  - Maintenance
  - Training

The brine test productions carried out in a total of seven German motorway and road service depots yielded further findings:

- Upflow dissolving systems and batch dissolvers are very suitable for brine production.
- Salt storage in upflow dissolving systems can take place in salt storage halls, in silos or integrated into the dissolving system,
- In the case of upflow dissolving systems and batch dissolvers, the salt can be fed into the dissolving tank with wheel loaders from salt storage halls directly or indirectly via a pre-bunker with a subsequent screw conveyor. Downpipes and screw conveyors can be fed from silos. Hydraulic salt transport from the screw conveyor to the salt dissolver is also possible if the overall height is insufficient or if the distance to the dissolver is great.

- Rock salts and evaporated salts are generally suitable for brine production. Salts with grain classes F and M are best suited for upflow systems. These grain classes guarantee a good brine flow through the salt over the entire cross-section of the dissolving tank without the formation of channels.
- In batch systems, fine-grained salts (grain class EF) achieve the highest production rates.
- Discharging the undissolved salt components from upflow dissolving systems requires different efforts, also with corresponding personnel expenses. For an undisturbed operation of rock salts with a high sulphate content, a manual total cleaning of the dissolving tank must be carried out periodically, depending on the amount of brine produced. In this way, hardening and caking in the dissolving tank that interfere with the dissolving operation can be prevented. Rock salts with a high content of water-insoluble substances, on the other hand, cause increased expenditure for the disposal of the manually or automatically drained insoluble residues.
- Since drinking water was used in all the dissolving systems tested, there was no negative impact of the water quality on the dissolving process.
- In all test productions it was found that the temperature of the ready-to-use brine was several degrees Celsius below the dissolving water temperature, but still above 0 ° C. A crystallization of salt or freezing of the ready-to-use brine is not to be feared due to the undersaturation and the low freezing point.
- Both with upflow dissolving systems and with batch dissolvers (10 m<sup>3</sup> dissolving tank), production outputs of up to approx. 6,500 liters of ready-to-use brine / h can be achieved with the required brine purity. The production output of batch dissolvers can be increased by enlarging the dissolving tank.
- The production output of the dissolving system during winter operation does not differ significantly from the production output during commissioning outside of winter. In this respect, pre-acceptance of newly delivered dissolving systems can also take place outside of winter.
- Upflow dissolving systems can be operated largely automatically. However, the supply of salt with wheel loaders, the monitoring of the system, the cleaning of the dissolving tank and the disposal of insoluble salt components require personnel.
- The investigated batch dissolver requires personnel to fill it with the dissolving water, to add salt with the wheel loader and to pump the brine into storage tanks. Automation in connection with a salt silo is possible. If rock salt is used, technical concepts are still to be developed for discharging the insoluble components from the dissolving tank and for brine cleaning.
- Compliance with the required concentration of the ready-to-use brine is generally unproblematic in all dissolving systems. However, it was found that there were excessive deviations from the target concentration in newly installed systems. These systems were not set sufficiently, and the brine concentration was not checked independently of the built-in system measurement. A check of the system measurement is strongly recommended.
- Density-based methods (oscillating U-tube, vibrating fork) and the method based on a measurement of electrical conductivity are suitable for automatic and continuous measurement of the brine concentration in upflow systems. Temperature compensation is required in all cases.

- For manual brine concentration measurements, brine spindles with different reference temperatures, density spindles, temperature-compensated refractometers and handheld conductometers can be used.
- In the case of upflow systems, the required brine purity can be achieved with all the rock salts normally available in Germany. However, in batch systems without brine cleaning, the required brine purity of max. 0.03 mass% of water-insoluble substances can only be achieved with salts that contain a small proportion of water-insoluble substances.
- For acceptance tests of new dissolving systems, the determination of the brine concentration and the content of water-insoluble substances using the methods specified in the EN 17443 draft are required in the laboratory.
- The construction of brine production systems must guarantee work safety for the operating and maintenance personnel. Therefore, the necessary steps and platforms with railings are to be provided.

All results were used to formulate technical requirements for brine production systems and recommendations for their operation and for the procurement of new systems including the selection of the salt quality.

Absolutely necessary components of a performance description for brine production systems were identified (including requirements for production output and brine quality (concentration, purity), requirements for occupational safety and environmental protection, specifications for measurement, control and regulation technology, acceptance criteria).

## **4 Conclusions**

For the first time, comprehensive knowledge of the current state of the art of brine production systems was obtained. This will enable the optimized procurement of new systems in the future and can be used to improve the operation of existing and new systems. In addition, knowledge was gained for the selection of suitable salt qualities. These can be used for the publication of practical information for the procurement and operation of brine systems. The test results confirmed that the requirements for production capacity and salt and brine quality as well as for technical equipment set out in the draft European standard for brine production systems are practice-oriented and can be met.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	15
<b>2</b>	<b>Wissensstand</b> .....	16
2.1	Technische Konzepte für die Soleerzeugung in Tausalzlöseanlagen .....	16
2.1.1	Durchströmungsverfahren .....	10
2.1.2	Zirkulationsverfahren .....	14
2.1.3	Soleerzeugertypen .....	15
2.2	Deutschland .....	16
2.3	England .....	22
2.4	Frankreich .....	23
2.5	Europäische Normung .....	24
2.6	Zusammenfassende Bewertung.....	25
<b>3</b>	<b>Befragung von Autobahn- und Straßenmeistereien sowie kommunalen Bauhöfen</b> .....	25
3.1	Online-Fragebogen .....	25
3.2	Angaben zur Soleerzeugung .....	27
3.2.1	Angaben zum Löseverfahren .....	31
3.2.2	Hersteller der Soleerzeuger .....	32
3.2.3	Alter der Anlagen .....	33
3.2.4	Standorte der Anlagen .....	35
3.3	Details zur Salzqualität .....	36
3.3.1	Verwendete Salze .....	36
3.3.2	Salzqualität für die Soleherstellung .....	36
3.3.3	Gewinnungsstätten der Salze .....	37
3.4	Details zum Soleerzeuger .....	38
3.4.1	Befüllung der Soleerzeuger mit Salz .....	38
3.4.2	Verwendetes Lösewasser .....	38
3.4.3	Produktionsleistung .....	39
3.4.4	Solelagervolumen .....	42
3.4.5	Konzentration der hergestellten Sole .....	43
3.4.6	Prüfung der Solekonzentration .....	43
3.5	Löserückstände .....	44
3.5.1	Menge an Löserückständen .....	44
3.5.2	Entfernung der Löserückstände aus dem Soleerzeuger .....	46
3.5.3	Entsorgung der Löserückstände .....	46
3.5.4	Reinigung der Sole .....	47
3.6	Personalaufwand und -schulung .....	48
3.7	Störungen bei der Soleherstellung .....	50
3.8	Sonstiges .....	52
<b>4</b>	<b>Praktische Untersuchungen bei Tausalzlöseanlagen</b> .....	53
4.1	Wintertests .....	53
4.1.1	Auswahl der Tausalzlöseanlagen .....	53



4.1.2	Salze für die Soleherstellung .....	59
4.1.3	Lösewasser .....	62
4.1.4	Temperaturen .....	63
4.1.5	Produktionsleistung .....	65
4.1.6	Konzentration der gebrauchsfertigen Sole .....	66
4.1.7	Reinheit der gebrauchsfertigen Sole .....	69
4.1.8	Löserückstände .....	73
4.1.9	Sonstiges .....	72
4.2	Sommertests .....	80
4.2.1	Auswahl der Tausalzlöseanlagen.....	75
4.2.2	Ergebnisse .....	76
<b>5</b>	<b>Technische Voraussetzungen, Empfehlungen und Leistungsbeschreibung .....</b>	<b>83</b>
5.1	Technische Voraussetzungen für Salzlöseanlagen .....	83
5.1.1	Auswahl der Tausalzlöseanlage .....	83
5.1.2	Aufstellungsort .....	83
5.1.3	Versorgung mit Wasser und Abwasserentsorgung .....	83
5.1.4	Stromversorgung .....	84
5.1.5	Salzbevorratung .....	84
5.1.6	Beschickung mit Salz .....	85
5.1.7	Wasserhaushaltsgesetz (WHG) .....	85
5.1.8	Materialien .....	85
5.1.9	Frostschutz .....	86
5.1.10	Mess-, Steuer- und Regeltechnik .....	86
5.2	Empfehlungen (Salzqualität, Handhabung der Anlagen) .....	86
5.2.1	Salzqualität .....	86
5.2.2	Entfernung ungelöster Salzbestandteile .....	88
5.2.3	Stillstände von Tausalzlöseanlagen im Winter.....	92
5.2.4	Abnahme und Eigenkontrolle.....	93
5.3	Technische Leistungsbeschreibung .....	93
5.3.1	Allgemeine Beschreibung .....	94
5.3.2	Anforderungen an die Tausalzlöseanlage.....	94
5.3.3	Leistungsverzeichnis .....	97
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>97</b>
<b>Literatur</b>	.....	<b>100</b>
<b>Tabellen</b>	.....	<b>107</b>
<b>Bilder</b>	.....	<b>108</b>
<b>Anhänge (Anlagen)</b>		
Anhang A – Online-Fragebogen		
Anhang B – Prüfung der Konzentration der gebrauchsfertigen Sole		
Anhang B.1 Prüfverfahren in Deutschland		
Anhang B.2 Prüfverfahren in Österreich		
Anhang B.3 Prüfverfahren in der Schweiz		

Anhang C – Entsorgung der Rückstände aus der Soleerzeugung

Anhang C.1 Angaben unter „Sonstiges“ für Deutschland

Anhang C.2 Angaben unter „Sonstiges“ für Österreich und die Schweiz

Anhang D – Technische Störungen bei der Soleerzeugung

Anhang D.1 Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in deutschen Autobahnmeistereien

Anhang D.2 Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in deutschen Straßenmeistereien

Anhang D.3 Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in österreichischen Straßenmeistereien

Anhang E – Verbesserungspotenziale bei der Soleerzeugung

Anhang E.1 Verbesserungspotenziale aus Sicht der deutschen Autobahnmeistereien

Anhang E.2 Verbesserungspotenziale aus Sicht der deutschen Straßenmeistereien

Anhang E.3 Verbesserungspotenziale aus Sicht der österreichischen Straßenmeistereien

Anhang F – Temperaturen bei der Soleerzeugung

Anhang G – Leistungsverzeichnis (Beispiel)

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AM	Autobahnmeisterei
AP	Arbeitspaket
ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (Österreich)
ASTRA	Schweizerisches Bundesamt für Straßen
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
Cerema	Centre d'edudes et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Frankreich)
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FSV	Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße-Schiene-Verkehr
FS30	Kurzbezeichnung für Salzstreuung unter Zugabe von 30 M.-% Tausalzlösung
FS100	Kurzbezeichnung für Winterdienst mit 100 M.-% Tausalzlösung
KB	Kommunaler Bauhof
RWS	Rijkswaterstaat (Niederlande)
SM	Straßenmeisterei
TRL	Transport Research Laboratory (England)
WD	Winterdienst

# 1 Einführung

Dieser Bericht dokumentiert die Ergebnisse des Projektes FE 03.0571/2018/MRB „Empfehlungen zum praxisgerechten Betrieb von Tausalzlöseanlagen“.

## Ausgangslage

Die Anwendung von Tausalzlösungen ist im Straßenwinterdienst einerseits eine wesentliche Voraussetzung für die richtige Verteilung fester Tausalze (FS30-Technologie) und andererseits Voraussetzung für eine längere Liegedauer von Taustoffen auf der Fahrbahn (FS100-Technologie). Von HAUSMANN wurde in den Jahren 2010/11 im Rahmen eines Forschungsprojekts der Bundesanstalt für Straßenwesen nachgewiesen, dass bei der präventiven Streuung mit der FS100-Technologie erhebliche Streustoffmengen eingespart werden können. Die Anwendung der FS100-Technologie erfordert neue Technik zur Ausbringung und zur Bereitstellung der Tausalzlösungen. Bei der Bereitstellung von Tausalzlösungen ist eine Eigenherstellung in vielen Fällen aufgrund des hohen zu transportierenden Wasseranteils in der Lösung kostengünstiger und umweltfreundlicher als eine Anlieferung von fertigen Salzlösungen.

## Problem

Für die Bereitstellung von ausreichenden Lösungsmengen durch eine Eigenherstellung müssen leistungsfähige und zuverlässig arbeitende Löseanlagen zur Verfügung stehen. Von verschiedenen in- und ausländischen Herstellern werden Anlagen mit unterschiedlichen Arbeitsweisen angeboten.

Im Betrieb treten allerdings immer wieder Schwierigkeiten in Bezug auf die Löseleistung und Zuverlässigkeit der Anlagen auf. Die Ursachen sind in vielen Fällen nicht genau bekannt. Es wird aber eine wesentliche Abhängigkeit von der Salzqualität gesehen, die von den Anlagenherstellern häufig nicht genau benannt werden kann. Auch seitens der Beschaffung ist aufgrund fehlender Kenntnis die Verfügbarkeit der notwendigen Tausalzqualität für die Soleherstellung nicht immer sichergestellt.

## Zielsetzung

Ziel der Forschungsarbeit ist die Beurteilung der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher technischer Ausführungen von Tausalzlöseanlagen. Im Fokus der Arbeit stehen die bisher in der Praxis meistens angewandten verfahrenstechnischen Konzepte. Dabei sind die Zusammenhänge zwischen der verfahrenstechnischen und sonstigen technischen Ausführung der Anlagen, den Umfeldbedingungen und der Salzqualität zu untersuchen. Im Ergebnis sind Empfehlungen für die richtige Arbeitsweise von vorhandenen Anlagen bzw. für die Beschaffung von neuen Anlagen zu erarbeiten. Als Nutzen soll zukünftig eine leistungsfähige und zuverlässige Arbeit der Tausalzlöseanlagen erreicht werden, die kostengünstig die ausreichende Bereitstellung von Sole für einen effektiven Winterdienst ermöglichen.

## Vorgehensweise

Das Vorgehen bei der Projektbearbeitung besteht aus sieben Arbeitspaketen und ist in Bild 1 dargestellt.

Schwerpunkte der Bearbeitung stellt zunächst eine Umfrage bei Straßenbauverwaltungen im In- und Ausland dar, um deren Erfahrungen und mögliche Optimierungspotenziale bei der Produktion von Sole zu erfassen. Aufbauend auf den Umfrageergebnissen werden praktische Untersuchungen mit unterschiedlichen Salzlöseanlagen durchgeführt. Alle erhaltenen Ergebnisse werden dazu genutzt um technische Voraussetzungen für Salzlöseanlagen und Empfehlungen für deren Betrieb, einschließlich der Auswahl der Salzqualität, zu formulieren. Diese können auch für Leistungsbeschreibungen genutzt werden.

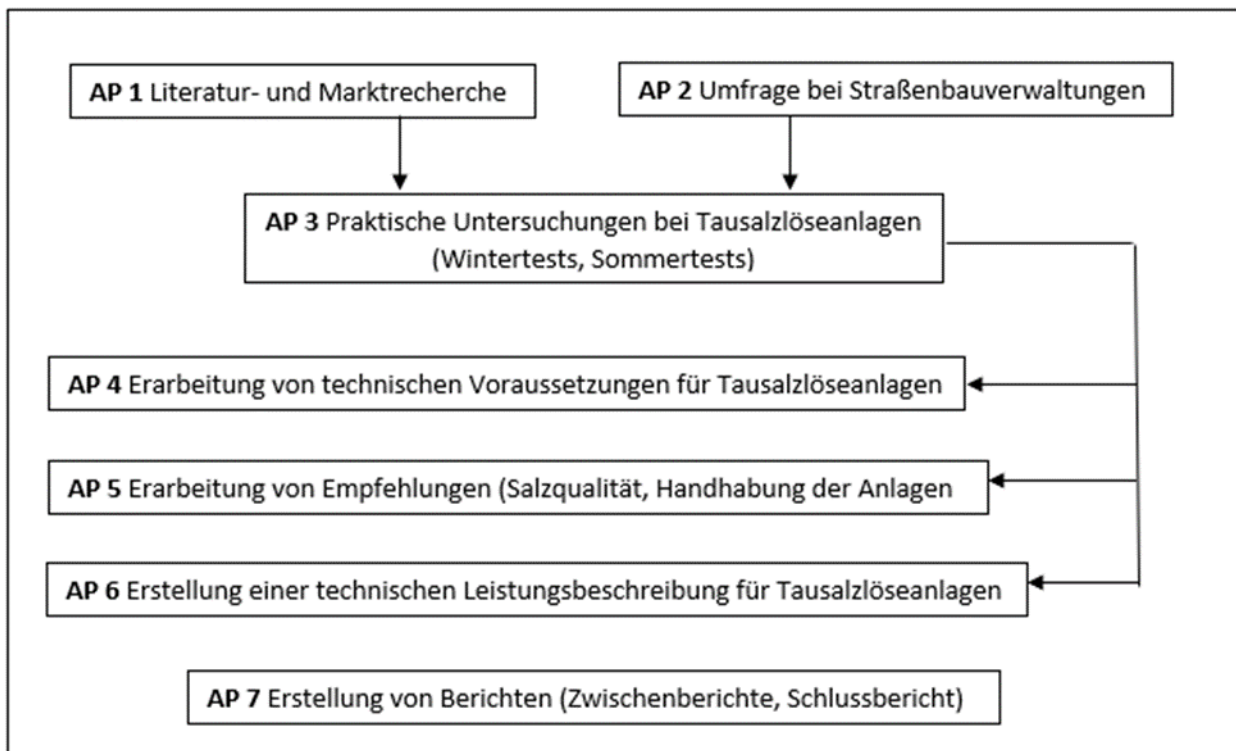


Bild 1: Arbeitspakete bei der Projektbearbeitung

## 2 Wissensstand

In der Literatur werden Tausalzlöseanlagen (Soleerzeuger) bisher wenig behandelt. Bislang beschäftigen sich nur Publikationen und Dokumente aus Deutschland, England und Frankreich mit Tausalzlöseanlagen. Eine Forschungsarbeit zur Anlagentechnik von Tausalzlöseanlagen ist nicht bekannt.

### 2.1 Technische Konzepte für die Soleerzeugung in Tausalzlöseanlagen

Tausalzlöseanlagen sind verfahrenstechnische Anlagen zur Herstellung gebrauchsfertiger Sole für den Winterdienst. Die Sole wird dabei durch Auflösung von Natriumchlorid in Wasser hergestellt. Eine Tausalzlöseanlage ist Teil der gesamten Soleanlage, die neben der Technik für die Soleerzeugung, Solelagertanks und das Pumpsystem für die Be- und entladung der Winterdienstfahrzeuge, sowie das Mess-, Steuerungs- und Regelsystem umfasst.

Soleerzeuger können nach ihrem Verfahren, wie das Salz in Wasser gelöst wird, in 2 Kategorien eingruppiert werden:

#### 2.1.1 Durchströmungsverfahren

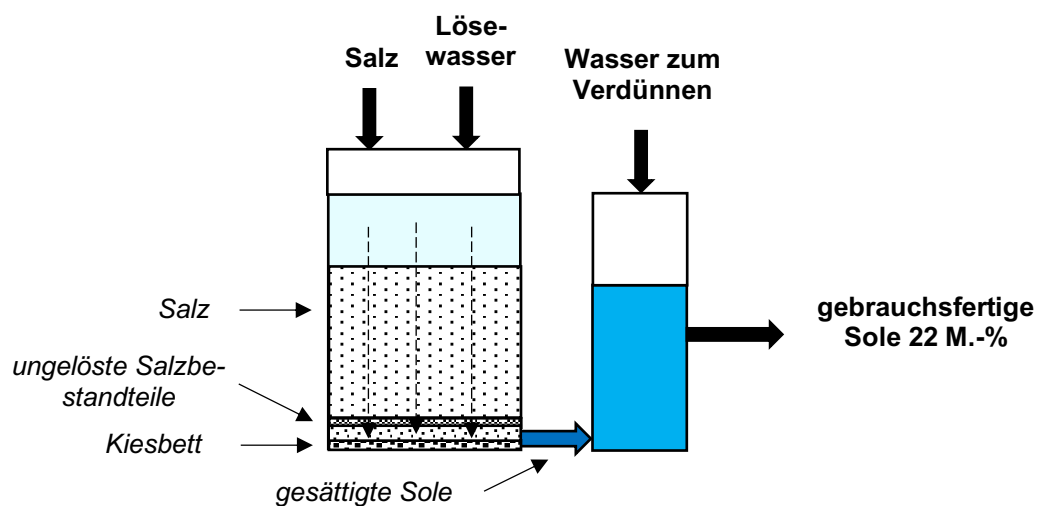
Bei den Durchströmungsverfahren wird in einen Behälter mit einer Salzvorgabe Wasser von oben („downflow“) oder von unten („upflow“) zugeführt. Das Wasser durchströmt die Salzvorgabe und löst dabei das Salz aus der Salzvorgabe. Die dadurch entstehende konzentrierte Sole wird

anschließend über Rohre oder Überläufe in einen Pufferbehälter geleitet. Die konzentrierte Sole wird durch Zugabe von Frischwasser zu einer gebrauchsfertigen Sole mit der gewünschten Konzentration von z.B. 22 M.-% verdünnt und diese anschließend in den Solelagertank geleitet.

- Downflow-Prinzip

Bei Soleerzeugern, die nach dem Downflow-Prinzip betrieben werden, erfolgt der Soleabzug durch Kiesschichten mit unterschiedlicher Körnung. Diese Kiesschichten befinden sich innerhalb des Soleerzeugers. Bei Verwendung von Steinsalzen zum Lösen werden die unlöslichen Bestandteile von den Kiesschichten zurückgehalten (Bilder 2 und 3).

Nachteilig bei derartigen Soleerzeugern sind die sich während des Lösebetriebes in den Kiesschichten und oberhalb der Kiesschichten ablagernden unlöslichen Salzbestandteile. Die abgelagerten Löserückstände blockieren auch den Soledurchfluss durch das Kiesbett. Deren Entfernung kann nicht während des Betriebes erfolgen, sondern erfordert die Komplettentleerung und -reinigung des Soleerzeugers. Auch bei der Verwendung von Siedesalz kann der Soledurchfluss durch im Kiesbett auskristallisierendes Salz massiv gestört werden.



**Bild 2:** Schema des Durchströmungsverfahrens (Downflow-Prinzip) zur Soleerzeugung

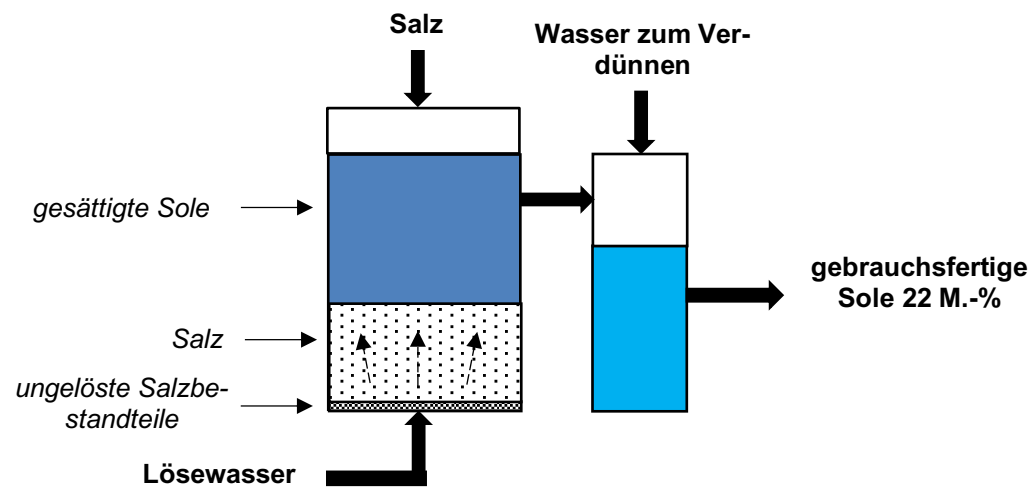


**Bild 3:** Salzlöseanlage nach dem Downflow-Prinzip in der AM Trockau (unten links: Soleabzugsrohre auf dem Boden der Salzlöseanlage, unten rechts: Kiesschüttung für den Soleabzug)

- Upflow-Prinzip

Soleerzeuger, die nach dem Upflow-Prinzip arbeiten, haben den Vorteil, dass der Soleabzug nicht durch ein störanfälliges Kiesbett erfolgen muss (Bilder 4 und 5). Löserückstände können leicht während des Betriebes aus dem Soleerzeuger entfernt werden. Derartige Soleerzeuger erzeugen konstant Sole und eignen sich auch für eine Vollautomatisierung.





**Bild 4:** Schema des Durchströmungsverfahrens (Upflow-Prinzip) zur Soleerzeugung



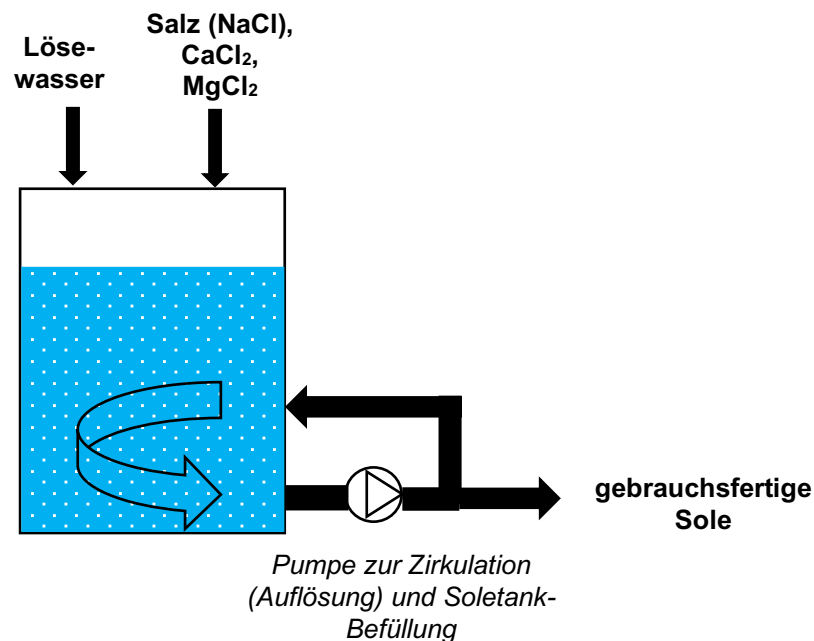
**Bild 5:** Tausalzlöseanlage nach dem Upflow-Prinzip in der AM Rottweil



## 2.1.2 Zirkulationsverfahren

Beim Zirkulationsverfahren, auch Chargenverfahren genannt, wird in einen Behälter eine definierte Menge Wasser mit einer definierten Menge Salz eingebracht. Mit Hilfe einer Pumpe wird das Gemisch aus Wasser bzw. Sole und Salz aus dem Behälter entnommen und wieder in den Behälter zurückgeführt. Durch diese Zirkulation wird das Salz vollständig in Lösung gebracht. Die eingefüllten Mengen Wasser bzw. Salz definieren die Konzentration der produzierten Sole (Bilder 6 und 7).

Soleerzeuger, die nach dem Zirkulationsverfahren arbeiten, produzieren die Sole im Chargenbetrieb und werden in der Regel manuell betrieben. Dies erfordert gegenüber den Upflow-Anlagen einen höheren Personalaufwand. Aber auch ein Konzept für eine Vollautomatisierung ist möglich. Dazu wären eine Salzzufuhr aus einem Silo und eine automatisierte Messung der Solekonzentration erforderlich. Bei Steinsalzen müsste noch die automatisierte Entfernung der ungelösten Bestandteile aus dem Lösebehälter und eine kontinuierliche Solereinigung dazukommen. Die Soleproduktionsleistung hängt von der Größe des Lösebehälters ab. Für diese Anlagen eignet sich vor allem Siedesalz. Bei Steinsalzen muss nach jeder Produktionscharge aufgrund der angefallenen ungelösten Bestandteile eine manuelle Reinigung des Soleerzeugers erfolgen. Chargenweise arbeitende Soleerzeuger können auch für die Herstellung von Sole aus Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ ) und Magnesiumchlorid ( $\text{MgCl}_2$ ) eingesetzt werden.



**Bild 6:** Schema des Zirkulationsverfahrens zur Soleerzeugung



**Bild 7:** Tausalzlöseanlage nach dem Zirkulationsverfahren im Bauhof Fürstenfeldbruck

### 2.1.3 Soleerzeugertypen

Soleerzeuger, die nach den Upflow- und Zirkulationsprinzipien arbeiten, gibt es in verschiedenen Leistungsgrößen. Sie werden auch mit unterschiedlichen Beschickungsvarianten und Solelagerkonzepten ausgeführt. Häufig eingesetzte Soleerzeugertypen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Anlagen, die nach dem Downflow-Prinzip arbeiten, sind derzeit wenig verbreitet.

Löseprinzip	Betriebsweise	Soleerzeugertyp	Befüllung mit Salz	Typische Produktionsleistung (Liter Sole/h)	Solelagerung
Upflow	Kontinuierlich (vollautomatisch)	Silo-Soleerzeuger	Einblasen aus Silo-LKW	1.500-3.000	Externer Soletank
		Silo-Soleerzeuger mit integriertem Soletank	Einblasen aus Silo-LKW	1.500-3.000	Im Soleerzeuger (Lagermenge bis 20.000 Liter)
		Oben offener Soleerzeuger	Radlader oder mit Förderorgan aus Salzsilo/-halle	1.500-10.000	Externer Soletank
		Oben geschlossener Soleerzeuger	Mit Förderorgan aus Salzsilo/-halle	1.500-10.000	Externer Soletank
Zirkulation	Charge (manuell oder vollautomatisch)	Oben offener oder geschlossener Soleerzeuger	Radlader, BigBag, oder mit Förderorgan aus Salzsilo/-halle	1.500-20.000	Im Soleerzeuger (Lagermenge 3.000-20.000 Liter) oder externer Soletank

**Tab. 1:** Gängige Soleerzeugertypen

## 2.2 Deutschland

Grundlegende Untersuchungen zur Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn und deren Wirkungszeiten wurden von HAUSMANN in den Jahren 2006 bis 2008 durchgeführt. Dabei wurde die große Bedeutung des Soleeinsatzes zur vorbeugenden und kurativen Glättebekämpfung bestätigt (FS30) bzw. erkannt (FS100).

Von SCHMAUDER, JUNG und PARITSCHKOW wurden im Jahr 2012 im Rahmen eines Forschungsprojekts zu Anlagekonzeptionen für Meistereigehöfte auch Untersuchungen zum Betanken von Winterdienstfahrzeugen durchgeführt. Allerdings wurde dabei die Soleerzeugung in Meistereien nicht betrachtet.

Das Arbeitspapier „Hinweise zur Herstellung und Lagerung von Tausalzlösungen für den Winterdienst“ der FGSV aus dem Jahr 2015 befasst sich mit der Versorgungssicherheit und der Bemessung des Solebedarfs. Ergänzend dazu werden erforderliche Löseleistungen von Soleanlagen in Autobahn- und Straßenmeistereien sowie Kommunen angegeben. Erstmals werden mit diesem Arbeitspapier auch Hinweise zum sicheren und wartungsarmen Betrieb von Salzlöseanlagen gegeben. Es wird empfohlen, die Salzlöseanlagen möglichst automatisiert zu betreiben und Tausalz (NaCl) mit einem Mindestgehalt an tauwirksamer Substanz von 97,5 M.-% für die Soleerzeugung zu beschaffen.

Im FGSV-Wissensdokument „Hinweise für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst“ von 2017 wird auf die große Bedeutung der Salzqualität bei der Soleerzeugung in Löseanlagen eingegangen. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass die Gehalte an wasserunlöslichen Bestandteilen und von Calciumsulfat (Anhydrit) im Salz zu beachten sind.

Im Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2020) wird die Lagerung und Aufbereitung von Salzlösungen kurz beschrieben. Das Merkblatt weist auf die alternativen Möglichkeiten des Fremdbezugs und der Eigenerzeugung von Salzlösungen hin. Dabei sollten die Salzlöse- und Mischanlagen über eine ausreichende Wasserversorgung sowie eine hohe Pumpenleistung verfügen, des Weiteren sollten die Schläuche und Tankstutzen ausreichende Durchmesser haben. Außerdem wird es als vorteilhaft beschrieben, wenn die gleichzeitige Beladung der Winterdienstfahrzeuge mit Lösung und Trockensalz möglich ist.

In Vorbereitung befindet sich das FGSV-Wissensdokument „Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst“ (H SOLA). Die Ergebnisse aus diesem Forschungsprojekt werden in dieses Dokument einfließen.

## 2.3 England

Im Rahmen eines Projektes zur Machbarkeit von Feuchtsalz- und Solestreueung auf dem Autobahnnetz der Highways Agency wurde bei den Winterdienstleistern auch eine Umfrage zu den eingesetzten Salzlöseanlagen und der für die Soleerzeugung verwendeten Salzqualität durchgeführt (EVANS et al. 2011).

Folgende Informationen wurden mit einem Fragebogen bei den 8 Gebieten mit Salzlöseanlagen in England abgefragt:

- Soleerzeugertypen
- Produktionsleistung der Soleerzeuger

- Solelagerkapazität der Soleerzeuger
- Salzqualität
- Performance der Soleerzeuger
- Instandhaltungsanforderungen und -kosten
- Erfahrungen mit verschiedenen Salzen

Die Ergebnisse zeigten, dass in den acht Gebieten mit Soleproduktion insgesamt 42 Winterdienstdepots mit 44 Salzlöseanlagen vorhanden waren, die eine Flotte von 159 Winterdienstfahrzeugen bedienen. Die Umfrage ergab, dass die Soleproduktionskapazitäten für das Feuchtsalzstreuen in Kombination mit Trockensalzstreuung ausreichen. Die Produktionssicherheit war jedoch noch nicht in vollem Umfang gegeben, da die Mehrheit der Salzlöseanlagen für maximal zwei Wintersaisonen in Betrieb war. Die Verwendung von Sole war begrenzt, da viele Streueinsätze im Winter 2010/11 eher mit trockenem Salz als mit Feuchtsalz durchgeführt wurden.

Es wurde geschlussfolgert, dass die vermehrte Verwendung von Salzlöseanlagen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern und Problemen erhöht, und daher wahrscheinlich auch zu zusätzlichen Wartungskosten führt. Auch wurde erwartet, dass die Kosten für die Reinigung einer Salzlöseanlage und für die Entfernung unlöslicher Stoffe proportional zur Menge der erzeugten Sole sind.

Englisches Steinsalz („brown salt“) mit einem Salzgehalt von 92 bis 95 M.-% und einem Gehalt an unlöslichen Bestandteilen von 2,5 bis 5,5 M.-% ist kostengünstig und allgemein leicht erhältlich. Aber seine Kosteneffizienz als Ausgangsmaterial für die Soleerzeugung wird durch die Kosten für die zusätzliche Wartung beeinträchtigt, die erforderlich ist, um die Salzverunreinigungen aus der Salzlöseanlage zu entfernen. Fast 80 % der Salzlöseanlagen verwenden Meersalz („white salt“), dessen Salzgehalt >99 M.-% beträgt. Die Erfahrung der Winterdienstleister mit Salzlöseanlagen, die Steinsalz verwenden können, reicht nicht aus, um die Verwendung von Steinsalz zu empfehlen. Gespräche mit Salzlieferanten haben gezeigt, dass sich die Produktionsleistung durch die Notwendigkeit, Verunreinigungen regelmäßig zu entfernen, insbesondere während Zeiten mit hohem Bedarf, verringert. Es wurden keine Daten gefunden, die darauf hindeuten, dass die Verwendung von Steinsalz kostengünstig ist. Aus diesem Grund wird von einigen Anlagenherstellern zur Soleproduktion Meersalz empfohlen. Die Hersteller von Salzlöseanlagen haben auch auf die große Bedeutung der Salzkörnung hingewiesen. Grobkörnige Salze werden für die Soleproduktion als optimal angesehen („Grading 3 mm, 6 mm, and 6.3 mm“). Feinkörniges Salz mit einer maximalen Partikelgröße von etwa 1 mm wird für die gegenwärtig in England eingesetzten Salzlöseanlagen als nicht geeignet gehalten.

Ferner wurde untersucht, ob Sole aus industriellen Prozessen direkt an die Winterdienstleister geliefert werden kann. Es wurde angenommen, dass die Kontinuität der Versorgung ein Problem sein könnte und dass möglicherweise eine große Lagerkapazität am Winterdienstdepot erforderlich wäre, um zu gewährleisten, dass in Zeiten mit hohem Bedarf ausreichend Sole verfügbar ist.

## 2.4 Frankreich

Der technische Leitfaden „Le stockage des fondants routiers: gestion et dimensionnement“ beschreibt die Produktion und Lagerung von Sole (CEREMA 2016).

Es wird beschrieben, wie sich die Soleanlagen in Frankreich durch ihre Konfiguration unterscheiden:

- Salzlöseanlagen mit integriertem Salz- und Solespeicher (Monoblock genannt)  
Die Produktionsleistungen reichen von 1.000 l/h bis 12.000 l/h und die gespeicherten Solevolumina von 2.000 l bis 20.000 l.

- Salzlöseanlagen mit getrenntem Solevorrattank, mit Durchflüssen von 2.500 l/h bis 9.000 l/h. Sie haben den Vorteil, dass dem Bedarf angemessene Soletanks installiert werden können.
- Lösetanks, die sowohl die Produktion als auch die Lagerung von Sole (Natriumchlorid, Calciumchlorid) ermöglichen. Diese Ausrüstungsart wird selten verwendet.
- Calciumchlorid-Soleanlagen, die mit Calciumchlorid aus Säcken oder Big-Bags gespeist werden (Produktionsleistung 3.000 l/h bis 6.000 l/h).

Zwei unterschiedliche Herstellungsmethoden sind typisch für die französischen Soleanlagen:

- Eine festgelegte Menge an Wasser wird in einen Tank gefüllt, durch Zugabe der entsprechenden Menge Natriumchlorid wird eine ca. 21 M.-%ige Sole produziert. Gesammeltes salzhaltiges Wasser kann bei diesem Verfahren nicht verwendet werden, da dessen Salzgehalt schwankt.
- Im Lösebehälter der Salzlöseanlage wird kontinuierlich eine Sole produziert, die mit bis zu 26 M.-% gesättigt ist. Durch Verdünnung mit Wasser erhält man die gebrauchsfertige Sole mit ca. 23 M.-%. Bei diesem Verfahren kann zur Salzauflösung auch gesammeltes salzhaltiges Wasser verwendet werden.

Es wird empfohlen, Natriumchlorid der Klasse A gemäß der Norm NF P98-180 zu verwenden, um den Wartungsaufwand der Anlage so gering wie möglich zu halten (Ablagerung von unlöslichen Stoffen am Boden des Lösebehälters). Entsprechend dieser französischen Auftausalz-Norm, der nationalen Vorläufernorm der NF EN 16811-1, wird ein Mindestsalzgehalt von 98 M.-% gefordert. Diese Anforderung erfüllen in Frankreich üblicherweise verfügbares Meersalz und teilweise auch importierte Steinsalze. Ein Sonderfall ist die Verwendung von feinkörnigem Natriumchlorid, das als Nebenprodukt in einer chemischen Produktionsanlage anfällt.

## 2.5 Europäische Normung

Im Rahmen der Working Group 1 des CEN/TC 337 wurden in den Jahren 2016 bis 2020 wesentliche Anforderungen für Soleanlagen erarbeitet. Der europäische Normentwurf EN 17443 (Stand: Dezember 2020) für Soleerzeugungsanlagen sieht Anforderungen für die Produktionskapazität, die Solekonzentration, die Solereinheit und das Pumpsystem vor (siehe Tabelle 2).

	Anforderung
Produktionskapazität (Liter gebrauchsfertige Sole pro Stunde)	Max. minus 5 % Toleranz von der geforderten Kapazität.
Solekonzentration	Max. +/- 1,0 M.-% Toleranz von der geforderten Konzentration der gebrauchsfertigen Sole.
Solereinheit	- Ungelöste Bestandteile max. 0,03 M.-% bei NaCl-Sole, max. 0,2 M.-% bei CaCl <sub>2</sub> -Lösung und max. 0,1 M.-% bei MgCl <sub>2</sub> -Lösung. - Suspendierte Partikel nicht größer als 0,5 mm.
Pumpleistung für die Befüllung der Streufahrzeuge	- Mind. 500 Liter pro Minute. - Mind. 1.200 Liter pro Minute (bei Tankkapazitäten des Streufahrzeugs von mehr als 4.000 Liter). - Falls Streufahrzeuge nicht geeignet sind für die in der DIN EN 15597-1 festgelegten Füllleistungen, kann der Beschaffer, abweichend von den vorgenannten Pumpleistungen, die Pumpen nach seinen Bedürfnissen auslegen.

**Tab. 2:** Anforderungen an Soleanlagen (prEN 17443 „Winterdienstausrüstung – Soleerzeugungsanlagen – Anforderungen und Prüfverfahren“, Stand: Dezember 2020)

Bei der Beschaffung eines Soleerzeugers sollte darauf geachtet werden, dass eine zulässige Toleranz für die Produktionskapazität (Liter Sole pro Stunde) von maximal minus 5 % von der geforderten Kapazität vereinbart wird. Sehr wichtig ist, dass bei einer FS100-Streuung mit einer Solekonzentration von ca. 22 M.-% gearbeitet wird. Eine weniger konzentrierte Sole bietet nicht ausreichend Gefrierschutz auf der Fahrbahn. Bei einer höheren Solekonzentration als 22 M.-% kann es bei einem Temperaturabfall zur Auskristallisation von Salz kommen, das zu Schäden in Pumpen und zum Verstopfen von Ventilen und Düsen am Soleerzeuger und im Solestreuer führen kann. Eine Toleranz bis maximal +/- 1,0 M.-% von der geforderten Konzentration (22 M.-%) ist akzeptabel. Die Menge des ungelösten Materials (Silikate, Calciumsulfat) in der fertigen Sole darf bei Natriumchlorid-Sole 0,03 M.-%, bei Calciumchlorid-Lösung 0,2 M.-% und bei Magnesiumchlorid-Lösung 0,1 M.-% nicht überschreiten. Damit Sprühdüsen nicht verstopfen, dürfen in der Sole suspendierte Partikel des ungelösten Materials nicht größer als 0,5 mm sein. Um die Tanks der Streufahrzeuge rasch befüllen zu können, muss die Pumpleistung der Soleanlage mindestens 500 Liter pro Minute betragen. Bei Tankkapazitäten des Streufahrzeuges von mehr 4.000 Liter wird eine Pumpleistung von mind. 1.200 Litern pro Minute gefordert. Falls Streufahrzeuge nicht geeignet sind für die in der DIN EN 15597-1 festgelegten Füllleistungen, kann der Beschaffer, abweichend von den vorgenannten Pumpleistungen, die Pumpen nach seinen Bedürfnissen auslegen.

## 2.6 Zusammenfassende Bewertung

Für die Soleerzeugung in Tausalzlöseanlagen stehen drei unterschiedliche verfahrenstechnische Technologien zur Verfügung. Sie eignen sich auch für eine Automatisierung. Die Informationen aus England und Frankreich zeigen, dass an das Salz für die Soleerzeugung gegenüber dem üblichen Auftausalz erhöhte Reinheitsanforderungen gestellt werden. Damit kann der Wartungsaufwand, der für die Entfernung ungelöster Salzbestandteile aus den Salzlöseanlagen zu tätigen ist, minimiert werden. In den beiden Ländern wird das überwiegend durch Verwendung von Meersalz erreicht. Diese Salzart ist in Deutschland im Winterdienst nicht im Einsatz.

In Deutschland sind bislang fehlende detaillierte Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen in Vorbereitung. Eine wichtige Grundlage hierfür sind die in der künftigen europäischen Norm gestellten Anforderungen an Soleanlagen.

## 3 Befragung von Autobahn- und Straßenmeistereien sowie kommunalen Bauhöfen

### 3.1 Online-Fragebogen

Um die praktischen Erfahrungen bei der Herstellung von Salzlösungen zu erfassen, wurden Informationen bei Anwendern abgefragt. Dazu wurde ein Online-Fragebogen entwickelt, bei dem die Fragen überwiegend im Auswahlverfahren beantwortet werden konnten (siehe Anlage A).

Der Online-Fragebogen war in insgesamt acht Themenfelder als Fragegruppen gegliedert:

- Fragegruppe I: Allgemeine Angaben
- Fragegruppe II: Angaben zum Soleerzeuger
- Fragegruppe III: Details zur Salzqualität
- Fragegruppe IV: Details zum Soleerzeuger
- Fragegruppe V: Löserückstände

- Fragegruppe VI: Personaleinsatz  
 Fragegruppe VII: Störungen bei der Soleherstellung  
 Fragegruppe VIII: Sonstiges

Es wurden 40 Hauptfragen mit 19 Unterfragen gestellt.

Der Link zum Online-Fragebogen wurde über den Bund-Länder-Ausschuss Straßenbetrieb an die für den Straßenbetrieb in den Bundesländern zuständigen Verwaltungen versandt und von dort an die Autobahn- und Straßenmeistereien verteilt. Die Information an die Kommunen erfolgte über den Verband kommunaler Unternehmen und wurde auch in der Verbandszeitschrift VKS-News 07/08/2019 bekanntgemacht. Ferner wurden 12 private deutsche Autobahngesellschaften per E-Mail um Teilnahme an der Umfrage gebeten.

Von den Nachbarländern wurden die Niederlande, Österreich und die Schweiz über die Umfrage informiert und um Teilnahme gebeten. Der Versand der Anfrage an Autobahn- und Straßenmeistereien erfolgte über den niederländischen Rijkswaterstaat, den Winterdienstausschuss der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) und das schweizerische Bundesamt für Straßen ASTRA.

Für die Beantwortung der Fragen war ein Zeitraum von sechs Wochen vorgesehen. Der Online-Fragebogen wurde weit überwiegend von den verantwortlichen Mitarbeitern der Meistereien und Bauhöfen ausgefüllt. Insgesamt haben an der Umfrage 407 Befragte teilgenommen (siehe Tabelle 3). Ausgehend von insgesamt 157 AM und 533 SM in Deutschland haben sich 56 % der AM und 44 % der SM an der Umfrage beteiligt (Gesamtzahlen aus „Der Elsner 2019“). Diese hohe Beteiligung ist im Detail in der Tabelle 3 dargestellt.

	Deutschland	Österreich	Schweiz	Niederlande	Summe
AM	88	2 <sup>1</sup>	9	17 <sup>2</sup>	116
SM	232	43	0	0	275
KB	15 <sup>3</sup>	0	1	0	16
Summe	335	45	10	17	407

<sup>1</sup>Autobahnmeistereien von ASFINAG mit insgesamt 24 Soleerzeugern (Antworten für „AM österreichweit“ – 21 Soleerzeuger und „AM Wien, Niederösterreich, Salzburg“ – 3 Soleerzeuger).  
<sup>2</sup>Autobahnmeistereien von Rijkswaterstaat.  
<sup>3</sup>Davon 13 Bauhöfe der Stadt Berlin.

**Tab. 3:** Beteiligung an der Online-Umfrage

Die Beteiligung der kommunalen Bauhöfe, ausgenommen Berlin, war sehr gering. Keine Antworten kamen von den privaten deutschen Autobahngesellschaften.

Die Beteiligung der deutschen Bundesländer ist aus Tabelle 4 ersichtlich.

	BW	BY	BE	BB	HH	MV	NI	NW	RP	SN	ST	SH	Summe
AM	7	35	0	7	1	0	5	23	4	2	0	4	88
SM	22	77	0	16	0	7	21	43	40	0	1	4	231
KB	1	0	13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	15
Summe	30	112	13	23	1	7	26	67	44	2	1	8	334 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eine Antwort konnte nicht zugeordnet werden.

**Tab. 4:** Beteiligung der Bundesländer an der Online-Umfrage

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Umfrage beschrieben.

### 3.2 Angaben zur Soleerzeugung

Die Frage „Stellen Sie Sole für den Winterdienst selbst her?“ haben von den deutschen Befragten 278 positiv beantwortet, dies entspricht 83 % der Umfrageteilnehmer aus Deutschland. Insgesamt stellen von den 407 Umfrageteilnehmern 345 (85 %) Sole selbst her (siehe Tabelle 5).

	Deutschland		Österreich		Schweiz		Niederlande	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
AM	75	13	2 (ASFINAG)	-	8	1 (NSNW)	17 (RWS)	-
SM	188	44	39	4	-	-	-	-
KB	15	-	-	-	1	-	-	-
Summe	278	57	41	4	9	1	17	-

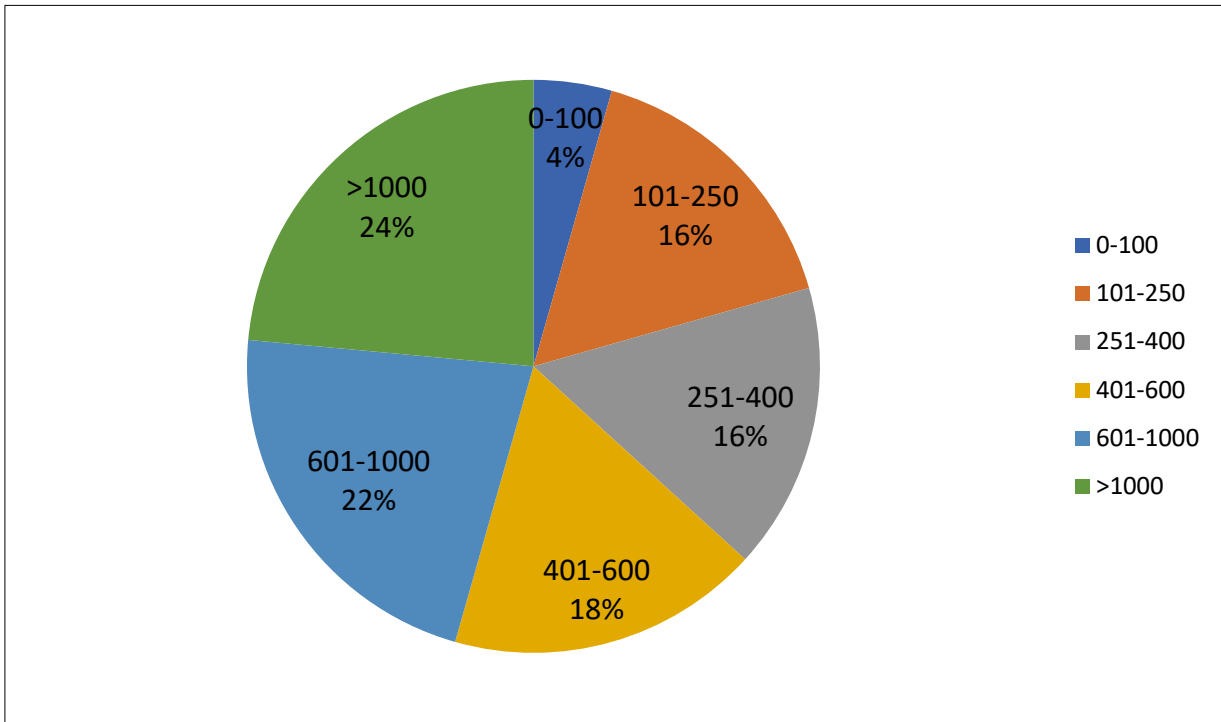
**Tab. 5:** Soleeigenerzeugung der Umfrageteilnehmer

Unter den österreichischen Straßenmeistereien befinden sich auch zwei Antworten für das Land Salzburg mit insgesamt 15 Soleerzeugern und das Land Tirol mit insgesamt 14 Soleerzeugern.

Die Nationalstraßen Nordwestschweiz AG (NSNW AG) in der Schweiz produziert nur in Ausnahmefällen in drei Werkhöfen Sole selbst. Die Anlagen dienen hauptsächlich dazu, Lieferengpässe und Leistungsspitzen abzudecken. Im Normalfall wird die Sole von der nahegelegenen Saline bezogen.

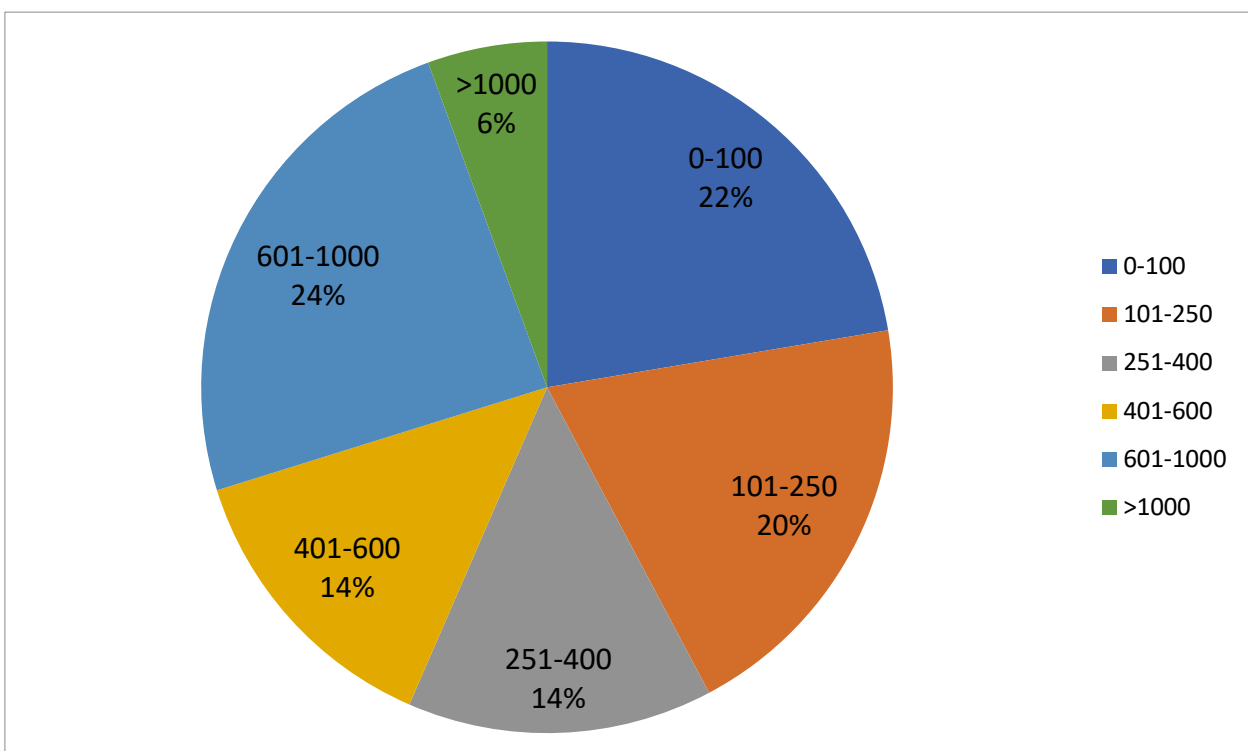
Von den deutschen Autobahnmeistereien wurden 68 Angaben zur produzierten Menge gemacht. Im Durchschnitt wurden im Winter 2018/19 pro Autobahnmeisterei 796 m<sup>3</sup> produziert. Etwa ein Viertel der deutschen Autobahnmeistereien produzierte mehr als 1.000 m<sup>3</sup> Sole (siehe Bild 8).





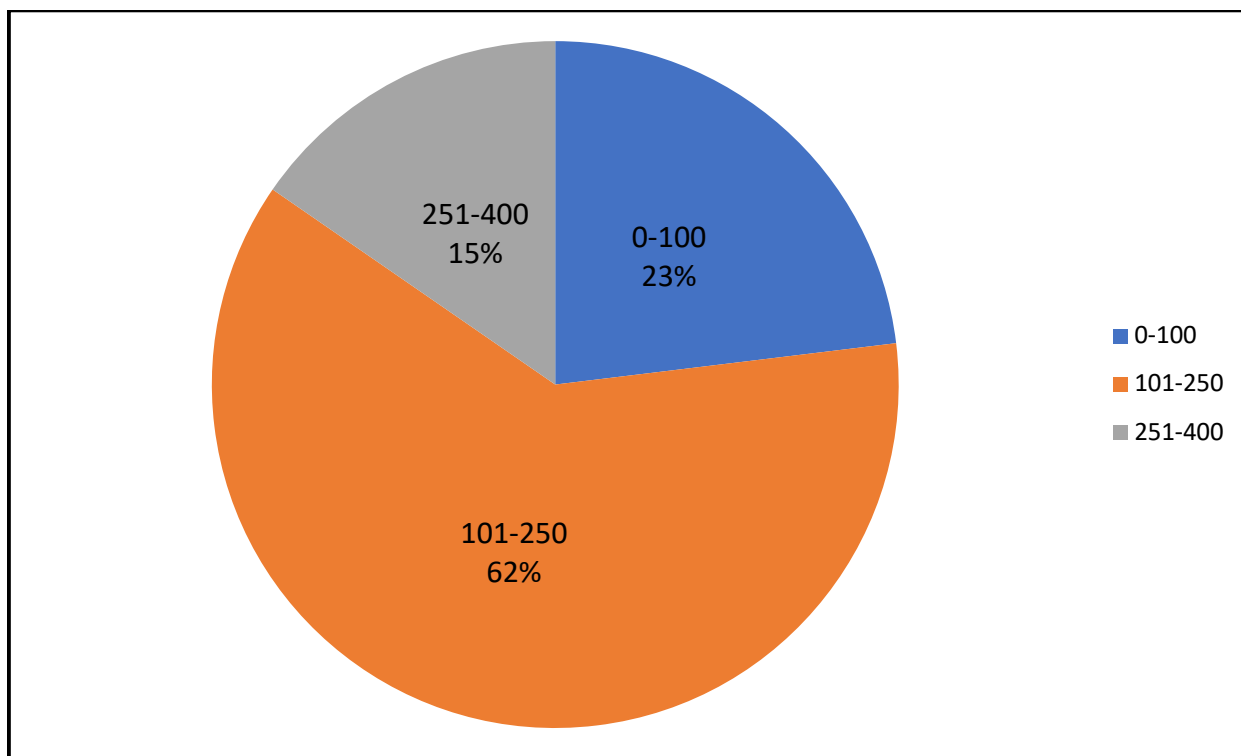
**Bild 8:** Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m³]: Deutschland - Autobahnmeistereien

Die durchschnittliche Soleproduktion der deutschen Straßenmeistereien im Winter 2018/19 war mit 441 m<sup>3</sup> je Meisterei deutlich geringer als bei den Autobahnmeistereien (siehe auch Bild 9).



**Bild 9:** Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m³]: Deutschland – Straßenmeistereien

Nochmals deutlich geringer war die Soleproduktion der kommunalen Bauhöfe im Winter 2018/19 mit durchschnittlich 123 m<sup>3</sup> je Bauhof. Von den an der Umfrage teilnehmenden 14 Bauhöfen befanden sich 13 in Berlin (siehe auch Bild 10).

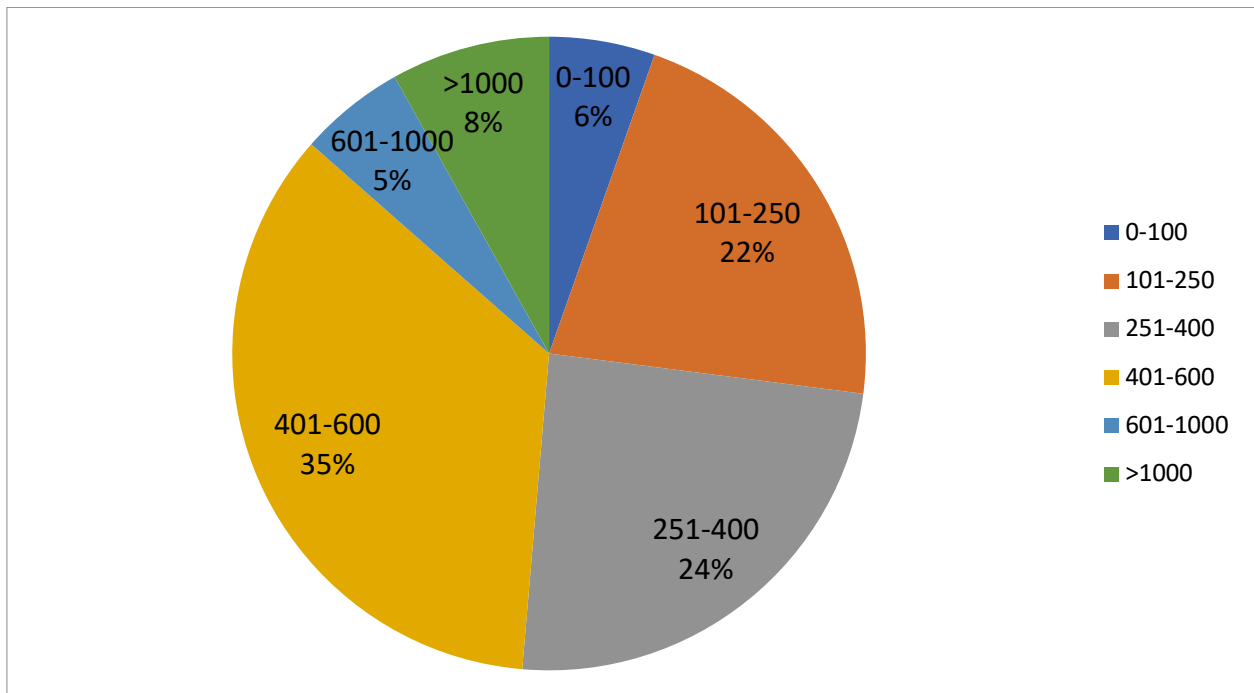


**Bild 10:** Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m<sup>3</sup>]: Deutschland – Kommunale Bauhöfe

Eine Erklärung, warum auf den SM'en und kommunalen Bauhöfen weniger Sole produziert wurde, kann sein, dass auf den BAB, in der Regel, die Verwendung der reinen Solestreuung (FS100) als Präventivmaßnahme im WD häufiger praktiziert wird bzw. verbreiteter ist.

In Österreich hat die ASFINAG in der Wintersaison 2018/19 österreichweit in 21 Anlagen für die Autobahnen 15.000 m<sup>3</sup> Sole produziert. In den Autobahnmeistereien Wien, Niederösterreich und Salzburg wurden weitere 1.300 m<sup>3</sup> Sole mit einem Alternativverfahren produziert (siehe Abschnitt 3.2.1). Die durchschnittliche Soleproduktion der österreichischen Autobahnmeistereien betrug 679 m<sup>3</sup> je Soleerzeuger.

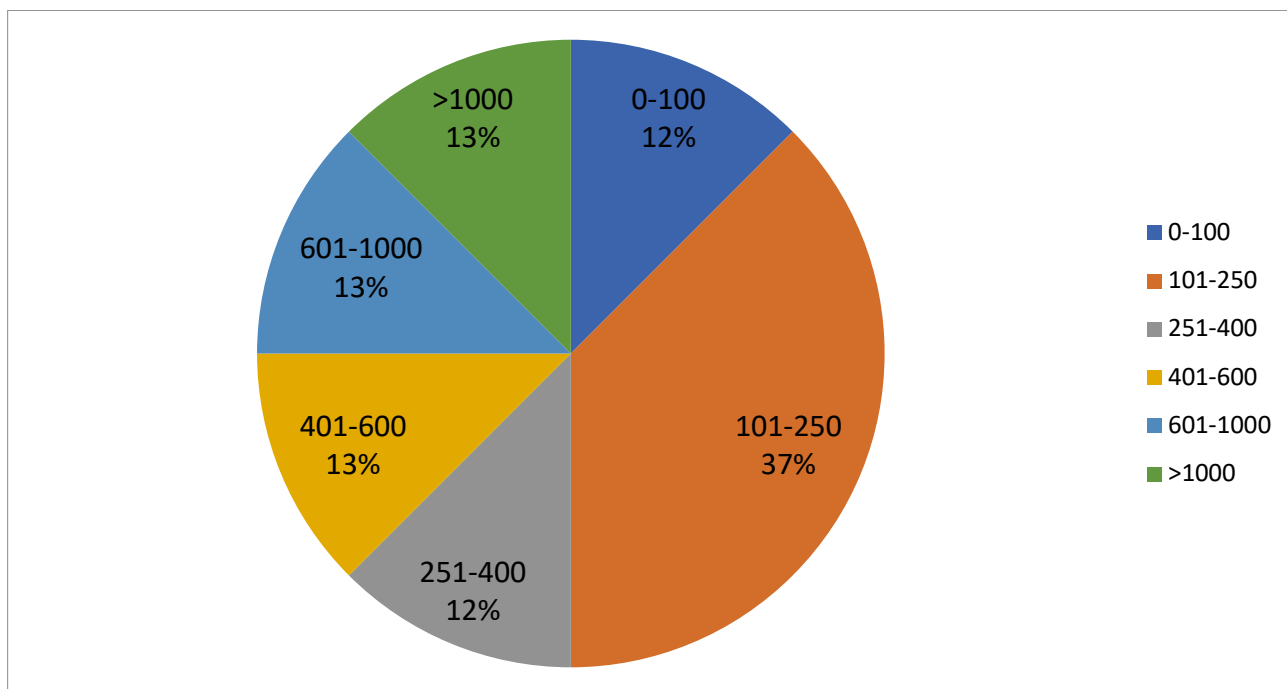
Die durchschnittliche Soleproduktion der österreichischen Straßenmeistereien im Winter 2018/19 betrug 396 m<sup>3</sup> je Meisterei. Dieser Wert entspricht ungefähr der Produktionsmenge der deutschen Straßenmeistereien (siehe auch Bild 11).



**Bild 11:** Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m<sup>3</sup>]: Österreich – Straßenmeistereien

Die teilnehmenden schweizerischen Autobahnmeistereien hatten gegenüber den deutschen Autobahnmeistereien mit 515 m<sup>3</sup> je Meisterei eine deutlich geringere durchschnittliche Soleproduktion im Winter 2018/19 (siehe auch Bild 12). Der Werkhof Flüelen im Kanton Uri stellt auch an den Stützpunkten Göschenen und Ingenbohl Sole her. Bezogen auf die Zahl der Anlagen ergibt sich eine durchschnittliche Soleproduktion von 412 m<sup>3</sup> je Anlage.

Die 17 Autobahnmeistereien in den Niederlanden produzierten im Winter 2018/19 insgesamt 4.918 m<sup>3</sup> Sole. Dies entspricht einer durchschnittlichen Soleproduktion von 289 m<sup>3</sup> je Meisterei. Die höchste Soleproduktion einer einzelnen Meisterei betrug 736 m<sup>3</sup>.



**Bild 12:** Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m<sup>3</sup>]: Schweiz – Autobahnmeistereien

### 3.2.1 Angaben zum Löseverfahren

Zur Produktion von Sole wird in Deutschland neben dem Chargenverfahren mit Solezirkulation vor allem das kontinuierliche Upflow-Verfahren eingesetzt. Das Downflow-Verfahren hat nur eine geringe Verbreitung.

In Österreich nutzt die ASFINAG österreichweit das Upflow-Verfahren und in drei Autobahnmeistereien auch das Chargenverfahren. Die Landesstraßenverwaltung Tirol hat in den Straßenmeistereien insgesamt 14 Anlagen mit dem Upflow- und Downflow-Verfahren installiert, sie sind als eine Antwort unter „Sonstiges“ gezählt worden.

Alle Umfrageteilnehmer aus der Schweiz nutzen das Chargenverfahren, während alle Autobahnmeistereien in den Niederlanden das kontinuierliche Upflow-Verfahren verwenden.

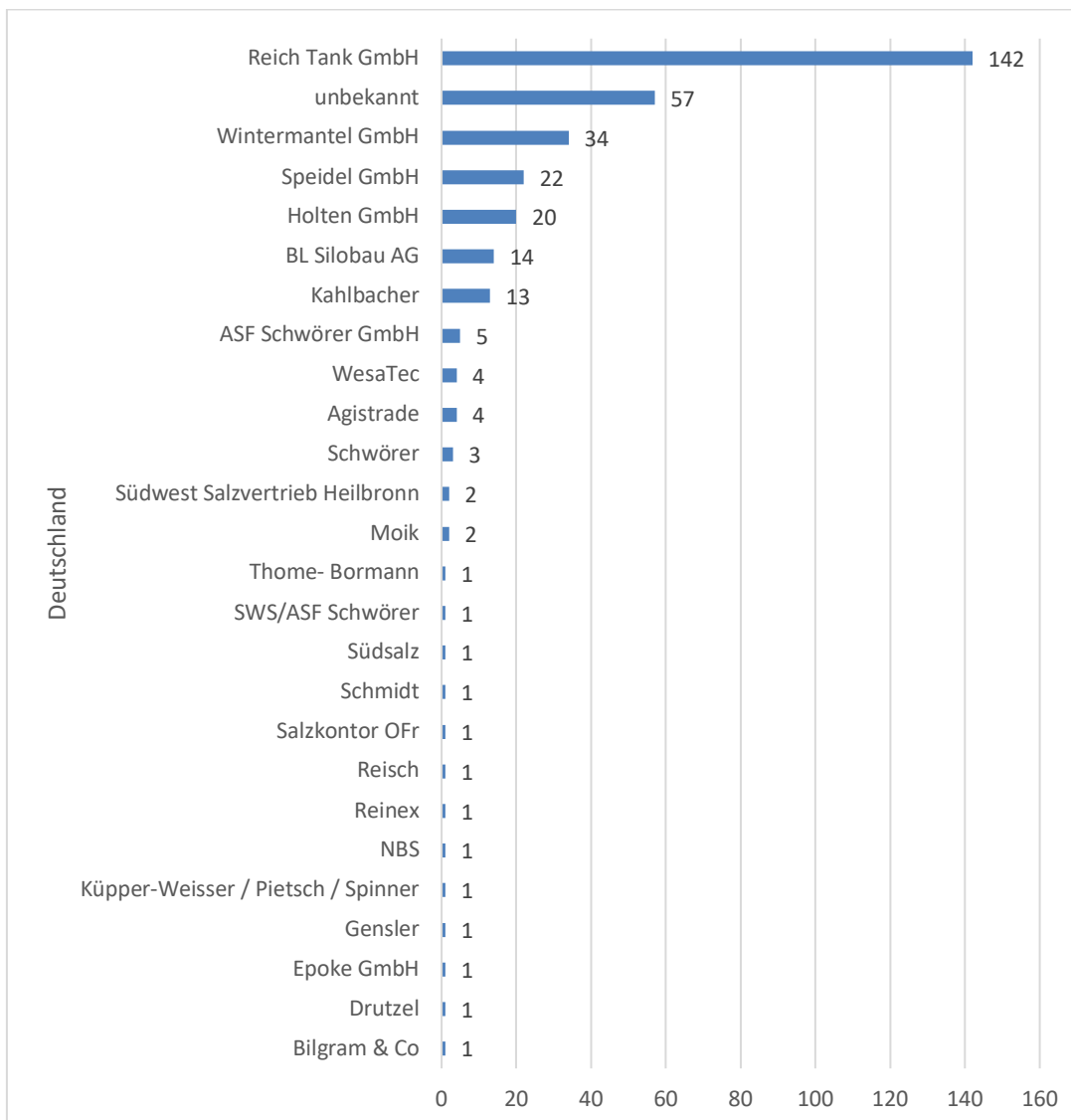
Insgesamt dominieren in den teilnehmenden Ländern das kontinuierliche Upflow-Verfahren und das Chargenverfahren mit Zirkulation, hingegen findet das kontinuierliche Downflow-Verfahren nur eine geringe oder keine Anwendung (Tabelle 6).

	Deutschland	Österreich	Schweiz	Niederlande	Summe	[%]
Kontinuierliches Verfahren - Upflow	192	6	0	17	215	61,08
Kontinuierliches Verfahren - Downflow	13	0	0	0	13	3,69
Chargenverfahren - Zirkulation	56	33	10	0	99	28,13
Sonstiges	21	4	0	0	25	7,10

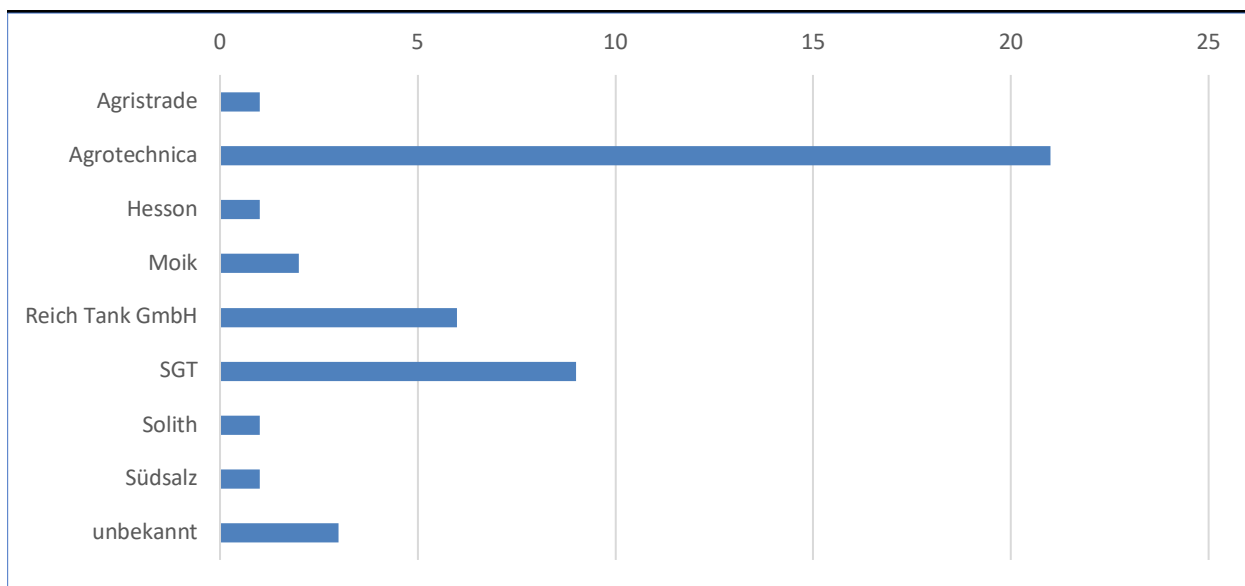
**Tab. 6:** Angaben zur Art des Löseverfahrens bei der Soleerzeugung (Anzahl der Antworten)

### 3.2.2 Hersteller der Soleerzeuger

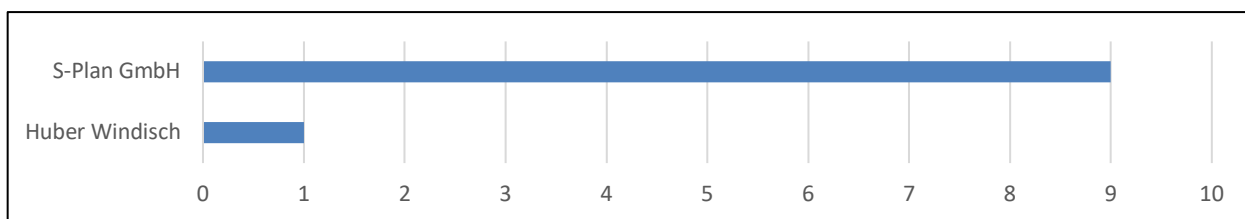
Es gibt eine Vielzahl von Anbietern von Soleerzeugern, darunter befinden sich Hersteller und Händler. Die Anbieter in den einzelnen Ländern sind sehr unterschiedlich (siehe Bilder 13 bis 15). In Deutschland hat Reich-Tank die meisten Anlagen geliefert, in der Schweiz dominiert S-Plan. In den Niederlanden wurden alle Autobahnmeistereien mit Soleerzeugern von Aebi-Schmidt ausgestattet (Typen S 2000, S 3000, S 6000). In Österreich haben Agrotechnica und SGT die meisten Anlagen geliefert.



**Bild 13:** Hersteller/Lieferanten der in Deutschland an die Umfrageteilnehmer gelieferten Soleerzeuger



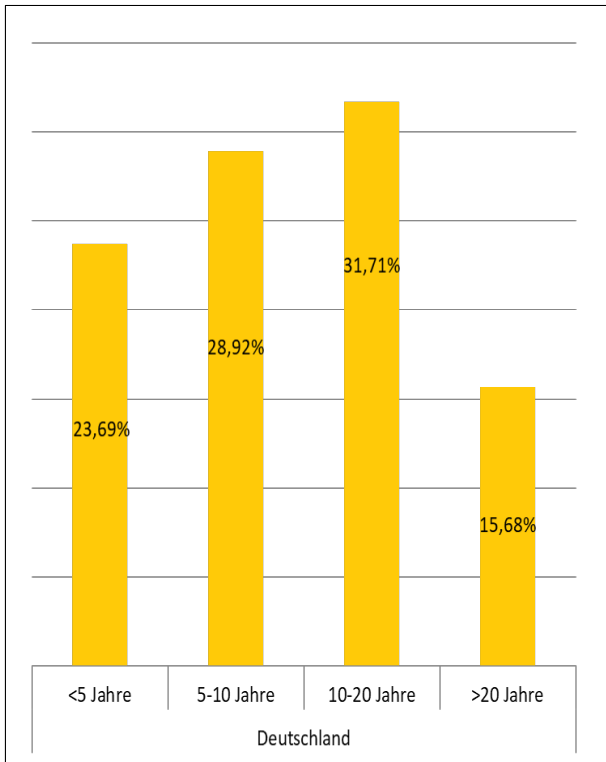
**Bild 14:** Hersteller/Lieferanten der in Österreich an Umfrageteilnehmer gelieferte Soleerzeuger



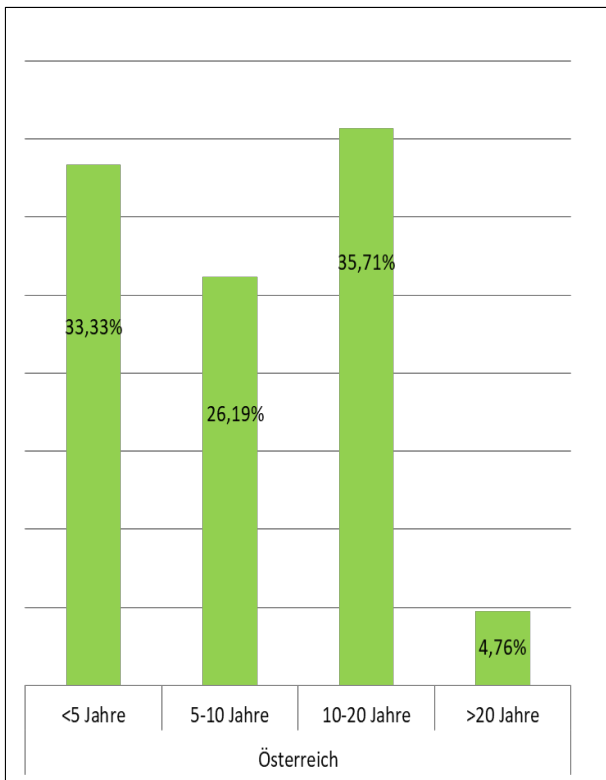
**Bild 15:** Hersteller/Lieferanten der in der Schweiz an Umfrageteilnehmer gelieferte Soleerzeuger

### 3.2.3 Alter der Anlagen

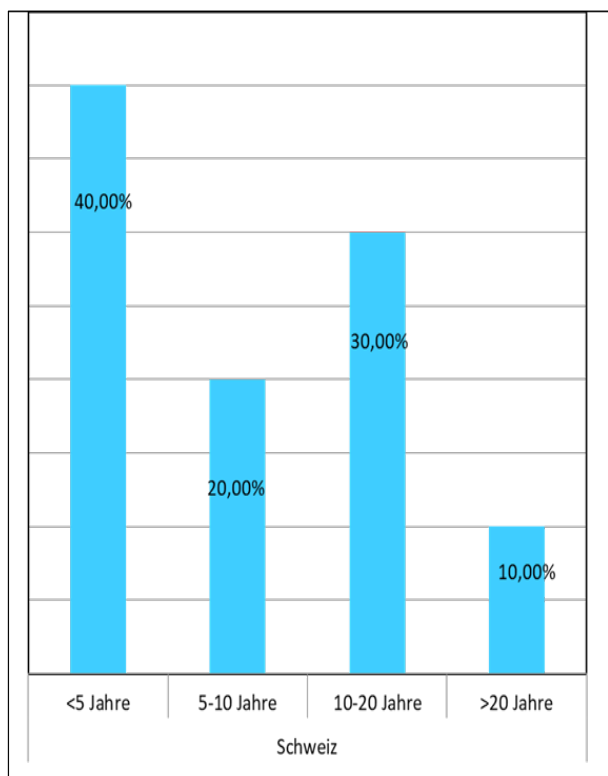
Nahezu 50 % der Anlagen in Deutschland sind älter als 10 Jahre; 15 % sind sogar älter als 20 Jahre. Dagegen sind nur 40 % der Anlagen in Österreich und der Schweiz älter als 10 Jahre. Der Anteil an Anlagen die jünger als fünf Jahre sind, ist in der Schweiz mit 40 % am höchsten, es folgen Österreich mit 33 % und Deutschland mit 24 % (Bilder 16 bis 18). Alle Soleerzeuger in den Autobahnmeistereien der ASFINAG sind jünger als fünf Jahre. Die Anlagen in den niederländischen Autobahnmeistereien wurden in den Jahren von 1987 bis 2014 hergestellt; die meisten Anlagen sind älter als 10 Jahre und drei Anlagen sind älter als 20 Jahre.



**Bild 16:** Alter der in Deutschland installierten Soleerzeuger



**Bild 17:** Alter der in Österreich installierten Soleerzeuger



**Bild 18:** Alter der in der Schweiz installierten Soleerzeuger

### 3.2.4 Standorte der Anlagen

Die Antworten zeigen, dass in Deutschland etwa 50 % der Soleerzeugung im Freien stattfindet. 28 % der Soleerzeuger befinden sich in der Salzlagerhalle, und 22 % sind in einem eigenen Gebäude oder in einem Anbau an die Salzlagerhalle untergebracht. In Österreich stehen nahezu 90 % der Soleerzeuger im Freien, während in der Schweiz die Soleerzeugung immer eingehaust oder in der Salzlagerhalle erfolgt. Bei den niederländischen Autobahnmeistereien befinden sich die Soleerzeuger überwiegend im Freien, nur teilweise in der Salzlagerhalle (Tabelle 7).

	Deutschland	Österreich	Schweiz	Niederlande
Im Freien	49,65	88,37	-	58,82
In der Salzlagerhalle	28,47	4,65	60	29,42
Eingehaust (eigenes Gebäude oder Anbau an Salzlagerhalle)	21,88	6,98	40	11,76

**Tab. 7:** Aufstellung der Soleerzeuger (Prozent der Antworten)



### 3.3 Details zur Salzqualität

#### 3.3.1 Verwendete Salze

In allen teilnehmenden Ländern wird Natriumchlorid zur Soleherstellung verwendet. Lediglich in Deutschland und Österreich wird ein geringer Soleanteil auch aus Calciumchlorid erzeugt: Deutschland 5 %, Österreich 2 % (Angaben in Prozent der Antworten).

#### 3.3.2 Salzqualität für die Soleherstellung

Während in Deutschland die Sole vor allem aus Steinsalz hergestellt wird, ist in Österreich und der Schweiz Siedesalz das Ausgangsmaterial (Tabelle 8). In den Niederlanden wird bevorzugt Siedesalz verwendet, neben Meersalz und Steinsalz.

	Deutschland	Österreich	Schweiz
Steinsalz	94,27	2,38	-
Siedesalz	5,73	97,62	100

Tab. 8: Salztyp für die Soleherstellung (Prozent der Antworten)

#### Kornklassen der Salze

Während die verwendeten Siedesalze alle der Kornklasse EF der DIN EN 16811-1 entsprechen, werden bei den Steinsalzen in Deutschland vor allem die Kornklassen F und M für die Soleerzeugung eingesetzt. Österreich verwendet für die Soleerzeugung neben dem Siedesalz auch Steinsalz der Kornklasse F (siehe Tabelle 9). In den Niederlanden sind ebenfalls die Kornklassen EF und F üblich.

	Deutschland	Österreich	Schweiz
Siedesalz			
- Klasse EF	100	100	100
Steinsalz			
- Klasse EF	0,4	-	-
- Klasse F	34,24	100	-
- Klasse M	57,59	-	-
- Unbekannt	7,78	-	-

Tab. 9: Kornklassen des Salzes für die Soleherstellung (Prozent der Antworten)

#### Salzgehalt der Steinsalze

Die Siedesalze weisen durchweg einen sehr hohen Salzgehalt von nahezu 100 M.-% auf. Steinsalze enthalten natürliche Nebenbestandteile und werden deshalb mit unterschiedlichen Salzgehalten geliefert. Den Antworten ist zu entnehmen, dass in Deutschland 44,5 % der Meistereien und Bauhöfe Steinsalze mit einem Salzgehalt von 98 – 99 M.-% beziehen. 18,4 % arbeiten mit Steinsalz mit einer Reinheit von größer als 99 M.-%, 14,5 % verwenden Steinsalz mit einer Reinheit von 97 bis 98 M.-%. 22 % der Umfrageteilnehmer kennen den Salzgehalt des Steinsalzes nicht. In Österreich liegt der Salzgehalt der verwendeten Steinsalze zwischen 98 und 99 M.-%. Das in den Niederlanden verwendete Steinsalz (Kornklasse EF oder F) hat einen Salzgehalt von 97 M.-% bis 98 M.-%.

#### Unlösliche Bestandteile der Steinsalze

Die unlöslichen Bestandteile der Steinsalze stellen einen Störfaktor bei der Soleherstellung dar. Da die Angabe des Gehaltes an unlöslichen Bestandteilen in der Produktinformation gemäß DIN EN 16811-1 nicht vorgesehen ist, ist 29,64 % der Umfrageteilnehmer dieser Gehalt auch nicht

bekannt. Er kann nur durch Zusatzinformationen der Lieferanten oder durch eine entsprechende Vorgabe bei Ausschreibungen in Erfahrung gebracht werden. 24,11 % der deutschen Teilnehmer geben einen Gehalt an unlöslichen Bestandteilen im Steinsalz von kleiner 0,1 M.-% an, 25,69 % geben einen Gehalt von 0,1 – 0,5 M.-% und 20,55 % einen Gehalt von größer 0,5 M.-% an. Das in den Niederlanden verwendete Steinsalz hat einen Gehalt an unlöslichen Bestandteilen von 1,0 - 1,5 M.-%.

### Sulfatgehalte der Steinsalze

In der DIN EN 16811-1 ist der Sulfatgehalt im Auftausalz auf max. 1,5 M.-% limitiert. Die Umfrageteilnehmer haben die Sulfatgehalte wie folgt angegeben: 44 % geben kleiner 0,5 M.-% Sulfat an, 50 % geben einen Sulfatgehalt zwischen 0,5 und 1,0 M.-% an. Lediglich 6 % teilten Sulfatgehalte größer 1,0 M.-% mit. Die Niederlande verwenden Steinsalz mit einem Sulfatgehalt von 0,2 – 0,4 M.-%.

### Ausschreibung der Salze

Es wurde die Frage gestellt, ob für die Soleherstellung eine höhere Qualität ausgeschrieben wird als für den Trockensalzanteil der herkömmlichen Feuchtsalzstreuung. Bei den Antworten fällt auf, dass bei den Autobahnmeistereien in Österreich und der Schweiz nicht differenziert wird, jedoch 43 % der deutschen Autobahnmeistereien, die geantwortet haben, eine höhere Salzqualität für die Soleerzeugung verwenden. Das Resultat für die Kommunen wird durch die Berliner Situation beeinflusst, da dort die Sole ausschließlich aus Calciumchlorid hergestellt wird (siehe Tabelle 10) und somit nicht repräsentativ ist.

Höhere Salzqualität	Deutschland		Österreich		Schweiz	
	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
AM	42,67	57,33	-	100	-	100
SM	21,29	78,71	83,39	16,6	-	-
Komm. Bauhof	93,33	6,67	-	-	-	100

Tab. 10: Unterschiedliche Salzqualität für die Soleherstellung (Prozent der Antworten)

Fünf der deutschen Bundesländer verwenden für die Soleerzeugung teilweise höhere Salzqualitäten als für den Trockensalzanteil beim Streuen, wobei diese Vorgehensweise besonders in Bayern, Brandenburg und Rheinland-Pfalz verbreitet ist (Tabelle 11).

Höhere Salzqualität für die Soleerzeugung	Ja	BW	BY	BB	NI	RP
		Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
		11,54	50,45	26,09	4,17	23,26
		88,46	49,55	73,91	95,83	76,74

Tab. 11: Bundesländer mit höherer Salzqualität für die Soleherstellung (Prozent der Antworten)

### 3.3.3 Gewinnungsstätten der Salze

Die Teilnehmer an der Umfrage haben für Deutschland ausschließlich deutsche Standorte als Bezugsquellen angegeben, während die österreichischen Soleerzeuger mit Salzen aus Deutschland und Österreich versorgt werden. Auch aufgrund des Salzmonopols in der Schweiz beziehen die Werkhöfe und Bauhöfe in der Schweiz das Siedesalz von den drei Schweizer Salinen (Tabelle 12). Die Autobahnmeistereien in den Niederlanden erhalten Siedesalz aus den Niederlanden, Steinsalz aus Deutschland und Meersalz aus Nordafrika.

	Deutschland	Österreich	Schweiz
Steinsalz	Bergwerke Bernburg (Sachsen-Anhalt), Borth (Nordrhein-Westfalen), Grasleben (Niedersachsen), Heilbronn (Baden-Württemberg)	Bergwerk Heilbronn (Baden-Württemberg)	-
Siedesalz	Saline Bad Reichenhall (Bayern)	Saline Ebensee (Oberösterreich), Saline Bad Reichenhall (Bayern)	Saline Riburg (Kanton Aargau), Saline Schweizerhalle (Kanton Baselland), Saline Bex (Kanton Waadt)

Tab. 12: Gewinnungsstätten der Salze

### 3.4 Details zum Soleerzeuger

#### 3.4.1 Befüllung der Soleerzeuger mit Salz

Die Zufuhr des Salzes erfolgt in den Soleerzeugern der Autobahnmeistereien überwiegend aus Silos, entweder über ein Fallrohr oder mit einer Förderschnecke. In den Straßenmeistereien wird vor allem die Befüllung mit dem Radlader aus der Salzlagerhalle praktiziert. Aufgrund der starken Verbreitung von Salzsilos werden bei den österreichischen Autobahnmeistereien die Soleerzeuger ausschließlich aus Silos befüllt. Ähnliches gilt für die Schweiz. Bei dieser Umfrage wurden Soleerzeuger mit integriertem Salzvorrat nicht betrachtet. Diese Soleerzeuger werden direkt aus Silo-LKWs mit Salz befüllt. Die Soleerzeuger der niederländischen Autobahnmeistereien werden mit dem Radlader befüllt (siehe Tabell 13).

	Fallrohr aus Silo	Schnecke aus Silo	Radlader aus Halle
Deutschland			
- AM	40,30	23,88	35,82
- SM	25,67	5,35 <sup>1</sup>	68,45
- Komm. Bauhof	-	100	-
Österreich			
- AM	50,00 (17 Anlagen)	50,00 (3 Anlagen)	-
- SM	62,50	27,50	10,00
Schweiz			
- AM	22,22	66,67	11,11
- Komm. Bauhof	-	100	-
Niederlande			
- AM	-	-	100

<sup>1</sup> zusätzlich 0,53 % mit Kettenförderer aus Silo

Tab. 13: Befüllung der Soleerzeuger mit Salz (Prozent der Antworten)

#### 3.4.2 Verwendetes Lösewasser

Bei den Antworten aus Deutschland fällt auf, dass die Autobahn- und Straßenmeistereien die Sole zu einem sehr hohen Anteil mit Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz herstellen. Dies ist auch in der Schweiz der Fall. Die niederländischen Autobahnmeistereien und die Bauhöfe der

Stadt Berlin nutzen ausschließlich Brunnenwasser. In Österreich wird Brunnenwasser und sonstiges Wasser sehr stark genutzt; sonstiges Wasser kann dabei Trinkwasser oder Brunnenwasser (Nutzwasser) sein (Tabelle 14).

	Deutschland			Österreich		Schweiz	
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof
Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz	88,16	84,97	13,33	-	40,00	100	100
Brunnenwasser	9,21	10,36	86,67	50	57,50	-	-
Niederschlagswasser	1,32	3,63	-	-	-	-	-
Sonstiges	1,32	1,04	-	50	2,50	-	-

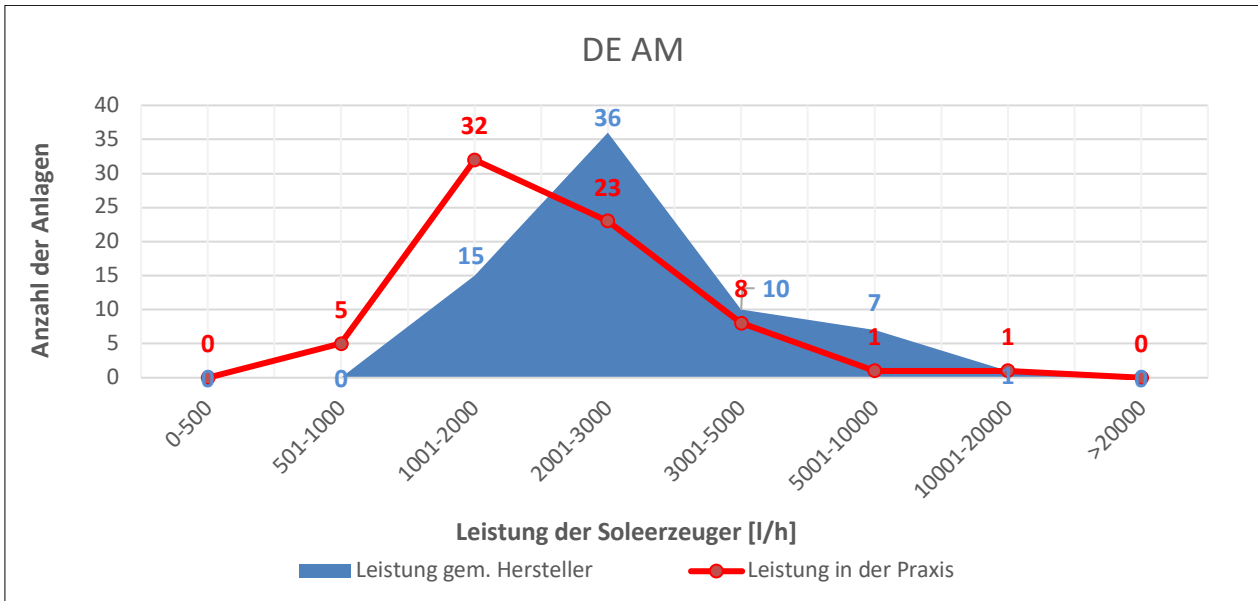
Tab. 14: Lösewasser für die Soleerzeugung (Prozent der Antworten)

### 3.4.3 Produktionsleistung

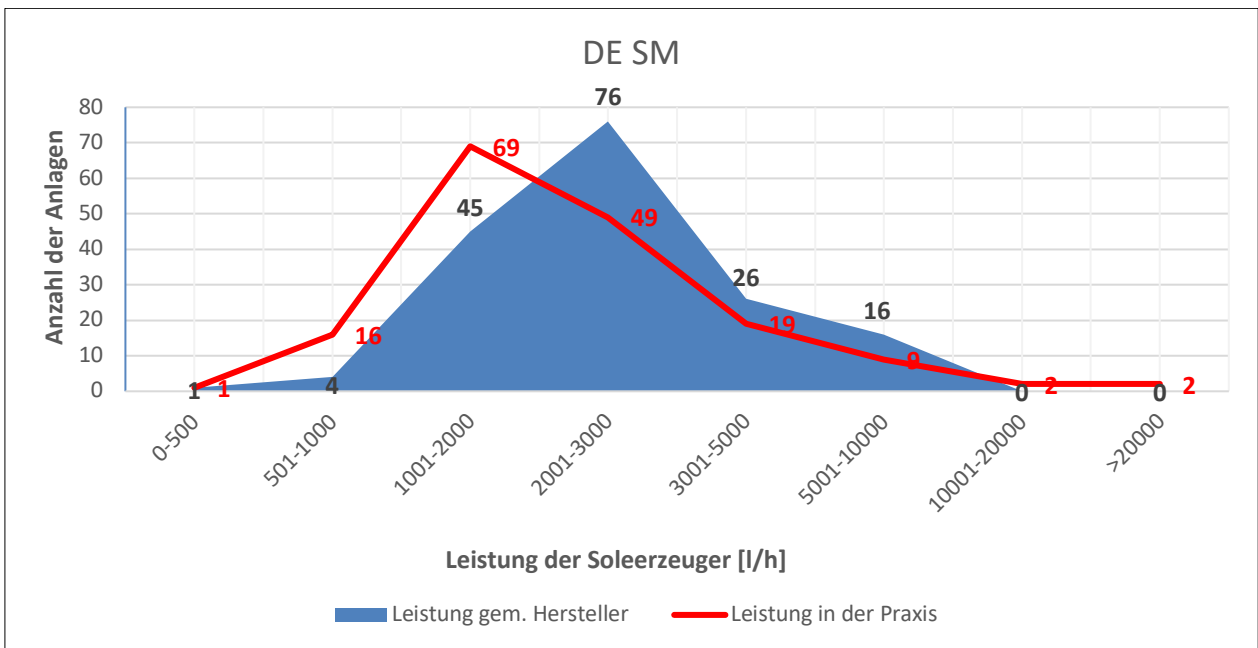
Die praktische Produktionsleistung der Soleerzeuger ist bei den in deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien installierten Anlagen häufig geringer als von den Herstellern angegeben (siehe Bilder 19 und 20). Die Anzahl der teilnehmenden kommunalen Bauhöfe war zu gering, um eine verlässliche Aussage treffen zu können (Bild 21). Für die 13 Berliner Bauhöfe wird eine hohe praktische Produktionsleistung bei der Herstellung von Calciumchlorid-Sole angegeben (Bild 21).

Die österreichischen Teilnehmer haben keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Herstellerangaben und den praktischen Produktionsleistungen berichtet. Die Soleerzeuger in den Autobahnmeistereien liefern zwischen 5.000 l/h und 20.000 l/h. Es wird vermutet, dass hier auch ein Zusammenhang mit der eingesetzten Salzqualität besteht. In Österreich wird vornehmlich Siedesalz für die Soleerzeugung verwendet (Bild 22). Aus der Schweiz kamen diese Informationen ebenfalls. Dort übertraf die praktische Produktionsleistung teilweise den vom Hersteller angegebenen Wert (Bild 23). Generell scheinen die Produktionsleistungen der Soleerzeuger in Österreich und der Schweiz höher zu sein als in Deutschland. Vom Rijkswaterstaat (RWS) aus den Niederlanden wurden nachstehende Leistungen der Soleerzeuger angegeben:

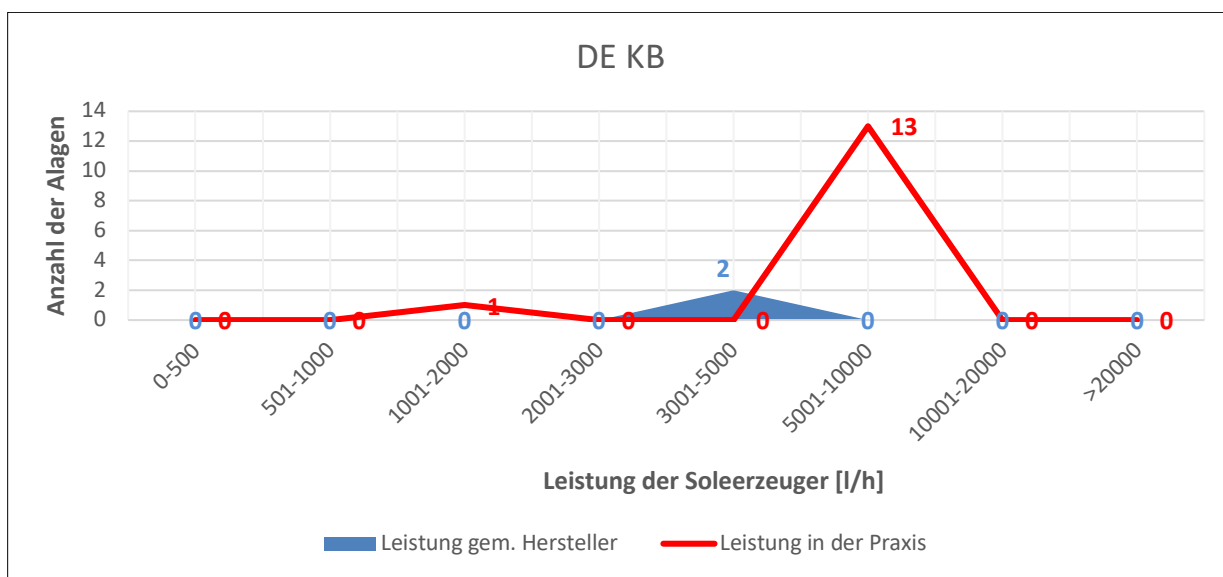
- Soleerzeuger Typ S 2000 1.750 l/h (Herstellerangabe 2.000 l/h)
- Soleerzeuger Typ S 3000 2.500 l/h (Herstellerangabe 3.000 l/h)
- Soleerzeuger Typ S 6000 5.000 l/h (Herstellerangabe 6.000 l/h).



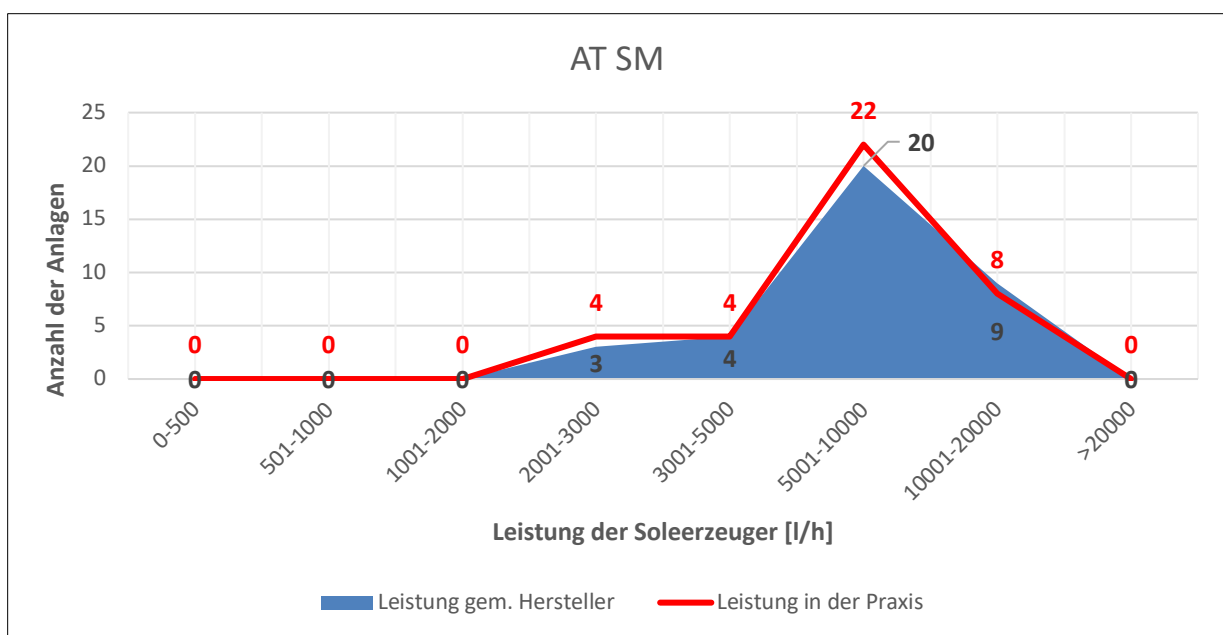
**Bild 19:** Leistung der Soleerzeuger in deutschen Autobahnmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis



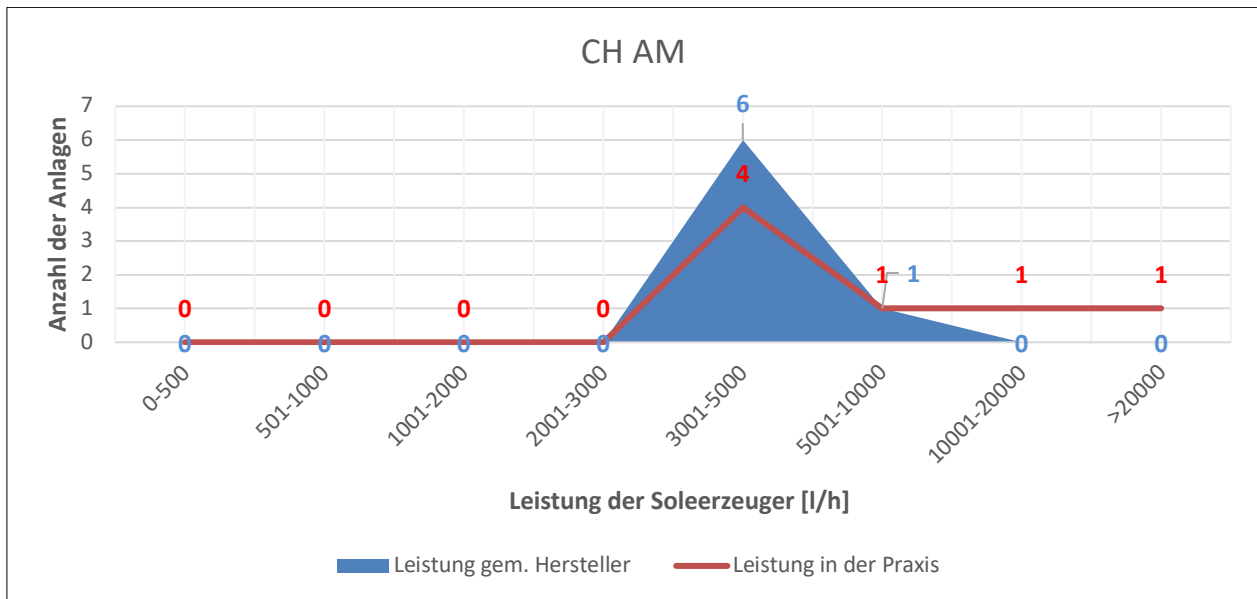
**Bild 20:** Leistung der Soleerzeuger in deutschen Straßenmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis



**Bild 21:** Leistung der Soleerzeuger in deutschen kommunalen Bauhöfen (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis



**Bild 22:** Leistung der Soleerzeuger in österreichischen Straßenmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis



**Bild 23:** Leistung der Soleerzeuger in schweizerischen Autobahnmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis

Von den Herstellern der Soleerzeuger gibt es in allen Ländern für die Anwender überwiegend wenig Angaben unter welchen Bedingungen eine optimale Produktionsleistung erzielt wird. Häufig wurden von den Umfrageteilnehmern genannt:

Ausreichende Wasserversorgung, hohe Salzqualität ohne unlösliche Bestandteile einsetzen (Siedesalz), richtige Körnung (Steinsalz Körnung M), regelmäßiges Abschlämmen und Wartung der Anlage.

#### 3.4.4 Solelagervolumen

Das in den Meistereien und Bauhöfen zur Verfügung stehende Solelagervolumen ist aus Tabelle 15 ersichtlich. Die Autobahnmeistereien verfügen überwiegend über Tankvolumina größer als 50.000 Liter je Meisterei. Bei den Straßenmeistereien ist die Tankkapazität meistens geringer. RWS gibt für die niederländischen Autobahnmeistereien ein Lagervolumen von 10.000 Liter bis 105.000 Liter je Meisterei an.

Solelagervolumen (Liter)	Deutschland			Österreich		Schweiz
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM
>200.000	11	0	2	-	-	1
100.001 – 200.000	18	5	9	-	4	2
50.001 – 100.000	35	43	1	2 (ASFI- NAG)	10	3
20.001 – 50.000	3	103	3	-	16	1
10.001 – 20.000	-	26	-	-	11	1
5.001 – 10.000	-	15	-	-	-	-
<5.000	-	1	-	-	-	-

Tab. 15: Solelagervolumen (Anzahl der Antworten)

### 3.4.5 Konzentration der hergestellten Sole

Die Konzentration der hergestellten gebrauchsfertigen Sole liegt in allen teilnehmenden Ländern vor allem im Bereich 20 - 23 M.-% (Tabelle 16).

Solekonzentration (M.-%)	Deutschland			Österreich		Schweiz	Nieder- lande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	AM
>23	3	6	-	-	2	-	-
21 - 23	47	117	1	-	34	7	-
20 - 21	16	42	14	2 (ASFINAG)	-	1	17
18 - 20	8	28	-	-	5	-	-

Tab. 16: Konzentration der hergestellten Sole (Anzahl der Antworten)

### 3.4.6 Prüfung der Solekonzentration

In nahezu allen Winterdienstbetrieben, die Sole herstellen, wird die Konzentration der gebrauchsfertigen Sole gemessen.

Die Prüfverfahren können dem Anhang B entnommen werden. Es kommen dabei manuelle Methoden und selbsttätige Messungen durch die Anlage selbst zur Anwendung.



## 3.5 Löserückstände

### 3.5.1 Menge an Löserückständen

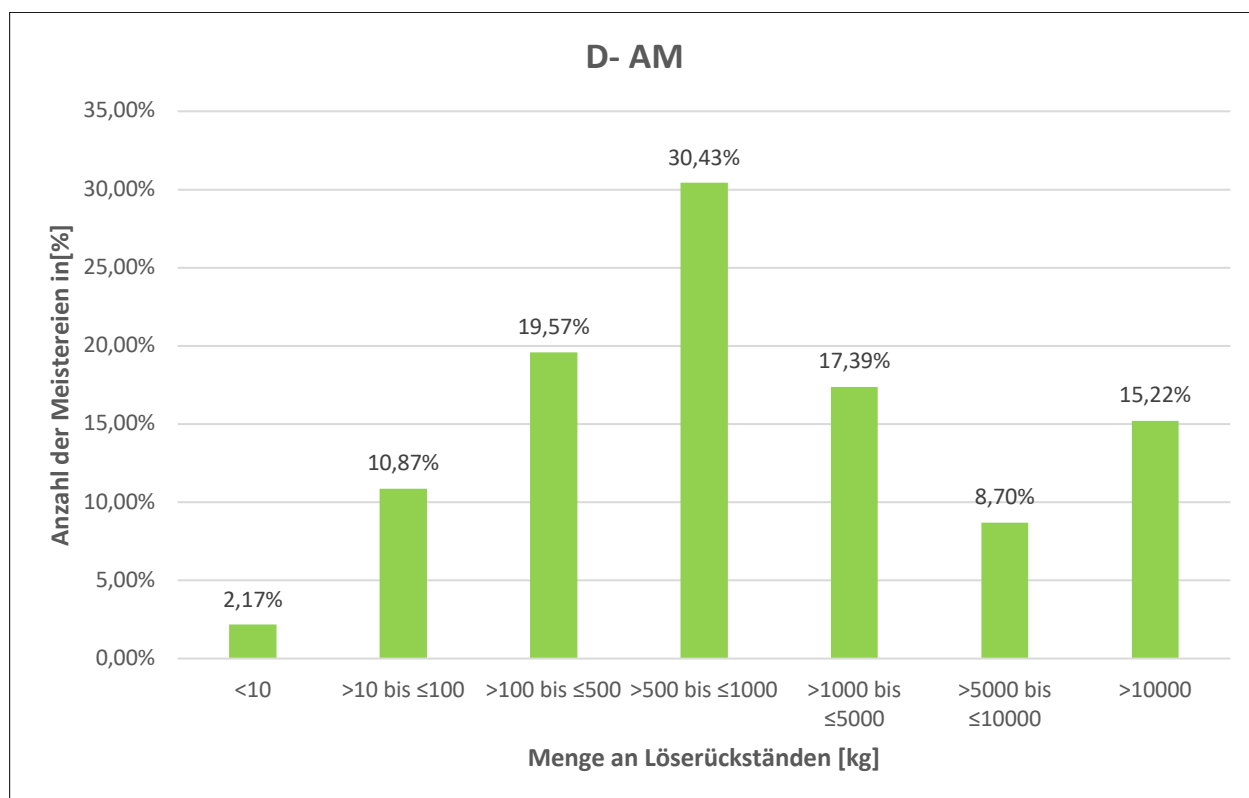
Die aus Deutschland erhaltenen Antworten zeigen, dass in mindestens 90 % der Salzlöseanlagen bei der Soleherstellung Löserückstände anfallen. Dieses ist plausibel, da in Deutschland vorwiegend Steinsalz mit natürlichen Nebenbestandteilen zum Einsatz kommt. Dagegen zeigt sich in Österreich und der Schweiz, wo vornehmlich Siedesalz verwendet wird, ein anderes Bild: Es fallen entweder keine oder nur in wenigen Fällen Löserückstände an. In den niederländischen Autobahnmeistereien fallen Löserückstände an. Allerdings wird für die Wintersaison 2018/19 nur eine geringe Menge von 100 – 190 kg/AM angegeben (siehe auch Tabellen 17 und 18).

Löserückstände	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof <sup>1</sup>	AM	SM	AM	Komm. Bauhof <sup>1</sup>	AM
Ja	89,33	90,58	100	-	2,5	11,11	-	100
Nein	10,67	9,42	-	100	97,5	88,89	100	-

<sup>1</sup> Nur eine Antwort.

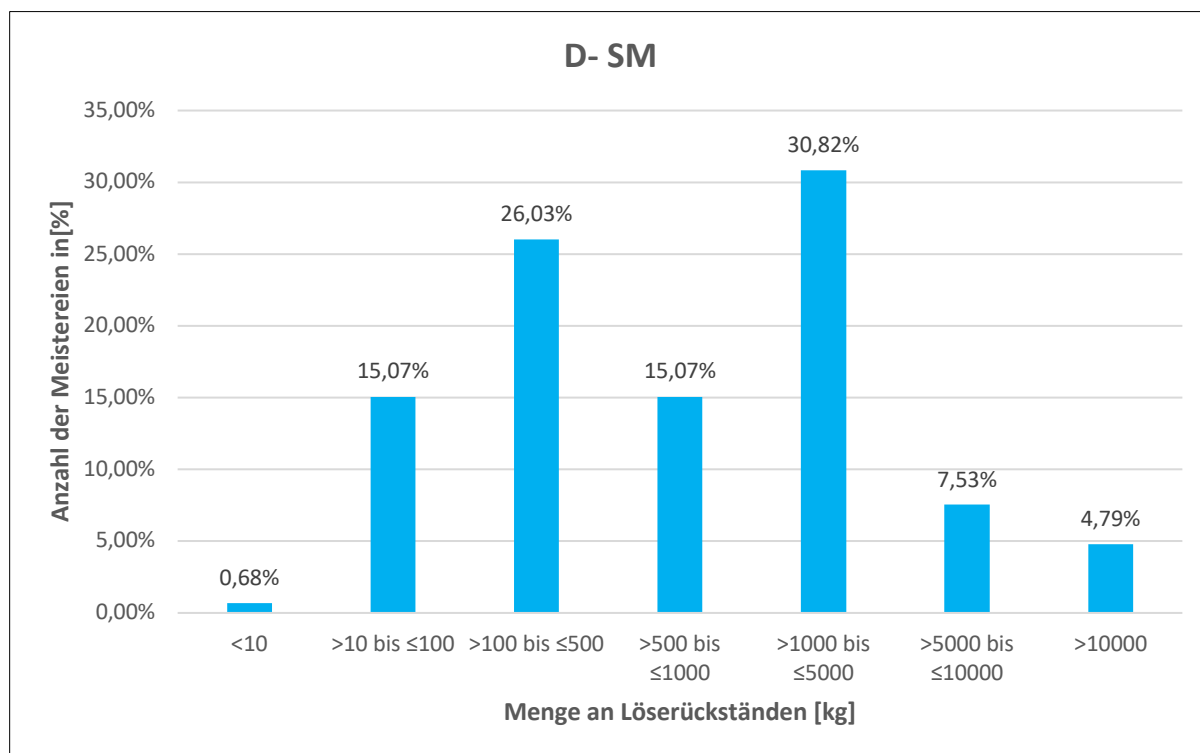
**Tab. 17:** Anfall von Löserückständen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten)

Die in der Wintersaison 2018/19 bei der Soleherstellung angefallenen Mengen in den deutschen Autobahnmeistereien können dem Bild 24 entnommen werden. Es wird vermutet, dass vor allem bei den hohen Mengen auch ein großer Anteil an Salz im Löserückstand mit enthalten ist.



**Bild 24:** In der Wintersaison 2018/19 bei der Soleherstellung in deutschen Autobahnmeistereien angefallenen Mengen von Löserückständen (Angaben in % der Antworten)

Für die deutschen Straßenmeistereien zeigt sich ein ähnliches Bild (siehe Bild 25).



**Bild 25:** In der Wintersaison 2018/19 bei der Soleherstellung in deutschen Straßenmeistereien angefallenen Mengen von Löserückständen (Angaben in % der Antworten)

### 3.5.2 Entfernung der Löserückstände aus dem Soleerzeuger

Die Entfernung der Löserückstände aus Soleerzeugern während des laufenden Betriebes kann manuell, automatisch oder in Kombination der beiden Verfahren erfolgen. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass die manuelle Abschlämmung das meistangewandte Verfahren ist (Tabelle 18).

Abschlämmverfahren	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof <sup>1</sup>	AM	SM	AM	Komm. Bauhof <sup>1</sup>	AM
Manuell	87,50	93,44	50	100	100	44,44	100	100
Automatisch	11,11	4,92	50	-	-	55,56	-	-
Manuell und automatisch	1,39	1,64		-	-	-	-	-

<sup>1</sup> Nur eine Antwort.

**Tab. 18:** Entfernung der Löserückstände aus den Soleerzeugern (Angabe in % der Antworten)

Eine manuelle Komplettreinigung der Soleerzeuger ist in vielen Fällen erst nach dem Winter erforderlich (Tabelle 19). Die Detailantworten sind sehr breit gefächert, beispielsweise:

- zweimal pro Winterperiode,
- nach 600.000 l Soleproduktion,
- früher bei Verwendung von Steinsalz zweimal wöchentlich.

Hier ist ein Zusammenhang mit der Salzqualität, der produzierten Solemenge und dem Abschlämmrhythmus anzunehmen.

Zeitpunkt	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Nach dem Winter (regelmäßig)	47,95	43,62	86,67	100	22,68	44,44	100	100
Nach dem Winter und nach Problemen	52,05	56,38	13,33	-	87,32	55,56	-	-

**Tab. 19:** Komplettreinigung der Soleerzeuger (Angaben in % der Antworten)

### 3.5.3 Entsorgung der Löserückstände

Für die Entsorgung der bei der Soleerzeugung anfallenden Löserückstände werden im Wesentlichen zwei Wege benutzt: Verbringung in die Salzlagerhalle und Zuschnitt zum Auftausalz oder Entsorgung über eine Deponie (Tabelle 20). Weitere Antworten mit sonstigen Entsorgungswegen sind im Anhang C enthalten.

Entsorgungsweg	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Zuschnitt zum Auftausalz in der Lagerhalle	52,70	63,83	-	-	7,41	33,33	100	100
Deponie	43,24	33,51	13,33	-	51,85	55,56	-	-
Sonstiges	4,05	2,66	86,67	100	40,74	11,11	-	-

**Tab. 20:** Entsorgung der Rückstände aus der Soleerzeugung (Angaben in % der Antworten)

Sonstige Entsorgungswege sind u.a. die Verwertung über die Recyclinganlage für Kehrgut, die Müllverbrennung, die Kanalisation

### 3.5.4 Reinigung der Sole

Es wurde nach der Entfernung von Löserückständen (Schwebstoffen) aus der produzierten Sole gefragt. Weit überwiegend erfolgt keine Reinigung der Sole (Tabelle 21). Es fällt auf, dass hier kein Zusammenhang mit der Salzqualität zu bestehen scheint. In Österreich ist wohl aufgrund des Siedesalzeinsatzes keine Solereinigung erforderlich. Auch in Deutschland, wo Steinsalz das übliche Ausgangsmaterial für die Soleerzeugung ist, wird überwiegend keine Solereinigung durchgeführt. Hingegen wird in der Schweiz trotz Siedesalzverwendung teilweise eine Solereinigung durchgeführt. Die in Berlin produzierte Calciumchlorid-Sole bedarf keiner Reinigung.

Solereinigung	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	17,81	13,54	13,33	-	2,63	44,44	-	-
Nein	82,19	86,46	82,19	100	97,37	55,56	100	100

**Tab. 21:** Reinigung der Sole (Angaben in % der Antworten)

Die für die Solereinigung angewandten Verfahren können Tabelle 22 entnommen werden. Meist erfolgt die Solereinigung durch Filtration, in Deutschland auch durch Sedimentation der Schwebstoffe im Solelagertank.

Sole- reinigungs- verfahren	Deutschland			Österreich		Schweiz		Nieder- lande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Filter	27,27	59,26	50,00	-	100	100	-	-
Hydrozyklon	18,18	3,70	50,00	-	-	-	-	-
Sedimentation im Solelager- tank	45,45	33,33	-	-	-	-	-	-
Sonstiges	9,09	3,70	-	-	-	-	-	-

Tab. 22: Angewandte Solereinigungsverfahren (Angaben in % der Antworten)

### 3.6 Personalaufwand und -schulung

Nur in wenigen Fällen gibt es keine spezielle Person, die sich um die Soleerzeugung kümmert, in Deutschland bei den AM'en 4 % und SM'en 7,14 %, in Österreich bei den SM'en 7,32 % und in der Schweiz bei den AM'en 11,11 %.

Der zeitliche Aufwand des Eigenpersonals für die Soleerzeugung ist in Deutschland höher als in den Ländern mit hohem Anteil an Siedesalz als Ausgangssalz. Der Aufwand für die Soleumwälzung im Sommer ist auch bei Fremdbezug von Sole zu berücksichtigen. Eine Sondersituation besteht in Berlin, dort erfordert die Calciumchlorid-Soleerzeugung die ständige Anwesenheit von Personal während der Produktion (Tabelle 23).

Personen- stunden pro Tag	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
<0,5	13	46	-	2	10	4	k.A.	6
0,5	18	50	-	-	9	1		
>0,5-1	25	42	1	-	6	4		
>1-2	12 <sup>1</sup>	20	-	-	6 <sup>4</sup>	-		
>2	4 <sup>2</sup>	10	13 <sup>3</sup>	-	4 <sup>5</sup>	-		

<sup>1</sup> AM 1 (BY): im Winter pro Produktionstag 1-2 h; im Sommer zusätzlich 0,5 h pro Woche für das Soleumwälzen.  
<sup>2</sup> AM 2 (BY): im Winter pro Produktionstag 2 h; im Sommer zusätzlich 2 h pro Monat für das Soleumwälzen.  
<sup>3</sup> Kommunale Bauhöfe Berlin: ganztägig Steuerung und Bedienung der Anlage durch einen Mitarbeiter während der Soleproduktion.  
<sup>4</sup> SM 1 (Oberösterreich) gibt an, dass es der Personalaufwand einschließlich Soleverladung für andere Standorte ist.  
<sup>5</sup> SM 2 (Oberösterreich) gibt an, dass bei Steinsalz mit häufigem Abschlämmen ein Personalaufwand von 2-3 h erforderlich ist, bei Siedesalz werden nur 30 Minuten täglich benötigt.  
<sup>6</sup> Erledigt Streuauftragnehmer.

Tab. 23: Durchschnittlicher Aufwand des Eigenpersonals in Personenstunden pro Tag (ohne Störungen, reiner Inspektions- und Reinigungsaufwand (Anzahl der Antworten))

Die Wartung und die Reparaturen werden von Eigenpersonal, vom Hersteller oder von sonstigen Fremdunternehmern durchgeführt. Überwiegend erledigt Eigenpersonal diese Arbeiten, ausgenommen bei den kommunalen Bauhöfen in Berlin, dort werden Fremdunternehmer eingesetzt (Tabelle 24). Es ist häufige Praxis, dass Wartungsverträge abgeschlossen werden (Tabelle 25).

Wartung und Reparaturen	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Eigenpersonal	58,33	73,48	6,67	100	97,22	50,00	100	-
Anlagenhersteller	23,61	16,02	6,67	-	-	50,00	-	100
Sonstiger Fremdunternehmer	18,06	10,50	86,67	-	2,78	-	-	-

<sup>1</sup> k.A. ist keine Antwort.

**Tab. 24:** Durchführung von Wartungen und Reparaturen an Solelöseanlagen (Angaben in % der Antworten)

Wartungsvertrag	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	76,00	41,62	100	50 <sup>1</sup>	2,56	55,56	-	100
Nein	24,00	58,38	-	50 <sup>2</sup>	97,44	44,44	100	-

<sup>1</sup> 17 Meistereien (Upflow-Anlagen)  
<sup>2</sup> 3 Meistereien (Chargenanlagen)

**Tab. 25:** Wartungsverträge für Salzlöseanlagen (Angaben in % der Antworten)

Die Umfrage versuchte auch in Erfahrung zu bringen, ob das mit der Soleherstellung beauftragte Eigenpersonal gesondert geschult wird. Es zeigte sich, dass ein großer Teil des Personals nicht geschult wird. Auch erfolgt die Schulung oftmals nicht wiederkehrend (Tabellen 26 und 27).

Schulung	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	52,00	48,19	100	100	43,59	88,89	-	-
Nein	48,00	51,81	-	-	56,41	11,11	100	-

**Tab. 26:** Schulung des Eigenpersonals (Angaben in % der Antworten)

Wiederkehrende Schulung	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	45,95	51,65	6,67	-	62,50	75,00	k.A.	-
Nein	54,05	48,35	93,33	100	37,50	25,00	k.A.	-

**Tab. 27:** Wiederkehrende Schulungen des Eigenpersonals (Angaben in % der Antworten)

### 3.7 Störungen bei der Soleherstellung

Von den deutschen Umfrageteilnehmern wurde mehrheitlich angegeben, dass bei der Soleherstellung technische Störungen auftreten. Aus Österreich und der Schweiz wurde eine deutlich geringere Störungshäufigkeit berichtet. Es ist zu vermuten, dass hier die verminderte Störunganfälligkeit bei der Soleherstellung auf die Salzqualität (Siedesalz) und das Löseverfahren (Chargenbetrieb) zurückzuführen sind. In allen niederländischen Salzlöseanlagen treten Störungen bei der Soleherstellung auf (Tabelle 28).

Störungen	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	66,67	57,73	100	50 <sup>1</sup>	25	11,11	-	100
Nein	33,33	42,27	-	50 <sup>2</sup>	75	88,89	100	-

<sup>1</sup> 17 Meistereien (Befüllung Soleerzeuger mit Fallrohr aus dem Silo)  
<sup>2</sup> 3 Meistereien (Befüllung Soleerzeuger mit Schnecke aus Silo)

**Tab. 28:** Technische Störungen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten)

Die mitgeteilten einzelnen technischen Störungen, deren Häufigkeit und Dauer der Behebung können für die deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien den Anhängen D.1 und D.2 entnommen werden. Aus der Vielzahl an Störungen ragen besonders heraus:

- Wasserversorgung (Einfrieren)
- Salzförderung in den Soleerzeuger (Verstopfung)
- Verschlammung des Soleerzeugers
- Falsche Solekonzentration
- Filter/Siebe setzen sich zu
- Stillstände bei tiefen Temperaturen (Gefrieren)
- Pumpenausfall
- Elektronik/MSR-Störungen
- Undichtigkeiten

In den Berliner Bauhöfen kommt es in Abhängigkeit von der Betriebsdauer zur Verklumpung und Reduzierung der Öffnung am Einfülltrichter des Calciumchlorids zum Mischbehälter. Diese Störungen können jedoch durch das anwesende Personal in kürzester Zeit durch Abklopfen beseitigt werden.

Die von den österreichischen Straßenmeistereien mitgeteilten Störungen sind in Anhang D.3 enthalten. Es wurden Probleme mit der Elektronik, der Wasserversorgung und dem Salz (Zuförderung aus dem Salzsilo und Fremdstoffe im Silo-Lkw) berichtet.

Bei den österreichischen Autobahnmeistereien gab es lediglich Probleme bei der Salzzufuhr über Fallrohre aus den Salzsilos. Hier traten Verstopfungen auf. Bei den schweizerischen Autobahnmeistereien war nur Stromausfall bei einer Anlage ein Problem.

Bei den Autobahnmeistereien in den Niederlanden kommt es zu Störungen, wenn Steinsalz eingesetzt wird und die Brunnenwasserpumpen mit zu geringem Druck fördern.

Die Ursache für die technischen Störungen wird von den Anwendern vor allem bei der baulichen Konstruktion, der Salzqualität, bei den Stillständen bei tiefen Temperaturen, bei der Wasserversorgung und bei der Stromversorgung einschließlich Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) gesehen (siehe Tabelle 29). Beim Salz wird die Qualität bemängelt, die ursächlich für die Verstopfung der Salzzuführung (Fallrohr, Schnecke) und für Probleme im Lösetrichter (hoher Anfall an Löserückständen, Abweichungen der Solekonzentration) ist.

Ursache	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	KB	AM	SM	AM	KB	AM
Bauliche Konstruktion	36	71	-	-	4	-	-	-
Salz (Qualität und Zuförderung)	25	69	-	1 (ASFI-NAG)	2	-	-	17
Stillstand bei tiefen Temperaturen	12	37	-	-	3	-	1	-
Wasser (Menge, Druck, Frostschutz)	3	12	-	-	3	-	-	17
Stromversorgung und MSR/Elektronik	9	4	1	-	1	1	-	-

**Tab. 29:** Ursachen der technischen Störungen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten)

Die Dauer der Behebung von Störungen bei der Soleherzeugung in den deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien ist in Abhängigkeit von der Art und Häufigkeit der Störungen sehr unterschiedlich. Die Dauer erstreckt sich von wenigen Minuten bis zu mehreren Tagen; während dieser Zeit kann keine Sole produziert werden. Bei der Calciumchlorid-Soleproduktion in Berlin und bei den Soleproduktionen aus Siedesalz bei den österreichischen und schweizerischen Autobahnmeistereien ist der Personalaufwand für die Störungsbeseitigung sehr gering.

Die deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien gaben an, dass Störungen der Soleproduktion in 20 % bzw. 26,6 % der Anlagen erhebliche Auswirkungen auf den Winterdienst hatten. Bei allen Umfrageteilnehmern war es trotz Störung der Soleproduktion in keinem Fall erforderlich, dass der Winterdienst von benachbarten Meistereien übernommen werden musste. Bei fehlender eigener



Sole wurde der Winterdienst ohne Sole durchgeführt, d.h. Trockenstreuung statt Feuchtsalzanwendung bzw. FS100-Streuung, Sole von benachbarten Betrieben organisiert oder gebrauchsfertige Sole fremdbezogen.

### 3.8 Sonstiges

Weit überwiegend sind die Winterdienstbetriebe, die an der Umfrage teilgenommen haben, mit ihrer Salzlöseanlage zufrieden (Tabelle 30).

	Deutschland			Österreich		Schweiz		Niederlande
	AM	SM	Komm. Bauhof	AM	SM	AM	Komm. Bauhof	AM
Ja	86,49	87,87	100	100	82,50	100	100	k.A.
Nein	13,51	12,13	-	-	17,50	-	-	k.A.

**Tab. 30:** Grundsätzliche Zufriedenheit mit der Salzlöseanlage (Angaben in % der Antworten)

Es wurde auch danach gefragt, was nach Meinung der Betreiber unbedingt verbessert werden muss, um eine zufriedenstellende Anlage zu haben. Die aus Deutschland und Österreich erhaltenen Antworten sind im Anhang E enthalten. Verbesserungspotenziale werden vor allem in Folgendem gesehen:

- Salzqualität
- Silo-Lkw-Sauberkeit
- Aufstellung der Löseanlagen
- Salzzuführung zur Löseanlage
- Betriebsweise (Vollautomatik)
- Fernüberwachung
- Löseleistung
- Betrieb bei tiefen Temperaturen
- Solereinheit
- Solelagervolumen
- Reinigung der Löseanlage
- Pumpen
- Rohrleitungen
- Wartung
- Schulung

## 4 Praktische Untersuchungen bei Tausalzlöseanlagen

### 4.1 Wintertests

Die Zielsetzungen von praktischen Tests im Winter 2019/20 an realen Tausalzlöseanlagen von Autobahn- und Straßenmeistereien waren vor allem darauf gerichtet, die Produktionsleistungen, die Solekonzentrationen, die Solereinheit und den Anfall von Löserückständen zu ermitteln.

Insbesondere sollte auch der Zusammenhang dieser Parameter mit dem Löseverfahren und der verwendeten Salzqualität festgestellt werden. Die Umfrage hat bestätigt, dass Steinsalze und Siedesalz in den beteiligten Ländern zur Soleerzeugung genutzt werden, deshalb wurden die Tests mit diesen Salzarten durchgeführt.

Die Umfrage hat gezeigt, dass die tatsächlichen Produktionsleistungen teilweise stark von den angebotenen bzw. ausgeschriebenene Produktionsleistungen abweichen. Der Normentwurf prEN 17443 lässt nur eine Abweichung von minus 5 % zu. Die Untersuchungen sollten zeigen, wie die Abweichungen in der Praxis sind.

Für die Ermittlung der Solekonzentration sollten sowohl vorhandene eingebaute Messgeräte wie auch manuelle Messgeräte herangezogen werden, und deren Ergebnisse auch mit Bestimmungen im Labor verglichen werden. Im Hinblick auf die Anforderungen der prEN 17443 sollte festgestellt werden, ob die in der prEN 17443 festgelegte maximal zulässige Toleranz bei der geforderten Solekonzentration von +/- 1 M.-% in der Praxis einhaltbar ist. Gleiches gilt für die geforderte Solereinheit von max. 0,03 M.-% wasserunlöslicher Bestandteile.

Durch Messungen an den Anlagen sollten auch die Temperaturverhältnisse und deren eventueller Einfluss auf den Lösebetrieb und die Produktionsleistung festgestellt werden.

Weitere Aspekte bei den Untersuchungen waren der Einfluss von Wasser und Wind auf den Lösebetrieb, die Möglichkeiten der Probenahme von Sole, der Personalaufwand und die Arbeitssicherheit.

#### 4.1.1 Auswahl der Tausalzlöseanlagen

Für die praktischen Untersuchungen wurden insgesamt sechs Tausalzlöseanlagen in Bayern, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg ausgewählt. Die ausgewählten Anlagen werden in Tabelle 31 beschrieben.

Nachdem die Online-Umfrage gezeigt hat, dass die beiden Löseverfahren „Upflow“ und „Zirkulation“ am verbreitetsten sind, wurden diese Verfahren vorgegeben. Auf praktische Untersuchungen mit dem „Downflow“-Verfahren wurde verzichtet. Dieses Verfahren findet aufgrund technischer Schwierigkeiten im praktischen Betrieb nur sehr selten Anwendung. Insbesondere können durch die Verstopfung der am Soleabzug aus der Löseanlage erforderlichen Kiesschichten schwere Betriebsstörungen auftreten.

Bei der Auswahl wurden auch unterschiedliche Aufstellungen der Löseanlagen und der Zuführung der Salze berücksichtigt. Die Aufstellungssituation der ausgewählten Löseanlagen zeigen die Bilder 26 bis 31. Unter den ausgewählten Anlagen befanden sich sowohl Anlagen, die im Freien aufgestellt waren, wie auch eine Anlage in einem Gebäude.

Meisterei	AM Kaisersesch (RLP)	AM Erlangen (BY)	AM Kist (BY)	SM Dillingen (BY)	SM Neumarkt (BY)	SM Bad Rappenau (BW)
Löseverfahren	Upflow	Upflow	Upflow	Upflow	Zirkulation	Upflow
Betriebsweise	Kontinuierl.	Kontinuierl.	Kontinuierl.	Kontinuierl.	Charge	Kontinuierl.
Bauweise	Oben offen	Ge- schlossen	Ge- schlossen (Salzvorrat integriert)	Ge- schlossen (Salzvorrat integriert)	Oben offen (Volumen 10 m <sup>3</sup> )	Ge- schlossen
Hersteller (Typ)	Thome-Bor- mann	NBS-Tec	Reich (S1-60 m <sup>3</sup> )	Reich (S1-60 m <sup>3</sup> )	Agristrade (Speed- brine)	Blumer- Lehmann (Quanto)
Alter (Jahre)	5	1	>10	<1	5	<1
Standort	Im Hallen- anbau	Im Freien	Im Freien	Unter Hallen- vordach	Im Freien	Unter Hallen- vordach
Produktions- leistung (l/h) lt. Hersteller/Aus- schreibung	10.000	1.500 – 3.000	1.500	2.500	10.000	2.500
Befüllung mit Salz	Fallrohr vom unter- fahrbaren Holz-Silo (400 m <sup>3</sup> )	Fallrohr vom GFK- Silo (100 t)	Einblasen aus Silo- LKW	Einblasen aus Silo- LKW	Mit Radlader aus der Halle	Hydraulisch vom unter- fahrbaren Holz-Silo (200 m <sup>3</sup> )
Standardsalz Kornklasse	Steinsalz F	Steinsalz M	Steinsalz M	Steinsalz M	Siedesalz EF	Steinsalz M
Lösewasser	Trinkwasser	Trinkwasser	Trinkwasser	Trinkwasser	Trinkwasser	Trinkwasser
Automatische Sole- Konzentrations- messung	Biege- schwinger mit Tempe- ratursensor	Schwing- gabel mit Temperatur- sensor	Ohne (ma- nuell mit Spindel)	Differenz- druckmes- sung/ Spindel	Ohne (manuell mit Spindel und Refrakto- meter)	Biege- schwinger mit Tempe- ratursensor
Entfernung der Löserückstände	Hydrozyklon + manuell über Ab- schlamm- rohr	Zeitlich ge- taktet über Ab- schlamm- schnecke	Manuell über Ab- schlamm- rohr	Manuell über Ab- schlamm- rohr	Manuell über Boden- ablass	Manuell über Ab- schlamm- rohr

Tab. 31: Für die Untersuchungen ausgewählte Tausalzlöseanlagen



**Bild 26:** Tausalzlöseanlage in der AM Kaisersesch



**Bild 27:** Tausalzlöseanlage in der AM Erlangen



**Bild 28:** Tausalzlöseanlage in der AM Kist





**Bild 29:** Tausalzlöseanlage in der SM Dillingen



**Bild 30:** Tausalzlöseanlage in der SM Neumarkt



**Bild 31:** Tausalzlöseanlage in der SM Bad Rappenu

Die untersuchten Tausalzlöseanlagen waren teilweise mit eingebauten Messgeräten zur automatischen und kontinuierlichen Bestimmung der Solekonzentration ausgestattet. Teilweise erfolgte die Anlageneinstellung aber manuell mit Hilfe von Solespindeln und Handrefraktometern.

Bei den eingebauten Messgeräten kamen Verfahren zur Anwendung, die über die Messung der Dichte oder der Leitfähigkeit der Sole einen Rückschluss auf die Konzentration ermöglichen. Eingebaut waren Schwinger-Dichtemessgeräte (Biegeschwinger, Schwinggabel) und Drucksensoren. Da die Soledichte stark von der Temperatur abhängt, ist es erforderlich, dass die Messgeräte selbstkalibrierend und temperaturkompensiert arbeiten. Die präzise Messung der Soletemperatur erfolgt gleichzeitig zur Konzentrationsmessung kontinuierlich mit einem Widerstandstemperatursensor (z.B. Pt100).

Schwinger-Dichtemessgeräte messen über einen Bypass unter Prozessbedingungen und in Echtzeit. Die Eigenfrequenz eines mechanischen Biegeschwingers ist u. a. von der schwingenden Masse abhängig. Wird ein solcher Schwinger als U-Rohr ausgeführt, dessen offene Enden fest eingespannt sind, so ist seine Masse - und damit seine Eigenfrequenz - von der Dichte der eingefüllten Sole abhängig, da das Innenvolumen des schwingenden Teils des U-Rohrs konstant ist. Schwinger-Dichtemessgeräte messen also primär eine Masse.

Beim Schwinggabel-Sensor schwingt eine Gabel in Eigenresonanz. Bei Bedeckung mit Sole bzw. Dichteänderung der Sole verändert sich die Schwingungsfrequenz. Die Frequenz ist ein Maß für die Dichte des Mediums. Über einen Dichterechner wird aus den Eingangsgrößen Frequenz, Temperatur und Druck die Dichte errechnet.

Bei der druckbasierten Konzentrationsmessung wird aus dem gemessenen hydrostatischen Druck einer definierten Solesäule die Dichte berechnet und daraus die Solekonzentration abgeleitet. Bei der Dichtemessung von Sole mit Differenzdruck werden zwei Druckaufnehmer in einem

festen Abstand montiert, die den jeweiligen Druck messen. Aus dem Differenzdruck wird vom Differenzdruckmessumformer die Dichte berechnet.

#### 4.1.2 Salze für die Soleherstellung

Für die Untersuchungen mit den Tausalzlöseanlagen wurden Tausalze aus verschiedenen deutschen Salzbergwerken verwendet. Es handelte sich um Steinsalze mit den Kornklassen M und F der DIN EN 16811-1, die am häufigsten zur Soleproduktion verwendet werden. Zusätzlich wurden zum Vergleich auch Steinsalz der Kornklasse EF und Siedesalz getestet. Die Zuordnung der Testsalze zu den Meistereien ist in Tabelle 32 dargestellt.

Salzart	Steinsalz						Siedesalz	
	M			F			EF	EF
Kornklasse DIN EN 16811-1								
Herkunft	BE	HN	SO	BO	HN	SO	HN	REI
AM Kaisersesch				X	X	X		
AM Erlangen	X	X	X					X
AM Kist		X						
SM Dillingen			X					
SM Neumarkt	X	X					X	X
SM Bad Rappenau		X						

Erläuterung der Abkürzungen: BE=Salzbergwerk Bernburg, BO=Salzbergwerk Borth, HN=Salzbergwerk Heilbronn, SO=Salzbergwerk Sondershausen, REI=Saline Bad Reichenhall

**Tab. 32:** Salze für die Lösetests in den Autobahn- und Straßenmeistereien

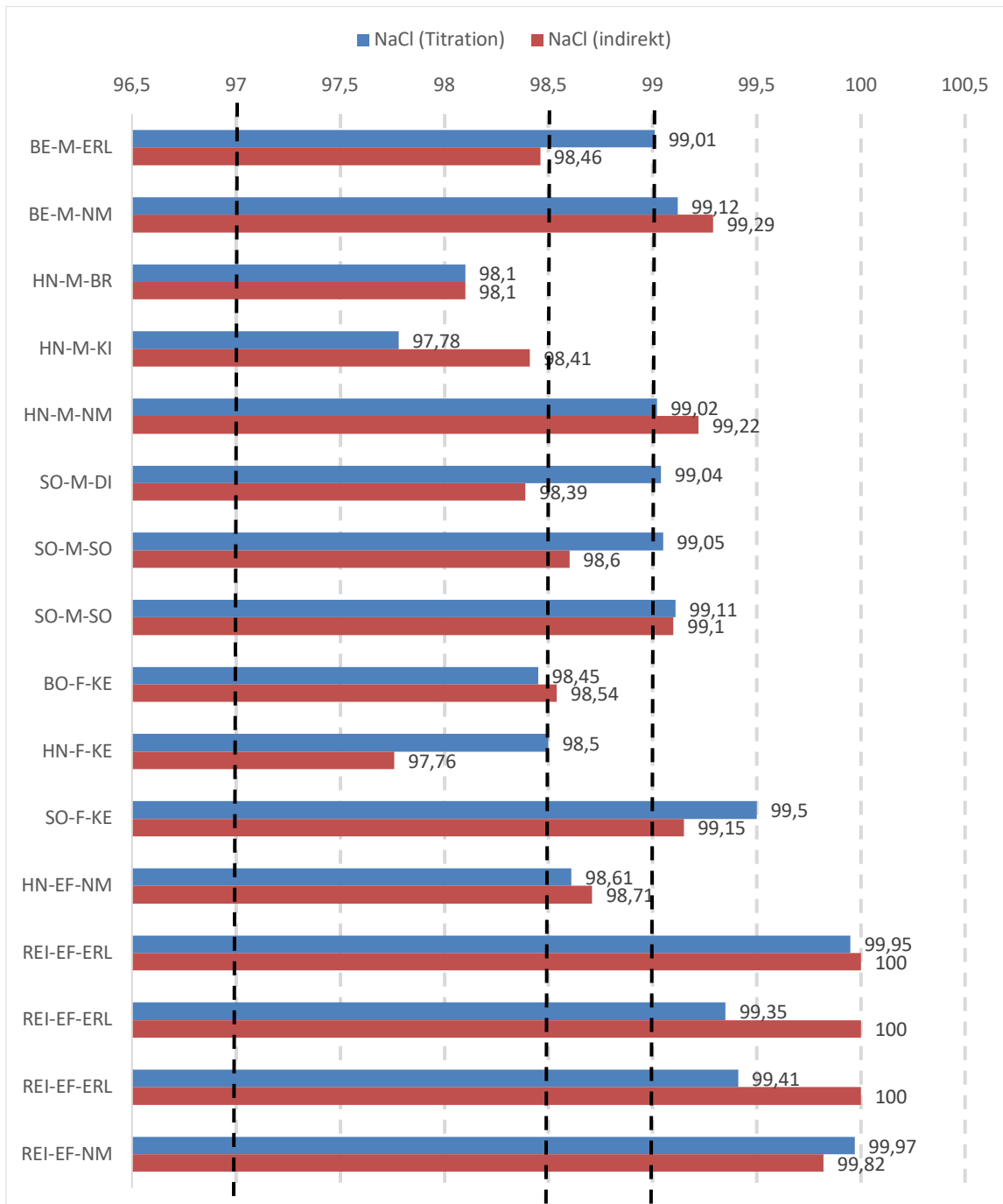
Bei der Zuordnung der Salze zu den Löseanlagen wurde berücksichtigt, dass in Bayern derzeit Steinsalze mit der Kornklasse M und in Rheinland-Pfalz Steinsalze mit der Kornklasse F zur Soleproduktion verwendet werden. Auch in Baden-Württemberg ist Soleproduktion aus Steinsalz mit der Kornklasse M sehr verbreitet. Steinsalze mit identischen Kornklassen werden in diesen Bundesländern auch als Festsalzkomponente bei der Ausbringung von Feuchtsalz eingesetzt.

Die Natriumchlorid-Gehalte der Salze wurden nach den beiden in der DIN EN 16811-1 enthaltenen Bestimmungsmethoden ermittelt: Direkte und indirekte Methode. Bei der direkten Methode wird durch potentiometrische Titration das in der Lösung enthaltene Chlorid bestimmt und das Resultat auf Natriumchlorid umgerechnet. Bei der indirekten Methode werden zunächst die im Salz enthaltenen Nebenbestandteile bestimmt. Anschließend ergibt sich der Natriumchloridgehalt rechnerisch durch Differenzbildung zwischen Hundert und der Summe der Gehalte an Nebenbestandteilen. Teilweise wurden mit den beiden Methoden deutlich voneinander abweichende Resultate gefunden (Bild 32). Es wird empfohlen, die Ermittlung der Salzgehalte von Tausalzen nach beiden Methoden parallel vorzunehmen und die Resultate auf Plausibilität zu prüfen.

Alle untersuchten Salze erfüllten die Anforderungen der DIN EN 16811-1 an den Mindestsalzgehalt von 97 M.-% und den Maximalgehalt an Sulfat von 1,5 M.-% (Bild 32, Tabelle 33). Die Landesbaudirektion Bayern hat bei der Beschaffung des Salzes für die Soleherstellung für die Jahre 2019/2020 einen erhöhten Mindestsalzgehalt von 98,5 M.-% und Gehalte an Sulfat von  $\leq 1,0$  M.-% sowie an wasserunlöslichen Bestandteilen von  $\leq 0,75$  M.-% vorgeschrieben. Diese Anforderungen werden nur von einem Teil der Salze erfüllt. Noch höhere Anforderungen hat der Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz an das Silosalz für Salzlöseanlagen für die Winterperioden 2019/2020 und 2020/2021 gestellt: Mindestsalzgehalt  $> 98,5$  M.-%, Sulfat  $\leq 1,0$  M.-%, wasserunlösliche Bestandteile  $< 0,25$  M.-%. Auch diese Anforderungen werden nur von wenigen Salzen erfüllt.



Die chemischen Analysen der Steinsalze weisen neben dem Sulfat auch Gehalte an Calcium aus. Dies ist plausibel, da Sulfat in Steinsalzen als wasserfreies Calciumsulfat (Anhydrit) enthalten ist. Neben dem Anhydrit kann Sulfat in Steinsalzen teilweise auch in sehr geringen Mengen als Polyhalit ( $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ ) vorliegen. Die festgestellten Magnesiumgehalte waren bei allen Salzen sehr gering. Die Wassergehalte der Salze entsprachen durchweg der Feuchtigkeitsklasse „trocken“ der DIN EN 16811-1. Ausnahme war ein in der Salzlagerhalle gelagertes Siedesalz, das während der Lagerung Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufgenommen hatte.



**Bild 32:** Salzgehalte der eingesetzten Salze, bestimmt durch Titration und nach dem indirekten Verfahren der DIN EN 16811-1 (M.-% NaCl) (Erläuterung der Y-Achsen-Beschriftung: Herkunft (siehe Tab. 32)-Kornklasse nach DIN EN 16811-1-Probenahmeort (BR=SM Bad Rappenau, DI=SM Dillingen, ERL=AM Erlangen, KE=AM Kaisersesch, KI=AM Kist, NM=SM Neumarkt))

Die Körnung von allen untersuchten Salzen entsprach den Anforderungen der DIN EN 16811-1. Ausgenommen war das Salz aus dem Bergwerk Sondershausen, das als Steinsalz F an die AM Kaisersesch geliefert worden war; dieses Salz entsprach tatsächlich der Kornklasse M (Tabelle 34).

Meersalze wurden nicht getestet, da derartige Produkte derzeit in Deutschland für die Soleproduktion nicht angeboten werden.

Salztyp	Kornklasse	Herkunft	Probenahmeort	Sulfat	Calcium	Magnesium	Wasserunlösliches	Feuchte	Einheit
Steinsalz	M	BE	ERL	1,31	0,18	0,04	n.n.	0,35	M.-%
		BE	NM	0,37	0,13	0,04	0,17	0,20	
		HN	KI	0,04	0,22	0,06	1,27	0,07	
		HN	NM	0,17	0,06	0,04	0,51	0,56	
		HN	BR	0,18	0,08	0,01	1,62	0,51	
		SO	DI	1,03	0,39	0,01	0,18	0,07	
		SO	SO	0,70	0,26	0,01	0,40	0,08	
	F	BO	KE	1,02	0,29	0,02	0,13	0,07	
		HN	KE	0,29	0,07	n.n.	1,74	0,14	
		SO	KE	0,44	0,21	0,04	0,16	0,18	
	EF	HN	NM	0,15	0,06	0,04	1,04	0,18	
	Siedesalz	EF	REI	ERL	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
REI			ERL	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,03	
REI			ERL	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,15	
REI			NM	0,02	n.n.	n.n.	0,16	1,05	
Anforderung	DIN EN 16811-1		≤ 1,5	-	-	-	≤ 0,6 <sup>*)</sup>		
	Landesbaudirektion Bayern		≤ 1,0	-	-	≤ 0,75	≤ 0,6		
	Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz		≤ 1,0	-	-	< 0,25	≤ 0,6		
BR=SM Bad Rappenau, DI=SM Dillingen, ERL=AM Erlangen, KE=AM Kaisersesch, KI=AM Kist, NM=SM Neumarkt, n.n.=nicht nachweisbar, <sup>*)</sup> = trockenes Salz (sonst auch möglich: ≤ 2,0 M.-% halbtrockenes Salz, ≤ 6,0 M.-% feuchtes Salz, ≤ 3,5 M.-% feuchtes Siedesalz)									

**Tab. 33:** Chemische Analysen der eingesetzten Salze

Korn- klasse	Salztyp	Her- kunft	Probe- nahme- ort	Siebdurchgang durch Prüfsiebe in % Massenanteil (Maschenweiten in mm)					
				0,125	0,8	1,6	3,15	6,3	8
M	Steinsalz			0,125	0,8	1,6	3,15	6,3	8
		BE	ERL	1,5	14,4	48,7	85,1	99,7	99,7
		BE	NM	1,5	10,2	44,0	84,5	100	100
		HN	KI	1,3	7,3	39,5	82,3	100	100
		HN	NM	2,0	14,2	44,4	85,0	100	100
		HN	BR	0,9	14,5	40,3	83,9	100	100
		SO	DI	1,0	20,4	53,6	84,6	100	100
		SO	SO	0,9	20,9	50,7	86,5	100	100
		SO	SO	1,4	29,6	59,5	87,7	100	100
		<b>Anforderung DIN EN 16811-1</b>		<b>≤ 7</b>	<b>5 - 35</b>	<b>10 - 60</b>	<b>45 - 90</b>	<b>100*)</b>	<b>100</b>
F	Steinsalz			0,125	0,8	1,6	3,15	5,0	8
		BO	KE	3,6	30,5	68,3	94,9	99,9	100
		HN	KE	1,2	18,4	53,0	89,7	99,3	100
		SO	KE	2,6	16,5	42,2	79,8	100	100
		<b>Anforderung DIN EN 16811-1</b>		<b>≤ 5</b>	<b>10 - 40</b>	<b>30 - 80</b>	<b>90 - 100</b>	<b>100*)</b>	<b>100</b>
EF	Steinsalz			0,125	0,8	2,0	3	-	-
		HN	NM	1,1	39,3	100	100	-	-
	Siedesalz	REI	ERL	3,5	89,1	99,9	100	-	-
		REI	ERL	0,0	82,0	99,9	99,9	-	-
		REI	ERL	3,9	90,3	99,9	100	-	-
		REI	NM	3,3	93,8	99,2	99,2	-	-
		<b>Anforderung DIN EN 16811-1</b>		<b>≤ 5</b>	<b>25 - 100</b>	<b>100*)</b>	<b>100</b>	-	-

\*) 2 M.-% produktionsbedingte Toleranz

Tab. 34: Körnungsanalysen der eingesetzten Salze

#### 4.1.3 Lösewasser

Alle untersuchten Tausalzlöseanlagen verwenden Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz. Der zur Verfügung stehende Druck war in allen Fällen ausreichend, teilweise bedurfte dieser einer Druckminderung vor dem Soleerzeuger. Die festgestellte Qualität der Wässer an den einzelnen Meistereistandorten ist aufgrund der Trinkwassereigenschaft sehr ähnlich (Tabelle 35).

	Calcium (mg/l)	Sulfat (mg/l)	Gesamthärte (°dH)	Karbonathärte (°dH)
AM Kaisersesch	61,4	55,5	13,4	11,0
AM Erlangen	70,1	11,9	12,6	12,6
AM Kist	90,2	69,2	13,8	11,9
SM Dillingen	81,2	14,8	15,4	15,3
SM Neumarkt	79,2	42,4	12,2	10,3
SM Bad Rappenau	82	75	13,5	9,7

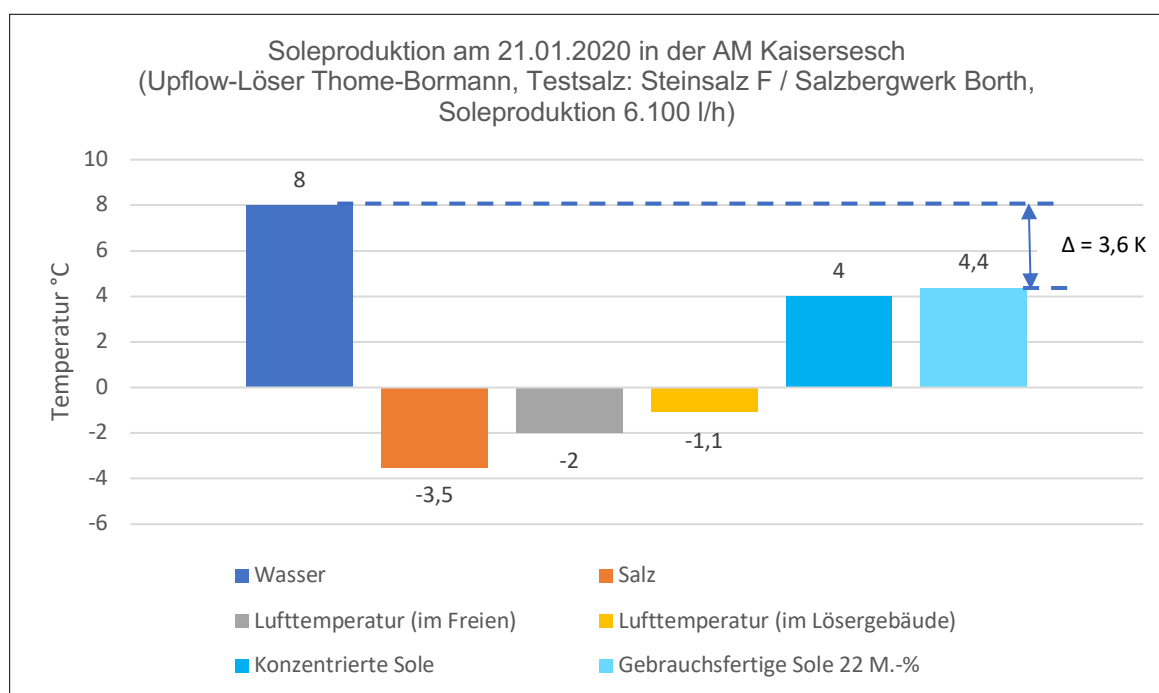
Tab. 35: Analysen der Wässer für die Soleproduktion

Die Gehalte an Calcium, Sulfat, Gesamthärte und Karbonathärte waren gering und führten erwartungsgemäß zu keinen negativen Effekten (z.B. Ausfällungen in der Sole) bei der Soleerzeugung. Durch Steinsalze wird ein Vielfaches an Calcium und Sulfat in den Löseprozess eingetragen. Bemerkenswert ist, dass keine der beteiligten Meistereien eigenes Brunnenwasser oder gesammeltes Niederschlagswasser für die Soleerzeugung verwendet.

#### 4.1.4 Temperaturen

Bei allen untersuchten Tausalzlöseanlagen wurden während der Soleproduktion auch Temperaturmessungen vorgenommen. Diese erfolgten speziell für die Untersuchungen mit nicht eingebauten Messgeräten (Digital-Thermometer, Temperatur-Dichte-Spindel). Gemessen wurden folgende Temperaturen: Wasser, Salz, Lufttemperatur (im Freien, im Lösergebäude), konzentrierte Sole, gebrauchsfertige Sole. Die einzelnen gemessenen Temperaturen sind im Anhang F enthalten.

Bei allen Tausalzlöseanlagen ist die resultierende Temperatur der gebrauchsfertigen Sole geringer als die Temperatur des Lösewassers. Salz benötigt beim Auflösen in Wasser Energie, d.h. die entstehende Lösung ist kälter als das zum Lösen verwendete Wasser. Dies ist auf die positive Lösungsenthalpie von Natriumchlorid zurückzuführen, die verantwortlich für das endotherme Auflösen ist. Dazu kommt, dass das zum Auflösen verwendete Salz im Winter in der Regel kälter als das Lösewasser ist. Im Bild 33 sind die Temperaturen bei der Soleproduktion in einer eingehausten Upflow-Löseanlage dargestellt. Durch die zum Auflösen erforderliche Lösungsenthalpie von Natriumchlorid und das kalte Steinsalz kommt es zwischen dem Lösewasser und der aus dem Lösetrichter ablaufenden konzentrierten Sole zu einem Temperaturabfall von 4 Kelvin. Durch die anschließende Verdünnung auf die Anwendungskonzentration von 22 M.-% steigt die Soletemperatur leicht auf 4,4 °C.

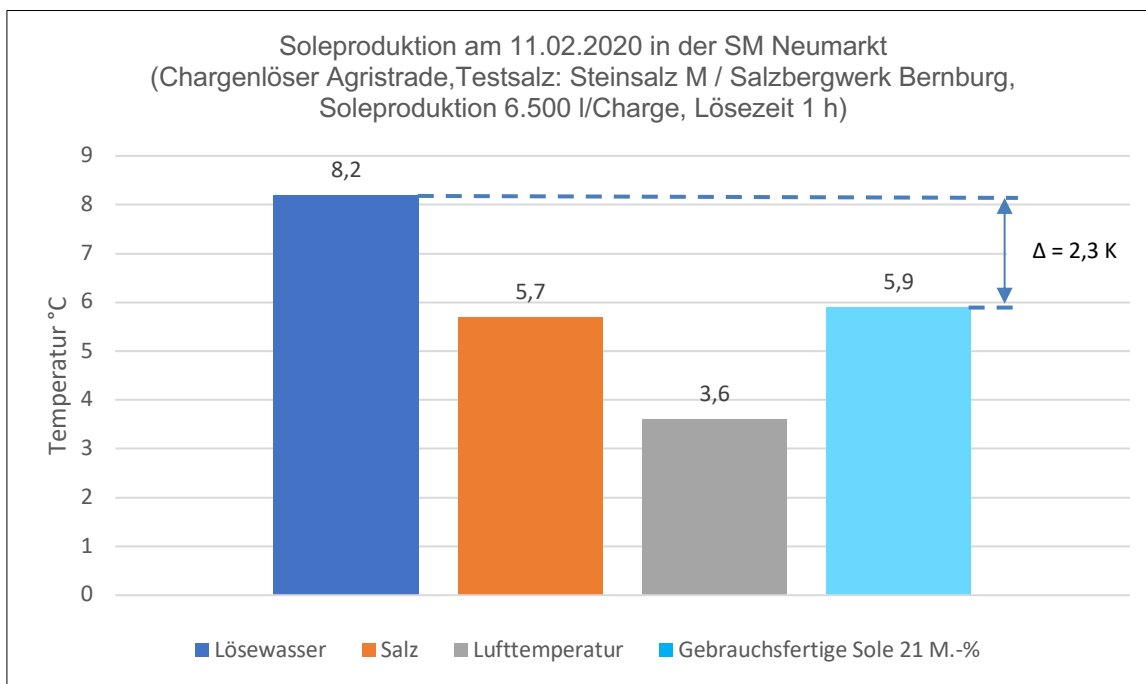


**Bild 33:** Temperaturen bei der Soleproduktion in einer Upflow-Löseanlage

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Soleproduktion in einer Chargen-Löseanlage (Bild 34). Zwischen dem Lösewasser und der gebrauchsfertigen Sole von 21 M.-% kommt es zu einem Temperaturabfall von 2,3 Kelvin.

Bei den untersuchten Anlagen wurde an keinem Produktionstag gebrauchsfertige Sole mit einer Temperatur unter 0 °C produziert. Dies ist auf die Lösewassertemperatur, die im Bereich von 6 °C bis 13,7 °C lag, und auf die Salzttemperatur, die im Extremfall mit -3,5 °C gemessen wurde, zurückzuführen. Die tiefste gemessene Temperatur der gebrauchsfertigen Sole war 3,2 °C. Eine

Temperatur der frisch erzeugten Sole unter 0 °C ist nur zu erwarten bei Wassertemperaturen deutlich unter 5 °C und Salzttemperaturen unter -5 °C. Allerdings besteht auch dann noch ein deutlicher Abstand zu den Temperaturen, bei denen aus Sole Eis auskristallisiert. Bei den Versuchen konnte keine Feststellung bezüglich des Einfrierens von Salzlöseanlagen gemacht werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass an den Messtagen keine sehr tiefen Temperaturen vorlagen und keine starken Temperaturschwankungen auftraten. Außerdem gab es zwischen den Messtagen keine langen Stillstände, in deren Folge es zu einer Rekristallisation von Salz aus der konzentrierten Sole im Lösebereich der Tausalzlöseanlagen kommen konnte.



**Bild 34:** Temperaturen bei der Soleproduktion in einem Chargenlöser

Eine weitere Abkühlung der gebrauchsfertigen Sole erfolgt unter den winterlichen Bedingungen in den Solelagertanks und in den Soletanks der Streufahrzeuge. Bis -18 °C (21 M.-%ige Sole) bzw. -19 °C (22 M.-%ige Sole) erfolgt aus gelagerter Sole keine Eisbildung. Bei einer Soletemperatur, die bereits leicht unter der eutektischen Temperatur von -21 °C liegt, kommt es unter einer Volumenausdehnung von ca. 6 % zum Gefrieren der Sole. In der Folge des Gefrierens von Sole bersten Leitungen und treten weitere Schäden an Soleanlagen auf. Besteht die Gefahr, dass eine sehr tiefe Soletemperatur erreicht wird, muss durch geeignete Gegenmaßnahmen (Heizung, Entleerung) ein Gefrieren von Sole verhindert werden.

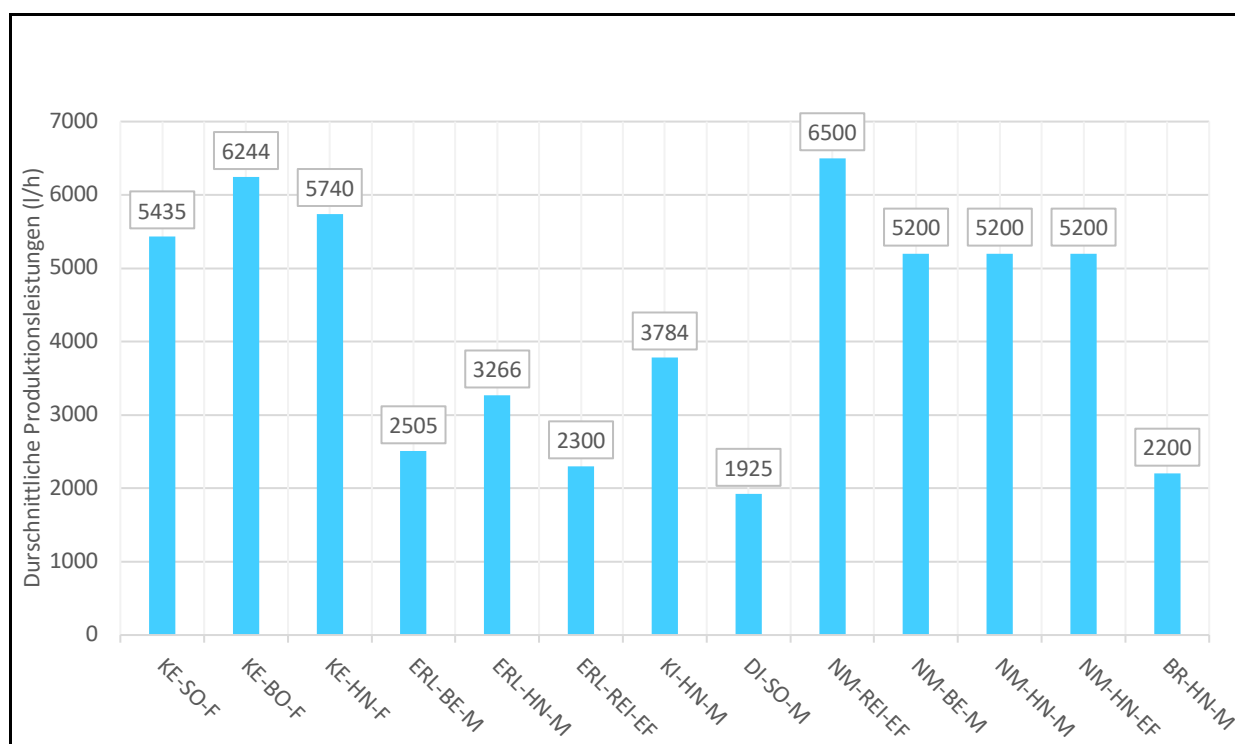
Lange Stillstände von gefüllten Soleerzeugern, die mehrere Tage oder Wochen während des Winters andauern, sollten vermieden werden, da durch Abkühlung und Temperaturwechsel, das im Soleerzeuger befindliche Gemisch aus Salz und Sole durch Rekristallisation von Salz aus der gesättigten Sole und durch Kristallisation von Natriumchlorid-Dihydrat verharren kann, wodurch bei der späteren Inbetriebnahme der Soleproduktion der Wasser/Soledurchfluss durch das Salz behindert wird. Dies kann bei allen im Freien und eingehaust, sogar beheizt, aufgestellten Soleerzeugern auftreten.

Die Temperaturmessungen bei der Tausalzlöseanlage in der AM Kaisersesch zeigen, dass die Lufttemperaturen innerhalb des Lösegebäudes tagsüber häufig tiefer liegen als außerhalb des Gebäudes. Die Temperaturverhältnisse können somit nicht als Argument für eine Einhausung von Tausalzlöseanlagen herangezogen werden. Allerdings hat eine Komplett- oder Teileinhausung von Tausalzlöseanlagen den Vorteil, dass Bedienungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten im Winter für das Personal witterungsgeschützt und sicher durchgeführt werden können. Es ist

zu empfehlen, dass zumindest die Steuerungs- und Pumptechnik eingehaust untergebracht wird. Bei der Einhausung muss darauf geachtet werden, dass ausreichend Zugänglichkeit mit Fahrzeugen (Radlader, Hubfahrzeuge) besteht.

#### 4.1.5 Produktionsleistung

Die stündlich produzierte Menge an gebrauchsfertiger Sole wurde bei den Untersuchungen durch in die Löseanlagen eingebaute Durchflussmesser ermittelt. Teilweise war es notwendig, die Produktionsleistung durch Messung des Wasserdurchflusses (Lösewasser plus Verdünnungswasser) und Umrechnung auf gebrauchsfertige Sole zu ermitteln. Bei dem Chargenlöser ergab sich die Produktionsleistung durch die stündlich produzierten Solechargen. Die Produktionsleistungen der untersuchten Tausalzlöseanlagen waren über die jeweiligen Messtage betrachtet sehr konstant, auch innerhalb der einzelnen Messtage zeigten sich keine großen Schwankungen. Die durchschnittliche Produktionsleistung der Tausalzlöseanlagen ergab sich durch Mittelwertbildung aus den an den einzelnen Messtagen festgestellten Produktionsleistungen. Die durchschnittlichen Produktionsleistungen der getesteten Anlagen können dem Bild 35 entnommen werden.



**Bild 35:** Produktionsleistungen der untersuchten Tausalzlöseanlagen (Erläuterung der X-Achsen-Beschriftung: Meisterei (BR=SM Bad Rappenau, DI=SM Dillingen, ERL=AM Erlangen, KE=AM Kaisersesch, KI=AM Kist, NM=SM Neumarkt)-Herkunft Salz (siehe Tab. 32)-Kornklasse nach DIN EN 16811-1)

Die höchsten Produktionsleistungen der Upflow-Löseanlagen ergaben sich in der Löseanlage der AM Kaisersesch, sie lagen im Bereich von 5435 l/h bis 6244 l/h. Getestet wurden drei Steinsalze unterschiedlicher Herkunft über jeweils 5 Produktionstage. Es wurden Steinsalze der Kornklasse F eingesetzt, wobei das gelieferte Steinsalz aus Sondershausen eher als Steinsalz der Kornklasse M einzustufen war und möglicherweise auch deshalb die geringste Produktionsleistung der getesteten Salze aufwies. Die Lösegeschwindigkeit ist von der zur Verfügung stehenden spezifischen Salzoberfläche abhängig und die ist bei Steinsalz der Kornklasse M geringer als bei Steinsalz der Kornklasse F. Es konnte kein wesentlicher Einfluss der Salz- bzw. Lufttemperatur auf die Produktionsleistung festgestellt werden. Die Salztemperaturen bewegten sich im Bereich

von 0,4 °C bis 7,1 °C, die Lufttemperatur in der Einhausung lag zwischen -1,3 °C und 7,8 °C. Der Löseprozess wird dominiert von der Wassertemperatur.

Die Löseanlage in der AM Kaisersesch ist sehr ähnlich gebaut wie die anderen getesteten Upflow-Anlagen, das Herzstück besteht jeweils aus dem Lösetrichter, in dem die Salzschüttung von unten mit Wasser durchflossen wird. Unterschiedlich ist jedoch vor allem der Abzug der konzentrierten Sole. In Kaisersesch kann die Sole ungehindert in einen Pufferbehälter fließen und wird anschließend von dort einem Hydrozyklon zugeführt. In den anderen Anlagen fließt die Sole durch Filterstrümpfe ab.

Bei zu hohen Wasserdurchflüssen in Upflow-Löseanlagen wird feinste Salzkörnung mit der überlaufenden konzentrierten Sole aus dem Lösetrichter geschwemmt, das anschließend mit dem Verdünnungswasser aufgelöst wird. Allerdings wird bei Steinsalzen eine sehr trübe Sole produziert. Dies zeigte sich bei einem Test mit 6.500 l/h Wasser (Lösewasser + Verdünnungswasser) in der AM Erlangen. Eine Soleproduktion mit zu hohen Wasserdurchflüssen führt zu schlechter Solequalität und ist nicht sinnvoll. Es ist wichtig, dass der jeweilige maximale Wasserdurchfluss in Abhängigkeit vom eingesetzten Salz und vom eingebauten und richtig dimensionierten „Filter“-System (Gewebe, Hydrozyklon) gewählt wird.

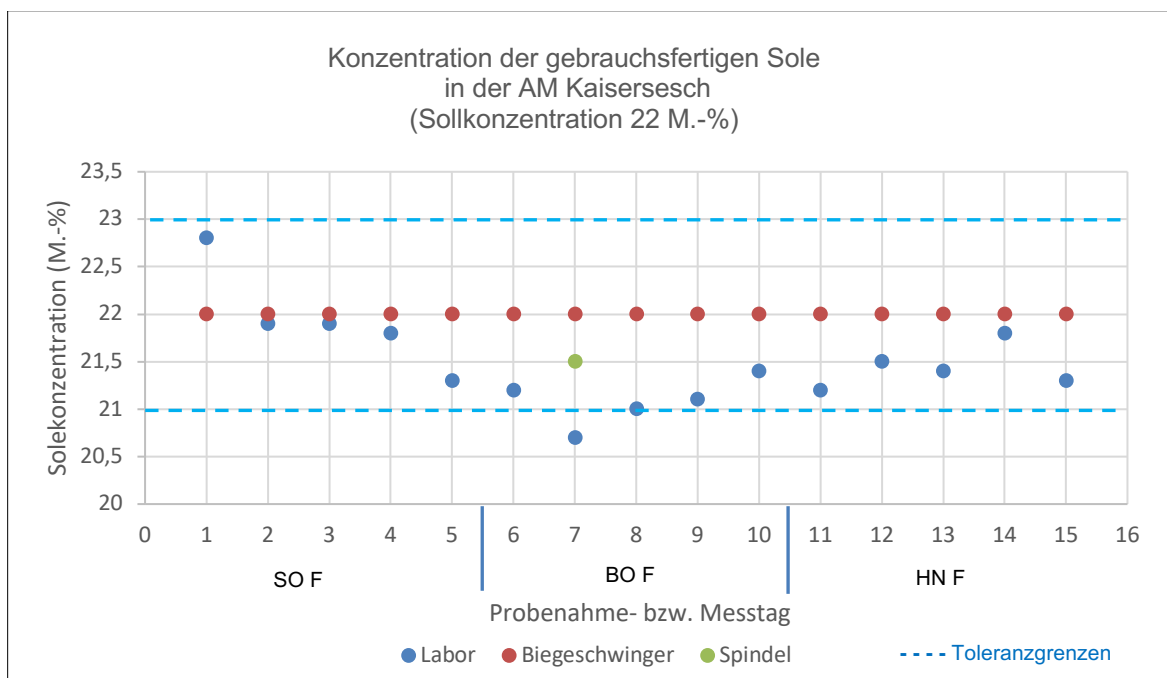
Beim Einsatz von Siedesalz in Upflow-Löseanlagen ist zu beachten, dass das Siedesalz im Lösetrichter im Gegensatz zu Steinsalzen der Kornklassen F und M nur einen sehr flachen Schüttkegel bildet. Dies bedingt unter Umständen eine andere Einstellung von Überlaufsonden. Mit Siedesalz verringert sich die Löseleistung gegenüber Steinsalzen der Kornklasse M. Siedesalz erlaubt aufgrund seiner feinen Körnung nur eine geringere Strömungsgeschwindigkeit im Lösetrichter, da es ansonsten zum Ausschwemmen von Siedesalz aus dem Lösetrichter in den nachfolgenden Anlagenbereich kommt. Das feinkörnige Siedesalz (Kornklasse EF) hat zwar im Vergleich mit den Steinsalzen der Kornklassen F und M eine größere Oberfläche und sollte deshalb eine höhere Produktionsleistung ermöglichen, allerdings kann die für die Auflösung zur Verfügung stehende Salzoberfläche durch Kanalbildung im Siedesalz verringert werden. Das Lösewasser fließt dann bevorzugt nur durch die im Siedesalz gebildeten Kanäle.

Die höchste Produktionsleistung aller getesteten Anlagen ergab sich mit 6.500 l/h bei der Auflösung von Siedesalz im Chargenlöser der SM Neumarkt. Im getesteten Chargenlöser (Volumen 10.000 l) kann eine Solecharge von 6.500 l produziert werden. Bei Siedesalz wird hierfür eine Stunde benötigt. Dies schließt die Befüllung des Lösers mit Wasser und Salz, das Umwälzen mit der Pumpe und das Umpumpen in den Solelagertank ein. Dabei ist berücksichtigt, dass ca. 1.500 l Sole beim Umpumpen in den Lagertank im Chargenlöser verbleiben müssen; dies dient dem Trockenlaufschutz der Pumpe. Es wird nur eine einzige Pumpe benötigt, diese übernimmt das Umwälzen des Wasser-/Salz-Gemisches bis zum vollständigen Auflösen und das anschließende Umpumpen der gebrauchsfertigen Sole in den Lagertank. Mit allen Steinsalzen vermindert sich die Produktionsleistung, da das Auflösen der gröberen Salzkörnung mehr Zeit erfordert und nach dem vollständigen Lösen und vor dem Umpumpen noch Zeit zum Absetzen unlöslicher Bestandteile im Löser benötigt wird. Dennoch sind auch hier die Produktionsleistungen noch als hoch zu bewerten.

#### **4.1.6 Konzentration der gebrauchsfertigen Sole**

Bei allen Tausalzlöseanlagen wurden aus der laufenden Soleproduktion Soleproben entnommen und im Labor mit der in der Norm DIN EN 16811-1 enthaltenen Prüfmethode die Salzkonzentration bestimmt. Die erhaltenen Resultate wurden mit den direkt an den Anlagen erhaltenen Ergebnisse der Konzentrationsmessungen verglichen. An den Anlagen wurde die Konzentration durch eingebaute Messgeräte und/oder manuell mit Solespindeln (Aräometer) sowie Handrefraktometer gemessen.

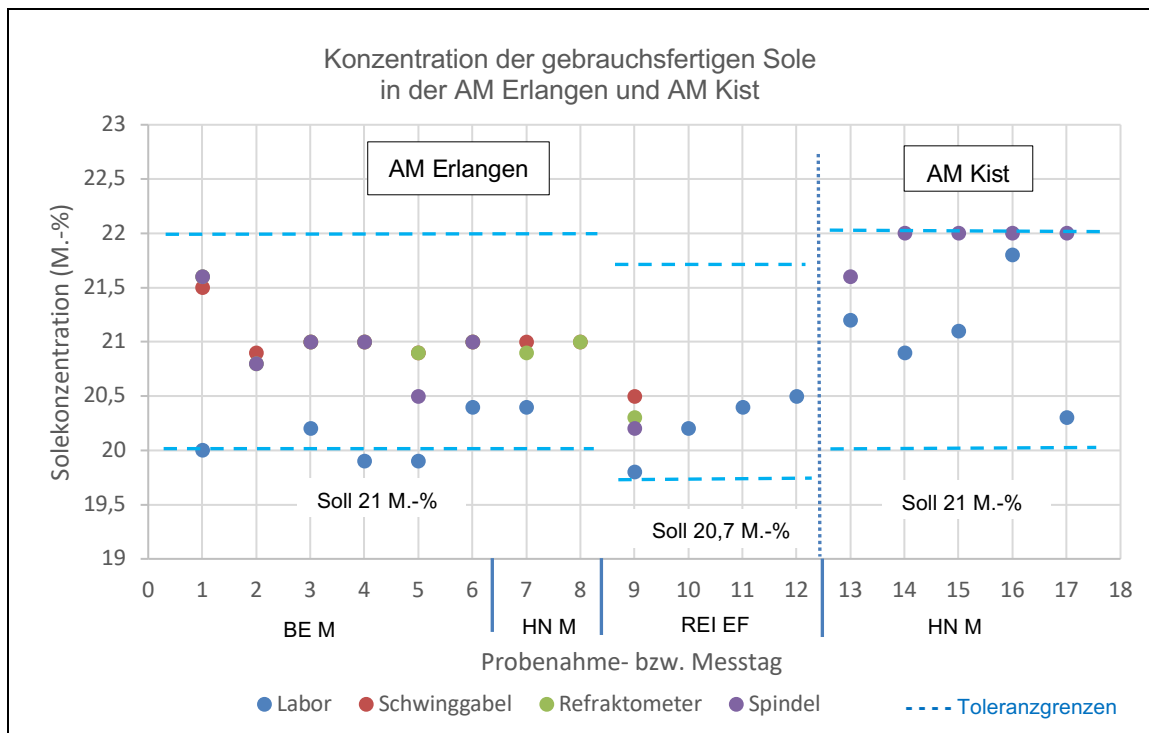
Bei den Laborbestimmungen der Solekonzentration nach dem Titrationsverfahren der DIN EN 16811-1 ist anzunehmen, dass auch bei diesem Verfahren Toleranzen bestehen. Für die Bestimmung der Chlorid- bzw. NaCl-Konzentration von Steinsalz nach dem potentiometrischen Titrationsverfahren werden aufgrund eines durchgeführten Labor-Ringversuchs für einen Durchschnittsgehalt von 992,1 g NaCl/kg Salz eine Wiederholpräzision von 2,1 g NaCl/kg Salz und eine Vergleichspräzision von 4,9 g NaCl/kg Salz angegeben (DIN 2016). Ein Ringversuch zur Qualitätssicherung für die Konzentrationsbestimmung von Sole mit dem potentiometrischen Titrationsverfahren wurde bislang nicht durchgeführt. Bei einem Ringversuch sollten mehrere Prüflaboratoren identische Soleproben mit der potentiometrischen Titration untersuchen. Der Vergleich der Ergebnisse würde es erlauben, Aussagen über die Messgenauigkeit des Messverfahrens und über die Messqualität der beteiligten Laboratorien zu machen. In der AM Kaisersesch zeigte die Anlagenmessung mit einem Biegeschwinger stets die der Sollkonzentration von 22 M.-% entsprechende Konzentration (Bild 36). Die Laborwerte lagen teilweise darunter und bei einer Prüfung auch darüber, aber bis auf eine Ausnahme noch innerhalb des im Normentwurf prEN 17443 definierten Toleranzbereiches von  $\pm 1,0$  M.-% vom Sollwert. Eine Messung mit der Spindel (Referenztemperatur 15 °C) ergab 21,5 M.-%.



**Bild 36:** Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der AM Kaisersesch (Ergebnisse der Prüfungen an der Tausalzlöseanlage und im Labor)

In der AM Erlangen stimmten die Messwerte der eingebauten Schwinggabel und die manuell mit einer Spindel (Referenztemperatur 5 °C) und einem Refraktometer erhaltenen Messwerte gut überein. Die Laborwerte lagen jedoch teilweise an der unteren Toleranzgrenze. In der AM Kist befanden sich die Ergebnisse der Spindelmessung (Referenztemperatur 15 °C) gehäuft an der oberen Toleranzgrenze, während sich die Laborwerte gut im Toleranzbereich befanden (Bild 37).

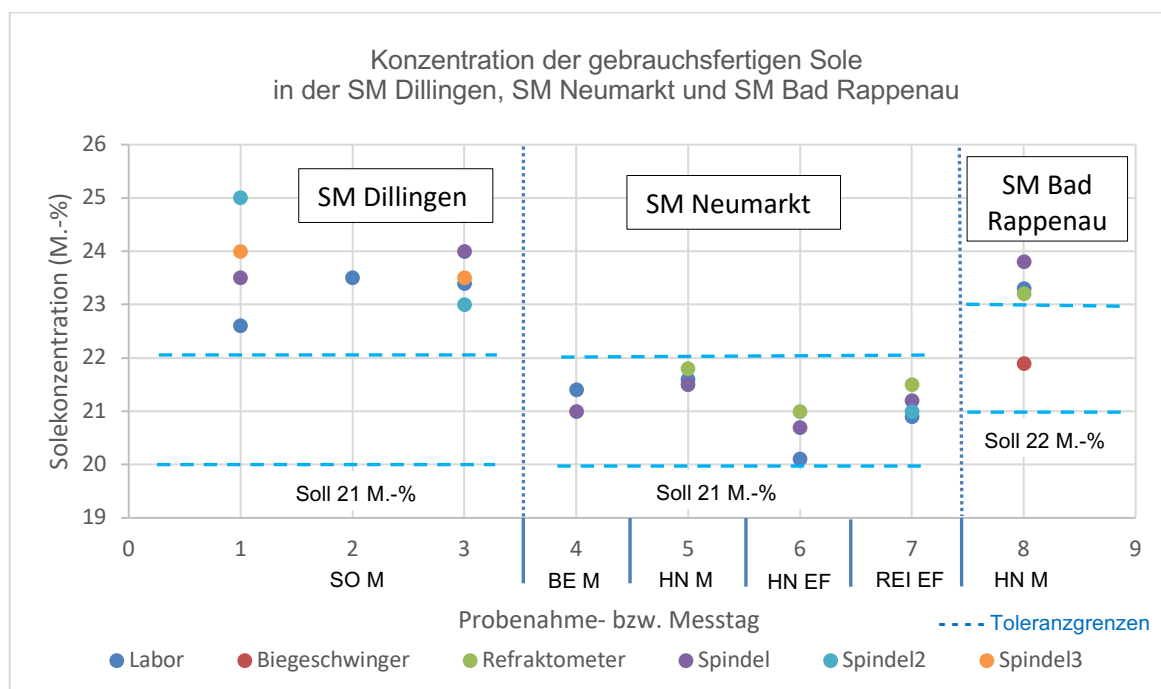




**Bild 37:** Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der AM Erlangen und AM Kist (Ergebnisse der Prüfungen an der Tausalzlöseanlage und im Labor)

Es ist anzunehmen, dass Konzentrationsschwankungen, die während der Soleproduktion auftreten, anschließend im Lagertank ausgeglichen werden können. Deshalb wurde in der AM Erlangen an einem Produktionstag eine Soleprobe aus dem Lagertank entnommen und die Konzentration mit Spindeln und Refraktometer bestimmt: Bei einer Soletemperatur von +6 °C wurde mit einer Spindel (Referenztemperatur +5 °C) eine Konzentration von 21,2 M.-% gemessen. Mit einer Spindel mit der Referenztemperatur +15 °C wurden 21,8 M.-% gemessen, die Messung mit einem ATC-Refraktometer (automatische Temperaturkompensation im Bereich +10 °C bis +30 °C) ergab 20,8 M.-%. Die mit einer +5 °C-Spindel gemessene Dichte betrug 1,165 g/cm<sup>3</sup>, dies entspricht einer aus Dichtetabellen entnommenen Solekonzentration von ca. 21,2 M.-%. An einem späteren Produktionstag ergab die Messung einer Soleprobe aus dem Lagertank mit einer +5 °C-Spindel eine Konzentration von ca. 21 - 21,2 M.-%.

Die gemessenen Konzentrationen der gebrauchsfertigen Sole in der SM Dillingen waren außerhalb des zulässigen Toleranzbereiches. In der SM Bad Rappenau lag nur die Messung mit dem Biegeschwinger innerhalb des zulässigen Toleranzbereiches der Sollkonzentration. Beide Anlagen sind neu und wurden erst am Anfang des Jahres 2020 in Betrieb genommen. Beide Anlagen waren noch unzureichend eingestellt. Hingegen lagen die mit den verschiedenen Messmitteln gemessenen Konzentrationen der im Chargenbetrieb in der SM Neumarkt produzierten Sole alle im Sollbereich (Bild 38).



**Bild 38:** Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der SM Dillingen, SM Neumarkt und SM Bad Rappenau (Ergebnisse der Prüfungen an der Tausalzlöseanlage und im Labor; Spindel-Referenztemperaturen: Dillingen 15 °C, Neumarkt 5 °C, Bad Rappenau 15 °C)

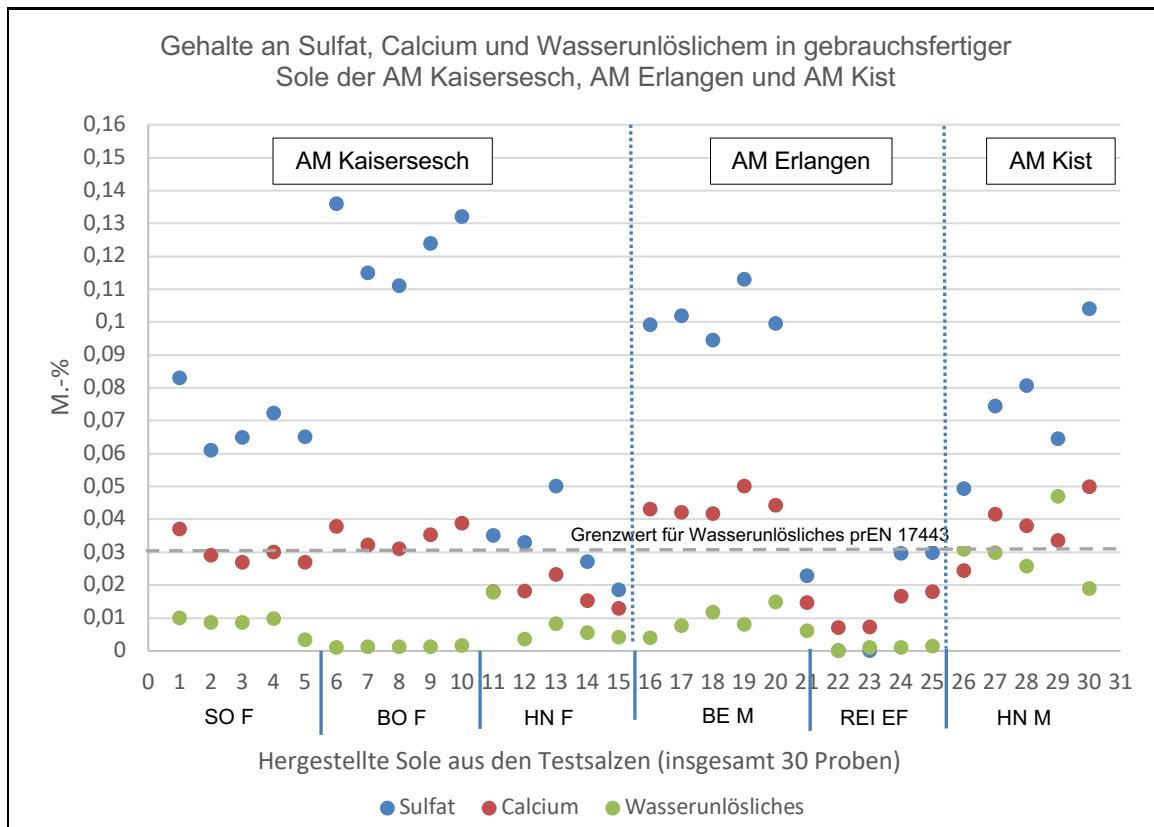
Aus den Messergebnissen kann kein Einfluss der Salzqualität auf die produzierte Solekonzentration abgeleitet werden. Die Solekonzentration hängt vielmehr von der Anlageneinstellung, insbesondere von der Verdünnung der konzentrierten Sole aus den Upflow-Anlagen, und von der Justierung der eingebauten Solekonzentrationsmessung ab. Bei den dichte-basierten Konzentrationsmessungen (Biegeschwinger, Schwinggabel) die in Tausalzlöseanlagen eingebaut werden ist eine Temperaturkompensation erforderlich. Die Referenztabellen für Soledichten beziehen sich auf Lösungen von reinem Natriumchlorid und enthalten nicht für alle Temperaturen und Konzentrationen Dichtewerte (Quellen für Referenztabellen siehe bei Literaturangaben). Außerdem können Nebenbestandteile von Steinsalzen die Dichte und die Konzentrationsmessungen beeinflussen. Eine systematische Untersuchung dazu fehlt bisher. Es ist zu empfehlen, dass bei der Inbetriebnahme von Tausalzlöseanlagen die Solekonzentration durch begleitende Laborprüfungen kontrolliert wird. Dies sollte auch im Rahmen von Wartungsarbeiten wiederholt werden.

Bei manuellen Messungen mit Spindeln muss darauf geachtet werden, dass bei den einzelnen Messungen jeweils eine Spindel mit einer Referenztemperatur verwendet wird, die nahe der Soletemperatur liegt. Ansonsten treten erhebliche Messfehler auf. Bei Refraktometern ist eine automatische Temperaturkompensation (ATC) erforderlich, allerdings sind diese nur bis zu einer Temperatur herab auf +10 °C erhältlich.

#### 4.1.7 Reinheit der gebrauchsfertigen Sole

Für Winterdienstsole ist in der DIN EN 16811-1 und in der prEN 17443 ein Grenzwert von max. 0,03 M.-% für wasserunlösliche Stoffe festgelegt. Die DIN EN 16811-1 enthält für Sulfat in Sole den Grenzwert von max. 0,6 M.-% für Sulfat (bezogen auf 10 M.-%ige Sole). Deshalb wurden diese Parameter und zusätzlich Calcium in den produzierten Solen im Labor bestimmt. Durch die Bestimmung des Calciums sollte festgestellt werden, ob es sich bei dem gelösten Sulfat um Calciumsulfat handelt.

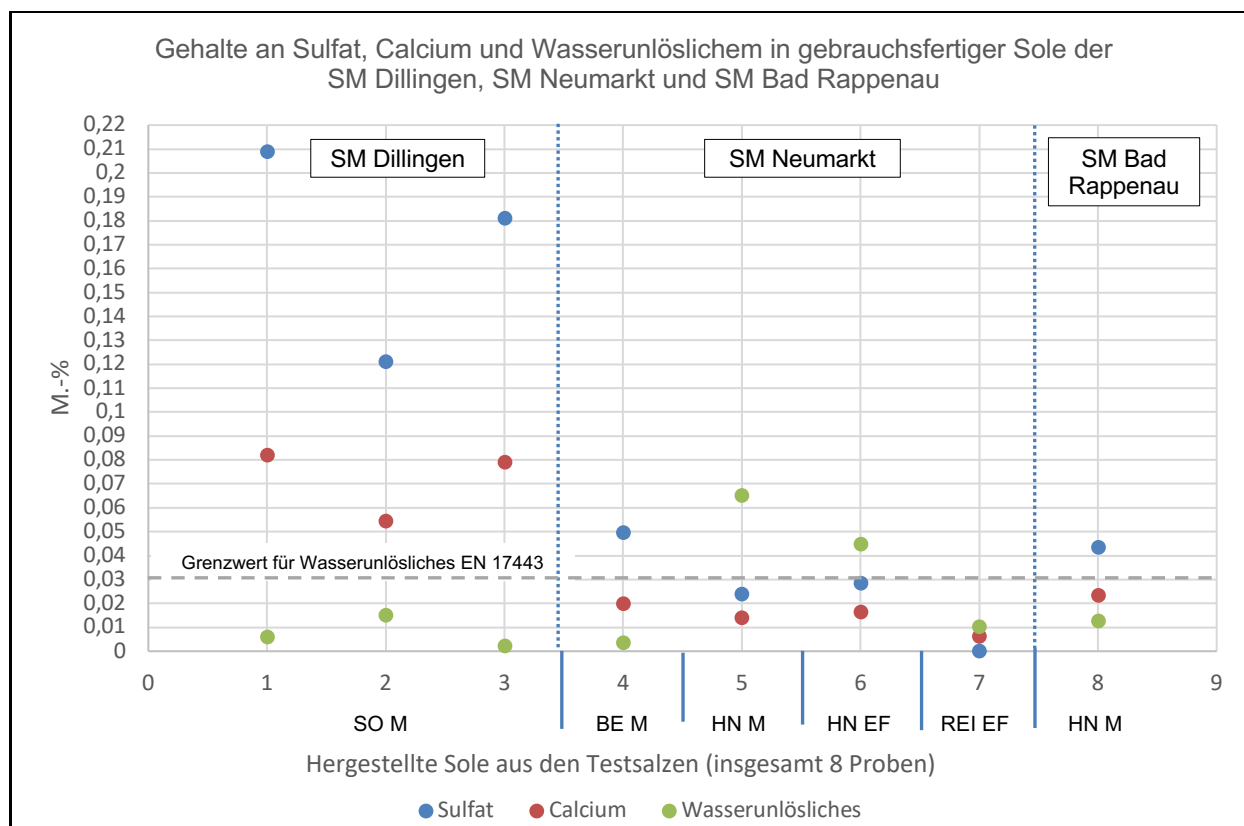
Bei den in den Upflow-Tausalzlöseanlagen der Autobahnmeistereien entnommenen Proben an gebrauchsfertiger Sole wurde der Grenzwert für Wasserunlösliches bis auf eine Ausnahme eingehalten (Bild 39).



**Bild 39:** Gehalte an Sulfat, Calcium und Wasserunlöslichem in der gebrauchsfertigen Sole in der AM Kaisersesch, AM Erlangen und AM Kist in Abhängigkeit von den gelösten Tausalzen (Ergebnisse der Laborprüfungen)

Die Sulfatgehalte in den Proben sind zwar unterschiedlich hoch, aber liegen weit unter dem Grenzwert. Die Calciumgehalte korrespondieren annähernd stöchiometrisch mit den Sulfatgehalten, d.h. das in den Solen gefundene Mengenverhältnis Calcium:Sulfat entspricht dem Calcium:Sulfat-Mengenverhältnis im Calciumsulfat. Das Sulfat stammt also somit im Wesentlichen aus der Auflösung des in den Steinsalzen enthaltenen Calciumsulfats (Bild 39).

Ähnliche Werte wurden in den gebrauchsfertigen Solen aus den Upflow-Löseanlagen der Straßenmeistereien gefunden. Sehr reine Sole wurde erwartungsgemäß aus Siedesalz im Chargenlöser der SM Neumarkt produziert. Die Steinsalze mit einem hohen Anteil an Wasserunlöslichem führten im Chargenlöser zu Solen, bei denen der Grenzwert für Wasserunlösliches überschritten war (Bild 40). Bei Verwendung dieser Salzqualitäten ist es zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlich, dass nach dem Auflösen des Salzes, die Sedimentationszeit im Lösebehälter verlängert wird. Bei den Versuchen mit den Steinsalzen wurde die produzierte Sole bereits nach einer Sedimentationszeit von 15 Minuten in den Lagertank gepumpt. Die Verlängerung der Sedimentationszeit hat eine entsprechend geringere Produktionsleistung zur Folge.



**Bild 40:** Gehalte an Sulfat, Calcium und Wasserunlöslichem in der gebrauchsfertigen Sole in der SM Dillingen, SM Neumarkt und SM Bad Rappenau in Abhängigkeit von den gelösten Tausalzen (Ergebnisse der Laborprüfungen)

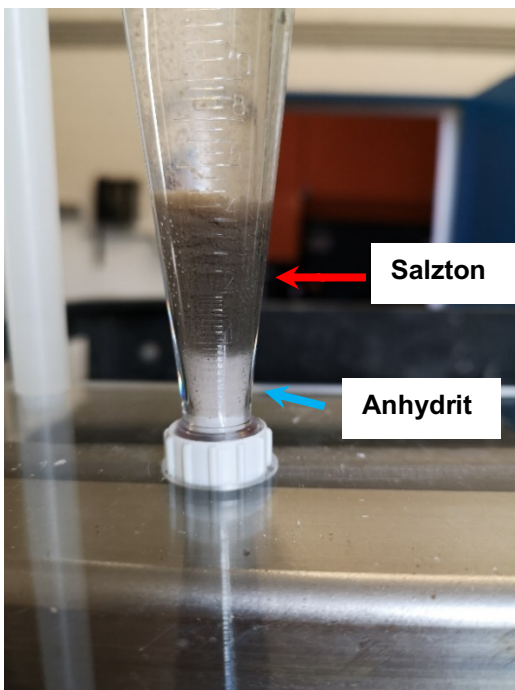
Die Anforderung der DIN EN 16811-1 und der prEN 17443, dass keine ungelösten Solebestandteile größer als 0,5 mm enthalten sein dürfen, wurde von allen Soleproben eingehalten.

Zur schnellen Beurteilung des Gehalts an wasserunlöslichen Stoffen in der gebrauchsfertigen Sole wurden bei den Untersuchungen mit den Tausalzlöseanlagen einzelne Soleproben direkt vor Ort einem Sedimentationstest in einem Sedimentiergefäß nach Imhoff unterzogen. Das Sedimentiergefäß hatte eine Graduierung von 0 – 1.000 ml (Bild 41). Nach dem Einfüllen von 1.000 ml Sole wurde die nach zwei Stunden angefallene Sedimentmenge an der Skala abgelesen. Sedimentmengen von 0,1 – 0,3 ml sollten nicht überschritten werden. Damit kann in der Regel der Grenzwert von 0,03 M.-% für wasserunlösliche Stoffe eingehalten werden.

Das Sedimentiergefäß eignet sich auch zur Beurteilung der aus dem Lösetrichter von Upflow-Anlagen abfließenden Sole. Sehr leicht können ausgeschwemmte Anteile an Feinsalz, Calciumsulfat (Anhydrit) und unlöslichen Bestandteilen (Salzton) festgestellt werden. Während der Salzton in der Regel dunkelgrau ist, hat der Anhydrit eine hellgraue bis weiße Farbe (Bild 42).



**Bild 41:** Sedimentiergefäße nach Imhoff mit eingefüllter Sole (links: sedimentierter Salzton, rechts: sedimentiertes Calciumsulfat)



**Bild 42:** Unterschied Salzton (dunkel) zu Anhydrit (hell) im Sedimentiergefäß



#### 4.1.8 Löserückstände

Bei den getesteten Steinsalzen fallen bei der Auflösung ungelöste Rückstände an (Bild 43). Die Löserückstände reichern sich bei den Upflow-Anlagen während des Löseprozesses im Lösetrichter an. Die anfallenden Mengen an Löserückständen hängen vom Gehalt an Nebenbestandteilen (Calciumsulfat, Wasserunlösliches) im Salz ab. Mengenmessungen wurden nicht durchgeführt, da teilweise keine Abschlämmungen während der Tests erforderlich waren bzw. bei vorzeitig vorgenommenen Abschlämmungen sehr viel Salz mit abgetrennt wurde.



**Bild 43:** Löserückstand aus der Soleproduktion mit Steinsalz M aus Heilbronn in der AM Kist (links) und mit Steinsalz F aus Sondershausen in der AM Kaisersesch (rechts)

Es wurden Proben der Löserückstände nach Entfernung aus den Tausalzlöseanlagen entnommen und analysiert (Tabelle 36).

Meisterei	Steinsalzherkunft	Kornklasse	NaCl	Sulfat	Calcium	Wasserunlösliches	Wassergehalt
AM Kaisersesch	Sondershausen	F	28,72	4,23	1,14	49,2	24,4
	Borth	F	10,9	8,32	1,80	58	25,3
	Heilbronn	F	96,86	1,22	0,14	2,47	24,4
AM Erlangen	Bernburg	M	45,33	7,34	2,14	24,6	33,8
	Heilbronn	M	85,21	0,97	0,33	11,7	11,6
AM Kist	Heilbronn	M	77,82	0,64	0,18	12,1	26,5
SM Neu- markt	Bernburg	M	0,23	14,6	2,06	60	20,3
	Heilbronn	M	24,64	2,91	0,72	51	28,8
	Heilbronn	EF	18,79	4,14	0,95	51	28,1
SM Bad Rappenau	Heilbronn	M	55	0,94	0,40	43	19,7

**Tab. 36:** Chemische Analysen der Löserückstände aus Tausalzlöseanlagen (Angaben in M.-%, NaCl und Sulfat auf Trockensubstanz bezogen)

Durch die schlammige Konsistenz der Proben konnte eine vollständige Homogenität der zur Probenbearbeitung entnommenen Teilproben nicht gewährleistet werden. Außerdem hängt die Zusammensetzung der Proben davon ab, wieviel Salz jeweils aus der Tausalzlöseanlage mit abgeschlämmt wird. Somit müssen die erhaltenen Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt einer größeren Fehlerspanne gesehen werden.

Während die wasserunlöslichen Bestandteile (Salzton) völlig unlöslich in Wasser bzw. Sole sind, ist Calciumsulfat löslich. Im Gegensatz zum Natriumchlorid löst sich Calciumsulfat in Wasser bzw. Sole jedoch sehr langsam auf. Je feinkörniger das Calciumsulfat im Steinsalz vorliegt, desto schneller erfolgt die Auflösung. Die maximale Löslichkeit von Calciumsulfat in Sole beträgt bei den winterlichen Temperaturen ca. 0,5 bis 0,6 M.-% und nimmt mit steigender Temperatur ab (inverse Löslichkeit). Die gemessenen Sulfatwerte in der Sole und in den Löserückständen zeigen, dass bei der Soleproduktion in Tausalzlöseanlagen das in den Steinsalzen enthaltene Calciumsulfat nur teilweise aufgelöst wird. Der ungelöste Teil des Calciumsulfats muss als Rückstand aus den Anlagen entfernt werden. Die helle Farbe des Calciumsulfats täuscht oftmals das Vorhandensein von Salz vor.

Die Entfernung der ungelösten Salzbestandteile aus den Upflow-Anlagen erfolgt auf unterschiedliche Weise. Die einfachste technische Lösung besteht aus einem Rohr mit eventueller Schlauchverlängerung, welches an die Konusspitze des Lösetrichters angeschlossen ist, und bei Bedarf geöffnet wird (Bild 44).



**Bild 44:** Upflow-Löseanlage mit integriertem Salzvorrat und Abschlämmschlauch in der SM Dillingen

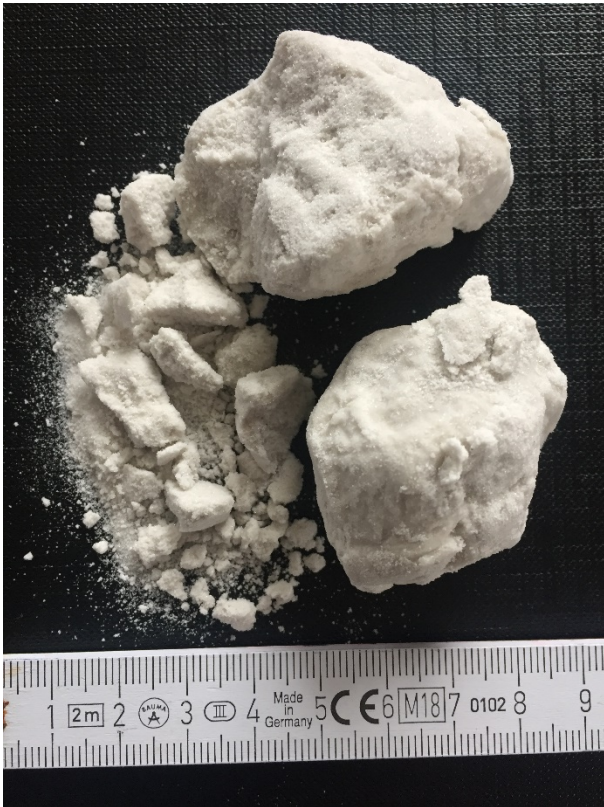
Das Sole-/Schlammgemisch wird in einen geeigneten Auffangbehälter (Wanne, Radladerschaufel) geleitet, der nach Abtrennung und Rückführung der Sole entleert wird. Die Entfernung der ungelösten Salzbestandteile kann auch zusätzlich durch eine Schrägschnecke aus dem Lösetrichter erfolgen (Bild 45).



**Bild 45:** Upflow-Löseanlage mit Abschlämmschnecke, Auffang-BigBag und Solerückführung in der AM Erlangen

Beide technischen Varianten können jedoch nicht den gesamten Löserückstand aus den Löseanlagen entfernen. Es kommt im Laufe der Zeit zu Anbackungen und Verhärtungen im Lösetrichter. Dabei wird das mit dem Steinsalz eingetragene Calciumsulfat (Anhydrit) durch Hydratisierung in Gips umgewandelt, der bei zu langer Verweilzeit im Lösebehälter verhärtet (Bild 46). Gleiches erfolgt, wenn im verwendeten Steinsalz neben dem Anhydrit das Sulfat teilweise auch als Polyhalit ( $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ ) vorliegt. Der Polyhalit zersetzt sich durch Wasser langsam zu Gips. In der AM Kaisersesch muss deshalb der Lösetrichter nach einer Soleproduktion von  $250 \text{ m}^3$  mit Steinsalz F aus dem Salzbergwerk Borth komplett entleert und der Löserückstand mit Wasser über den Abschlämmschlauch herausgespritzt werden. Bei anderen Salzqualitäten kann dies bereits bei geringerer Soleproduktion erforderlich werden. In der AM Kist, wo die Sole aus Heilbronner Steinsalz M produziert wird, ist eine Abschlämmung nach einer Soleproduktion von 50 bis  $80 \text{ m}^3$  über das Abschlämmrohr erforderlich; es wird so lange abgeschlämmt bis nur noch Salz aus dem Lösetrichter fließt. Von Meistereien wurde die Erfahrung gemacht, dass sich der Löserückstand von Steinsalzen, in denen die Nebenbestandteile in sehr grober Körnung verwachsen sind, leichter aus Löseanlagen, z.B. über ein Abschlämmrohr, entfernen lassen, als bei Steinsalzen mit sehr feinkörnig verwachsenen Nebenbestandteilen. Tausalzlöseanlagen mit integriertem Salzvorrat, bei denen die Zugänglichkeit zum Lösebereich erschwert ist, eignen sich vor allem für Steinsalze mit grobkörnig verwachsenen Nebenbestandteilen (z.B. Heilbronner Steinsalz).





**Bild 46:** Verhärtetes Calciumsulfat aus der Auflösung von Steinsalz F aus dem Bergwerk Borth

Gute Erfahrungen wurden in der AM Kaisersesch mit der Installation eines Hydrozyklons am Soleerzeuger gemacht. Mit dem Hydrozyklon wird die Sole permanent von mitgerissenem Salz und Löserückstand gereinigt. Dadurch gelangt weniger Salz und Löserückstand in die Soletanks. Da die Sole in den Tanks in kurzen Abständen umgewälzt wird, können bei Anwesenheit von ungelöstem Salz und Löserückstand diese auch in die Soletanks der Streufahrzeuge gelangen. Durch den Hydrozyklon wird das verhindert (Bild 47). Durch das Umwälzen der Sole in den Tanks werden eventuelle Konzentrationsschwankungen der frisch produzierten Sole ausgeglichen und die Lebensdauer der Solepumpen und deren Dichtungen verlängert.



**Bild 47:** Upflow-Löseanlage mit Hydrozyklon, Abschlämmschlauch, Auffangcontainer und Solerückführung in der AM Kaisersesch

Die Tests mit Steinsalzen im Chargenlöser der SM Neumarkt haben gezeigt, dass die dort installierte Anlage nicht geeignet ist, um Löserückstände leicht zu entfernen. Löserückstände müssen in Abhängigkeit von der Steinsalzreinheit nach einer oder mehreren Produktionschargen manuell aus dem Lösebehälter ausgespritzt werden. Durch die fehlende Bauhöhe kann unter den Lösebehälter kein Auffangbehälter montiert werden. Notgedrungen musste bei den Tests das Gemisch aus Löserückstand und Sole über einen am Behälterboden angeschlossenen Schlauch in eine Radladerschaufel bzw. auf die umgebende befestigte Fläche abgelassen werden. Außerdem wurden beim Umpumpen aus dem Lösebehälter in den Soletank ungelöste Steinsalzbestandteile (Calciumsulfat, Salzton) mitgerissen.

Mit einzelnen Steinsalzen (Bernburg, Borth und Sondershausen) kam es in Upflow-Anlagen auch zur Schaumbildung an der Soleoberfläche im Lösetrichter (Bild 48). Die Schaumbildung ist auf einen Flotationseffekt zurückzuführen: Die Löslichkeit von Sauerstoff in Sole ist geringer als in Wasser und während der Soleproduktion nehmen die entweichenden Gasbläschen feinste ungelöste Rückstände mit an die Oberfläche. Eine Analyse des gebildeten Schaums bei der Auflösung von Salz aus Bernburg ergab neben Salz die Bestandteile Calciumsulfat und Wasserunlösliches im Verhältnis 1:1,9. Störungen durch den Schaum können durch Schaumsperrern und geeignete Positionierung von Überlaufsonden vermieden werden. Bei der Soleproduktion im Chargenverfahren wurde keine Schaumbildung beobachtet.



**Bild 48:** Schaumbildung bei der Soleproduktion mit Steinsalz F aus Sondershausen in der AM Kaisersesch

Da die Abschlammung der ungelösten Salzbestandteile aus Upflow-Anlagen als Sole/Feststoffsuspension erfolgt, ist es sinnvoll, wenn die Sole vor der Rückstandsentsorgung in einem Container abtropfen und in den Produktionsprozess wieder zurückgeführt werden kann (Bilder 45 und 47). Falls das abgeschlammte Material ungelöstes Salz enthält, wird empfohlen, in einer Nachlösestufe das Salz mit Wasser herauszulösen und als Sole in den Produktionsprozess zurückzuführen. Dies ermöglicht die anschließende Entsorgung der Löserückstände auf Deponien. Für diese Restsalzauflösung sollten seitens der Hersteller von Salzlöseanlagen geeignete technische Lösungen angeboten werden.

#### 4.1.9 Sonstiges

Nachstehend wird ergänzend auf weitere Aspekte bei Tausalzlöseanlagen eingegangen:

##### Windeinfluß

Für die gelegentlich vermutete Beeinflussung der Soleproduktion in nicht eingehausten Anlagen durch starken kalten Wind konnte keine Bestätigung gefunden werden. Während den durchgeführten Tests herrschte teilweise kalter Wind. Dies hatte keinen negativen Einfluss auf den Löseprozess. Nach Aussagen von Meistereipersonal wurde ein Windeinfluss bisher nicht beobachtet. Wind kann vermutlich dazu beitragen, dass stillstehende Löseanlagen schneller abkühlen. Längere Stillstände von Löseanlagen sollten ohnehin auch bei nicht allzu tiefen Temperaturen vermieden werden, da es durch Kristallisation/Rekristallisation in Anlagenteilen, die konzentrierte Sole enthalten, zu Verhärtungen kommen kann.

##### Probenahmestellen

In mehreren Tausalzlöseanlagen bestand vor den Tests keine Möglichkeit Soleproben zu entnehmen. Es mussten deshalb Probenahmestutzen mit Absperrventilen nachgerüstet werden.

Bei Upflow-Anlagen müssen Probenahmestutzen mit Absperrventilen für konzentrierte Sole und gebrauchsfertige Sole vorhanden sein. Bei Chargen-Anlagen muss eine Probenahme nach dem Auflösen des Salzes möglich sein. Auch für die Entnahme von Soleproben aus Lagertanks sollte eine geeignete Probenahmemöglichkeit vorgesehen werden.



### Personalaufwand

Bei den automatisierten Upflow-Löseanlagen beträgt der Arbeitsaufwand für einen Mitarbeiter im Normalfall ca. 30 Minuten je Produktionstag. Eine Totalentleerung und Reinigung der Löseanlage erfordert für zwei Mitarbeiter einen Zeitaufwand von mindestens 5 ½ Stunden. Die Häufigkeit der Totalentleerung und Reinigung hängt von der Steinsalzqualität und der produzierten Solemenge ab.

Nicht automatisierte Chargenanlagen haben einen erhöhten Personalaufwand. Während der Produktion müssen ständig ein bis zwei Mitarbeiter anwesend sein. Diese kümmern sich um die Wasservorlage im Lösebehälter, füllen das Salz mit dem Radlader ein, dosieren bei Bedarf Salz oder Wasser nach und steuern das Auflösen und das Umpumpen manuell.

### Arbeitssicherheit

Bei den Tests musste festgestellt werden, dass die Arbeitssicherheit teilweise nicht ausreichend gegeben war (Bild 49). Die Zugänglichkeit zum Lösetrichter war vor allem bei oben geschlossenen Anlagen (ohne abnehmbaren Deckel) erschwert. Lediglich über ein Mannloch sind Inspektionen und Reinigungsarbeiten möglich. Um Inspektionen und Wartungs- bzw. Reinigungsarbeiten durch Meisterei- und Fremdpersonal sicher durchführen zu können, müssen bei oben offenen Löseanlagen Aufstiegsmöglichkeiten (Treppe, Leiter) und Podeste mit Geländer angebracht sein.



**Bild 49:** Erhöhte Unfallgefahr durch fehlende Podeste und Geländer

Bei Mannlöchern auf Soleanlagen (Löseanlage, Tank) muss dafür gesorgt sein, dass Beschäftigte nicht hineinfallen und ertrinken können.

Auch wegen fehlender leicht und sicher zugänglicher Probenahmestellen kann eine erhöhte Unfallgefahr bei Probenahmen der produzierten Sole bestehen (Bild 50).



**Bild 50:** Erhöhte Unfallgefahr bei der Entnahme einer Soleprobe aus dem Lagertank unter Zuhilfenahme einer Anstellleiter

### Stromverbrauch

Es konnten keine exakten Stromverbräuche ermittelt werden, da die Tausalzlöseanlagen über keine Stromzähler verfügten bzw. Messungen gemeinsam mit anderen Stromverbrauchern erfolgten. Aus den installierten Leistungen der Pumpen (Lösepumpe, Verladepumpen), Heizung und Licht lässt sich je nach Soleanlage ein spezifischer Stromverbrauch von ca. 1 – 1,5 kWh je m<sup>3</sup> Sole ableiten, wobei der größte Anteil auf die Heizung (Standzarge, Begleitheizung Wasser und Sole) entfällt. Der untersuchte Chargenlöser hat einen höheren Stromverbrauch, der vor allem von der Zirkulationspumpe (Chemiepumpe) mit einer installierten Leistung von 15 kW verursacht wird.

## 4.2 Sommertests

Im September 2020 wurden ergänzende Tests mit ausgewählten Tausalzlöseanlagen durchgeführt. Die Zielsetzung dieser Tests waren die Messung der Produktionsleistung und der Vergleich mit den Winterergebnissen sowie die Messung der Konzentration der gebrauchsfertigen Sole mit unterschiedlichen Methoden. Die ausgewählten Anlagen und Salze wurden bereits im Winter getestet, sodass ein Vergleich, der im Winter und im Sommer erhaltenen Testergebnisse möglich war.

Nachdem neue Tausalzlöseanlagen in der Regel außerhalb des Winters in Betrieb genommen und zumindest vorabgenommen werden, ist es wichtig, festzustellen, ob die Produktionsleistung im Sommerbetrieb merklich höher ist als im Winter bei tieferen Temperaturen.

Die Wintertests haben gezeigt, dass unterschiedliche Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration der gebrauchsfertigen Sole teilweise deutlich voneinander abweichende Ergebnisse

liefern. Durch ergänzende Untersuchungen sollten die Ursachen für die Abweichungen aufgeklärt werden und die Eignung unterschiedlicher Verfahren zur Konzentrationsmessung festgestellt werden. Manuelle Messungen mit Solespindeln mit unterschiedlicher Referenztemperaturen sollen den Fehler zeigen, wenn man mit einer Spindel misst, deren Referenztemperatur nicht nahe bei der Soletemperatur ist. Nachdem Hersteller teilweise die Löseanlagen auch mit Leitfähigkeitsmessungen anbieten, sollte die Konzentration auch von Hand mit einem Leitfähigkeitsmessgerät ermittelt werden, damit können eventuelle Abweichungen zu den anderen Messmethoden festgestellt werden.

#### 4.2.1 Auswahl der Tausalzlöseanlagen

Für die Untersuchungen wurden die Tausalzlöseanlagen in der AM Kaisersesch, in der AM Erlangen und in der SM Neumarkt ausgewählt. Details der Anlagen sind in Tabelle 31 enthalten.

Zusätzlich wurde Anfang November 2020 noch die Tausalzlöseanlage in der SM Dingolfing untersucht. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Anlagen wird dort die Solekonzentration mit einer eingebauten Leitfähigkeitsmessung ermittelt (Tabelle 37 und Bild 51).

Zum Testen in den Autobahnmeistereien wurde das in den Silos noch vorhandene Salz verwendet, das zuletzt in den Wintertests eingesetzt war. In der SM Neumarkt standen drei vorhandene unterschiedliche Salze zum Testen zur Verfügung, davon waren zwei Salze in der Halle gelagert und ein Salz in BigBags verpackt. In der SM Dingolfing wurde das in der Halle gelagerte Salz eingesetzt.

Die Salzlöseanlagen wurden bei den jeweils eintägigen Tests mit den Einstellungen gefahren, mit denen das Meistereipersonal bzw. der Anlagenhersteller die besten Erfahrungen hat. Dabei stehen ein möglichst störungsfreier Betrieb und die Solequalität (richtige Konzentration, hohe Sole-Reinheit) im Vordergrund.

Löseverfahren	Upflow	Alter (Jahre)	2	Salztyp Kornklasse	Steinsalz M
Betriebsweise	Kontinuierlich	Standort	Im Freien	Lösewasser	Trinkwasser
Bauweise	Geschlossen	Produktionsleistung (l/h)	2.500	Konzentrationsmessung	Leitfähigkeit
Hersteller	Wintermantel	Befüllung mit Salz	Mit Schnecke aus Aufgabetrichter (wird mit Radlader aus der Halle befüllt)	Entfernung Löse-Rückstände	Zeitlich getaktet über Abschlämmschnecke und manuell über Abschlämmschlauch

Tab. 37: Beschreibung der Tausalzlöseanlage in der SM Dingolfing



**Bild 51:** Tausalzlöseanlage in der SM Dingolfing

#### 4.2.2 Ergebnisse

Die Produktionsleistungen der Anlage in der AM Kaisersesch im Sommer 2020 waren gegenüber dem Winterbetrieb 2019/20 leicht erhöht, dies war auf die niedrigere Sollkonzentration von 21 M.% zurückzuführen; im Winter wurde mit einer Sollkonzentration von 22 M.-% gearbeitet. Die Anlage in der AM Erlangen erreichte nicht ganz die Produktionsleistung im Winter, jedoch wurde bei auf 22 M.-% erhöhter Sollkonzentration ein Rückgang der Produktionsleistung festgestellt. Diese Feststellung entspricht den Beobachtungen in der AM Kaisersesch. Alle im Sommer gemessenen Produktionsleistungen bei den Upflow-Löseanlagen der beiden Autobahnmeistereien weichen nicht gravierend von den im Winter ermittelten Produktionsleistungen ab, obwohl die Wasser- und Salztemperaturen im Sommer erheblich höher waren als im Winter. Beim Chargenlöser in der SM Neumarkt wurden hingegen teilweise stark erhöhte Produktionsleistungen im Sommerbetrieb gemessen, wobei hier mit feinkörnigen Salzen die höchsten Produktionsleistungen zu erzielen waren. Hier zeigte sich eine erhöhte Lösegeschwindigkeit aufgrund der höheren Temperaturen des Lösewassers und der Salze.



Die Solekonzentrationen wurden mit nachstehenden Verfahren gemessen:

a) Manuelle Verfahren

- Sole-Spindeln mit unterschiedlichen Referenztemperaturen (0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C),
- Dichte-Spindel mit Temperaturanzeige,
- Brechungsindex (Refraktometer),
- Leitfähigkeit,
- Titration gemäß DIN EN 16811-1 im Labor.

b) Eingebaute, kontinuierlich messende Verfahren bei Upflow-Anlagen

- Biegeschwinger,
- Schwinggabel,
- Leitfähigkeit.

Es zeigte sich, dass grundsätzlich alle getesteten Verfahren zur Messung der Solekonzentration geeignet sind. Bei den Sole-Spindeln ist für die Praxis wichtig, dass die Referenztemperatur der verwendeten Spindel möglichst nahe bei der Soletemperatur liegt, ansonsten ist der Messfehler zu groß. Im Extremfall konnten Messfehler bis zu ca. 1 M.-% festgestellt werden (siehe Tabelle 41). Bei der Dichte-Spindel ist gleichzeitig die Soletemperatur zu messen, am besten mit einer Dichte-Spindel mit gleichzeitiger Temperaturanzeige, und die Konzentration aus einer Tabelle Temperatur/Dichte/Konzentration zu entnehmen (siehe Quellenangaben für Referenztabellen im Abschnitt Literatur). Bei Refraktometern, Biegeschwingern und Schwinggabeln sind Temperaturkompensationen zwingend erforderlich.

Bei der Leitfähigkeitsmessung nimmt das Messgerät die tatsächliche Leitfähigkeit und Temperatur auf, rechnet anhand der Temperaturkompensationsfunktion auf eine Referenztemperatur (in der Regel 20°C oder 25°C) um und zeigt die Leitfähigkeit bei der Referenztemperatur an. Die Solekonzentration kann für die gemessene Leitfähigkeit aus Tabellen für die entsprechenden Referenztemperaturen entnommen werden (Quellenangabe für eine Referenztablelle siehe im Abschnitt Literatur). Bei den manuellen Messungen wurde das Leitfähigkeitsmessgerät Cond 3110 von WTW mit der Leitfähigkeitsmesszelle Tetracon 325 verwendet. Bei eingebauten Messgeräten ist die Leitfähigkeits-/Konzentrations-Tabelle bereits hinterlegt. Das in die Tausalzlöseanlage der SM Dingolfing eingebaute Leitfähigkeitsmessgerät JUMO CTI-500 zeigte keinen exakten Konzentrationswert an, sondern lediglich einen Bereich, in dem sich die Konzentration der Sole befindet. Die Messung sollte dahingehend verbessert werden, dass konkrete Konzentrationswerte angezeigt werden. Leitfähigkeitsmessgeräte und andere eingebaute Messgeräte zur Konzentrationsmessung sollten stets exakte Konzentrationswerte anzeigen. Geräteeinstellungen die nur Konzentrationsbereiche anzeigen, sollten vermieden werden.

Die gemessenen Solekonzentrationen zeigen, dass alle getesteten Anlagen in der Lage sind, Sole mit einer Konzentration zu produzieren, die die im europäischen Normentwurf prEN 17443 enthaltene Anforderung an die maximale Toleranz von +/- 1,0 M.-% der Sollkonzentration einhält. Dabei ist zu beachten, dass die Solekonzentration bei Beginn der Produktion in Upflow-Löseanlagen zunächst für ca. 15-30 Minuten den Toleranzbereich überschreiten kann. Diese Zeit wird benötigt damit sich die Löse- und Verdünnungsschritte einpendeln. Bei den in den Meistereien aus dem vorangehenden Winterbetrieb noch in den Soletanks gelagerten Solen wurden ebenfalls Konzentrationsmessungen durchgeführt, diese bestätigten ebenfalls die Einhaltung der Anforderungen (siehe Tab. 38 bis 41).

Die von der prEN 17443 geforderte Solereinheit (Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen) von max. 0,03 M.-% wurde bis auf eine Ausnahme in allen Fällen erreicht. Mit Steinsalz EF aus dem Bergwerk Heilbronn wurde bei der Soleherstellung im Chargenlöser der SM Neumarkt dieser Grenzwert überschritten. Gleiches wurde bereits bei den Wintertests festgestellt. Bei diesem Salz ist



die Sedimentationsdauer vor dem Umpumpen der Sole in den Lagertank zu kurz (siehe auch Bild 52). Die Anwendung des Imhoff-Trichters zur Beurteilung der Solereinheit kann nur zur groben Vor-Ort-Beurteilung empfohlen werden, da die unlöslichen Stoffe unterschiedlich voluminös sind und keine feste Relation von Volumen zu Gewicht besteht.



**Bild 52:** Proben von frisch produzierter gebrauchsfertiger Sole aus der SM Neumarkt und aus der AM Erlangen (von links nach rechts: SM Neumarkt (NM)-Soletank, NM-Siedesalz EF Ebensee, NM-Steinsalz M Bernburg, NM-Steinsalz EF Heilbronn, AM Erlangen (ERL)-Soletank, alle weiteren Proben ERL-Steinsalz M Heilbronn)

Die Messergebnisse sind in den Tabellen 38 bis 41 detailliert dargestellt.

	Produktion gebrauchsfertiger Sole					Soletank
Salzqualität	Steinsalz Körnung F (Bergwerk Heilbronn)					
Soleproben (im stündlichen Abstand)	1	2	3	4	5	
Produktionsleistung (l/h)	5.900	5.900	5.900	5.900	5.900	-
Salztemperatur (°C)	19,4	-	-	-	-	-
Lösewassertemperatur (°C)	15	-	-	-	-	-
Soletemperatur (°C)	16	15,6	15,5	15	15	22
Sollkonzentration (M.-%)	21	21	21	21	21	22
Istkonzentration (M.-%)						
- Biegeschwinger	21	21	21	21	21	-
- Spindel 0°C	20	20	20	20	20	21
- Spindel 5°C	-	-	-	-	-	21,5
- Spindel 15°C*	20,2	20,6	20,5	20,5	20,5	-
- Spindel 20°C	21	21	21	21	21	22
- Dichtespindel	21	20,9	20,8	20,9	20,9	21,8
- Refraktometer	20,3	20,2	20,1	20,2	20,2	21,8
- Leitfähigkeit	20,8	20,8	20,6	20,8	20,8	21,8
- Labor (Titration)	20,8	20,6	21,0	20,8	20,5	22,5
Reinheit (Wasserunlösliches)						
- Imhofftrichter (ml)	0	0	0	0	0	0
- Labor (M.-%)	0,0192	0,0186	0,0181	0,0190	0,0188	0,0032

\* evtl. fehlerhafte Spindel-Kalibrierung

**Tab. 38:** Messergebnisse der Soleproduktion in der AM Kaisersesch am 09. September 2020

Salzqualität	Produktion gebrauchsfertiger Sole					Soletank
	Steinsalz Körnung M (Bergwerk Heilbronn)					
Soleproben (im stündlichen Abstand)	1	2	3	4	5	
Produktionsleistung (l/h)	3.100	3.100	3.100	3.100	3.007	-
Salztemperatur (°C)	20	-	-	-	-	-
Lösewassertemperatur (°C)	17,3	18	-	-	18,3	-
Soletemperatur (°C)	18	18	17	17	-	18
Sollkonzentration (M.-%)	21	21	21	21	22	21
Istkonzentration (M.-%)						
- Schwinggabel	21,04	20,86	20,76	20,96	22,15	20,99
- Spindel 0°C	19,9	20,1	19,9	19,9	21,75	20,0
- Spindel 5°C	20,3	20,5	20,25	20,3	22,0	20,1
- Spindel 10°C	20,6	20,9	20,7	20,6	22,4	20,5
- Spindel 15°C*	20,3	20,7	20,55	20,5	22,25	20,25
- Spindel 20°C	20,7	21,0	20,9	20,85	22,6	20,5
- Dichtespindel	21,0	21,3	21,0	21,0	22,1	21,0
- Refraktometer	20,7	20,75	20,4	20,5	22,2	20,25
- Leitfähigkeit	20,6	21,0	20,8	20,8	22,75	20,6
- Labor (Titration)	20,4	20,7	20,9	20,5	22,0	20,1
Reinheit (Wasserunlösliches)						
- Imhofftrichter (ml)	0	0	0	0	0	0
- Labor (M.-%)	0,0121	0,0150	0,0117	0,0132	0,0209	0,00389

\*evtl. fehlerhafte Spindel-Kalibrierung

**Tab. 39:** Messergebnisse der Soleproduktion in der AM Erlangen am 17. September 2020

Chargen	Produktion gebrauchsfertiger Sole			Soletank (Sole mit Siedesalz EF produziert)
	1 Siedesalz EF (Saline Eben- see, AT)	2 Steinsalz M (Bergwerk Bernburg)	3 Steinsalz EF (Bergwerk Heil- bronn)	
Produktionsleistung (l/h)	8.760	5.500	6.700	-
Salztemperatur (°C)	22	22	22	-
Lösewassertemperatur (°C)	17,6	-	-	-
Soletemperatur (°C)	20	21	18,4	24
Sollkonzentration (M.-%)	21	21	21	21
Istkonzentration (M.-%)				
- Spindel 0°C	20,4	20,2	20,4	19,5
- Spindel 5°C	20,7	20,5	20,7	20,0
- Spindel 10°C	21,0	20,9	21,2	20,2
- Spindel 15°C*	20,7	20,7	20,9	20,0
- Spindel 20°C	21,2	21,0	21,0	20,5
- Dichtespindel	21,3	21,2	21,4	20,6
- Refraktometer	21,4	21,3	21,2	20,8
- Leitfähigkeit	21,25	21,25	21,0	20,4
- Labor (Titration)	21,4	20,6	21,0	20,6
Reinheit (Wasserunlösliches)				
- Imhoffrichter (ml)	0	0	0**	6***
- Labor (M.-%)	0,00492	0,00625	0,0370	0,00247
*evtl. fehlerhafte Spindel-Kalibrierung				
**aber sehr trübe Sole (Sedimentationszeit zu kurz)				
***abgesetzte hellbraune Flocken in der Sole (Algenbildung aus eingeschleppten Blättern etc. im Salz und im Chargenlöser)				

**Tab. 40:** Messergebnisse der Soleproduktion in der SM Neumarkt am 15. September 2020

	Produktion gebrauchsfertiger Sole			
Salzqualität	Steinsalz Körnung M (Bergwerk Sondershausen)			
Soleproben	1 (ca. 15 min. nach Produktions- beginn)	2 (ca. 15 min nach Produktions- beginn)	3 (ca. 30 min nach Produktions- beginn)	4 (ca. 30 min nach Produktions- beginn)
Produktionsleistung (l/h)	2.500	2.500	2.500	2.500
Salztemperatur (°C)	10,1			
Lösewassertemperatur (°C)	13			
Soletemperatur (°C)	11		11	10,9
Sollkonzentration (M.-%)	21	21	21	21
Istkonzentration (M.-%)				
- Eingebautes Messgerät (Leitfähigkeit JUMO CTI-500)	20-22	20-22	20-22	20-22
- Spindel 0°C	24,0	25,5*	21,2	21,5*
- Spindel 5°C	24,4	-	21,6	-
- Spindel 10°C	24,8	-	22	-
- Spindel 15°C*	24,7	25	22	22*
- Spindel 20°C	25,1	-	22,3	-
- Dichtespindel	24,5 (1,189 g/cm <sup>3</sup> )	-	22,0 (1,168 g/cm <sup>3</sup> )	-
- Refraktometer	-	-	21,6**	-
- Leitfähigkeit	-	-	22,2 (214 mS/cm)	-
- Labor (Titration)	-	-	21,6	-
Reinheit (Wasserunlösliches)				
- Imhofftrichter (ml)	0	-	0	
- Labor (M.-%)	--	-	0,005	-

\*Spindel von SM Dingolfing \*\*Justierung mit Leitungswasser (= Lösewasser). Bei Justierung mit destilliertem Wasser 22,6 M.-%)

**Tab. 41:** Messergebnisse der Soleproduktion in der SM Dingolfing am 04. November 2020

## **5 Technische Voraussetzungen, Empfehlungen und Leistungsbeschreibung**

### **5.1 Technische Voraussetzungen für Salzlöseanlagen**

Bei der Planung einer Salzlöseanlage sind eine Reihe von Parametern zu berücksichtigen. Da Salzlöseanlagen meistens mit Solelagertanks und auch der Salzbevorratung in Verbindung stehen ist eine Gesamtplanung unabdingbar.

#### **5.1.1 Auswahl der Tausalzlöseanlage**

Für die Produktion von Sole in Autobahn- und Straßenmeistereien sowie in kommunalen Bauhöfen sind Tausalzlöseanlagen, die nach dem Upflow-Prinzip und nach dem Zirkulationsprinzip arbeiten, geeignet. Anlagen, die nach dem Downflow-Prinzip mit Kiesbett arbeiten sind nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht zu empfehlen.

Automatisch arbeitende Upflow-Anlagen haben den geringsten Personalaufwand und sind üblicherweise im Leistungsbereich von 2.500 l/h bis 10.000 l/h erhältlich. Nicht automatisierte Tausalzlöseanlagen, die Sole im Chargenbetrieb produzieren und bei denen die Salzzufuhr manuell mittels Radlader erfolgt, haben einen hohen Personalaufwand. Hingegen ist bei diesen Anlagen der Aufwand für die elektrische Mess-, Steuer- und Regeltechnik gering. Abhängig von der Größe eines Chargenlösers sind Leistungen von 6.500 l/h und mehr erreichbar.

#### **5.1.2 Aufstellungsort**

Bei der Positionierung der Gesamt-Soleanlage auf der Liegenschaft muss sowohl die Bauform der Anlage als auch die Position der Fahrzeuge während der Beladung mit Sole und Salz berücksichtigt werden. Eine Salzlöseanlage sollte in Verbindung mit Soletanks möglichst der Salzlagerhalle oder den Salzsilos angegliedert werden. Damit ist ein gleichzeitiges Beladen der Winterdienstfahrzeuge mit Salz und Betanken mit Sole mit kurzen Rohrleitungslängen möglich. Es wird auch auf die Empfehlungen im FGSV-Hinweispapier für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst (H LaStreu) verwiesen.

Tausalzlöseanlagen und Solelagertanks können im Freien oder eingehaust aufgestellt werden. Eine Einhausung kann durch ein eigenes Gebäude, einen Anbau an eine Salzlagerhalle oder durch Aufstellung in einer Salzlagerhalle hergestellt werden. Die Aufstellung im Freien hat den Vorteil der guten Zugänglichkeit. Bei einer Aufstellung der Anlage im Freien kann die Ergänzung durch einen beheizten Technikcontainer, in dem sich Pumpen und die Mess-, Steuer- und Regeltechnik befinden, sinnvoll sein. In diesem Container erfolgt die Bedienung der Anlage. Eine Einhausung hat die Vorteile, dass die Bedienung sowie Wartungs- und Reparaturarbeiten witterungsgeschützt durchgeführt werden können. Nachteilig sind die Verminderung der Salzlagerkapazität in der Lagerhalle bzw. die Mehrkosten für eine gesonderte Einhausung. Beispiele für unterschiedliche Aufstellungsmöglichkeiten sind in den Abschnitten 4.1.1 und 4.2.1 enthalten.

#### **5.1.3 Versorgung mit Wasser und Abwasserentsorgung**

Der Wasserbedarf für die Soleproduktion beträgt 909 Liter pro 1.000 Liter 22 M.-%iger Sole. Bei einer stündlichen Produktion von 2.500 Liter 22 M.-%iger Sole werden 2.272 Liter Wasser/Stunde benötigt. Höhere Produktionsleistungen erfordern entsprechend größere Wassermengen.

Für die Soleproduktion eignen sich grundsätzlich Trinkwasser aus dem Netz von Wasserversorgungsunternehmen, Wasser aus eigenen Brunnen, Flusswasser, gesammeltes Niederschlagswasser, das auch salzhaltig sein kann, und salzhaltige Wässer aus industriellen Prozessen. Letztere müssen jedoch hinsichtlich der sonstigen Inhaltsstoffe auf ihre Umweltverträglichkeit und Eignung für den Winterdienst geprüft werden. Hierzu kann auch die Technische Spezifikation DIN CEN/TS 16811-3 mit herangezogen werden. Wenn Trinkwasser genutzt wird, dann sollte eine separate Abrechnung mit dem Wasserversorger erfolgen, um die Abwassergebühr zu sparen.

Soleanlagen, die nach dem Upflow-Verfahren arbeiten, benötigen einen konstanten Druck von ca. 2,5 – 3 bar. Um Probleme in der Soleproduktion durch Netzdruckschwankungen zu vermeiden, werden Druckminderer in der Wassereinspeisung empfohlen.

Im Bereich einer Soleanlage fällt salzhaltiges Waschwasser aus der Reinigung der Tausalzlöseanlage und der Soletanks an. Die Entsorgung dieser Wässer kann standortspezifisch auf verschiedene Weise erfolgen:

- Ableitung über ein Sole-Auffang-System (z.B. Havarieschacht, Regenrückhaltebecken),
- Ableitung in die öffentliche Kanalisation, oder
- Rückführung in die Tausalzlöseanlage.

Die Anforderungen des Gewässerschutzes – Natriumchlorid ist ein Stoff der Wassergefährdungsklasse 1 - sind zu beachten (siehe 5.1.7). Im Bereich der eingefassten Wasserhaushaltsgesetz (WHG)-Fläche bei im Freien aufgestellten Soleanlagen anfallendes Niederschlagswasser soll über ein Sole-Auffang-System geführt werden. Im Winterbetrieb kann das gesammelte Wasser bei Bedarf zur Soleproduktion genutzt werden.

#### **5.1.4 Stromversorgung**

Aus den installierten Leistungen der Pumpen (Lösepumpe, Verladepumpen), Heizung und Licht lässt sich je nach Soleanlage ein spezifischer Stromverbrauch von ca. 1 – 1,5 kWh je m<sup>3</sup> hergestellter Sole ableiten, wobei der größte Anteil auf die Heizung (Standzarge, Begleitheizung Wasser und Sole) entfällt. Chargenlöser haben einen höheren Stromverbrauch, der vor allem von der Zirkulationspumpe mit einer installierten Leistung von 15 kW verursacht wird.

Die Möglichkeiten zur Stromversorgung der Soleanlage sind je nach Standort und Soleanlage (Salzversorgung, Tausalzlöseanlage, Solelagerung, Soleverladung) individuell zu prüfen. In Abhängigkeit von der Anlagengröße (Löseleistung, Verladeleistung) und der Bemessung der benötigten Pumpen ist der elektrische Leistungsbedarf unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors (Parallelbetrieb von Aggregaten) und des maximalen Anlaufstroms zu ermitteln.

#### **5.1.5 Salzbevorratung**

Die Bevorratung des Salzes zur Soleproduktion kann in Lagerhallen oder Silos erfolgen, aber auch in der Tausalzlöseanlage integriert sein. Bei geringem Bedarf kann das Salz auch in Großsäcken (1.000 kg) und kleineren Säcken (25 kg) gelagert werden.

Die Bevorratung in Silos ermöglicht das autarke Arbeiten der Salzlöseanlagen von der Salzlagerung in einer Halle und hat den Vorteil, dass für die Soleherstellung auch eine andere Salzqualität als zum Streuen vorgehalten werden kann. Die Silos können auf einfache Weise pneumatisch aus Silo-LKWs befüllt werden. Auch eine Befüllung aus einer daneben befindlichen Lagerhalle über Becherwerke oder ebenfalls pneumatisch ist möglich. Unterfahrbare Silos eignen sich zur Versorgung einer Salzlöseanlage und zur Beladung von Streufahrzeugen.

Tausalzlöseanlagen mit integrierter Salzbevorratung benötigen keine separate Salzlagerung in Silos oder Hallen. Diese Anlagen können direkt aus Silo-LKWs befüllt werden.

### 5.1.6 Beschickung mit Salz

Tausalzlöseanlagen, die nicht direkt aus dem Silo-LKW mit Salz befüllt werden, können auf unterschiedliche Weise mit dem für die Soleproduktion benötigten Salz versorgt werden. Aus Silos wird das Salz entweder über ein schräg installiertes Fallrohr oder mit einem Fördermittel (z.B. Trogschnecke) in die Tausalzlöseanlage eingetragen. Bei großer Entfernung zur Tausalzlöseanlage oder zu geringem Höhenunterschied zwischen Silokonus und der Salzeinlassöffnung der Tausalzlöseanlage kann die Salzförderung auch im Gemisch mit Sole aus der Salzlöseanlage verbessert werden (hydraulische Förderung).

Alternativ kann die Tausalzlöseanlage auch direkt unterhalb eines Salzsilos aufgestellt werden.

Bei einer Salzlagerung in Hallen gibt es die Möglichkeit, das Salz auch über einen Aufgabebetrachter, der neben der Tausalzlöseanlage steht und mit einem Radlader befüllt wird, der Löseanlage zuzuführen.

Es wird auch auf die Empfehlungen im FGSV-Hinweisepapier für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst (H LaStreu) verwiesen.

### 5.1.7 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Aufgrund der Klassifizierung von Sole in Wassergefährdungsklasse 1 nach dem WHG muss der Betreiber einer Tausalzlöseanlage gemäß §18 der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) sicherstellen, dass austretende Sole auf geeignete Weise zurückgehalten wird. Dazu sind sie mit einer Rückhalteeinrichtung im Sinne von §2 Absatz 15 der AwSV auszurüsten; außer, wenn es sich um eine doppelwandige Anlage im Sinne von §2 Absatz 16 der AwSV handelt. Die Tausalzlöseanlage muss über eine Überfüllsicherung und über Alarm-signale für die Leckageüberwachung verfügen.

Nach der Trinkwasserverordnung ist die öffentliche Wasserversorgung dauerhaft vor Verunreinigung durch rückfließende Sole aus der Tausalzlöseanlage abzusichern. Bei einer Versorgung der Anlage mit Trinkwasser ist deshalb ein Rückflussverhinderer (Rohrtrenner, Systemtrenner) nach DIN EN 1717 Typ EA sowie DIN EN 13959 und gültiger DIN/DVGW-Prüfnummer erforderlich.

Die Errichter- und die Servicefirma der Anlage müssen je nach Anlagentyp und -größe eine Zulassung nach WHG nachweisen.

### 5.1.8 Materialien

Alle Anlagenteile sollten gegenüber Salz beständig sein und sollten vorrangig aus Kunststoff oder aus Edelstahl hergestellt werden. Kunststoffteile, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, müssen aus UV-beständigem Kunststoff sein.

Tausalzlöseanlagen (Lösebehälter, Pufferbehälter) können aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) oder Polyethylen (PE) hergestellt werden. GFK verfügt als Verbundstoff aus Reaktionsharz, Glasfaser und Füllstoffen über eine sehr hohe Steifigkeit und Festigkeit mit sehr geringer thermischer Ausdehnung. Mit Tausalzlöseanlagen, gefertigt aus GFK, liegen langjährige gute Erfahrungen vor. PE zeichnet sich durch eine hervorragende Verarbeitbarkeit und eine sehr gute UV-Beständigkeit aus. Langzeiterfahrungen liegen mit Tausalzlöseanlagen, gefertigt aus PE, noch nicht vor. Vorteil von PE gegenüber GFK ist die bessere Möglichkeit, Altanlagen dem Recycling zuzuführen.



### **5.1.9 Frostschutz**

Alle Anlagenteile müssen frostsicher ausgeführt werden und die Anlage soll bis zu einer Temperatur von -20 Grad Celsius einwandfrei funktionieren.

Alle wasserführenden Leitungen und Bauteile sind zu beheizen und mit einer Wärmeisolierung zu versehen, einschließlich einer Temperaturregelung über einen einstellbaren Thermostat.

### **5.1.10 Mess-, Steuer- und Regeltechnik**

Upflow-Anlagen werden in der Regel für eine automatische Soleproduktion ausgelegt.

Solche Anlagen sollten mit einer zentralen eigenständigen Steuerungs- und Überwachungseinheit mit einem Touchscreen Bildschirm, geeignet für unbeheizte Räume und Bedienung in verschmutztem Umfeld mit ausreichender Displaygröße ausgestattet sein, von der aus der gesamte Produktions- und Mischprozess der Sole, Füllstände der Lagertanks und des Salzsilos, Steuerung des Hydraulikschiebers am Silo, die Pumpensteuerung für die Be- und Entladestellen überwacht und gesteuert werden können. Auf dem Bildschirm sollte das Anlagenschema farblich dargestellt sein.

Die gesamte Anlage soll konventionell verdrahtet ausgeführt werden. Hierbei werden alle Funktionen, die zum Betrieb der Anlage notwendig sind, über digitale und analoge Ein-/Ausgänge der Steuerung ausgeführt.

Es sollte bei der Mess-, Steuer- und Regeltechnik der gesamten Soletechnik darauf Wert gelegt werden, dass es sich um eine industrielle speicherprogrammierbare Steuerung handelt, die unabhängig vom Hersteller der Tausalzlöseanlage ist, da bei Störfällen im Winter der Hersteller der Anlage an seine personellen Kapazitäten stoßen kann und nur eingeschränkter Service möglich ist. Die Anlagen sollten von einer von der Meisterei frei zu wählenden Servicefirma zu warten sein. Dies bedeutet auch, dass erforderliche Sicherheitscodes der Meisterei auszuhändigen sind, inklusive einer vollständigen und nachvollziehbaren Beschreibung der Programmierung. Die Meisterei ist als Administrator mit sämtlichen Zugriffsrechten auf allen Ebenen zu versehen. Der Betreiber muss vom Hersteller in die Lage versetzt werden, dass er die Parameter der gesamten Soleanlage verändern und für zukünftige Änderungen der Soleanlage das System der Steuerung anpassen kann. Dabei sind Gewährleistungsfragen zu berücksichtigen.

Die Funktionen und Informationen der Gesamtanlage sollten mittels GSM-Modul, W-LAN oder LAN auf einen bauseitigen Computer im Betriebsgebäude der Meisterei und zum Anlagenhersteller zur Fernkontrolle und -wartung übertragen werden.

## **5.2 Empfehlungen (Salzqualität, Handhabung der Anlagen)**

### **5.2.1 Salzqualität**

Die Umfrage unter den Meistereien und die praktischen Untersuchungen haben gezeigt, dass Auftausalze, die die Anforderungen der DIN EN 16811-1 erfüllen, auch für die Soleerzeugung grundsätzlich geeignet sind.

Allerdings ist im Gegensatz zur Salzstreuung bei der Soleerzeugung in Löseanlagen der Anteil der im verwendeten Natriumchlorid enthaltenen Nebenbestandteile besonders zu beachten. Steinsalze enthalten als Nebenbestandteile wasserunlösliche Stoffe (Silikate als Salzton) und

Anhydrit (wasserfreies Calciumsulfat,  $\text{CaSO}_4$ ). Die Silikate bleiben völlig ungelöst, während der Anhydrit teilweise in Lösung geht. Ein Teil des Anhydrits verbleibt ungelöst im Soleerzeuger und wird in Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) umgewandelt. Im Laufe der Zeit kann in der Soleanlage verbliebener Gips verhärten. Die Nebenbestandteile reichern sich im Laufe der Soleherstellung im Soleerzeuger an und verursachen Störungen des Lösebetriebs. Die Nebenbestandteile müssen deshalb periodisch aus dem Soleerzeuger entfernt werden. Nach einer längeren Löseperiode wird auch eine Totalreinigung des Soleerzeugers erforderlich. Je geringer der Gehalt an unlöslichen Nebenbestandteilen und an Sulfat in Form von Calciumsulfat im Steinsalz ist, desto geringer ist der Aufwand zur Entfernung dieser Salzkomponenten aus dem Löseprozess und deren Entsorgung. Da der Aufwand für die Entfernung der Nebenbestandteile und für die Totalreinigung aus wirtschaftlichen Gründen so gering wie möglich sein muss, kann in Abhängigkeit von der eingesetzten Lösetechnik die Verwendung einer höheren Salzqualität als in der DIN EN 16811-1 gefordert, sinnvoll sein. Dies kann über die Anforderung eines höheren Salzgehaltes (z.B. mind. 98,5 M.-%) und/oder der Begrenzung des Gehalts an wasserunlöslichen Stoffen (z.B. max. 0,25 M.-%) sowie durch einen geringeren Sulfatgehalt (z.B. max. 1,0 M.-%) erfolgen. Gegen eine Begrenzung des Gehaltes an wasserunlöslichen Stoffen spricht die bei den Versuchen gewonnene Erkenntnis, dass Steinsalze (Kornklassen F und M) mit einem hohen Gehalt an wasserunlöslichen Bestandteilen gut für die Soleproduktion in Upflow-Anlagen geeignet waren, wobei keine Verhärtungen in den Anlagen auftraten und sich die grobkörnigen Löserückstände aus den Anlagen besser entfernen ließen als Anhydrit bzw. Gips. Nachteilig bei Steinsalzen mit einem hohen Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen ist der erhöhte Aufwand für die Entsorgung der Löserückstände. Bei einem Sulfatgehalt von max. 1,0 M.-% ergibt sich für Calciumsulfat ein Maximalgehalt von 1,5 %, da das Calciumsulfat in Steinsalzen in annähernd stöchiometrischem Verhältnis zum Sulfat vorliegt. Eine Forderung höherer Salzqualitäten ermöglicht die Festlegung in der prEN 17443. Erhöhte Anforderungen sind bei einer Salzausschreibung in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen. Höhere Qualitätsanforderungen an das Salz als in der DIN EN 16811-1 gefordert, können allerdings die Anbieterzahl einschränken und eventuell höhere Beschaffungskosten nach sich ziehen.

Im Gegensatz zur H BeStreu wird empfohlen, den Salzgehalt in Steinsalzen für die Soleherstellung mit der in der Norm DIN EN 16811-1 enthaltenen indirekten Methode zu bestimmen. Diese Methode liefert erfahrungsgemäß genauere Ergebnisse als die direkte Methode (potentiometrische Titration). In die Ausschreibungsunterlagen ist ein Hinweis auf diese Prüfmethode aufzunehmen.

Bei Steinsalzen, die im Aufströmverfahren aufgelöst werden, wird die Verwendung der in der DIN EN 16811-1 genormten Kornklassen F (feines Salz) und M (mittelgrobes Salz) empfohlen. Mit diesen Körnungen ist eine gute Durchströmung der Salzschüttung gewährleistet und es wird einer Verschlammung der Löseanlage entgegengewirkt.

In der Regel wird für die Salzstreuung und die Soleerzeugung das gleiche Steinsalz verwendet, dies vereinfacht die Beschaffung und erleichtert die Lagerhaltung. Das Salz für die Soleproduktion kann, wie das Salz zum Streuen, in Silos oder Hallen gelagert werden. Eine Salzlagerung in Silos ist nicht zwingend erforderlich. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass in Hallen praxisgerecht gelagertes Salz, auch wenn dieses während der Lagerung etwas Feuchtigkeit aufgenommen hat, problemlos für die Soleerzeugung einsetzbar war. Eine Lagerhaltung unterschiedlicher Qualitäten in Lagerhallen, eine Qualität für die Streuung und eine höhere Qualität für die Soleerzeugung, ist allerdings unpraktisch und kann auch unwirtschaftlich sein. Alternativ können Salzlöseanlagen jedoch mit einer gesonderten Steinsalzqualität direkt aus Silos, die mit Silo-LKWs beschickt werden, oder dafür geeignete Salzlöseanlagen direkt aus Silo-LKWs beschickt werden.

Die Alternative zum Steinsalz ist Siedesalz. Siedesalze haben den Vorteil gegenüber Steinsalz, dass sie keine wasserunlöslichen Bestandteile und kein Calciumsulfat enthalten. Sie lösen sich

deshalb vollständig auf und hinterlassen keine Löserückstände. Soleerzeuger die ausschließlich mit Siedesalz betrieben werden, benötigen keine Abschlammtechnik. Es wird empfohlen, das feinkörnige Siedesalz (Kornklasse EF, extrafeines Salz) aus praktischen Gründen nicht gleichzeitig mit Steinsalz in Lagerhallen zu lagern, sondern es direkt bei der Anlieferung in dafür geeignete Soleerzeuger einzublasen oder in neben dem Solerzeuger stehenden Silos trocken zu lagern. Auch eine Befüllung von offenen Soleerzeugern mit Siedesalz aus BigBags ist möglich. Siedesalz eignet sich vor allem für die Soleherstellung im Chargenverfahren, da Salzlöseanlagen, die nach diesem Verfahren arbeiten, in der Regel über keine Möglichkeit zur Abtrennung ungelöster Steinsalzbestandteile verfügen. Ausserdem hat sich bei den Löseversuchen mit dem Chargenlöser gezeigt, dass nicht mit allen Steinsalzen eine Sole produziert werden konnte, die den Grenzwert für wasserunlösliche Bestandteile eingehalten hat. Gegenüber Steinsalz hat Siedesalz die Nachteile des höheren Beschaffungspreises, der geringeren Verfügbarkeit und des schlechteren Ökoprofiles (hoher Energieverbrauch bei der Herstellung).

Für alle Salzqualitäten wird empfohlen, auf einen geringen Feuchtigkeitsgehalt zu achten. Es soll ein trockenes Salz mit einer Feuchtigkeit von max. 0,6 % entsprechend DIN EN 16811-1 beschafft werden. Bei einer Überschreitung des Feuchte-Grenzwertes von 0,6 M.-% kommt es zu verminderter Fließfähigkeit des Salzes und es besteht die Gefahr, dass das Salz bei tiefen Temperaturen gefriert. Mit trockenem Salz kann eine ausreichende Rieselfähigkeit bei der Beschickung der Salzsilos, bei der Entnahme aus dem Salzsilo und bei der Zuführung in den Soleerzeuger sichergestellt werden. Im Löseprozess selbst spielt die Salzfeuchte keine Rolle.

Grundsätzlich sollte ein Soleerzeuger mit allen vorgenannten Salzqualitäten Sole produzieren können. In Abhängigkeit von der Salzqualität sind jedoch Modifikationen an der Soleanlage (Salzzuführung, Soleerzeuger, Solereinigung, Abschlammung) häufig erforderlich. Auch kann die Produktionsleistung des Soleerzeugers von der Salzqualität (Körnung) abhängen. Deshalb ist die für die Soleherstellung vorgesehene Salzqualität (z.B. Salz entsprechend DIN EN 16811-1 mit der Körnung M) in die Ausschreibungsunterlagen für Tausalzlöseanlagen aufzunehmen. Auch bei unterschiedlichen Anforderungen an die chemische Qualität der Salze für die Streuung und die Soleherstellung, kann es von Vorteil sein, wenn für die Salzstreuung und für die Soleherstellung die gleiche Kornklasse des Salzes gewählt wird. Dies ermöglicht die Verwendung des Salzes für die Soleproduktion und für das Streuen, ohne dass es einer Neujustierung der Streumaschinen bedarf. Aus unterfahrbaren Salzsilos können sowohl Salzlöseanlagen wie auch Streufahrzeuge bedient werden.

### **5.2.2 Entfernung ungelöster Salzbestandteile**

Die im Steinsalz enthaltenen Nebenbestandteile verbleiben im Soleerzeuger, werden aber auch mit der produzierten Sole mitgeführt. Grobkörnige Löserückstände verbleiben im Soleerzeuger, während feinkörnige Löserückstände auch als Schwebstoffe mit der produzierten Sole ausgetragen werden. Es ist erforderlich, dass diese Nebenbestandteile aus dem Soleerzeuger und aus der Sole entfernt werden.

Die sich am Boden des Lösebehälters des Soleerzeugers abgesetzten Salznebenbestandteile müssen während der Soleproduktion aus dem Soleerzeuger durch Abschlammung entfernt werden. Die Entfernung kann über eine Abschlammleitung durch Öffnen des Absperrschiebers oder über eine Förderschnecke erfolgen (Bild 53). Der Lösebetrieb muss bei der letzteren Variante nicht unterbrochen werden. Es wird so lange abgeschlammmt bis reines Salz nachläuft. Anschließend wird der Absperrschieber wieder geschlossen bzw. die Förderschnecke außer Betrieb genommen.



**Bild 53:** Soleerzeuger mit Abschlammrohr und -schnecke sowie Entwässerungscontainer

Das abgeschlämte Material kann in einem Entwässerungscontainer, in einer Radladerschaufel, in einer Schubkarre oder in BigBags aufgefangen werden (Bilder 53, 54 und 55). Es besteht überwiegend aus ungelösten Bestandteilen des Steinsalzes und mitgerissenem Steinsalz. Außerdem enthält es noch Sole und sollte deshalb vor der weiteren Behandlung ausdränen. Die dabei anfallende Sole soll in den Prozess zurückgepumpt werden. Insofern wird die Verwendung eines Abtropfcontainers in Verbindung mit einer Tauchpumpe empfohlen. Durch eine Nachlösestufe kann der Salzgehalt des abgeschlämten Materials vor der Entsorgung vermindert werden. Auch die dabei anfallende Sole soll in den Prozess zurückgepumpt werden.



**Bild 54:** Abschlämzung mit einer Abschlämmschnecke in einen BigBag



**Bild 55:** Manuelles Abschlämzen über die Abschlämmlleitung in eine Radladerschaufel

Es wird empfohlen, das Abschlämzen regelmäßig durchzuführen. Der Rhythmus der Abschlämzung hängt von der Steinsalzqualität (Gehalt an Calciumsulfat und Silikaten), von der Größe des Lösetrichters und von der Soleproduktionsleistung bzw. der produzierten Solemenge ab. Typisch ist z.B. die Durchführung eines Abschlämzvorgangs nach dem Auflösen von ca. 25 Tonnen

Steinsalz. Je nach Salzqualität kann eine Abschlammung auch bereits nach 15 Tonnen Steinsalzauflösung erforderlich sein. Es kann auch sein, dass in Abhängigkeit von der Salzqualität zur Entfernung von Löserückständen aus dem Lösetrichter, dieser durch Abpumpen der Sole und Ausspritzen mit Wasser vollständig entleert und gereinigt werden muss.

Die bei Steinsalzen anfallende Reststoffmenge darf nicht unterschätzt werden. Beispielsweise fallen bei einer Soleproduktion mit 250 Tonnen Steinsalz, das 2 M.-% wasserunlösliche Bestandteile enthält, 5 Tonnen Löserückstand an (berechnet als salzfreies Trockenmaterial). Bei der Verwendung von Siedesalz zur Soleproduktion entfällt das Abschlammten.

In Abhängigkeit von der Bauweise des Soleerzeugers, der Qualität des verwendeten Steinsalzes, der Verweildauer ungelöster Bestandteile im Lösebehälter und der Produktionsmenge an Sole kann es im Lösebehälter zum Aufbau ungelöster Bestandteile (Silikate, Gips) kommen, die auch durch Abschlammten nicht entfernt werden können. Dies kann dazu führen, dass die erforderliche Solekonzentration nicht mehr erreicht wird. In solchen Fällen ist eine Entleerung und Komplettreinigung des Lösebehälters erforderlich.

Löserückstände sollten nicht in die Salzlagerhalle entsorgt und mit dem gelagerten Salz zum Streuen verwendet werden. Löserückstände haben keine Tauwirkung und können bei der Lagerung verhärteten. Verhärteter Löserückstand kann den Streuvorgang stören und Schäden an Streumaschinen verursachen.

Die Entsorgung der anfallenden Reststoffe ist lokal zu regeln. Es sollte versucht werden, mit dem Salzlieferanten die Rücknahme der anfallenden Reststoffe zu vereinbaren. Die Reststoffe können in leeren Abbaukammern von Steinsalz- und Kalibergwerken als Versatzstoff untergebracht werden. Die Rücknahme könnte in loser Form in Absetzmulden, mit Kipper-LKWs oder kostenintensiver, verpackt in BigBags, erfolgen. Alternativen dazu sind Baustoff-Deponien. Bei den genannten Entsorgungswegen sind die jeweiligen Annahmekriterien zu beachten.

Je schneller das Wasser in die Salzvorgabe eingedüst wird, desto mehr nicht lösbare Bestandteile (Schwebstoffe) werden mit der produzierten Sole ausgetragen. Diese Schwebstoffe müssen im weiteren Prozess abgetrennt werden, um die Anforderungen an die Solequalität zu erfüllen.

Für die Solereinigung stehen drei Verfahren zur Verfügung:

- Sedimentation  
Durch den Einbau von Beruhigungszonen am Wehrüberlauf bzw. in der Entnahmestrecke des Soleerzeugers können Schwebstoffe durch Sedimentation aus der Sole zurückgehalten werden.  
Auch die Herabsetzung der Strömungsgeschwindigkeit des Lösewassers vermindert die mit der Sole ausgetragene Menge an Schwebstoffen. Allerdings ist dies mit einer Minderung der Soleproduktionsleistung verbunden und erfordert eventuell die Aufstellung eines weiteren Soleerzeugers.  
Die Nutzung der Solelagertanks als Sedimentationsbehälter hat den Nachteil, dass ein erhöhter Reinigungsaufwand bei den Solelagertanks entsteht.
- Filtration  
Durch Schmutzfilter (Rohrfilter nach dem Prinzip von Wasserfiltern) können Verunreinigungen aus der gebrauchsfertigen Sole entfernt werden. Die Filter können in die Sole-Förderleitung zu den externen Soletanks eingebaut werden. Die Filter müssen von Zeit zu Zeit, in Abhängigkeit der Menge an ungelöstem Material in der Sole, gereinigt werden. Bei hohen Schwebstoffgehalten in der Sole kann die erforderliche häufige Reinigung der Filter



einen erhöhten Personalaufwand verursachen und den kontinuierlichen Betrieb eines Soleerzeugers stören.

- Fliehkraftabscheidung

Alternativ zu den vorgenannten Reinigungsstufen können mittels eines Hydrozyklons Feststoffpartikel aus der gebrauchsfertigen Sole entfernt werden (Bild 56). Um die Trennfunktion des Hydrozyklons sicherzustellen ist ein definierter Soledurchfluss erforderlich. Dieser Durchfluss kann nur generiert werden, sofern die produzierte Sole in einem Puffertank mit mind. 1.000 Liter zwischengespeichert wird. Bei der Nutzung von diesen Abscheidern ist zu beachten, dass der maximale Eintrittsdruck nicht überschritten werden darf. Hier sind die technischen Daten zu Grunde zu legen. Darüber hinaus sind die Sole-Produktionsleistung und der maximale Trübedurchsatz (Volumen der Abscheidung bzw. Filterleistungsfähigkeit) aneinander anzupassen. Zum Beispiel darf die Produktionsleistung der Soleanlage den maximalen Trübedurchsatz von z.B. 18 m<sup>3</sup>/h bzw. 300 l/min nicht übersteigen, da dann die Separation nicht vollständig möglich ist.



**Bild 56:** Hydrozyklon für die Solereinigung

Tausalzlöseanlagen (Lösetrichter und Puffertank) sollten zum Ende einer Winterdienstsaison entleert und gründlich mit Wasser gereinigt werden.

### 5.2.3 Stillstände von Tausalzlöseanlagen im Winter

Bei längerem Stillstand von gefüllten Soleerzeugern (NaCl) kann es insbesondere bei sehr tiefen Außentemperaturen zum „Gefrieren“ des Inhalts des Salzlösebehälters und dazugehöriger Anlagenteile kommen. Dies ist auf die Auskristallisation von Natriumchlorid oder Natriumchlorid-Dihydrat infolge einer Übersättigung mit damit verbundener Verhärtung des Salz-/Sole-Gemisches zurückzuführen. Schwere Betriebsstörungen bei der Wiederaufnahme der Soleproduktion können die Folge sein.

Als Gegenmaßnahmen sind möglich:

- Entleerung des Soleerzeugers vor dem Stillstand;

- Einstellung einer geringen Produktionsleistung, um einen ständigen Durchfluss aufrechtzuerhalten (ausreichend freies Tankvolumen ist erforderlich);
- Heizung des Lösebehälters mit warmwasserdurchflossenen Heizschlangen und Isolierung sowie Verlegung eines Heizbandes um das Abschlämmventil und das Abschlämmrohr;
- Aufstellung des Soleerzeugers in einem beheizten Gebäude.

#### 5.2.4 Abnahme und Eigenkontrolle

Es wird empfohlen, Abnahmetests bei neu gelieferten Salzlöseanlagen und Eigenkontrollen während des Lösebetriebs durchzuführen:

##### - Abnahme

Die Einhaltung der Anforderungen (Soleproduktionsleistung, Solekonzentration, Solereinheit) nach Lieferung und Einstellung der Anlage sollte bei einem Probetrieb des Soleerzeugers im Beisein des Anlagenherstellers überprüft werden. Dies kann eventuell auch durch ein beauftragtes unabhängiges Prüfinstitut erfolgen.

Über den Probetrieb ist ein Protokoll mit den Ergebnissen zu erstellen. Werden die Anforderungen an die gelieferte Soleanlage im Probetrieb nicht eingehalten, hat der Auftragnehmer die Anlage nachzubessern und die Einhaltung der Anforderungen erneut nachzuweisen. Ab dieser Teilabnahme läuft die Gewährleistungsfrist für die gelieferte Anlage.

Die endgültige Abnahme sollte erst nach 3-monatigem Produktionsbetrieb im Winter erfolgen.

Hinweise und Testverfahren für die Feststellung der Soleproduktionskapazität, der Solekonzentration und der Solereinheit sind in der prEN 17443 enthalten.

##### - Soleanalysen durch Meistereipersonal

Durch Analysen direkt bei der Soleanlage kann die Qualität der in Soleerzeugern eigenproduzierten gebrauchsfertigen Sole anhand der nachstehenden physikalisch-chemischen Parameter geprüft werden:

Die Solekonzentration kann mit den in den Abschnitten 4.1.6 und 4.2.2 aufgeführten Verfahren geprüft werden. Empfohlen werden Handrefraktometer und Spindeln (Kochsalzspindel nach Bischoff mit Konzentrationsskala).

Für eine Vor-Ort-Prüfung der Solereinheit kann ein Test mit dem Imhoff-Trichter durchgeführt werden (siehe Abschnitt 4.1.7). Hierzu wird 1 Liter der Sole in einen Imhoff-Trichter gefüllt und nach einer gewissen Sedimentationszeit das abgesetzte Volumen des Sediments abgelesen. Das Volumen sollte eine Maximalmenge von 0,5 ml nicht überschreiten. Die Sedimentationszeit sollte mindestens 1 Stunde und maximal 24 Stunden betragen, abhängig vom Sedimentationsverhalten der absetzbaren Stoffe.

Durch Filtration der Sole durch ein Prüfsieb mit einer Maschenweite von 500 µm kann festgestellt werden, ob sich in der Sole Partikel größer als 0,5 mm befinden. Für einen Schnelltest genügt hierfür 1 Liter Sole.

### 5.3 Technische Leistungsbeschreibung

Für die Beschaffung einer automatisch arbeitenden Tausalzlöseanlage nach dem Upflow-Prinzip werden nachstehend wesentliche Bausteine einer allgemeinen technischen Leistungsbeschrei-



bung mit Leistungsverzeichnis beispielhaft erstellt. Auf andere Punkte, die für die Einzelfälle notwendig sind, wird hier nicht eingegangen. Der folgende Text enthält auch weitergehende Empfehlungen.

### 5.3.1 Allgemeine Beschreibung

Auf dem Gelände der Autobahnmeisterei soll eine vollautomatische Tausalzlöseanlage hergestellt werden. Die Gesamtanlage besteht aus einem Solerzeuger, der aus einem GFK-Salzsilo mit Salz beschickt wird, 2 Solelagertanks mit je 50 m<sup>3</sup> Nutzinhalt, Pump- und Befüllstationen sowie einer Steuer- und Überwachungseinheit. Die Anlage muss die Anforderungen der AwSV erfüllen. Die produzierte gebrauchsfertige Sole soll in die doppelwandigen GFK-Soletanks gepumpt werden. Der Lösevorgang inklusive Konzentrationsmessung, das Abpumpen der gebrauchsfertigen Sole in die Lagertanks sowie alle weiteren Anlagenfunktionen wie z.B. das Befüllen, Entleeren, Umwälzen, Soleproduktion, Füllstandsüberwachung, Abschlämmvorgang usw. sollen vollautomatisch ablaufen. Die erforderlichen Anschlüsse für Wasser und Strom werden dem Auftragnehmer zur Verfügung gestellt. Ab diesen Übergabestellen hat der Auftragnehmer eigenverantwortlich sämtliche erforderlichen Verbindungen, Leitungen, Schaltschränke, Bauteile, Isolierungen usw. auszuführen.

Ab der Übergabestelle Wasser, hat der Auftragnehmer sämtliche Wasserleitungen zu dämmen und mittels Begleitheizung garantiert frostsicher zu halten. Darüber hinaus wird ein frostsicherer, gedämmter und geeichter Wasserzähler (Zwischenzähler) von den verantwortlichen Wasserwerken installiert. Zum Lieferumfang gehört die gesamte funktionsfähige vollständig betriebsbereite Anlage bestehend aus der Tausalzlöseanlage, zwei doppelwandigen stehenden GFK-Tanks mit je 50 m<sup>3</sup> Nutzinhalt, einer zentralen Steuer- und Überwachungseinheit für die Gesamtanlage, 2 Be- und Entladestationen, sowie sämtliche Leitungen, Verteilungen, Pumpen, Schieber, Verkabelung, Regelungen und Anschlüssen für die gesamte Anlage komplett angeschlossen und betriebsbereit.

### 5.3.2 Anforderungen an die Tausalzlöseanlage

Die Tausalzlöseanlage hat die Anforderungen der prEN 17443 zu erfüllen.

Alle Anlagenteile müssen frostsicher ausgeführt werden und die Anlage soll bis zu einer Temperatur von -20 °C einwandfrei funktionieren.

#### - Produktionsleistung und Solekonzentration

Die Mindest-Produktionsleistung muss ..... Liter pro Stunde einer 22 M.-%-igen gebrauchsfertigen NaCl-Sole betragen. Die effektive Produktionsleistung darf nur max. minus 5 % von der geforderten Produktionsleistung abweichen. Die Konzentration der gebrauchsfertigen Sole darf eine Toleranz von +/- 1,0 M.-% von der Sollkonzentration 22 M.-% nicht überschreiten.

#### - Umgang mit natürlichen Salznebenbestandteilen

Es ist bekannt, dass Auftausalze (Steinsalz) nicht lösliche bzw. schwer lösliche natürliche Bestandteile (Silikate, Anhydrit) enthalten. Diese Bestandteile können mit gleicher Korngröße wie das Natriumchlorid oder sehr fein verteilt mit geringeren Korngrößen im Salz enthalten sein. Insbesondere fein verteilter Anhydrit im Salz kann in der Salzlöseanlage unter Gipsbildung erhitzen. Dies darf weder in der Anlage noch in den Rohrleitungen geschehen. Deshalb ist die produzierte Sole von diesen ungelösten Bestandteilen bei jeder Produktionsleistung automatisch zu reinigen. Dies kann durch Sedimentation, Filtration und/oder durch Einsatz eines Hydrozyklons erreicht werden. Die gebrauchsfertige Sole darf maximal 0,03 M.-% an ungelösten Bestandteilen enthalten. Dabei dürfen ungelöste Bestandteile nicht größer als 0,5 mm sein.

Aus dem Lösebehälter sind die ungelösten Salzbestandteile vollständig auszutragen, zum Beispiel durch Spülung oder durch einen mechanischen Austrag (Schnecke). Dieser Reinigungsprozess der Anlage muss vollautomatisch ablaufen und die Intervalle hierfür vom Betreiber frei wählbar sein. Grundlage für die Einstellung der Intervalle ist die Menge der nicht löslichen und schlecht löslichen Salzbestandteile. Diese sind von dem jeweils verwendeten Salz abhängig. Die Anlage muss für die Herstellung von Sole aus Salzen geeignet sein, die den Anforderungen der DIN EN 16811-1 (Kornklassen F und M, Feuchteklasse trocken) entsprechen. Für die unterschiedlichen Salzqualitäten hat der Auftragnehmer eine Tabelle zu liefern, aus der für den Betreiber eindeutig zu erkennen ist, wie er die Wartungsintervalle in Abhängigkeit von der Salzqualität an der Anlage einzustellen hat.

Treten die ungelösten Salzbestandteile außerhalb des Lösebehälters auf, so dürfen sich diese nirgendwo absetzen. Um ein Absetzen zu verhindern, sind die betroffenen Anlagenteile am Ende eines Soleproduktionsvorganges mit Wasser automatisch zu reinigen.

Die bei der Entschlammung der Tausalzlöseanlage anfallenden ungelösten Salzbestandteile sind in einem Behälter (Kunststoff oder Edelstahl) unmittelbar an der Anlage aufzufangen. Der Behälter muss mindestens 400 kg fassen und ist als Kippbehälter zu liefern, der mit einem Gabelstapler oder Radlader mit Gabel ebenerdig aufgenommen, transportiert und durch eine Kippvorrichtung, die am Behälter vorhanden sein muss, ausgekippt werden kann. Die im Kippbehälter abgetrennte Sole ist wieder in den Produktionsprozess zurückzupumpen und wiederzuverwenden.

- Konzentrationsmessung

Die Löseanlage muss mit einer Überwachungseinheit ausgestattet sein, die den gesamten Produktionsprozess überwacht und dafür sorgt, dass die geforderte Solekonzentration immer erreicht wird, ansonsten ist die Anlage automatisch abzuschalten. Zur automatischen und ständigen Konzentrationsmessung während der Produktion sind folgende Verfahren zugelassen: dichtebasierte Verfahren (Biegeschwinger, Schwinggabel), Verfahren, das auf einer Messung der elektrischen Leitfähigkeit beruht. Die Messgeräte sind mit einer Temperaturkompensation auszustatten und müssen den konkreten Konzentrationswert mit einer Auflösung von 0,1 % messen und anzeigen.

- Messung der Produktionsleistung

Zur Messung der Produktionsleistung ist ein Volumenstrom-Messgerät einzubauen und an die zentrale Steuerungs- und Überwachungseinheit anzuschließen. Zur visuellen Beobachtung des Soleflusses ist in die Leitung zu den Soletanks ein mindestens 300 mm langes Klarsichtrohr mit Beleuchtung einzubauen.

- Steuerung und Überwachung der Soleproduktion

Die Anlage muss mit einer zentralen eigenständigen Steuerungs- und Überwachungseinheit mit einem Touchscreen Bildschirm, geeignet für unbeheizte Räume und Bedienung in verschmutztem Umfeld, und mit ausreichender Displaygröße ausgestattet sein, von der aus der gesamte Produktions- und Mischprozess der Sole, Füllstände der Lagertanks und des Salzsilos, Steuerung des Hydraulikschiebers am Silo, die Pumpensteuerung für die Be- und Entladestellen überwacht und gesteuert werden können. Auf dem Bildschirm muss das Anlagenschema farbige dargestellt sein.

Die gesamte Anlage ist konventionell verdrahtet auszuführen. Hierbei werden alle Funktionen, die zum Betrieb der Anlage notwendig sind, über digitale und analoge Ein-/Ausgänge der Steuerung ausgeführt.

Für die automatische Soleproduktion ist folgende Steuerung vorzusehen: Die gebrauchsfertige Sole wird in die Soletanks gepumpt. An jedem Tank sind zur Füllstandsmessung Ultraschallsensoren installiert, die den Füllstand kontrollieren und die Soleproduktion ein- und ausschalten. Der Einschaltimpuls zur Soleproduktion soll erst dann erfolgen, wenn dem Soletank mindestens 15.000 Liter entnommen wurden. Der Abschaltimpuls soll bereits bei 45.000 Liter erfolgen, um die Rückführung von Sole aus Streufahrzeugen zu ermöglichen. Diese Einstellungen müssen bei Bedarf jederzeit vom Auftraggeber angepasst werden können. Nach dem Einschaltimpuls soll sich der Schieber am Salzsilo öffnen, die Förderschnecke Salz zur Löseanlage fördern und die Soleproduktion beginnen. Die gebrauchsfertige Sole ist in die Lagertanks zu pumpen. Nach dem Abschaltimpuls soll sich der Schieber wieder schließen. Sole soll noch so lange weiter produziert werden, bis die Salzmenge im Lösetrichter aufgebraucht ist. Sobald die Anlage keine 22 M.-%-ige Sole mehr produziert, hat die Anlage automatisch abzuschalten. Alle Anlagenteile, mit Ausnahme des Lösebehälters, die von Sole durchflossen wurden, sind danach mit Wasser automatisch so lange zu reinigen, bis sichergestellt ist, dass keine Ablagerungen mehr vorhanden sind. Das daraus resultierende Spülwasser muss dem Produktionsprozess wieder zugeführt werden. Es darf nicht in die Lagertanks geleitet werden.

Die Löseanlage muss über ein vom Betreiber individuell einstellbares automatisches Umwälzprogramm verfügen.

Zusätzlich zu der automatischen Produktion muss die Anlage in allen Funktionen auch manuell bedient und gesteuert werden können. Weiterhin sind folgende Funktionen auch manuell steuerbar vorzusehen:

- Austrag der ungelösten Bestandteile aus dem Lösebehälter;
- Spülung aller Behälter und Leitungen der Anlage in denen sich Ablagerungen bilden können;
- Öffnen und Schließen der Ventile;
- Abpumpen des Solepuffers.

Die manuelle Bedienung muss in der Anlagendokumentation ausführlich beschrieben sein.

Bauteile, die elektrisch angesteuert werden, sind mit mindestens 2 cm großen Schriftzeichen zu beschriften. Diese Bauteile und deren Bezeichnungen müssen sich in der Steuerung der Anlage eindeutig wiederfinden.

- Wartung und Service

Sämtliche Anlagenteile müssen erforderlichenfalls auch durch fest installierte Podeste und Treppen (keine Anlegeleitern o.ä.) zu Wartungs- und Prüfzwecken frei zugänglich sein. Alle Behälter müssen zugänglich sein, entweder offen von oben oder durch Reinigungsöffnungen (Mannloch, mind. DN 600).

Sind die Anlagenteile höher montiert und nicht vom Erdboden frei erreichbar, so ist die Anlage an wichtigen Stellen für die Wartung mit einem begehbaren Podest zu versehen. Das Podest ist wie folgt auszustatten: Breite mindestens 0,80 m, Höhe so, dass alle Teile im Lösebehälter für Wartungs- und Reparaturarbeiten erreichbar sind. Geländer zur Absturzsicherung. Belag mit Gitterrost mind. R 13; Tragfähigkeit 300 kg/m<sup>2</sup>. Treppenaufgang zum Podest ebenfalls in Gitterrostaufführung mind. R 13.

Alle Anlagenteile einschließlich Podesten und Treppen sind aus korrosionsbeständigen Materialien zu fertigen. Bauteile die direkt mit Sole in Berührung kommen können, sind in Edelstahl auszuführen. Kunststoffteile, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, müssen aus UV-beständigem Kunststoff gefertigt sein.

Die Anlage ist mit einem elektrischen Wasserventil und Rohrtrenner nach den aktuellen Richtlinien (Trinkwasserverordnung, DIN EN 1717 Typ EA, DIN EN 13959, DIN/DVGW-Prüfnummer) und dem WHG auszurüsten. Alle wasserführenden Leitungen sind mit einer Wärmeisolierung zu versehen und zu beheizen, inklusive Temperaturregelung mit einem einstellbaren Thermostaten.

Der Auftragnehmer hat einen 24-Stunden-Service sowie bei Ausfall der Anlage eine Ersatzteilversorgung und den Einsatz eines Servicetechnikers innerhalb von 5 Stunden zu garantieren. Die Errichter- und die Servicefirma der Anlage müssen eine Zulassung als Fachbetrieb nach WHG nachweisen. Hierfür wird ein separater Servicevertrag abgeschlossen.

#### - Abnahme

Nach Fertigstellung überprüft der Bauherr die Produktionsleistung, die Solekonzentration und die Solereinheit, eventuell auch durch Beauftragung eines unabhängigen Prüfinstituts. Die Anlage muss seitens des Auftragnehmers mit einer Probenahmestelle vor der Befüllung der Lagertanks für die Entnahme der gebrauchsfertigen Sole ausgestattet sein. Für diese Überprüfung sind die prEN 17443 und ergänzende Hinweise der FGSV für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst maßgebend. Die Einhaltung der gestellten Anforderungen ist Grundvoraussetzung für die Abnahme der Anlage.

Zum Nachweis der Gebrauchs- und Funktionsfähigkeit erfolgt die Abnahme der Anlage frühestens nach 3 Monaten im vollen Winterdienstbetrieb unabhängig vom Fertigstellungstermin.

### 5.3.3 Leistungsverzeichnis

Im Anhang G sind für das Leistungsverzeichnis beispielhafte Formulierungen für die Bausteine Tausalzlöseanlage und Steuerungseinheit enthalten.

(Abschnitt 5.3 wurde in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz und dem Planungs- und Ingenieurbüro Dipl. Ing. Bernd Wilms, Kelberg, Rheinland-Pfalz, erstellt.)

## 6 Zusammenfassung

Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführte Online-Befragung ergab einen guten Überblick über den derzeitigen Stand der Soleproduktion von Autobahn- und Straßenmeistereien in Deutschland und den Nachbarländern Niederlande, Österreich und Schweiz. Aus den erhaltenen Antworten konnten insbesondere nachstehende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Im Winter 2018/19 wurden von den an der Umfrage beteiligten deutschen Autobahnmeistereien durchschnittlich insgesamt 796 m<sup>3</sup> Sole für die FS30- und FS100-Streuung verbraucht. Teilweise wurden sehr geringe Soleverbräuche mitgeteilt. Bei den Straßenmeistereien war der durchschnittliche Verbrauch mit 441 m<sup>3</sup> deutlich geringer.
- Bei der Soleproduktion kommen das kontinuierliche Upflow-Verfahren und das Chargenverfahren (Zirkulation) zur Anwendung. Das kontinuierliche Downflow-Verfahren wird nur selten genutzt.
- Von den in Deutschland installierten Tausalzlöseanlagen sind nahezu 50 % älter als 10 Jahre. In Österreich und der Schweiz sind die Anlagen jünger.
- In Deutschland ist die Hälfte der Anlagen im Freien aufgestellt. Die anderen Anlagen befinden sich eingehaust in der Salzlagerhalle, in einem Anbau oder in einem eigenen Gebäude. In Österreich werden die Anlagen im Freien aufgestellt, während sich die Anlagen in der Schweiz ausschließlich in der Salzlagerhalle oder in einem eigenen Gebäude befinden. In den Niederlanden befinden sich die Anlagen überwiegend im Freien.

- Während in Deutschland die Sole vor allem aus Steinsalz hergestellt wird, ist in Österreich und der Schweiz Siedesalz das Ausgangsmaterial. In den Niederlanden wird meistens Siedesalz verwendet, neben Meersalz und Steinsalz.
- Steinsalze für die Soleproduktion entsprechen den Kornklassen F und M der DIN EN 16811-1. Siedesalz entspricht der Kornklasse EF.
- Die Steinsalze sind gekennzeichnet, entweder durch einen hohen Gehalt an unlöslichen Bestandteilen oder durch einen hohen Gehalt an Sulfat. Bei der Beschaffung werden teilweise über die Anforderungen der DIN EN 16811-1 hinausgehende höhere Anforderungen an das Salz gestellt.
- Die Befüllung der Tausalzlöseanlagen mit dem Salz erfolgt über Fallrohre und Förderschnecken aus Silos oder mit Radladern aus der Salzlagerhalle.
- Bei den Antworten aus Deutschland und der Schweiz fällt auf, dass in diesen Ländern die Sole zu einem sehr hohen Anteil mit Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz hergestellt wird. In Österreich dagegen wird fast ausschließlich Brunnenwasser verwendet.
- Die praktische Produktionsleistung der Tausalzlöseanlagen ist bei den in deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien installierten Anlagen häufig geringer als von den Herstellern angegeben.
- Die Konzentration der hergestellten gebrauchsfertigen Sole liegt in allen Ländern vor allem im Bereich 20 – 23 M.-%.
- Beim Einsatz von Steinsalzen fallen Löserückstände an, die nach deren automatischer oder manueller Entfernung aus den Tausalzlöseanlagen in der Regel dem Auftausalz in der Lagerhalle zugeschnitten werden oder auf Deponien verbracht werden.
- Die Reinigung der gebrauchsfertigen Sole erfolgt meistens durch Sedimentation im Solelagertank. Andere genutzte Verfahren sind die Filtration und die Reinigung in Hydrozyklonen.
- Die Soleproduktion erfordert einen Personalaufwand der täglich bei ca. 0,5 bis 2 Stunden liegt. Der Personalaufwand ist abhängig vom eingesetzten Salz, dem Löseverfahren und dem Automatisierungsgrad der Anlage.
- Es besteht grundsätzliche Zufriedenheit mit den Salzlöseanlagen. Dennoch werden Verbesserungspotenziale in nachstehenden Punkten gesehen:
  - Salzqualität
  - Silo-LKW-Sauberkeit
  - Aufstellung der Löseanlagen
  - Salzzuführung zur Löseanlage
  - Betriebsweise (Vollautomatik)
  - Fernüberwachung
  - Löseleistung
  - Betrieb bei tiefen Temperaturen
  - Solereinheit
  - Solelagervolumen
  - Reinigung der Löseanlage
  - Pumpen
  - Rohrleitungen
  - Wartung
  - Schulung

Die im Winter 2019/20 und Sommer 2020 durchgeführten Testproduktionen von Sole in insgesamt sieben deutschen Autobahn- und Straßenmeistereien erbrachten weitere Erkenntnisse:

- Für die Soleproduktion sind Upflow-Löseanlagen und Chargenlöser sehr gut geeignet.
- Die Salzlagerung bei Upflow-Löseanlagen kann in Salzlagerhallen, in Silos oder integriert in die Löseanlage erfolgen,

- Bei Upflow-Löseanlagen und Chargenlösern kann die Salzzufuhr in den Lösebehälter mit Radladern aus Salzlagerhallen direkt oder indirekt über Vorbunker mit anschließender Förderschnecke erfolgen. Aus Silos kann die Zuführung mit Fallrohren und Förderschnecken erfolgen. Bei fehlender Bauhöhe oder großer Entfernung zur Löseanlage ist auch ein hydraulischer Salztransport von der Förderschnecke zum Salzlöser möglich.
- Für die Soleproduktion sind Steinsalze und Siedesalz geeignet. Bei Upflow-Anlagen sind Steinsalze mit den Kornklassen F und M am besten geeignet. Diese Kornklassen garantieren über den gesamten Querschnitt des Lösebehälters einen guten Soledurchfluss durch das Salz, ohne dass es zu Kanalbildungen kommt.
- Bei Chargenanlagen werden mit feinkörnigen Salzen (Kornklasse EF) die höchsten Produktionsleistungen erzielt.
- Der Austrag der ungelösten Salzbestandteile aus Upflow-Löseanlagen erfordert unterschiedliche Anstrengungen, auch mit entsprechendem Personalaufwand. Für einen ungestörten Betrieb muss bei Steinsalzen mit hohem Sulfatgehalt in Abhängigkeit von der produzierten Solemenge aufgrund möglicher Verhärtungen periodisch eine manuelle Totalreinigung oder eine automatische Spülung des Lösebehälters erfolgen. Steinsalze mit hohem Gehalt an wasserunlöslichen Stoffen, verursachen einen erhöhten Aufwand für die Entsorgung der manuell oder automatisch abgeschlammten Löserückstände.
- Da in allen getesteten Löseanlagen Trinkwasser eingesetzt wurde, gab es keine negativen Einflüsse der Wasserqualität auf den Löseprozess.
- Bei allen Testproduktionen wurde festgestellt, dass die Temperatur der gebrauchsfertigen Sole mehrere Grad Celsius unterhalb der Lösewassertemperatur lag, aber immer noch oberhalb von 0°C. Eine Auskristallisation von Salz oder Gefrieren der gebrauchsfertigen Sole ist aufgrund der Untersättigung und des tiefen Gefrierpunktes nicht zu befürchten.
- Sowohl mit Upflow-Löseanlagen wie auch mit Chargenlösern (10 m<sup>3</sup>-Lösebehälter) können unter Einhaltung der geforderten Solereinheit Produktionsleistungen von bis zu ca. 6.500 Liter gebrauchsfertiger Sole/h erreicht werden. Die Produktionsleistung von Chargenlösern kann durch Vergrößerung des Lösebehälters gesteigert werden.
- Die Produktionsleistungen der Löseanlagen während des Winterbetriebes unterscheiden sich nicht wesentlich von den Produktionsleistungen während einer Inbetriebnahme außerhalb des Winters. Insofern können Vor-Abnahmen neu gelieferter Löseanlagen auch außerhalb des Winters erfolgen. Upflow-Löseanlagen können weitgehend automatisch betrieben werden. Eine Vollautomatisierung der gesamten Prozesse ist aufgrund der empfohlenen täglichen Inspektion und wegen der manuellen Entfernung sowie dem Abtransport der Löserückstände noch nicht möglich.
- Der untersuchte Chargenlöser erfordert im Vergleich zu Upflow-Löseanlagen einen deutlich erhöhten personellen Aufwand für die Füllung mit dem Lösewasser, für die Salzzufuhr mit dem Radlader und das Umpumpen der Sole in Lagertanks. Eine Automatisierung in Verbindung mit einem Salzsilo ist möglich. Bei Steinsalz-Verwendung sind außerdem für den Austrag der unlöslichen Bestandteile aus dem Lösebehälter und für die Solereinigung noch technische Konzepte zu entwickeln. Ferner bedarf es einer automatischen Messung der Solekonzentration.
- Die Einhaltung der geforderten Konzentration der gebrauchsfertigen Sole ist im Allgemeinen bei allen Löseanlagen unproblematisch. Allerdings wurde festgestellt, dass es bei neu installierten Anlagen übermäßige Abweichungen von der Sollkonzentration gab. Diese Anlagen waren nicht ausreichend eingestellt und die Solekonzentration war nicht unabhängig von der eingebauten Anlagenmessung überprüft.
- Zur automatischen und ständigen Messung der Solekonzentration in Upflow-Anlagen eignen sich dichte-basierte Verfahren (Biegeschwinger, Schwinggabel) und das Verfahren, das auf einer Messung der elektrischen Leitfähigkeit beruht. In allen Fällen ist eine Temperaturkompensation erforderlich.

- Für manuelle Solekonzentrations-Messungen zur Kontrolle können Sole-Spindeln mit unterschiedlichen Referenztemperaturen, Dichte-Spindeln, temperaturkompensierte Refraktometer und Hand-Konduktometer verwendet werden. Probenahmestellen zur Entnahme von Proben der gebrauchsfertigen Sole müssen zwingend vorhanden sein.
- Bei Upflow-Anlagen kann die erforderliche Solereinheit mit allen in Deutschland normalerweise zur Verfügung stehenden Steinsalzen eingehalten werden. Allerdings kann in Chargenanlagen ohne Solereinigung die geforderte Solereinheit von max. 0,03 M.-% wasserunlösliche Stoffe nur mit Salzen erreicht werden, die einen geringen Anteil an wasserunlöslichen Stoffen enthalten.
- Bei Abnahmetests von neuen Löseanlagen sind im Labor die Bestimmungen der Solekonzentration und des Anteils und der Größe der wasserunlöslichen Stoffe mit den in der prEN 17443 festgelegten Methoden erforderlich.
- Die Konstruktion von Tausalz-Löseanlagen muss die Arbeitssicherheit für das Bedien- und Wartungspersonal gewährleisten. Deshalb sind die erforderlichen Aufstiegsmöglichkeiten und Podeste mit Geländer vorzusehen.

Alle Ergebnisse wurden verwendet, um technische Anforderungen an Tausalzlöseanlagen und Empfehlungen für deren Betrieb und für die Beschaffung neuer Anlagen einschließlich der Auswahl der Salzqualität zu formulieren.

Unbedingt notwendige Bestandteile einer Leistungsbeschreibung für Tausalzlöseanlagen wurden identifiziert (u.a. Anforderungen an die Produktionsleistung und Solequalität (Konzentration, Reinheit), Anforderungen der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes, Vorgaben für die Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Abnahmekriterien).

## Literatur

Cerema (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement): Le stockage des fondants routiers: gestion et dimensionnement. Guide technique. Sourdun: 2016

DIN EN 16811-1: Winterdienstausrüstung – Enteisungsmittel – Teil 1: Natriumchlorid – Anforderungen und Prüfverfahren (Anhang C.1)

EVANS, M.; JORDAN, R.; RASALINGHAM, T.: The feasibility of brine spreading on the Highways Agency's road network. Transport Research Laboratory (TRL): Published project report PPR512-085(1308)HALC, 2011

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Arbeitspapier – Hinweise zur Herstellung und Lagerung von Tausalzlösungen für den Winterdienst. Köln: 2015

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise für die Beschaffung von tauenden und abstumpfenden Streustoffen für den Winterdienst – H BeStreu. Köln: 2017

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen, Köln: 2020

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise für die Beschaffung und den Betrieb von Soleanlagen für den Winterdienst – H SolA. Köln: Entwurf März 2021

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise für die Lagerung und Beladung von Streustoffen für den Winterdienst – H LaStreu. Köln 2020

HAUSMANN, G.: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrstechnik Heft V 218, Bergisch-Gladbach, Dezember 2012

HAUSMANN, G.: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrstechnik Heft V 180, Bergisch-Gladbach, Dezember 2009

SCHMAUDER, M.; JUNG, P.; PARITSCHKOW, S.: Anlagekonzeptionen für Meistereigehöfte. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrstechnik Heft V 212, Bergisch-Gladbach, April 2012

Quellen für Referenztabellen mit Dichte und Konzentration von Sole bei bestimmten Temperaturen:

- "International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology," Vol. 3, p. 79, New York, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1928.
- Simion, A. I.; Grigoras, C.-G.; Rosu, A.-M.; Gavrila, L.: Mathematical modelling of density and viscosity of NaCl aqueous solutions. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies 2015, 21(1), 41-52.

Quelle für eine Referenztafel mit elektrischer Leitfähigkeit und Konzentration von Sole bei 20 °C:

- CRC Handbook of chemistry and physics. 100<sup>th</sup> edition, Taylor & Francis Ltd.; 2019-2020, ISBN-13: 978-1138367296.

## Tabellen

Tab. 1: Gängige Soleerzeugertypen .....	21
Tab. 2: Anforderungen an Soleanlagen (prEN 17443 „Winterdienstausrüstung – Soleerzeugungsanlagen – Anforderungen und Prüfverfahren“, Stand: Dezember 2020).....	24
Tab. 3: Beteiligung an der Online-Umfrage .....	26
Tab. 4: Beteiligung der Bundesländer an der Online-Umfrage .....	26
Tab. 5: Soleeigenerzeugung der Umfrageteilnehmer .....	27
Tab. 6: Angaben zur Art des Löseverfahrens bei der Soleerzeugung (Anzahl der Antworten) .....	31
Tab. 7: Aufstellung der Soleerzeuger (Prozent der Antworten).....	35
Tab. 8: Salztyp für die Soleherstellung (Prozent der Antworten).....	36
Tab. 9: Kornklassen des Salzes für die Soleherstellung (Prozent der Antworten).....	36
Tab. 10: Unterschiedliche Salzqualität für die Soleherstellung (Prozent der Antworten).....	37
Tab. 11: Bundesländer mit höherer Salzqualität für die Soleherstellung (Prozent der Antworten) .....	37
Tab. 12: Gewinnungsstätten der Salze .....	38
Tab. 13: Befüllung der Soleerzeuger mit Salz (Prozent der Antworten) .....	38
Tab. 14: Lösewasser für die Soleerzeugung (Prozent der Antworten) .....	39
Tab. 15: Solelagervolumen (Anzahl der Antworten) .....	43
Tab. 16: Konzentration der hergestellten Sole (Anzahl der Antworten).....	43



Tab. 17: Anfall von Löserückständen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten).....	44
Tab. 18: Entfernung der Löserückstände aus den Soleerzeugern (Angabe in % der Antworten) .....	46
Tab. 19: Komplettreinigung der Soleerzeuger (Angaben in % der Antworten) .....	46
Tab. 20: Entsorgung der Rückstände aus der Soleerzeugung (Angaben in % der Antworten).....	47
Tab. 21: Reinigung der Sole (Angaben in % der Antworten) .....	47
Tab. 22: Angewandte Solereinigungsverfahren (Angaben in % der Antworten).....	48
Tab. 23: Durchschnittlicher Aufwand des Eigenpersonals in Personenstunden pro Tag (ohne Störungen, reiner Inspektions- und Reinigungsaufwand (Anzahl der Antworten)).....	48
Tab. 24: Durchführung von Wartungen und Reparaturen an Solelöseanlagen (Angaben in % der Antworten) .....	49
Tab. 25: Wartungsverträge für Salzlöseanlagen (Angaben in % der Antworten).....	49
Tab. 26: Schulung des Eigenpersonals (Angaben in % der Antworten).....	49
Tab. 27: Wiederkehrende Schulungen des Eigenpersonals (Angaben in % der Antworten).....	50
Tab. 28: Technische Störungen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten).....	50
Tab. 29: Ursachen der technischen Störungen bei der Soleherstellung (Angaben in % der Antworten) ..	51
Tab. 30: Grundsätzliche Zufriedenheit mit der Salzlöseanlage (Angaben in % der Antworten) .....	52
Tab. 31: Für die Untersuchungen ausgewählte Tausalzlöseanlagen.....	54
Tab. 32: Salze für die Lösetests in den Autobahn- und Straßenmeistereien.....	59
Tab. 33: Chemische Analysen der eingesetzten Salze .....	61
Tab. 34: Körnungsanalysen der eingesetzten Salze .....	62
Tab. 35: Analysen der Wässer für die Soleproduktion.....	62
Tab. 36: Chemische Analysen der Löserückstände aus Tausalzlöseanlagen (Angaben in M.-%, NaCl und Sulfat auf Trockensubstanz bezogen).....	73
Tab. 37: Beschreibung der Tausalzlöseanlage in der SM Dingolfing.....	81
Tab. 38: Messergebnisse der Soleproduktion in der AM Kaisersesch am 09. September 2020 .....	85
Tab. 39: Messergebnisse der Soleproduktion in der AM Erlangen am 17. September 2020 .....	86
Tab. 40: Messergebnisse der Soleproduktion in der SM Neumarkt am 15. September 2020.....	87
Tab. 41: Messergebnisse der Soleproduktion in der SM Dingolfing am 04. November 2020 .....	88

## Bilder

Bild 1: Arbeitspakete bei der Projektbearbeitung.....	16
Bild 2: Schema des Durchströmungsverfahrens (Downflow-Prinzip) zur Soleerzeugung .....	17
Bild 3: Salzlöseanlage nach dem Downflow-Prinzip in der AM Trockau (unten links: Soleabzugsrohre auf dem Boden der Salzlöseanlage, unten rechts: Kiesschüttung für den Soleabzug) .....	18
Bild 4: Schema des Durchströmungsverfahrens (Upflow-Prinzip) zur Soleerzeugung.....	19
Bild 5: Tausalzlöseanlage nach dem Upflow-Prinzip in der AM Rottweil.....	19
Bild 6: Schema des Zirkulationsverfahrens zur Soleerzeugung .....	20
Bild 7: Tausalzlöseanlage nach dem Zirkulationsverfahren im Bauhof Fürstenfeldbruck .....	21
Bild 8: Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m <sup>3</sup> ]: Deutschland- Autobahnmeistereien .....	28
Bild 9: Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m <sup>3</sup> ]: Deutschland – Straßenmeistereien .....	28
Bild 10: Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m <sup>3</sup> ]: Deutschland – Kommunale Bau- höfe.....	29
Bild 11: Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m <sup>3</sup> ]: Österreich – Straßenmeistereien .....	30
Bild 12: Soleproduktion in der Wintersaison 2018/19 [m <sup>3</sup> ]: Schweiz – Autobahnmeistereien.....	31
Bild 13: Hersteller/Lieferanten der in Deutschland an die Umfrageteilnehmer gelieferten Soleerzeuger..	32
Bild 14: Hersteller/Lieferanten der in Österreich an Umfrageteilnehmer gelieferte Sole- erzeuger.....	33
Bild 15: Hersteller/Lieferanten der in der Schweiz an Umfrageteilnehmer gelieferte Sole- erzeuger.....	33
Bild 16: Alter der in Deutschland installierten Soleerzeuger .....	34
Bild 17: Alter der in Österreich installierten Soleerzeuger.....	34
Bild 18: Alter der in der Schweiz installierten Soleerzeuger.....	35

Bild 19: Leistung der Soleerzeuger in deutschen Autobahnmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis.....	40
Bild 20: Leistung der Soleerzeuger in deutschen Straßenmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis .....	40
Bild 21: Leistung der Soleerzeuger in deutschen kommunalen Bauhöfen (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis.....	41
Bild 22: Leistung der Soleerzeuger in österreichischen Straßenmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anlagen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis.....	41
Bild 23: Leistung der Soleerzeuger in schweizerischen Autobahnmeistereien (Liter/h, Anzahl der Anla- gen); blaue Fläche: Herstellerangabe; rote Linie: Leistung in der Praxis.....	42
Bild 24: In der Wintersaison 2018/19 bei der Soleherstellung in deutschen Autobahnmeistereien anfal- lende Mengen von Löserückständen (Angaben in % der Antworten).....	45
Bild 25: In der Wintersaison 2018/19 bei der Soleherstellung in deutschen Straßenmeistereien anfallende Mengen von Löserückständen (Angaben in % der Antworten) .....	45
Bild 26: Tausalzlöseanlage in der AM Kaisersesch.....	55
Bild 27: Tausalzlöseanlage in der AM Erlangen.....	56
Bild 28: Tausalzlöseanlage in der AM Kist.....	56
Bild 29: Tausalzlöseanlage in der SM Dillingen.....	57
Bild 30: Tausalzlöseanlage in der SM Neumarkt.....	57
Bild 31: Tausalzlöseanlage in der SM Bad Rappenau.....	58
Bild 32: Salzgehalte der eingesetzten Salze, bestimmt durch Titration und nach dem indirekten Verfahren der DIN EN 16811-1 (M.-% NaCl).....	60
Bild 33: Temperaturen bei der Soleproduktion in einer Upflow-Löseanlage .....	63
Bild 34: Temperaturen bei der Soleproduktion in einem Chargenlöser .....	64
Bild 35: Produktionsleistungen der untersuchten Tausalzlöseanlagen.....	65
Bild 36: Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der AM Kaisersesch (Ergebnisse der Prüfungen an der Tausalzlöseanlage und im Labor) .....	67
Bild 37: Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der AM Erlangen und AM Kist (Ergebnisse der Prü- fungen an der Tausalzlöseanlage und im Labor).....	68
Bild 38: Konzentration der gebrauchsfertigen Sole in der SM Dillingen, SM Neumarkt und SM Bad Rap- penau.....	69
Bild 39: Gehalte an Sulfat, Calcium und Wasserunlöslichem in der gebrauchsfertigen Sole in der AM Kai- sersesch, AM Erlangen und AM Kist in Abhängigkeit von den gelösten Tausalzen (Ergebnisse der Laborprüfungen).....	70
Bild 40: Gehalte an Sulfat, Calcium und Wasserunlöslichem in der gebrauchsfertigen Sole in der SM Dil- lingen, SM Neumarkt und SM Bad Rappenau in Abhängigkeit von den gelösten Tausalzen (Er- gebnisse der Laborprüfungen).....	71
Bild 41: Sedimentiergefäße nach Imhoff mit eingefüllter Sole (links: sedimentierter Salzton, rechts: sedi- mentiertes Calciumsulfat) .....	72
Bild 42: Unterschied Salzton (dunkel) zu Anhydrit (hell) im Sedimentiergefäß .....	72
Bild 43: Löserückstand aus der Soleproduktion mit Steinsalz M aus Heilbronn in der AM Kist (links) und mit Steinsalz F aus Sondershausen in der AM Kaisersesch (rechts) .....	73
Bild 44: Upflow-Löseanlage mit integriertem Salzvorrat und Abschlämmschlauch in der SM Dillingen....	74
Bild 45: Upflow-Löseanlage mit Abschlämmschnecke, Auffang-BigBag und Solerückführung in der AM Erlangen .....	75
Bild 46: Verhärtetes Calciumsulfat aus der Auflösung von Steinsalz F aus dem Bergwerk Borth).....	70
Bild 47: Upflow-Löseanlage mit Hydrozyklon, Abschlämmschlauch, Auffangcontainer und Solerückfüh- rung in der AM Kaisersesch.....	77
Bild 48: Schaumbildung bei der Soleproduktion mit Steinsalz F aus Sondershausen in der AM Kaiserse- sch .....	78
Bild 49: Erhöhte Unfallgefahr durch fehlende Podeste und Geländer .....	79

Bild 50: Erhöhte Unfallgefahr bei der Entnahme einer Soleprobe aus dem Lagertank unter Zuhilfenahme einer Anstalleiter.....	80
Bild 51: Tausalzlöseanlage in der SM Dingolfing .....	82
Bild 52: Proben von frisch produzierter gebrauchsfertiger Sole aus der SM Neumarkt und aus der AM Erlangen.....	84
Bild 53: Soleerzeuger mit Abschlammrohr und -schnecke sowie Entwässerungscontainer.....	95
Bild 54: Abschlammung mit einer Abschlamm-schnecke in einen BigBag .....	90
Bild 55: Manuelles Abschlammn über die Abschlammleitung in eine Radladerschaufel.....	90
Bild 56: Hydrozyklon für die Solereinigung.....	98

## **Anhang A – Online-Fragebogen**

### **Fragegruppe I: Allgemeine Angaben**

#### **1. Ort der Meisterei/Bauhof**

#### **2. Art der Meisterei/Bauhof**

- Autobahnmeisterei
- Straßenmeisterei
- Kommunalen Bauhof

#### **3. Bundesland/Kanton**

#### **4. Land**

- Deutschland
- Österreich
- Schweiz
- Niederlande

#### **5. Ansprechpartner (Name, Vorname)**

#### **6. Ansprechpartner (E-Mail)**

### **Fragegruppe II: Angaben zum Soleerzeuger**

#### **7. Stellen Sie Sole für den Winterdienst selbst her?**

- Ja
- Nein

#### **7A. Wenn ja: Wieviel Sole haben Sie in der Wintersaison 2018/19 produziert (Liter)?**

#### **8. Was für eine Anlage haben Sie?**

- Kontinuierliches Verfahren – Upflow (Wasser durchströmt das Salz von unten, die Sole läuft oben ab)
- Kontinuierliches Verfahren – Downflow (Wasser durchströmt das Salz von oben, die Sole läuft durch ein Kiesbett am Behälterboden ab)
- Chargenverfahren – Zirkulation (Wasser und Salz werden in einem Behälter mit einer Pumpe bis zur vollständigen Auflösung umgewälzt)

- Sonstiges

**9. Wer ist der Hersteller der Anlage?**

**10. Typenbezeichnung der Anlage**

**11. Wie alt ist Ihre Anlage?**

- <5 Jahre
- 5-10 Jahre
- 10-20 Jahre
- >20 Jahre

**12. Wo befindet sich die Anlage?**

- im Freien
- in der Salzhalle
- eingehaust (eigenes Gebäude oder Anbau an Salzhalle)

**Fragegruppe III: Details zur Salzqualität**

**13. Welches Salz verwenden Sie?**

- Natriumchlorid
- Calciumchlorid
- Sonstiges

**13A. Welches Natriumchlorid verwenden Sie?**

- Steinsalz
- Siedesalz
- Meersalz

**13Aa. Welche Kornklasse hat das Steinsalz gemäß DIN EN 16811-1?**

- EF (extrafein, 0-2 mm)
- F (feines Salz, 0-3 mm)
- M (mittelgrobes Salz, 0-5 mm)
- unbekannt

**13Ab. Welchen Salzgehalt hat das Steinsalz?**

- Größer 99 %
- 98 – 99 %
- 97 – 98 %
- Unbekannt

**13Ac. Wieviel unlösliche Bestandteile hat das Steinsalz?**

- Weniger als 0,1 %
- 0,1 – 0,5 %
- Mehr als 0,5 %
- Unbekannt

**13Ad. Wieviel Sulfat enthält das Steinsalz?**

**14. Wird eine höhere Salzqualität für die Soleherstellung im Gegensatz zur Salzstreuung ausgeschrieben/beschafft?**

- Ja
- Nein

**15. Benennen Sie die Gewinnungsstätte des Salzes (siehe Produktinformation)**

**Fragegruppe IV: Details zum Soleerzeuger**

**16. Wie wird das Salz dem Soleerzeuger zugeführt?**

- Radlader aus Halle
- Fallrohr aus Silo
- Schnecke aus Silo
- Kettenförderer aus Silo

**17. Was verwenden Sie als Lösewasser?**

- Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz
- Brunnenwasser
- Niederschlagswasser
- Sonstiges

**18. Welche Leistung hat die Anlage laut Hersteller (Liter/h)?**

**19. Gibt es Angaben vom Hersteller unter welchen Bedingungen ein optimales Löseergebnis erzielt wird?**

- Ja
- Nein

**20. Welche Leistung hat die Anlage in der Praxis (Liter/h)?**

**21. Nennen Sie Bedingungen unter denen die Leistungen erbracht wurden, wie z.B. Außentemperatur, Wassertemperatur, Salzkörnung, etc.**

**22. Welches Solelagervolumen (Liter) ist vorhanden?**

**23. Welche Konzentration (%) hat die hergestellte Sole?**

**24. Wird die Solekonzentration geprüft?**

- Ja
- Nein

**24A. Wenn ja: Wie wird die Solekonzentration geprüft? (Mehrfachnennung möglich)**

- Von Hand mit Aräometer (Spindel)
- Von Hand mit Refraktometer
- Über die Anlage selbst (z.B. Leitfähigkeit, Biegeschwinger)

### **Fragegruppe V: Löserückstände**

**25. Fallen bei der Soleherstellung feste Löserückstände (ungelöste Nebenbestandteile des Salzes) an?**

- Ja
- Nein

**25A. Wenn ja: Welche Menge an Löserückständen ist in der Wintersaison 2018/19 angefallen (kg)?**

**26. Wie werden die Löserückstände aus dem Soleerzeuger entfernt? (Mehrfachnennung möglich)**

- Automatische Abschlämmung
- Manuelle Abschlämmung

**26A. Nach welcher Menge produzierter Sole erfolgt die automatische Abschlämmung (Liter)?**

**26B. Nach welcher Menge produzierter Sole erfolgt die manuelle Abschlämmung (Liter)?**

**27. Nach welcher Soleproduktionsmenge (Liter) wird eine manuelle Komplettreinigung des Soleerzeugers durchgeführt?**

**28. Wie oft reinigen Sie die Anlage komplett? (Mehrfachnennung möglich)**

- Nach dem Winter
- Nach Problemen
- Regelmäßig

**29. Wie erfolgt die Entsorgung der Löserückstände?**

- Rückstände werden dem Salz in der Lagerhalle zugeführt
- Rückstände werden über Deponie entsorgt
- Sonstiges

**30. Wird die hergestellte Sole von Löserückständen (Schwebstoffen) gereinigt?**

- Ja
- Nein

**30A. Wenn ja: Wie erfolgt die Reinigung/Separation?**

- Hydrozyklon
- Filter
- Sedimentation im Lagertank
- Sonstiges

**Fragegruppe VI: Personalaufwand**

**31. Haben Sie eine spezielle Person, die sich um die Anlage kümmert?**

- Ja
- Nein

**31A. Wenn ja: Wer kümmert sich hauptsächlich um die Anlage bei Wartung und Reparatur?**

- Eigenpersonal
- Hersteller
- Sonstiger Fremdunternehmer

**32. Wird das Eigenpersonal gesondert geschult?**

- Ja
- Nein

**32A. Wenn ja: Erfolgt die Schulung wiederkehrend?**

- Ja
- Nein



**33. Wie hoch ist der Aufwand des Eigenpersonals in Personenstunden im Durchschnitt pro Tag (ohne Störungen; reiner Inspektionsaufwand, wie z.B. Reinigung, Kontrolle)?**

### **Fragegruppe VII: Störungen bei der Soleherstellung**

**34. Treten Störungen (Ausfall der Soleherstellung) auf?**

- Ja
- Nein

**34A. Wenn ja: Welche Störungen treten regelmäßig auf?**

**34B. Wenn ja: Wie oft treten Störungen auf?**

**34C. Wenn ja: Wie lange dauert die Störungsbehebung in Personenstunden/Wintersaison?**

**35. Worauf sind Ihrer Meinung nach die Störungen häufig zurückzuführen? (Mehrfachnennung möglich)**

- Salzqualität
- Bauliche Konstruktion
- Wasser
- Stillstände bei tiefen Temperaturen
- Sonstiges

**36. Gab es schon einmal Störungen, die erhebliche Auswirkungen auf den Winterdienst hatten?**

- Ja
- Nein

**36A. Wenn ja: Was waren die Folgen?**

**36B. Wenn ja: Wie lange dauerte die längste Störung?**

**36C. Wenn ja: Wie wurde diese behoben?**

**37. Musste der Winterdienst von anderen, benachbarten Meistereien, Gehöften übernommen werden?**

- Ja
- Nein

### Fragegruppe VIII: Sonstiges

**38. Haben Sie einen Wartungsvertrag für die Soleanlage?**

- Ja
- Nein

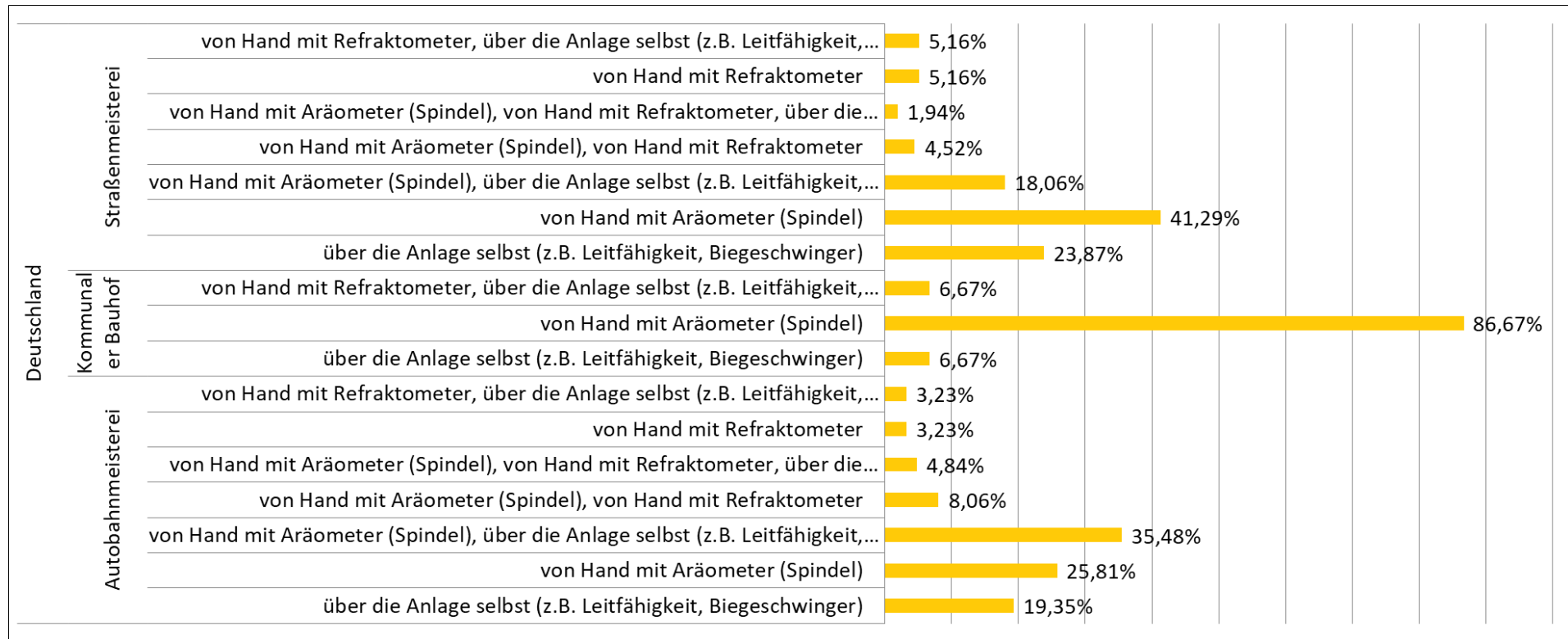
**39. Sind Sie grundsätzlich mit Ihrer Anlage zufrieden?**

- Ja
- Nein

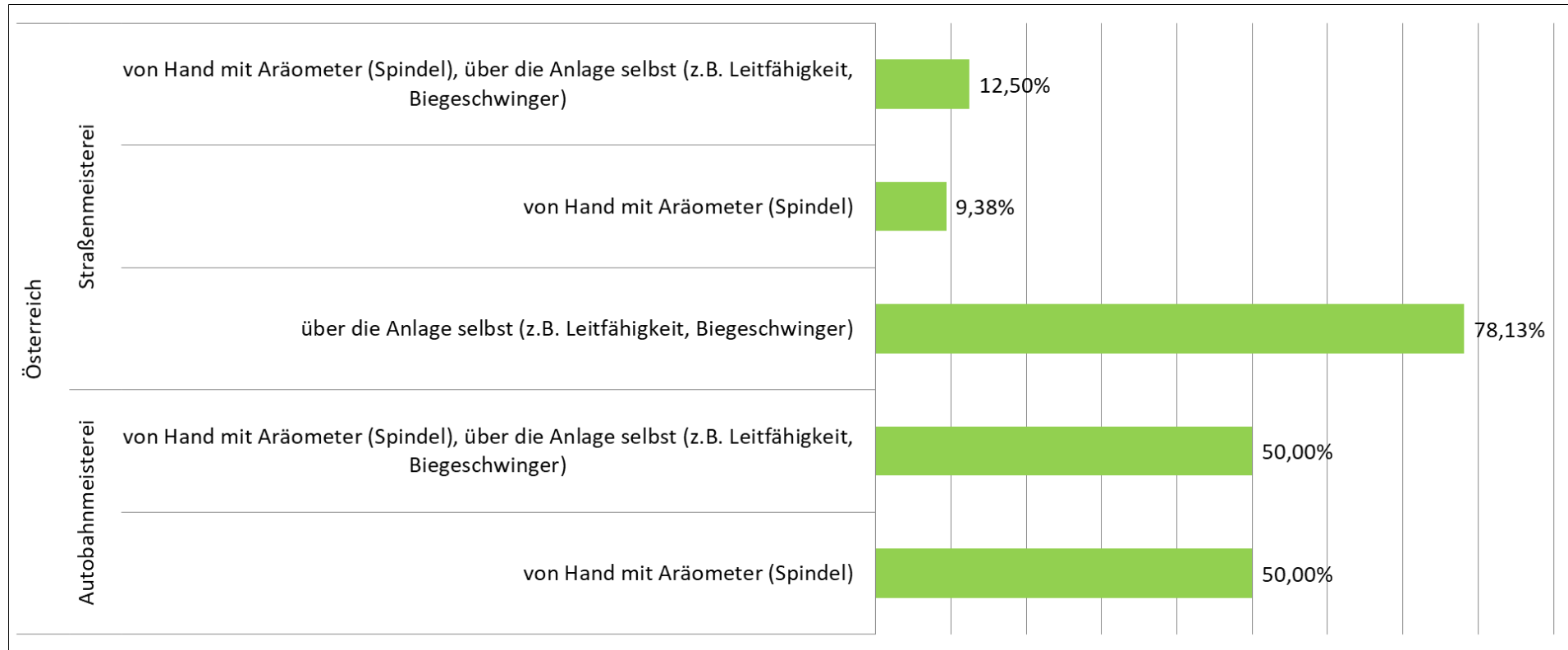
**40. Was muss unbedingt verbessert werden, um Ihrer Meinung nach eine zufriedenstellende Anlage zu haben?**

## Anhang B – Prüfung der Konzentration der gebrauchsfertigen Sole

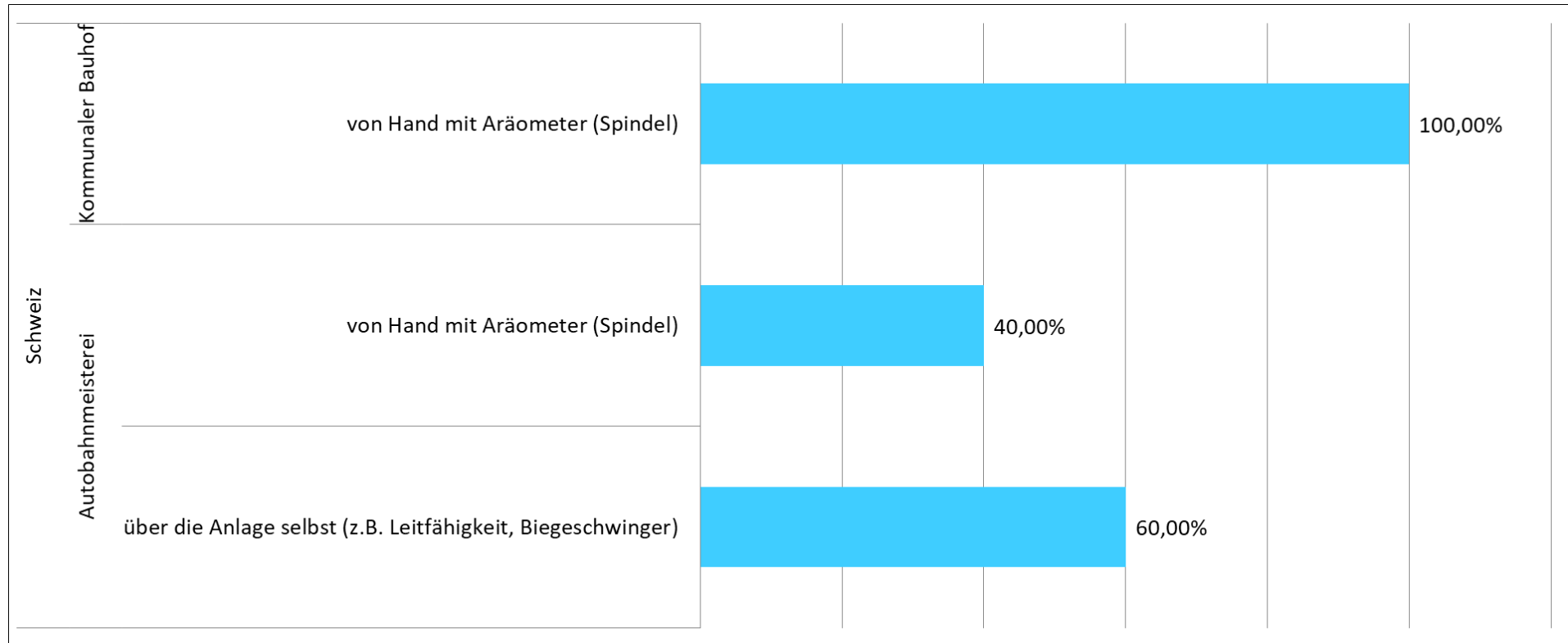
### B.1: Prüfverfahren in Deutschland (in % der Angaben)



## B.2: Prüfverfahren in Österreich (in % der Angaben)

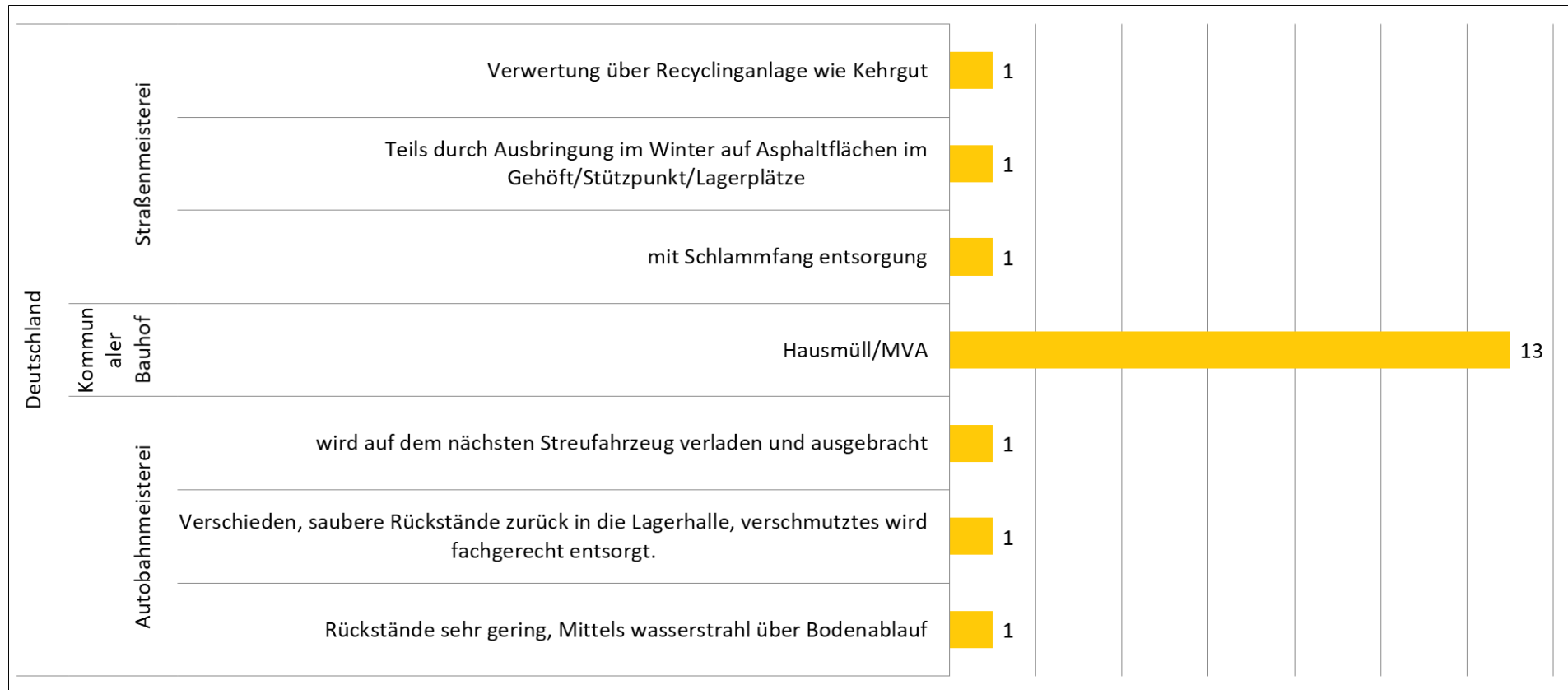


### B.3: Prüfverfahren in der Schweiz (in % der Angaben)



## Anhang C – Entsorgung der Rückstände aus der Soleerzeugung

### C.1: Angaben unter „Sonstiges“ für Deutschland (Anzahl der Antworten)



## C.2: Angaben unter „Sonstiges“ für Österreich und die Schweiz (Anzahl der Antworten)

Schweiz	Österreich	Autobahnmeisterei	Straßenmeisterei	Entsorgung der Filter	1
				keine Rückstände vorhanden	1
				keine Rückstände im Tank	1
				kaum Rückstände vorhanden, bei Reinigung mittels Spülwasser entfernt	1
				kaum Rückstände im Mischtank	1
				fast keine Rückstände	1
				es fallen keine Rückstände an	1
				es bilden sich kaum Rückstände	1
				Eine Reinigung ist grundsätzlich nicht erforderlich	1
				Beim Siedesalz keine Rückstände bei Steinsalz Entsorgung über Deponie	1
				beim Siedsalz keine Rückstände mehr, bei Verwendung von Steinsalz wurde über...	1
				bei Verwendung von Siedesalz bleiben keine Rückstände übrig	1
				Kanal oder Entsorgungsunternehmen	1
				Kanal oder Entsorgungsbetrieb	1

## Anhang D – Technische Störungen bei der Soleerzeugung

### D.1: Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in deutschen Autobahnmeistereien

AM Nr.	Art der Störung	Häufigkeit der Störung	Dauer der Störungsbehebung (Personenstunden/Wintersaison)
1	Antrieb Förderschnecke und Abschlämmschnecke nach längerem Stillstand, Frostschutz für Lösewasser ausgefallen bei tiefen Temperaturen		Ca. 40 – 60 h
2	Einfrieren	1 x monatlich	Im Mittel 2,5 Stunden
3	Pumpenausfall	1 x wöchentlich	4-6 Wochen
4	Unter- und Überkonzentration, sonstige Störungen	Täglich bis 2 x wöchentliche (je nach Produktionsmenge)	100 h
5	Abschaltung wegen Salzkonzentration, Messsonden sowie die Einschaltvorrichtung zur Fahrzeugbeladung	Unregelmäßig	35 h
6	Wasser läuft über, wegen schlechter Löseleistung	1 x wöchentlich	70 h
7	Abschaltung wegen Salzkonzentration	1 x monatlich	
8	Elektronische Probleme	1 x im Winter	
9	Falsche Konzentration	2 x im Winter	
10	Verstopfung Salzzufuhr, elektronische Störungen an den Stellmotoren	3-4 x wöchentlich	150 h
11	Schaum stört Produktion, Feinsiebe setzen sich zu, Verstopfung Salzzufuhr bei feuchtem Salz	2 x wöchentlich (nach Umstellung auf Steinsalz F aus Bergwerk Borth kaum noch Störungen)	20 h
12	Nach Silozugbefüllung muss beim Anfahren geprüft werden, ob die Anlage nicht verstopft ist und die Solemessung manuell geprüft werden bis sich die Anlage wieder eingespielt hat	Fast nach jedem Befüllen mit Silofahrzeugen	
13	Lösetrichter verschlammte, wegen zu viel unlöslichen Salzbestandteilen	1,5 x monatlich	3-4 h
14	Solekonzentration nicht stimmig,	1 x wöchentlich	20 h
15	Abweichung Solekonzentration bei schwankendem Wasserdruck	3-5 x im Winter	20 h
16	Verstopfte Filter, Salzzuführung	3-5 x im Winter	5 – 8 h
17	Überfüllung (Grenzwertgeber)	5 x im Winter	10 h (Fremd- und Eigenpersonal)



18	Konzentrationsschwankungen, Leckanzeige bei Schwitzwasser	Ständig	>100 h
19	Steuerklappen und Pumpen defekt	1 x jährlich	6 h
20	Solekonzentration (Salzmangel)	Selten	5 h
21	Elektr. Relais, anhaftendes Salz am GFK-Mantel	3 x jährlich	6 h
22	Geber defekt	Selten	1 h pro Störung
23	Salzförderung über Schnecke	Ca. alle 10.000 l	8 h
24	Bei Altanlage bis 2018: Verstopfte Filterelemente, Fehler in der Lecküberwachung (Unterdrucksystem), Korrosion der elektrischen Anschlüsse im Freien	Ca. 5-10 x im Winter	
25	Überfüllung des Lösebehälters	Je nach Befüller	5 min
26	Abrutsch der Salzkruste im Silo	1-2 x monatlich	10 h
27	Sensor verstopft	2-3 x im Winter	2-3 h pro Störung
28	Abschaltung wegen Fehlmessung	Jede 2. Füllung	1 h pro Woche
29	Sensorfehler, allgemeine elektrische Probleme	Manchmal	
30	Fehler bei der Salzauflösung (Salzqualität)	2-3 x im Winter	10 h
31	Undichtigkeiten	14-tägig	2 h pro Störung
32	Störung bei der Betankung der Fahrzeuge (Magnetschalter, Elektrik)	10 x	15 h
33	Pumpenstörungen	Unregelmäßig	
34	Elektrische Steuerung, Pumpen, Ventile	2 x	8-12 h
35	Automatikbetrieb, Solekonzentration	Mehrmals monatlich	10 h
36	Solekonzentration zu hoch bzw. zu niedrig	Alle zwei Tage	
37	Defekte Pumpe/Schlauch oder Verstopfung	3 x im Winter	15 h
38	Leerer Behälter, Stromausfall	Wöchentlich	35 h
39	Verkrustung des Soletrichters	Ca. 3-Wochenturnus	Halber Tag
40	Pumpen undicht oder defekt, elektrische Störungen	Unregelmäßig	20-40 h
41	Defekt beim Umpumpen	Je nach Beanspruchung der Anlage	Unterschiedlich, je nach Störungsart
42	Verschlammung		
43	Pumpenanlage in der Zisterne (Leckage), Warnsystem/Leckanzeige in der Soleaufbereitung und in den Solebehältern, falsche Solekonzentration (statt 22 % mal 19 % oder 24 %) und elektronische Störungen an der Steuerung	Mehrmals im Jahr, schätzungsweise jedes 3.-4. Mal bei Nutzung	Abhängig vom Schaden
44	Pumpenausfall	ca. 3 x im Winter	Unterschiedlich, je nach Aufwand
45	Salzprobleme, wenn mit anderen Salzen gelöst wird	Bei Nutzung anderer Salze	50 h

## D.2: Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in deutschen Straßenmeistereien

SM Nr.	Art der Störung	Häufigkeit der Störung	Dauer der Störungsbehebung (Personenstunden/Wintersaison)
1	Eingebaute Ventile klemmen	Unregelmäßig	
2	Einfrieren der Anlage bei starker Kälte und wenig Verbrauch	Unregelmäßig	Mehrere Tage
3	Konzentration Sole	Unregelmäßig (3-4 x pro Saison)	
4	Messsensor für das Mischungsverhältnis defekt	Immer	Nicht reparierbar, Handsteuerung ist erforderlich, hoher Zeitaufwand
5	Verschmutzung	Unterschiedlich, abhängig von der Salzqualität	2 h
6	Undichtigkeiten, Füllschlauch abgerissen	1-2 x im Winter	
7	Anfangsprobleme im ersten Jahr mit neuer Anlage, Salzurückstände/Verunreinigungen, Software-Probleme	20-30 x im Winter	
8	Störungen an elektrischen Ventilen	10 x im Winter	
9	Automatische Abschaltung	Unregelmäßig	
10	Filter verunreinigt	Mehrmals im Winter	
11	Verstopfung der Siebe	Unregelmäßig	16 h
12	Zu wenig Salz im Behälter, Pumpe defekt	Selten	1 h im Schnitt
13	Verstopfungen	2-3 x im Winter	6-9 h
14	Verstopfungen	Alle zwei Wochen	Bis 4 h
15	Altersbedingter Ausfall		
16	Verschlämmung	Alle drei Wochen	3 h
17	Erzeuger überfull, Wasser gefroren	15 x im Winter	20 min
18	Gelegentlich Verstopfungen und Überlaufen der Tanks	Geschätzt in 14 Tagen eine Störung	8-32 h
19	Störung nach Verunreinigung	Ca. 3 x pro Saison	Bis zu 3 h
20	Filterverschmutzung	2-3 x (wenn die Anlage nicht regelmäßig gereinigt wird)	Ca. 20 h
21	Keine Soleproduktion	3 x pro Saison	20 h
22	Anfahren nach längeren Pausen	1-2 x	8 h
23	Fehlkonzentration, defektes Bauteil	3-4 x pro Saison	1 h bis zu 2 Tagen
24	Pufferspeicher zu klein	täglich	
25	Filterverschmutzung	2-3 x pro Saison	Unterschiedlich, durchschnittlich 16 h

26	Verstopfungen	Unregelmäßig in Abhängigkeit von der Qualität des Salzes	Bis zu 3 h
27	Elektronik, Vollautomatik funktioniert nicht	Anlage ist seit 5 Jahren nicht voll funktionsfähig	Störungen werden nur manuell weggedrückt
28	Störung der Pumpensteuerung	1-2 x pro Saison	Je Störung zwischen 4 und 8 h
29	Verstopfung der Leitungen	1 x wöchentlich	4 h
30	Komplettausfall der Anlage in der Wintersaison 2018/19		
31	Wegen Verschmutzung der Anlage wird die Solekonzentration von 22,5 % nicht erreicht	Je nach Soleproduktionsmenge	8 h
32	Soleunterkonzentration	3 x pro Saison	3 h
33	Verstopfungen	2 x pro Saison	16 h
34	Verstopfung, elektrische Probleme		
35	Anlage undicht, elektronische Fehler	1 x monatlich	8 h
36	Nach Stromausfall, Schwimmer im Erzeuger fest/verklemt	Bisher war der Schwimmer 3 x fest	1 h
37	Mischungsverhältnis passt nicht	1-2 x pro Saison	
38	Verunreinigung des Salzes	1-2 x pro Saison	30 h
39	Befüllen mit Salz	1 x pro Woche	1 h
40	Verschmutzung, Solekonzentration	Fast wöchentlich	
41	Problem beim Umpumpen	Selten	
42	Konzentration wird nicht erreicht	2-3 x pro Saison	2 h
43	Solekonzentration (neue Anlage wurde von Lieferfirma wieder kalibriert)		
44	Produktionsausfall	1-2 x pro Saison	1-3 h
45	Technische Störungen	Unregelmäßig	Im ungünstigsten Fall mehrere Tage
46	Salzzufuhr stockend oder unterbrochen, Frostschäden, zugefroren oder Leitungen defekt	Ca. an jedem 10. Produktionstag eine Störung	
47	Höchststand im Erzeuger, ungelöstes Salz im Lagertank	Mind. 1 x monatlich	Mind. 8 h pro Monat (ca. 50 h pro Saison)
48	Probleme mit der Software, Steuerung, gebrochenen Leitungen, Undichtigkeit der Pumpe, Nichterreichen der Sollkonzentration, gefrorene Leitungen (Frischwasser), Bedienpult zum Umpumpen war neu und nicht kompatibel, etc.	Seit Inbetriebnahme der Anlage stand diese oftmals fast ganze Winterperioden nicht zur Verfügung (obwohl regelmäßige Wartungen vom Hersteller durchgeführt wurden)	Abhängig davon, ob wir die Störung selbst beheben können (Ausfall ca. 4-8 h) oder ob der Hersteller benötigt wird (Ausfall 3-5 Tage)

49	Probleme bei tiefen Temperaturen, frischwasserführende Leitungen im Soleerzeuger gefrieren. Probleme mit der Leckageanzeige, etc.	In den vergangenen 5 Jahren verging fast keine Wintersaison ohne Störungen	
50	Undichtigkeiten	3-4 x pro Saison	2 h
51	Ausfall Heizung	Unregelmäßig	
52	Fremdstoffe im Salz (z.B. Rückstände anderer Materialien in den Lieferfahrzeugen) sowie Wasserversorgung eingefroren bei tiefen Temperaturen (Heizungen bzw. Isolierungen nicht ausreichend und/oder Ausfall der Heizungen)		
53	Mischpumpe undicht, Probleme mit hoher Stromaufnahme	2 x pro Saison	6 h
54	Verstopfungen	Selten	6 h
55	Fehlende Leistung		
56	Ausfall Pumpen, Wasserzuführung	2-3 x pro Saison	8 h
57	Sensoren, Pumpen	1-2 x pro Saison	6-8 h
58	Verkrustung der Anlage durch Salzkrückstände (u.a. Gips)	Mehrmals	16 h pro Störung
59	Pumpe, Ventile, Elektrik (Anlage verschlissen)	Unregelmäßig (ca. 1 x monatlich)	20 h
60	Messfehler, Undichtigkeiten	Unterschiedlich, je nach Produktionsmenge	30 h pro Winter
61	Verstopfungen	Unregelmäßig, je nach Salzqualität	40 h
62	Störung des Abflusses durch Verunreinigung der Salztransportfahrzeuge	2-3 x pro Saison	2-3 h mit Fehlersuche
63	Verstopfung der Leitung, zu geringe Solekonzentration	Häufig	30 h
64	Magnetschalter bzw. Luft in den Leitungen	4-5 x im Jahr	Einen Tag
65	Pumpenausfall		20 h
66	Verunreinigung, Verstopfung	Ca. 15 x	20 h
67	Wegen schlechter Salzqualität und unzureichender Wasserzufuhr	Selten	
68	Technikprobleme	2-3 x im Winter	
69	Undichtigkeit der Pumpe	2 x seit Inbetriebnahme	8 h
70	Nachjustierung bei der Solekonzentration, Filterreinigung	Unregelmäßig, temperaturabhängig	Unterschiedlich lange
71	Verklumpungen, Abschaltung der Salzzuführung	1-2 x pro Saison	1 Tag
72	Förderschnecke sitzt fest, Salzablagerungen müssen entfernt werden	3 x monatlich (je nach Soleproduktionsmenge)	6 h

73	Filter verstopft, Sensoren und Elektronik, kleinere Undichtigkeiten	3-4 x pro Winter	Durchschnittlich 2-3 h pro Störung
74	Pumpe, Leitungen	Selten, unregelmäßig	
75	Bei Minusgraden Vereisungen, Sensorfehler, Salzstau		60 h
76	Solekonzentration ungenügend	10 x	20 h
77	Solekonzentration ungenügend	10 x	20 h
78	Entschlammung, Wartung Pumpen, Filterreinigung	Entschlammung monatlich, Pumpenwartung 2-monatlich, tägliche Filterreinigung	Störungsbehebung 4 Tage à 2 Mann
79	Solekonzentration nicht erreicht	Selten	40 h
80	Defekte Pumpen	1-2 x	5 h
81	Solekonzentration bei Temperaturschwankungen	20 x pro Saison	50 h
82	Eingefrorene Leitungen bei unter -15°C	Temperaturen unter -15°C	12 h pro Saison
83	Störungen durch Ablagerungen, kleinere Undichtigkeiten, Störungen an Sensoren	4-5 Störungen pro Saison	Durchschnittlich 2-3 h
84	Einfrieren bei Temperaturen unter -10°C (Wasser)	3-5 x jährlich	1 h
85	Einfrieren Zulaufleitung Frischwasser, Kunststoffrohre Befüllung/Abfüllung durch UV-Belastung brüchig/rissig	1-2 x pro Winter	16 h
86	Probleme mit der Abschlammung	Wöchentlich	120 h
87	Solekonzentration ungenügend	10-20 x	50 h
88	Temperaturen (Stillstände)	1-2 x jährlich	1,5 h
89	Salzzuführung streikt bei längerem Stillstand, Solekonzentration zu gering	2-3 x pro Winter	
90	Filter verstopft	2 x pro Winter	4 h
91	Verstopfung der Filter	wöchentlich	30 h
92	Verschlammung	Je nach Salzqualität	40 h
93	Lösesalz rutscht nicht nach	Vollkommen unregelmäßig	30-60 Minuten
94	Elektrik		
95	Pumpenanlagen	1 x wöchentlich	0,5-3 h

### D.3: Angaben zu den Störungen bei der Soleerzeugung in österreichischen Straßenmeistereien

SM Nr.	Art der Störung	Häufigkeit der Störung	Dauer der Störungsbehebung (Personenstunden/Wintersaison)
1	Verstopfungen im Fallrohr	1-2 x pro Monat	40 h
2	Elektronikausfall	1-2 x pro Monat	30 Minuten
3	Ausfall Elektronik	Störungen in der Stromversorgung	1-2 h
4	Störungen Mischprozess bei zu wenig Wasser	1 x wöchentlich	5-6 h
5	Probleme mit der Wasserversorgung	Bei hohem Soleverbrauch 1-2 x wöchentlich	20 h
6	Salzbeschickung, Pumpe	5 x pro Saison	10 h
7	Fremdstoffe im Salz – Vorfracht (Flugasche, Getreide, etc.)	2 x pro Saison	40 h
8	Fallrohr leer, austrocknen und gefrieren der Salzvorlage	unterschiedlich	4 h

## Anhang E – Verbesserungspotenziale bei der Soleerzeugung

### E.1: Verbesserungspotenziale aus Sicht der deutschen Autobahnmeistereien

AM Nr.	Verbesserungspotenzial
1	Die Salzzuführung nach einer längeren Stillstandzeit durch die vorhandene Förderschnecke, evtl. durch eine Umprogrammierung Förderschnecke - Salzschieber bzw. durch einen Umbau der Anlage. Ein Abschlämmen der unlösbaren Bestandteile kann zurzeit baulich bedingt nicht durchgeführt werden. Über einen Umbau der Anlage wurde bereits gesprochen. Die benötigte Solemenge konnte bisher nach einer Generalreinigung vor der Wintersaison ohne Zwischenreinigung hergestellt werden. Jedoch musste die Löseleistung zum Saisonende auf ca. 1.000 l/h reduziert werden.
2	Ein zuverlässiger Kundendienst
3	Vollautomatisierte Überwachung und Herstellung der Sole
4	Zugänglichkeit zu den Pumpen, eine solche Anlage muss überdacht sein,
5	Der Hochbau sollte alle Maßnahmen unterstützen, die zur Verbesserung der Anlagen beitragen z.B. eigene E-Firma, technische Ausstattung. Reparaturen innerhalb von 24 h. Salzanlieferung abstimmen. Reinigung und Entsorgung über Fachfirma
6	- Bauliche Änderung Steuerung bzw. Dichtemessung - Anpassung des Löseverfahrens (Verhindern von Festbacken der unlöslichen Stoffe im Lösebehälter) - Einhausung und Beheizung der kälteempfindlichen Teile - Serviceunternehmen im Umkreis (derzeit Anreise quer durch Deutschland)
7	Schulungen, Aufklärung / Geräte für die bessere Reinigung, Kontrolle beim Verladen vom Salz, da wir keinen Einblick haben was im Fahrzeug steckt, Infos mit Umgang von Abschlammmaterial, Kameratechnik im Solebehälter wäre gut (Füllstandsüberwachung)
8	- Höhere Löseleistung - Bessere Salzqualität
9	Automatische Konzentrationsmessung mit ggf. Abschaltung
10	Ausstattung der Anlage sollte von Beginn an so sein, dass keine Fehlproduktionen unbemerkt möglich sind, die Störanfälligkeit zurückgeht und eine einfache Bedienung möglich ist.
11	- Einfachheit der Bedienung - Störanfälligkeit verringern - im Grundangebot der Firmen sollten alle notwendigen Sensoren etc. vorhanden sein ohne Nachrüstungen
12	Besseres Salz. Förderschnecke für Bestückung des Erzeugers oder senkrechtes Fallrohr über dem Erzeuger. Hydrozyklon Filter zwischen Erzeuger und Lagertank. Produktion max. 2500 - 4500 l/h. In sich verbundene Lagertanks dadurch Wegfall von Stellmotoren.
13	Läuft nur zufriedenstellend, wenn hochwertiges Borther Salz zum Lösen verwendet wird. Insgesamt ein hoher Wartungsaufwand notwendig. Es fehlt ein Modul (App) für Ferndiagnose (Fehler, Störungen, Füllstände) um den Winterdienstbeauftragten besser zu informieren.
14	Keine 90 Grad-Bögen bei der Verrohrung verwenden, bremsen den Wasserfluss und sind schlecht zu warten und zu reinigen bei Störungen. Zwei 45 Grad-Bögen sind besser. Dann die Verrohrung beim Soleerzeuger nicht über die Schaltschränke bauen, beim Öffnen der Rohre läuft das ganze Salzwasser über die Stromkästen. Die Anlagen vor Sonneneinstrahlung schützen, weil unsere freien Rohre schon nach drei Jahren richtig ausgebleicht sind.
15	Mehr Lagerkapazität. Höhere Leistungskapazität. Reinigungsöffnung im Trichter
16	Fernüberwachung (Solekonzentration, Füllstände). Salzqualität verbessern (Reinheit)
17	Reineres Salz, gleichmäßiger Wasserdruck
18	Kein Test am Kunden

19	Lösemenge müsste erhöht werden, min. 3000 l/h
20	Salzanlieferung und Befüllung des Erzeugers
21	Neubau der Anlage
22	- Verwiegung des Salzbestandes im Silo - Einheitliche Steuerungstechnik, nicht herstellergebunden
23	Beschickung der Anlage direkt vom Silo in die Anlage
24	Kontrollanzeige Füllstand Salz ist verbesserungswürdig, sehr ungenaue Anzeige - Radarmessung wäre eine wesentliche Verbesserung
25	-Höhere Löseleistung -Problem des anhaftenden Salzes am Innenmantel -Restmengenanzeige und Funktionsstörungsanzeige elektronisch mit Fernüberwachung
26	- Mehr Solebehälter (Gesamtvolumen) - gesonderter Solebehälter für MgCl <sub>2</sub>
27	Die Salzzuführung mit der Schnecke ist sehr störungsanfällig. Die Anlage läuft bis heute sehr unzuverlässig und es treten ständig Störungen auf. (Die Anlage reift beim Kunden).
28	Antwort bezieht sich auf Altanlage bis 2018. Für neue Anlage seit Jan. 19 keine Aussage möglich. Witterungsschutz ist m.E. erforderlich, Größerer Behälter für Solerecyclingsystem, Beheizung des Technikraumes, erhöhte Anforderungen an Salzqualität
29	Grundsätzlich sind wir mit der Anlage zufrieden, es treten nur wenige Störungen auf. Wenn Störungen auftreten sind diese meist technischer Natur. Bei einer Umstellung auf den vermehrten Einsatz von FS 100 reicht die Soleproduktionsmenge aber nicht aus. Zudem ist ein größeres Speichervolumen für Sole erforderlich, gegenwärtig 40 m <sup>3</sup> NaCl-Sole u. 20 m <sup>3</sup> MgCl <sub>2</sub> -Sole (direkte Lieferung). Für einen größeren Spielraum bei Lieferproblem sollte der Salzbehälter (Silovolumen) größer sein. Der Salzbehälter muss relativ weit geleert werden, bis wieder eine Salzlieferrung in den Behälter passt. Sonst verstopft das Druckrohr zur Befüllung der Anlage und muss unter Einsatz eines Hubsteigers gereinigt werden. Vielen Dank für dieses sinnvolle Forschungsprojekt.
30	Mehr Lagerkapazitäten auf der Meistere
31	Löseleistung muss erhöht werden um andere Technologien (FS 100) einsetzen zu können. 2. Befüllpunkt erforderlich (z.Z. 9 WD-Fahrzeuge)
32	Es müssten mehr Anschlüsse für die Reinigung verbaut werden, um ein besseres Durchspülen der Leitungen vornehmen zu können. Für den Streubetrieb mit reinen Feuchtsalzstreuern muss eine oder mehrere Leistungsstarke Pumpe verbaut werden, um eine schnelle Befüllung gewährleisten zu können.
33	Betrieb nur mit Escosalz rein, da kein Abschlämmen mehr nötig, Isolierung der Soleerzeuger verbessern, Druckregler für konstanten Wasserdruck, Betreiben/Lösen/Nachfüllen mit Wasseruhr.
34	Die Anlage müsste ein größeres Lagervolumen haben. Die Sole sollte mit Wärme aufbereitet werden damit das Salz sich besser auflöst und die Düsen der Streuautomaten nicht verstopfen. Die Befüllung sollte über ein Förderband geschehen und die Anlage sollte überdacht sein.
35	Alle elektrischen Bauteile sollten besser gegen Witterungseinflüsse geschützt sein. Empfindliche Bauteile wie Sensoren etc. sollten einfacher und in Eigenleistung austauschbar sein. Eine Art Plug & Play.
36	Um die Anlage zuverlässig betreiben zu können ist es wichtig, dass wir für die Solezubereitung ein sauberes Salz verwenden. Durch die Verwendung von sauberem Salz werden zudem die Entsorgungskosten der Nebenbestandteile geringer.
37	Bessere Filteranlagen, um die Reinheit der Sole zu verbessern
38	24 Std. Service einer Fachfirma
39	Produktionsleistung und Zuverlässigkeit
40	Müsste höhere Leistung haben, mehr Salzlagerkapazität oder Solelagerkapazität haben, Salz sollte erst beim Mischen zugeführt werden, wenn das Salz auf der Sole steht bilden sich Kaskaden im Salz die sich nicht auflösen
41	Detailverbesserungen, z.B. Erhöhung der Mischleistung



42	Soleerzeuger bei Neubauten vom Salzsilo trennen
43	Automatische Wasserregulierung, um Solekonzentration auf 22 % kontinuierlich zu halten
44	Größerer Soleerzeuger für die 200.000 Liter Lagertanks.
45	Da eine grundlegende Sanierung des gesamten Gehöfts ansteht wird eine neue, deutlich leistungsfähigere Anlage gebaut.
46	Schulungen vom Hersteller für das Personal welches in der AM die Anlage betreut. Einen Feinfilter für die Schwebepartikel in der Fertigen Sole (empfindliche Düsen an den FS 100-Streuern der Einsatzfahrzeugen).
47	Höhere Herstellungsmenge und Lagerkapazität
48	Salz erhärtet im Vorratstrichter, wenn die Produktion über mehrere Tage nicht erfolgt und rutscht nicht mehr zur Förderschnecke. Förderschnecke liegt frei (Störung). Salz bleibt durch die eckige Konstruktion des Vorratstrichters in den Ecken liegen. Verbesserungsvorschlag: Nachrutschen des Salzes im Vorratstrichter durch Vibration, Rüttler, runder Vorratstrichter.
49	Wenn gereinigtes Steinsalz verwendet wird läuft die Anlage den ganzen Winter störungsfrei. Im letzten Winter wurde eine Salzsorte verwendet, die viele nicht lösehaltige Rückstände hatte, die zum Verkrusten des Soletrichters geführt hatten. Hier war der Reinigungsaufwand deutlich höher als sonst. Genügt beim gereinigten Steinsalz das Ausspritzen mit Wasser musste mit dem zuletzt gelieferten Salz schweres Gerät benutzt werden.
50	Die Fördereinrichtung von der Salzhalle zum Silo muss verbessert werden, sowie die zu fördernde Menge. Die Soleproduktion sollte einwandfrei funktionieren. Das Umpumpen der Sole in die Lagertanks sollte ohne Probleme funktionieren, sowie die Rückholung aus den Streuern in die Tanks.
51	1. Die Störanfälligkeit muss dahingehend verbessert werden, dass die Anlage weniger bis gar nicht ausfällt. 2. Der Hersteller übernimmt für diese Anlage auch die Wartung, da es ansonsten keine andere Firma machen kann (zu speziell). Der Sitz der Herstellerfirma ist in Süddeutschland, es gibt im Norden also in der Nähe keine Fachfirma, die die Wartung/ Reparatur übernehmen kann. Über "Telefonkonferenz" werden seitens des Herstellers Reparaturdiagnosen erstellt, die nicht immer zutreffen.
52	Hersteller müsste wesentlich mehr Informationen an Hand geben, unter welchen Bedingungen die Anlage am besten funktioniert, insbes. hinsichtlich Salzqualität, Wasserdruck, Eintauchtiefe des Rohres in das Lösebecken bei den verschiedenen Salzen und etwaiger Folgen bei diversen Eintauchtiefen, Nutzung anderer Salzqualitäten etc.; bei Fehlerbehebung ist die Unterstützung durch den Hersteller mangelhaft bis gar nicht gegeben (ggfls. Wartungsverträge mit sehr kurzen Fristen); Es müsste Handbuch zur Verfügung gestellt werden, um die häufigsten Fehlerbehebungen selbständig managen zu können; Schaltelektronik muss herstellernunabhängig sein, damit keine Abhängigkeit mit einem Hersteller entsteht.

## E.2: Verbesserungspotenziale aus Sicht der deutschen Straßenmeistereien

SM Nr.	Verbesserungspotenzial
1	Die Anlage ist 20 Jahre alt u. verschlissen, muss ersetzt werden (Ersatzteile nicht mehr verfügbar)
2	Vollautomatische Anlage
3	Soleanlage und Silos sollten nach Möglichkeit komplett überdacht, bzw. eingehaust sein!
4	Pumpenleistung bei gleichzeitiger Befüllung von 2 Fahrzeugen zu niedrig. Pumpenleistung erhöhen.
5	Eine neue Anlage.
6	Die Solelösungsmenge muss deutlich erhöht werden auf einen modernen Standard (Anlage ist von 1987). Der Aufwand, der zur Herstellung und Reinigung betrieben werden muss, sollte auch verringert werden.
7	Neue Anlage mit größerer Löseleistung.
8	Verfügbarkeit Werkskundendienst
9	Die Verlässlichkeit der Anlage muss verbessert werden.
10	Wartungsvertrag abschließen. Reparaturen sollten zeitnah durch Hersteller behoben werden
11	Aufgrund des Alters der Anlage müsste diese dringend erneuert werden. Viele Ersatzteile sind nicht mehr lieferbar.
12	Selbstständige Befüllung des Feststoffsilos Soleanlage im Stützpunkt
13	Salzqualität müsste gleichbleibend hochgehalten werden. Schutz vor extremer Kälte.
14	Salzqualität (Staubanteil). Bauliche Verbesserungen
15	Austausch (altersbedingt), zusätzliches Feinsalz zur Sole-Gewinnung
16	Umpumpen vom Erzeuger in Lagertank sollte automatisch erfolgen, dadurch Einsparung von Zeit und Personal
17	Altersbedingte Erneuerung ist erforderlich, Verschleiß, Ersatzteilengpässe, versprödete Kunststoffleitungen
18	Kein Trinkwasser mehr für die Anlagen verwenden Trinkwasserknappheit wegen Trockenheit
19	Alleinlaufende Anlage mit Abschaltung bei vollen Tanks. Selbstfüllend und selbst reinigend bzw. besser zu reinigen. Nach Arbeitsende (ohne Anwesenheit von Personal) soll Sole produziert werden.
20	Neue Sole-Mischanlage. Neue Sole-Mischanlage ist im Bau. Geplante Fertigstellung Ende 2019
21	Salzqualität
22	Eine neue vollautomatisch gesteuerte Anlage mit Beschickung über ein Silo
23	Elektronische Bauteile sehr störanfällig
24	Gute Satzqualität, wenig Steinanteile und gut gereinigte Silozüge, welche nicht noch Material der letzten Fahrt im Silo haben!!!
25	- Wartungsvertrag - wiederkehrende Unterweisung/Schulung - in der Umsetzungsphase Beschickung mit Schneckenförderer und automatische Abschlammanlage
26	Größerer Pufferspeicher, bessere Reinigungsmöglichkeit, bessere Abschlammvorrichtung
27	Automatisches Befüllen der Anlage
28	Verstopfung der Abflussfilter.
29	Maximal zwei vertraute Personen zur Betreuung einer Anlage!
30	Qualität vom Salz

31	Anlage zu alt. Die Anlage ist nicht mehr auf dem neuesten Stand der Technik. Müsste dringend durch eine neue Anlage ersetzt werden
32	Die Grundreinigung des Erzeugers, bzw. das Abschlämmen der nicht löslichen Bestandteile im Salz müsste entweder technisch vereinfacht, oder besser noch die Reinheit des Salzes zur Solegewinnung maximiert werden. Der relativ hohe personelle Aufwand, um Sole zu produzieren, ließe sich bestimmt durch eine neue, selbsttätig steuernde Soleerzeugeranlage minimieren. Dazu zählt dann aber auch eine vollautomatische Lagertank-Befüll-Überwachung/Soleerzeugerabschaltung.
33	Seilzug des Befüllschlauches für die Streusilos sollte einrasten und nicht gleich wieder automatisch zurückziehen.
34	Die Soleanlagen müssen einfach gebaut werden. Somit kann bei Problemen auch Meistereipersonal die Störung beheben. In Nachbarmeistereien wurde eine Soleanlage Agristrade gebaut. Diese sind super. Hohe Löseleistung, einfache Bauweise, einfacher Unterhalt
35	Komplett neue Anlage
36	Eine neue Anlage ist für 2019 geplant. Da es kaum noch Ersatzteile für die Anlage gibt.
37	Erneuerung
38	Mehr Löseleistung in der Stunde und mehr Lagerkapazität
39	Beschaffung eines Silos für Silosalz
40	Wegen Alters Erneuerung der Anlage mit höherer Produktionsleistung
41	Salzzufuhr aus Lagersilo (Rohrleitung verstopft gelegentlich)
42	Aufgrund des Alters ist zur Sicherstellung des Winterdienstes eine Erneuerung notwendig.
43	-Ein zusätzlicher Lagertank für Sole notwendig - Digitales Mess- u. Verwiegesystem - Reinigung des Mischers umständlich - Manuelle Steuerung vereinfachen -Kontrollfunktion vom Büro aus durchführbar
44	Unbedingt ist ein zusätzlicher Lagertank erforderlich! Der vorh. Lagertank ist nicht ausreichend! Die Soleentnahme für die Fahrzeuge dauert zu lange! Die Reinigung der Tanks ist sehr schwierig und müsste unbedingt verbessert werden. Die Anlage an sich und manuelle Steuerung müsste einfacher und plausibler sein. Schulungen für Mitarbeiter würden Sinn machen, jedoch fehlt zur Winterzeit Personal, weil alle im Einsatz sind. Ein gesonderter Mitarbeiter mit besonderen Fachkenntnissen, welcher sich um die Anlage kümmern kann, kann nicht bereitgestellt werden. Es sollten einheitliche Systeme (Bauteile, Programme, keine SPS) beschafft und verbaut werden, so dass jede Firma die Anlage prüfen, warten und reparieren kann. Keine firmenbezogene Software. Kontrollfunktion und Bedienfunktion vom Arbeitsplatz-PC im Büro aus sollte ermöglicht werden (z. B. über ein Signal oder SIM-Karte).
45	Das ist schwer zu sagen, da unsere Anlage relativ alt ist. Bei unserer Anlage würde es schon reichen, wenn sie nicht so schnell einfriert.
46	Salzeinkauf
47	Löseleistung. Service der Herstellerfirma A Wartezeit 5 Monate, Herstellerfirma B nach 9 Monaten (Auftrag Anfang Dezember 2018 vergeben) seit Auftragsvergabe hat immer noch keine Reparatur stattgefunden. Die Anlage ist nicht mehr einsatzfähig. Begründung der Firmen: es besteht kein Wartungsvertrag
48	Die Anlagen dürfen nicht zu sehr elektronisch gesteuert sein.
49	Planung (Platzbedarf zur Befüllung mit dem Radlader, Abschlämzung ist immer zu tief, da ein Abreißen des Rohres jederzeit gegeben ist, dadurch sind immer zwei Arbeiter gebunden.
50	Wenig Elektronik, einfache und verständliche Bedienung, gut platzierte Löseleitungen
51	Es sollte reineres Salz zur Verfügung stehen
52	Die Zuführung des Salzes muss sichergestellt werden. Trichter nicht dem Salzfluss angepasst und bleibt regelmäßig hängen. Wartungsvertrag mit Kauf der Anlage muss abgeschlossen werden und nicht ohne Vertrag übernommen werden. Sicherheitsrelevante Teile, wie Wartungsleiter etc. mussten nachgerüstet werden, waren nicht in der Anlagenerstellung berücksichtigt. Ist aus meiner Sicht dem zu schulde gekommen, dass die

	ausschreibende Stelle die Ausschreibung nicht den örtlichen Gegebenheiten angepasst hat, sondern nach Katalog ausgeschrieben wurde. So die Vermutung. Die Anordnung des Trichters zur Befüllung in der Salzhalle hat das Lagervolumen um ca. 20% in der Salzhalle gemindert. Das Einfüllen über Eck mit gehobener, voller Schaufel ist sicherheitstechnisch ein Risiko, das vermeidbar wäre.
53	Neue Anlage mit automatischer Befüllung, Abschlammautomatismus, höhere Lagerkapazität mind. 100.000 Liter Solelager
54	Salzqualität
55	Dass die Anlage im Betrieb bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt einfriert, und dass damit die Leitungen und Anschlussstutzen brechen. Bei uns im Hause gibt es Überlegungen die Anlage zu demontieren einen größeren Solelagertank zu beschaffen und dann die fertige Sole zu beziehen.
56	Bei tiefen zweistelligen Minusgraden wäre es von großem Vorteil, wenn die Anlage eingehaust wäre. Dadurch wären bei uns viele Ausfälle mit großer Wahrscheinlichkeit nicht aufgetreten.
57	Die regelmäßige Wartung der Anlage ist für einen reibungslosen Betrieb unseres Erachtens unentbehrlich.
58	Spülringleitung im Bodenbereich müsste nach der Auskunft des Schlossers der SM nachgerüstet werde. Diese soll ein Festsetzen der nicht löslichen Bestandteile im Bodenbereich (an der Abschlammereinrichtung) verhindern. Anlagen der Nachbar-Straßenmeistereien, die von weiteren Anlagenherstellern geliefert wurden und nach demselben Löseprinzip arbeiten verfügen über diese Ausstattung. Haben einen erheblich geringeren Wartungs-/Reinigungsaufwand. Sowie einen deutlichen geringeren Anteil an festen Löserückständen.
59	Gleichbleibende sehr gute Salzqualität mit hohem Reinheitsgrad
60	Beschickung der Anlage direkt vom Silo in die Anlage
61	Die bauliche Konstruktion. Die Anlage sollte ja schon umgebaut werden.
62	Besserer Frostschutz; Errichtung der Anlage außerhalb der Streustofflagerhalle
63	Anlage nur mit Siedesalz betreiben, Pumpe besser geschützt einbauen
64	Die Kapazitätsleistung und das Lagervolumen müssen vergrößert werden.
65	Kontrollanzeige Füllstand Salz ist verbesserungswürdig, sehr ungenaue Anzeige - Radarmessung wäre eine wesentliche Verbesserung
66	Austausch der kompletten Anlage. Behälter schon zu alt. Trennwände schon durch Witterung abgenommen - können bersten
67	-höhere Löseleistung -Problem des anhaftenden Salzes am Innenmantel -Restmengenanzeige und Funktionsstörungsanzeige elektronisch mit Fernüberwachung
68	Nachbesserungen bei später auftretenden Mängeln in der Konstruktion, Beispiel festklebender Schwimmer der mehrfach zum Trockenlauf der Pumpe führt. Alle Anlagen gleicher Bauart sollten vom Hersteller bei Auftreten solcher Probleme nachgerüstet werden müssen (wie Rückrufaktion)
69	- mehr Solebehälter (Gesamtvolumen) - gesonderter Solebehälter für MgCl <sub>2</sub>
70	Die Salzzuführung mit der Schnecke ist sehr störungsanfällig. Die Anlage läuft bis heute sehr unzuverlässig und es treten ständig Störungen auf. (Die Anlage reift beim Kunden).
71	Zugang für eine manuelle Reinigung, die gesamte elektronische Steuerung wurde auf Grund von fehlerhaften Funktionen durch Produkte der Fa. Blumer Lehmann 2017 ersetzt - bis jetzt läuft die Anlage fehlerfrei
72	Weniger elektronische Überwachung
73	Die Anlage ist altersbedingt nicht mehr auf dem neuesten Stand und die Menge der zu mischenden Sole könnte höher sein. Der Mischbehälter ist mittlerweile dünnwandig, hatte schon kleinere Leckagen.
74	Unsere Anlage ist 28 Jahre alt und nicht mehr auf dem neuesten Stand der Technik. Aufgrund der Salzqualität haben wir Probleme mit Verkrustungen der Anlage durch Salzurückstände (u.a. Gips), was demzufolge Störungen der Anlage verursacht.
75	Verbesserung Undichtigkeiten an Füllstationen, Erhöhung des Salzvorrates des Erzeugers, Automatisierung des Abschlammvorganges

76	Die Anlage ist 19 Jahre alt, funktioniert relativ zuverlässig, ist jedoch bei Extremwetter mit vielen Streueinsätzen nicht in der Lage die benötigte Sole zu produzieren
77	Antwort bezieht sich auf Altanlage bis 2018. Für neue Anlage seit Jan. 19 keine Aussage möglich. Witterungsschutz ist m.E. erforderlich, Größerer Behälter für Solerecyclingsystem, Beheizung des Technikraumes, erhöhte Anforderungen an Salzqualität
78	Verwendung von Steinsalz
79	Mehr Lagerkapazitäten auf der Meistere
80	Automatische Salzzuführung und Erhöhung der Lagerkapazitäten.
81	Im Trichter rutscht das Salz schlecht nach bzw. bleibt in der Trichterwand stehen. Elektrische Anlagen stehen im Freien. Bei manueller und automatischer Reinigung werden nicht alle Rückstände herausgefördert. Bei manueller Reinigung schlecht zugänglich. Produzierte Sole müsste zusätzlich gefiltert werden (Flockenbildung führt zur Verstopfung von FS 100-Streuern). Kalkhaltiges Wasser.
82	Es müssten mehr Anschlüsse für die Reinigung verbaut werden, um ein besseres Durchspülen der Leitungen vornehmen zu können. Für den Streubetrieb mit reinen Feuchtsalzstreuern müssen eine oder mehrere leistungsstarke Pumpen verbaut werden, um eine schnelle Befüllung gewährleisten zu können.
83	Haltbarkeit der Soleförderpumpen
84	Die Anlage müsste ein größeres Lagervolumen haben. Die Sole sollte mit Wärme aufbereitet werden, damit das Salz sich besser auflöst und die Düsen der Streuautomaten nicht verstopfen. Die Befüllung sollte über ein Förderband geschehen und die Anlage sollte überdacht sein.
85	Alle elektrischen Bauteile sollten besser gegen Witterungseinflüsse geschützt sein. Empfindliche Bauteile wie Sensoren etc. sollten einfacher und in Eigenleistung austauschbar sein. Eine Art Plug & Play.
86	Es muss zwingend auf die Salzqualität geachtet werden.
87	Wartungsverträge mit festen Intervallen, Zuverlässigkeit der entsprechenden Wartungsfirmen
88	Um die Anlage zuverlässig betreiben zu können ist es wichtig, dass wir für die Solezubereitung ein sauberes Salz verwenden. Durch die Verwendung von sauberem Salz werden zudem die Entsorgungskosten der Nebenbestandteile geringer.
89	Bessere Filteranlagen, um die Reinheit der Sole zu verbessern
90	24 Std. Service einer Fachfirma
91	Produktionsleistung und Zuverlässigkeit
92	Weniger stromführende oder elektronische Bauteile
93	Kein Salz mit Feinststoffen
94	Salzausbringung aus dem Silo Salz ohne unlösliche Feinststoffe.
95	Eine kurze Schnecke für den Salztransport (Rohrschnecke)
96	Die Anlage sollte nicht mehr verstopfen während der Winterperiode. Ursprünglich sollte die Sole mit aufgefangenem Regenwasser hergestellt werden, dieses hat noch nie funktioniert, da der Verschmutzungsgrad zu hoch ist
97	Eine gute Salzqualität ist enorm wichtig. Die Serviceleistung des Herstellers ist sehr schlecht. Zu lange Wartezeiten auf den Monteur.
98	Müsste höhere Leistung haben, mehr Salzlagerkapazität oder Solelagerkapazität haben, Salz sollte erst beim Mischen zugeführt werden, wenn das Salz auf der Sole steht, bilden sich Kaskaden im Salz die sich nicht auflösen
99	Automatische Ausschlämmung der ungelösten Schwebanteile aus dem Soleerzeuger. Automatische Salzbefüllung des Soleerzeugers. Automatische Überwachung des richtigen Mischungsverhältnisses (%), Abschaltung bei mangelhaftem Mischungsverhältnis im Soleerzeuger. Meldung im Störfall über Email, App etc. und/oder Abschaltung der Anlage.
100	Einhausung wegen Einfrieren - weniger Technik

101	Löseverhalten bei tiefen Temperaturen
102	Verbesserung der Soleproduktion bei tiefen Temperaturen
103	Abschlämmauslass müsste für eine optimale Reinigung höher liegen.
104	Größerer Vorratsbehälter, schnellere Löseleistung pro h, mehr Bestückungsvolumen für Trockensalz, z.B. Zuführung über separate Förderschnecke
105	Detailverbesserungen, z.B. Erhöhung der Mischleistung
106	Automatische Solemischanlage ist notwendig, aktuell ist alles noch manuell, Baujahr 1985
107	Soleerzeuger bei Neubauten vom Salzsilo trennen
108	Erweiterung der Lagerstätten. Genaue Dichte der erzeugten Sole. Großer Wasseranschluss, wenn möglich 10.000 Liter/Stunde
109	Automatische Wasserregulierung, um Solekonzentration auf 22 % kontinuierlich zu halten
110	Größerer Soleerzeuger für die 200000 Liter Lagertanks.
111	Wenn die Löseleistung zu hoch eingestellt ist wird das Salz nicht vollständig aufgelöst. In der Folge setzen sich die ungelösten Streusalzbestandteile im Solebehälter ab. Bei geringer Löseleistung bilden sich wesentlich weniger Rückstände im Solebehälter. Das Salz benötigt scheinbar in Abhängigkeit der Außen- und Medium-Temperaturen ausreichend Zeit, um vollständig aufgelöst zu werden.
112	Höhere Herstellungsmenge und Lagerkapazität
113	Salz erhärtet im Vorratstrichter, wenn die Produktion über mehrere Tage nicht erfolgt und rutscht nicht mehr zur Förderschnecke. Förderschnecke liegt frei (Störung). Salz bleibt durch die eckige Konstruktion des Vorratstrichters in den Ecken liegen. Verbesserungsvorschlag: Nachrutschen des Salzes im Vorratstrichter durch Vibration, Rüttler, runder Vorratstrichter.
114	Wenn gereinigtes Steinsalz verwendet wird, läuft die Anlage den ganzen Winter störungsfrei. Im letzten Winter wurde eine Salzsorte verwendet, die viele nicht lösehaltige Rückstände hatte, die zum Verkrusten des Soletrichters geführt hatte. Hier war der Reinigungsaufwand deutlich höher als sonst. Genügt beim gereinigten Steinsalz das Ausspritzen mit Wasser musste mit dem zuletzt gelieferten Salz schweres Gerät benutzt werden.
115	Planung der Soleanlagen durch Kompetenzteam (Maschinen-bzw. Anlagenbauingenieur Zentralstelle Betriebsdienst/Herstellern/Leiter SM-AM/Wasserversorger/Isolierer/Blitzschutz/Elektrofachkraft/Fachfirma Tank- und Behälterreinigung/Fachkraft für Arbeitssicherheit) damit teure Nachrüstungen bzw. Änderungen aufgrund abgespekter und lückenhafter Ausschreibungen vermieden werden. Bislang werden unberücksichtigte Hindernisse erst in der Bauphase erkannt und provisorisch oder gar nicht gelöst wegen Kostendruck Ausschreibungsergebnis und Zeitdruck Fertigstellung. Wartungsverträge mit dem Hersteller der Anlage sind erstrebenswert, da ein in der Straßenmeisterei beschäftigter Kfz-Mechatroniker hierfür nicht explizit so weitergebildet werden kann, um einen reibungslosen Betrieb der Anlage zu gewährleisten.
116	Funktionsfähigkeit der Anlage auch bei tiefen Außentemperaturen (- 10 bis - 20 Grad)
117	Technische Ausstattung der Umwälzpumpen sollten evtl. besser gegen das Salz geschützt werden (Dichtungen).
118	Zum Betrieb der Anlage müsste uns reines Salz zur Verfügung gestellt werden. Dies würde den Unterhaltungsaufwand definitiv senken.
119	Die Fördereinrichtung von der Salzhalle zum Silo muss verbessert werden, sowie die zu fördernde Menge. Die Soleproduktion sollte einwandfrei funktionieren. Das Umpumpen der Sole in die Lagertanks sollte ohne Probleme funktionieren, sowie die Rückholung aus den Streuern in die Tanks.
120	1. Die Störanfälligkeit muss dahingehend verbessert werden, dass die Anlage weniger bis gar nicht ausfällt. 2. Der Hersteller übernimmt für diese Anlage auch die Wartung, da es ansonsten keine andere Firma machen kann (zu speziell). Der Sitz der Herstellerfirma ist in Süddeutschland, es gibt im Norden also in der Nähe keine Fachfirma, die die Wartung/ Reparatur übernehmen kann. Über "Telefonkonferenz" werden seitens des Herstellers Reparaturdiagnosen erstellt, die nicht immer zutreffen.
121	Korrosionsfreie Materialien die mit Sole in Berührung kommen
122	Die Anlagen müssen deutlich autonomer Sole herstellen. Der Wartungs- und Reinigungsaufwand ist hoch.
123	Zur Absicherung von Ausfallzeiten wäre ein Einfüllstutzen am Vorratstank wünschenswert.

124	Schnellerer Wartungs- und Reparaturservice der Hersteller
125	Größerer Salzspeicher für Solemixonlage, ideal wäre ein Silo für automatisches Salznachfüllen - Befüllung der Solemixonlage durch Radlader oder Salzladeband ist nicht empfehlenswert
126	Leistungs- und Lagerkapazität sind zu gering.
127	Die Reinigung der Anlage ist sehr schwer. Das Bestücken der Anlage in der Salzhalle ist sehr schwierig. Die Anlage aus der Salzhalle entfernen.
128	Die Salzqualität ist wichtig. Die Zuführung vom Salz zur Löseanlage.
129	Die Solepumpen müssten korrosionsbeständiger sein, sie sind sehr anfällig.

### E.3: Verbesserungspotenziale aus Sicht der österreichischen Straßenmeistereien

SM Nr.	Verbesserungspotenzial
1	Verbesserung der Salz- bzw. Wasserzuführung zur Soleanlage
2	Siedesalz statt Steinsalz verwenden bzw. Steinsalz ohne wasserunlösliche Bestandteile
3	Neue automatische Solemischanlage
4	Generell Siedesalz für die Soleherstellung verwenden
5	Neue Anlage oder Fertigsole
6	Neue Anlage
7	Neue Anlage
8	Automatische Soleanlage, um Personalaufwand zu reduzieren
9	Schutz gegen Witterung (v.a. Elektronik)
10	Wasserversorgung sicherstellen
11	Verwendung von Siedesalz bzw. ausreichende Wasserversorgung (Ortswasser oder beheizter Puffertank bzw. Erdtank/Zisterne)
12	Am Stand der Technik bringen
13	Erweiterung der Lagerstätten. Genaue Dichte der erzeugten Sole. Großer Wasseranschluss, wenn möglich 10.000 Liter/Stunde
14	Anlagen sollen mit allen Natriumchlorid-Salzen betrieben werden können, insbesondere mit Steinsalz EF 0/2.
15	Bei längerem Stillstand (Schönwetterperiode) trocknet die Salzvorlage aus. Bei tieferen Temperaturen (-13 °C und tiefer) friert die Sole im Lösetrichter.



## Anhang F – Temperaturen bei der Soleerzeugung

Meisterei Salzherkunft und Körnung	Datum	Uhrzeit	Temperatur (°C)						
			Wasser	Salz	Luft (im Freien)	Luft (im Lösegebäude)	Konzentrierte Sole	Gebrauchsfertige Sole	
AM Kaisersesch Sondershausen F	08.01.2020	13:00	6	4,4	8	5,1	6,1	5,4	
		14:15	5,5	3,7	8	5	5,2	5,6	
	09.01.2020	8:00	7	6,4	9	6,6	5,4	5,6	
		9:00	7,5	7,0	9	4,8	5,7	5,9	
		13:00	7,5	4,5	11	7,5	5,7	6,2	
	10.01.2020	14:00	7,5	4,7	11	7,8	5,8	6	
		7:45	7,5	4,6	7	6,3	5,8	6,1	
		11:00	7	5,3	8	6,1	5,9	6,2	
		13.01.2020	8:00	7	3,6	4	4	5,3	5,9
		10:00	7,5	4,5	5	4,2	5,4	6,0	
	14.01.2020	13:00	7	3,7	6	4,2	4,9	5,3	
		14:30	7	3,9	6	4,3	5	5,2	
		7:45	8	4	6	4,8	4,9	5,2	
		9:30	7,5	4,7	6	5	5,3	5,5	
AM Kaisersesch Borth F		20.01.2020	10:00	7	0,9	2	2	4	4,4
			11:00	7	2,9	3	2,3	5,7	5,8
	21.01.2020	13:00	7	6	4	2,5	5,6	5,7	
		14:00	6,5	5,8	4	2,5	5,2	5,4	
		7:00	8	-3,5	-2	-1,1	4	4,4	
		8:00	6,5	3	-2	-1,3	5,2	5,4	
		13:00	7	3,2	3	1,2	4,5	5,3	
		14:00	7	4,1	3	1,6	5	5,3	
23.01.2020	7:00	7,5	0,9	1	0,4	2,5	3,2		
	8:00	7	5	1	0,5	4,9	5,3		
	13:00	7	0,4	1	0,7	4,2	4,5		
	14:00	7	4,8	1	0,8	5,3	5,4		

Meisterei Salzherkunft und Körnung	Datum	Uhrzeit	Temperatur (°C)					
			Wasser	Salz	Luft (im Freien)	Luft (im Lösegebäude)	Konzentrierte Sole	Gebrauchsfertige Sole
AM Kaisersesch Borth F	24.01.2020	8:00	7	0,4	0	0,3	3,4	3,8
		9:00	7	4,5	0	0,3	4,8	5,0
	27.01.2020	9:00	7	4,4	6	4,1	3,4	3,8
		10:00	6,5	5,9	6	4,2	5	5,2
		14:00	7	5,9	6	4,5	5,1	5,4
		15:00	7	6,1	6	4,5	5,2	5,4
AM Kaisersesch Heilbronn F	03.02.2020	7:45	6,5	7,1	8	6,8	7	6,8
		8:45	6,5	9	8	6,9	6,2	5,9
		14:15	7	8	10	7,3	6	6,2
		15:15	7	8	10	7	5,7	5,8
	04.02.2020	11:00	6	3,6	5	3,7	5,6	5,7
		12:00	6,5	3,2	5	3,8	5,5	5,7
		14:00	6,5	3	6	3,8	5,4	5,6
		15:00	6,5	3,4	6	3,9	5,4	5,7
	05.02.2020	7:45	6,5	3	1	2	4,4	4,5
		8:45	6,5	3,8	2	1,9	4,6	4,9
		13:00	7	4	3	2,4	4,9	5
		14:00	7	3,9	3	2,5	4,8	4,9
	10.02.2020	7:50	7	6,6	6	5,3	4,9	5
		8:50	7	6	7	5	4,7	5
		11:00	7	5,8	7	5,2	4,7	4,9
		12:00	7	5,7	6	5,2	4,6	5
	11.02.2020	8:00	7	3,3	1	2,5	4,6	5
		9:00	7	4	1	2,4	4,7	5
	13:00	7	5	3	3,6	4,7	5,3	
	14:00	7	5	2	3,6	4,6	4,9	

Meisterei Salzherkunft und Körnung	Datum	Uhrzeit	Temperatur (°C)				
			Wasser	Salz	Luft (im Freien)	Konzentrierte Sole	Gebrauchsfertige Sole
AM Erlangen Bernburg M	10.02.2020		8,2	6	8,8	5,1	6,2
	11.02.2020	17:35	6	4	4,6	4,3	4
	14.02.2020	9:10	6	4	5,4	4,2	4
		11:15	6	4	6,6	4,2	5
AM Erlangen Bad Reichenhall EF	03.03.2020		8,2		6,2	6	6,2
AM Erlangen Heilbronn M	24.03.2020	14:06	7,3	4,5	8,1	6,1	6
		15:15	7,8	4,5	7,9	6,1	6
AM Kist Heilbronn M	27.01.2020		9,7	7	7,5	8	7,6
	27.01.2020		9,2	8,3	8,3	6,5	6
	29.01.2020		8	1,6	1,6	7	6,5
	29.01.2020		9	2,7	2,7	7	6
	06.02.2020		8	1,1	1,1	7	7
SM Bad Rappenau Heilbronn M	03.02.2020	10:30	9,3	10,4	11,5	8,5	8,5
SM Dillingen Sondershausen M	03.01.2020	8:30	11,1		0	7,5	7,8
		10:45	12,1		0	8,5	8,3
		12:00	13,5		1	9,2	9
		13:30	13,3		1	10	9,7
		15:00	13,2		1	10,5	10,2
	02.03.2020	8:30	13		5	10,4	10,4
		10:40	13,1		8	10,7	10,9
		12:00	13,1		9	10,7	11
		13:30	13,6		11	11	11
	15:10	13,7		11	11	11	

Meisterei Salzherkunft und Körmung	Datum	Uhrzeit	Temperatur (°C)			
			Wasser	Salz	Luft (im Freien)	Gebrauchsfertige Sole
SM Neumarkt Bernburg M	11.02.2020	12:45	8,2	5,7	3,6	5,9
Heilbronn M	11.02.2020	14:30	8	7	4	6
Heilbronn EF	11.02.2020	16:00	8	5,3	4	5,5
Bad Reichenhall EF	11.02.2020	10:00	8	5,4	5,6	5,5

## Anhang G – Leistungsverzeichnis (Beispiel)

### 1 Baustein Tausalzlöseanlage

Tausalzlöseanlage, gefertigt aus GFK, zur Herstellung einer gebrauchsfertigen Sole (Natriumchloridlösung) aus Steinsalz mit einer Konzentration von 22 M.-%.

Die Anlage muss geeignet sein, um aus Steinsalzen mit einer Qualität die den Anforderungen der DIN EN 16811-1 entspricht, gebrauchsfertige Sole zu produzieren. Die Körnung der zum Einsatz kommenden Steinsalze kann der Kornklasse F oder M entsprechen.

Produktionsleistung mindestens \_\_\_\_\_ l gebrauchsfertige Sole/h.

Gemäß prEN 17443 sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

Die Produktionsleistung darf nur max. minus 5 % von der geforderten Leistung abweichen.

Bei der Salzkonzentration ist eine maximale Toleranz von +/- 1,0 M.-% von der geforderten Konzentration zulässig.

Die gebrauchsfertige Sole darf nicht mehr als 0,03 M.-% ungelöste Bestandteile aufweisen. Die einzelnen Partikel der ungelösten Bestandteile dürfen eine Größe von 0,5 mm nicht überschreiten.

Die Salzvorgabe muss von unten gleichmäßig mit dem Lösewasser durchströmt werden.

Vollautomatische Steuerung und Regelung des Lösevorganges bis zur geforderten Konzentration.

Die Solekonzentration muss elektronisch gemessen werden, um mit vollautomatischer Dosierung der Wassermenge die geforderte Solekonzentration zu gewährleisten.

Konzentrationsmessung der Sole mittels dichtebasierter Verfahren (Biegeschwinger, Schwinggabel) oder Verfahren mittels elektrischer Leitfähigkeit. Die Messgeräte sind mit einer Temperaturkompensation auszustatten. Der konkrete Konzentrationswert ist mit einer Auflösung von 0,1 % zu messen und anzeigen.

Angebotenes Verfahren der Konzentrationsmessung:

.....  
(vom Bieter auszufüllen)

Automatische Abschlämmung der ungelösten Salzbestandteile in den Abschlammbehälter. Abschlammintervalle müssen vom Auftraggeber frei wählbar sein.

Abpumpen der gebrauchsfertigen Sole in die Lagertanks:

Die Förderleistung der Pumpe muss mindestens der maximalen Produktionsleistung entsprechen. Die gebrauchsfertige Sole wird mit einer korrosionsbeständigen Pumpe zu den Lagertanks gefördert.

Angebotenes Fabrikat der korrosionsbeständigen Pumpe:

.....  
(vom Bieter auszufüllen)

Durchfluss-Messeinrichtung:

Zur optischen Prüfung ist in die Leitung zu den Soletanks ein mind. 300 mm langes, beleuchtetes Klarsichtrohr (gleicher Durchmesser wie übriger Rohrabschnitt) einzubauen. In die Rohrleitung zu den Soletanks ist ein Volumenstrom-Messgerät einzubauen und an die zentrale Steuerungs- und Überwachungseinheit anzuschließen, inkl. aller erforderlichen Bauteile, Verkabelung usw.

Angebotenes Fabrikat des Durchflussmessers:

.....  
(vom Bieter auszufüllen)

Der Salzlöser muss eine automatische Abschaltung bei vollem Soletank sowie Neustart bei Unterschreitung eines vom Auftraggeber frei wählbaren unteren Grenzwertes haben. Die gesamte Anlage muss mit an die Störmeldeanlage der zentralen Steuerungs- und Überwachungseinheit angeschlossen werden.

Die Anlage ist mit einem elektrischen Wasserventil und Rohrtrenner nach WHG auszurüsten. Der Rohrtrenner ist mit Trichtersifon zu liefern und an die Grundleitung anzuschließen. Alle wasserführenden Leitungen und Bauteile sind zu beheizen und mit einer Wärmeisolierung zu versehen, inkl. Temperaturregelung über einstellbaren Thermostat. Ab der Übergabestelle Wasser hat der Auftragnehmer sämtliche Wasserleitungen zu dämmen und mittels Begleitheizung garantiert frostsicher zu halten. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass von den verantwortlichen Wasserwerken ein frostsicherer, gedämmter und geeichter Wasserzähler (Zwischenzähler) installiert wird. .

Die Löseanlage wird neben dem Salzsilo aufgestellt und über eine vom Silokonus ausgehende Förderschnecke mit dem Salz beschickt.

Der Salzlöser muss mit einer Überlaufsicherung sowie einer Leckageüberwachung ausgestattet sein und der AwSV-Verordnung entsprechen.

#### Abschlämmung unlöslicher Stoffe:

Nicht lösliche Reststoffe werden aus dem Lösebehälter mit einem Schneckenförderer mit einlaminiertem Rohr am Solebehälter in einen Auffangbehälter transportiert und in diesem zwischengelagert. Sole im Abschlammgut muss zurückgewonnen werden und dem Soleproduktionsprozess wieder zugeführt werden. Zusätzlich muss eine Abschlammleitung zum manuellen Abschlammern vorhanden sein. Der Abschlammmodus mit Intervallen und Laufzeiten des Abschlammvorgangs muss über Parameter vom Auftraggeber vorwähl- und einstellbar sein und ist an die zentrale Steuerungs- und Überwachungseinheit anzuschließen.

#### Abschlammbehälter:

Die bei der Entschlammung anfallenden unlöslichen Bestandteile sind in einem korrosionsbeständigen Behälter (Kunststoff, Edelstahl) unmittelbar an der Löseanlage aufzufangen. Der Behälter muss mindestens 400 kg fassen und ist als Kippbehälter zu liefern, der mit einem Gabelstapler oder Radlader mit Gabel ebenerdig aufgenommen, transportiert und durch eine Kippeinrichtung, die am Behälter vorhanden sein muss, ausgekippt werden kann.

#### Reinigung der Sole

Es ist zu gewährleisten, dass mit dem gewählten Löseverfahren eine Sole mit maximal 0,03 M.-% an nicht löslichen Bestandteilen, auch bei maximaler Produktionsleistung, produziert werden kann.

Je nach gewähltem Anlagentyp/-verfahren kann es erforderlich sein, dass die produzierte Sole vor der Verdünnung auf die geforderte Konzentration in einem Hydrozyklon gereinigt werden muss. Die abgetrennten Feststoffe sind in den Abschlammbehälter zu leiten.

#### Angebotenes Fabrikat Hydrozyklon:

.....  
(vom Bieter auszufüllen)

#### Wartungsmöglichkeiten an der Löseanlage:

Sämtliche Anlagenteile müssen durch fest installierte Podeste und Treppen (keine Anlegeleitern o.ä.) zu Wartungs- und Prüfzwecken frei zugänglich sein. Podeste sind folgendermaßen auszustatten: Breite mindestens 0,80 m, Höhe so, dass alle Teile der Löseanlage für Wartungs- oder Reparaturarbeiten in normaler Arbeitshaltung erreichbar sind. Geländer zur Absturzsicherung sind vorzusehen. Beläge sind als Gitterroste mit mind. R13 und einer Tragfähigkeit von 300 kg/qm auszuführen. Treppenaufgang/Leiternaufgang zum Podest ebenfalls in Gitterrostauführung mind. R13. Alle Materialien aus Stahl sind feuerverzinkt und zusätzlich im Duplexverfahren zu beschichten oder aus Edelstahl zu fertigen.

## 2 Baustein Steuerungs- und Überwachungseinheit

Die Steuerungs- und Überwachungseinheit dient der Gesamtüberwachung, Steuerung und Regelung sämtlicher Anlagenteile und Funktionen der Soleanlage: Salzsilo, Salzlöseanlage, Solepumpenanlage, Lagertanks, Befüll- und Entleerstationen, Erfassung der Produktionsleistung, der Solekonzentration usw.

Es ist eine standardisierte speicherprogrammierbare Steuerung, die unabhängig vom Hersteller der Tausalzlöseanlage vom Auftraggeber bzw. beauftragten Fremdunternehmen gewartet werden kann, zu liefern.

Kontroll- und Überwachungseinheit mit einem Touchscreen-Bildschirm in ausreichender Displaygröße inklusive sämtlicher erforderlicher Hard- und Software, geeignet für unbeheizte Räume und Bedienung in verschmutztem Umfeld, von der aus der gesamte Produktions- und Mischprozess der Sole, inklusive der Konzentrationsmessung, das Silo mit Förderschnecke, die Steuerung des Hydraulikschiebers am Silo, die Pumpensteuerung für die Be- und Enladevorgänge sowie die Füllstände der Lagertanks und des Salzsilos, überwacht und gesteuert werden können. Sämtliche Informationen laufen hier zusammen; die gesamte Anlage kann hierüber kontrolliert und gesteuert werden. Auf dem Bildschirm muss das Anlagenschema farbig dargestellt sein. Fehler (Störungen) in der Anlage müssen als Klartext auf dem Display angezeigt werden. Zusätzlich sind die Fehler auf einer systemintegrierten Störmeldeanlage zusammenzufassen und sowohl mittels Signalleuchte und Sirene an der Anlagenaußenseite im Freien anzuzeigen als auch mittels GSM-Modul (3G, 4G) per SMS als Klartextanzeige fern zu übertragen. Die Intervalle der optischen und akustischen Signalisierung müssen für den Auftraggeber getrennt frei wählbar und einstellbar sein. Die Steuerungs- und Überwachungseinheit muss über eine Schnittstelle verfügen, die es ermöglicht, sämtliche Funktionen und Informationen der Gesamtanlage auf einen bauseitigen Computer in das Betriebsgebäude der Meistereie (Leitstelle) gespiegelt zu übertragen. Die hierfür erforderlichen Bauteile, Einrichtungen, Software usw. sind in den Einheitspreis mit einzukalkulieren.

Die gesamte Anlage ist konventionell verdrahtet auszuführen. Hierbei werden alle Funktionen, die zum Betrieb der Anlage notwendig sind, über digitale und analoge Ein-/Ausgänge der Steuerung ausgeführt. Dazu gehören:

- Ansteuerung Ventile
- Rückmeldung der Ventilstellungen
- Pumpensteuerung
- Ansteuerung der Motoren der Förderschnecken
- Funktionen der Verladestellen wie:
  - Start/Stopp Verladevorgang
  - Rückmeldung Streufahrzeug voll
  - Schlauch leeren
  - Streufahrzeug leeren
- Anzeige der Aushebesicherung der Soletanks (offen/zu)
- Füllstände der Lagerbehälter und des Salzsilos
- Überfüllsicherung der Lagerbehälter



- Alarmsignale Leckageüberwachung
- Konzentrationsmessung Soleerzeuger

Eine Ausnahme bildet die Verbindung zur zentralen Steuerungs- und Überwachungseinheit (HMI) zur Anzeige der Daten und zum Einstellen der Parameter. Hier ist eine Verbindung zur Steuerung über ein Netzwerk (z.B. RS485 oder Ethernet) erforderlich. Dabei ist besonders darauf Wert zu legen, dass es sich um ein standardisiertes industrielles Standard-Bussystem handelt.

Eine weitere Ausnahme stellt die Anbindung an ein Modem dar. Die Anbindung der Steuerung mit einem Modem für Wartungs- und Datenübertragungszwecke erfolgt in gleicher Form zur zentralen Steuerungs- und Überwachungseinheit (HMI).

Es muss die Möglichkeit bestehen, dass ein Administrator auf dem Computer mit der gespiegelten Anzeige des Bedientableaus die Bedienmöglichkeiten der Anlage über Zugriffsrechte beschränken kann; d.h. dass auf diesem Computer entweder nur Informationen der Anlage angezeigt und mit eingeschränkten Bedienfunktionen versehen sind oder die gleichen Informationen und Bedienmöglichkeiten (1 zu 1 zum Bedientableaus an der Anlage selbst) zur Verfügung stehen.

Das gesamte Anlagenschema ist auf dem Bildschirm graphisch darzustellen. Der aktuelle Prozessablauf sowie der Materialfluss sind ebenfalls graphisch darzustellen. Alle Ventil-, Pumpen-, Sensor-, und Bauteilbezeichnungen sowie Bauteilstellungen sind ebenfalls in der graphischen Darstellung anzugeben. Die einzelnen Informationen der Pumpstation, der Soleerzeuger, die Lagertanks usw. sind in mehreren Bildschirmenebenen einzeln anzuwählen und darzustellen, damit eine übersichtliche Bedienung ermöglicht wird. Der jeweilige Tankinhalt ist als Balkendiagramm darzustellen.

Zusätzlich muss die Anlage mittels GSM-Modul (3G, 4G) o.ä. sowohl für die Meisterei als auch für ein von der Meisterei frei zu wählende Wartungsfirma fern zu warten sein. Eventuell erforderliche Sicherheitscodes sind dem Betreiber auszuhändigen, inklusive einer vollständigen und nachvollziehbaren Beschreibung der Programmierung. Der Betreiber ist als Administrator mit sämtlichen Zugriffsrechten auf allen Ebenen zu versehen.

Die fertig produzierte Sole ist in der Einheit m<sup>3</sup> anzuzeigen. Das jeweilige Zählwerk muss zurückstellbar sein. Die ermittelten Werte müssen in einem jeweiligen zusätzlich permanent addierenden 2. Zählwerk aufaddiert und auf Dauer gespeichert werden. Gleiches gilt für die Tankinhalte, Salzmenge im Silo und für die ausgegebene und zurückgenommene Solemenge.

Die Stellung (Auf oder Zu) der Ventile und Kugelhähne sowie die Stellung evtl. vorhandener Schieber ist in der Steuereinheit der Anlage jeweils darzustellen. Sämtliche Schieber, Ventile, Steuereinrichtungen usw. sind mit einer Kontrolleinrichtung zu versehen, die gewährleistet, dass die Anlagensteuerung nach Auslösen des Steuerbefehls „Auf/Zu“ einen Rückimpuls über die tatsächliche Stellung der Schieber, Ventile usw. erhält, so dass Fehlstellungen und Fehlanzeigen z.B. durch mechanische Defekte o.ä. vermieden werden. Sämtliche Anlagenteile sind eindeutig zu beschriften. Diese Bezeichnungen müssen sich auf der Anzeige der Steuereinheit der Anlage wiederfinden.

Zusätzlich zu der automatischen Produktion muss die Anlage in allen Funktionen auch manuell bedient und gesteuert werden können.

Weiterhin sind folgende Funktionen auch manuell steuerbar vorzusehen:

- Austrag der ungelösten Salzbestandteile aus dem Lösebehälter;
- Spülung aller Behälter und Leitungen der Anlage in denen sich Ablagerungen bilden können;
- Öffnen und Schließen der Magnetventile;
- Abpumpen des Solepuffers.

Zur Messung der Durchflussmenge ist in die Leitung zu den Soletanks ein Durchflussmengenmesser einzubauen und an die zentrale Steuerungs- und Überwachungseinheit anzuschließen.

Angebotenes Fabrikat Durchflussmengenmesser:

.....  
(vom Bieter auszufüllen)

Lieferung und Montage:

Komplette Lieferung und Montage vollständig und betriebsbereit mit Anschluss an die Tausalzlöseanlage, das Salzsilo, die Solelagertanks, die erforderlichen Fühler, Pumpensteuerungen, Messeinrichtungen usw.

Dokumentation

Für die gesamte Anlage ist eine ausführliche Dokumentation zu liefern mit Bedienungsanleitung, Schaltplänen, Ersatzteilliste.