

Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 274

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving them a 3D appearance as if they are floating above a white surface. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

von

Susanne Schulz
Matthias Zimmermann
Ralf Roos

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen
Abteilung Straßenentwurf und -betrieb

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 274

bast

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

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 04.250/2011/KGB
Liegendauer von Tausalzen auf Landstraßen

Fachbetreuung:
Horst Badelt

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-268-1
Bergisch Gladbach, Juli 2016

Kurzfassung – Abstract

Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Die bisher vorliegenden Erkenntnisse zu den Abhängigkeiten der Tausalzverteilung bzw. -liegedauer beruhen vor allem auf Untersuchungen auf Autobahnen. Wegen der Unterschiede der Verkehrsmengen, der Verkehrsverteilung und der Fahrzeuggeschwindigkeiten ist eine Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf das Landstraßennetz jedoch kaum gegeben.

Im Rahmen dieser Untersuchung auf Landstraßen standen 13 Streckenabschnitte zu Verfügung, auf welchen in den Winterperioden 2011/2012 sowie 2012/2013 Restsalzmessungen unter Verkehr vorgenommen wurden. Die Streckenabschnitte haben in ihrer Lage (Waldlage, freies Umfeld, Höhenlage), der Höhe des Verkehrsaufkommens und der allgemeinen Streckencharakteristik (Längs- und Quergefälle, Oberflächenstruktur) variiert. Zudem kamen verschiedene Streumittel (FS 30 sowie Sole) zum Einsatz. Zur Messung der Tausalzgehalte wurde das Restsalzmengenmessgerät SOBO 20 verwendet.

Die stärkste Abnahme der Restsalzgehalte hat sich bei einer durchgehend nassen Fahrbahn gezeigt, auch große Längs- und Querneigungen sowie bei Soleeinsatz geringe Oberflächentexturtiefen beschleunigen die Tausalzabnahme. Diese Einflüsse sind bei Solesprühung auf nasser Fahrbahn besonders groß, daher sind solche Einsätze nicht zu empfehlen.

Insgesamt konnten auf feuchter Fahrbahn bei gleichen Streubedingungen mit FS 30 etwa 3- bis 4-fache Liegezeiten von Tausalz als auf nasser Fahrbahn ermittelt werden.

Es konnten Anhaltswerte zusammengestellt werden, bis zu welcher Anzahl an Fahrzeugüberrollungen eine wirksame Menge an Tausalzen zu erwarten ist. Hieraus können möglicherweise Strategieänderungen in der Winterdienstleistungsplanung resultieren. Beispielsweise können weniger befahrene Strecken abends abgestreut werden, sodass morgens, kurz vor einem evtl. eintretenden Glätteereignis, genug Zeit bleibt, die Strecken mit höherer Verkehrsbelastung abzustreuen.

Persistence of de-icing salt on rural roads

Previous investigations focusing on interdependences between the concentration of de-icing salt and its persistence on road surfaces have only been conducted on highways. However, volumes of traffic, the dispersion of traffic and vehicle speeds differ remarkably between highway roads and non-highway roads. Hence, up to the present day, it has not been possible to adapt current insights for roads of the latter type.

During the winter seasons 2011/2012 and 2012/2013, measurements have been executed on 13 different road sections in Germany. The road sections vary in terms of their geographic location (close to the forest, surroundings without shelter, different altitudes), their volumes of traffic and their general characteristics (longitudinal and transverse inclinations, road surface characteristics). Besides, different kinds of de-icing agents have been employed (FS 30 as well as brine) and every measurement included a determination of the remaining salt. The SOBO 20 accomplished this task. Road closures were unnecessary for the recording part.

Permanently wet surfaces generate the greatest decline in the concentration of de-icing salt on rural roads. Moreover, intense longitudinal and transverse inclinations as well as road surfaces with low profile (when using brine) accelerate the reduction of de-icing agents on road surfaces. Whenever one spreads brine on wet surfaces, the degeneration of de-icing salt reaches its maximum. Therefore, it is not advisable to implement these kinds of actions in winter service routine.

Generally, the persistence of de-icing salt on humid road surfaces equals three to four times the persistence of de-icing salt on wet road surfaces provided that the dispersion of the de-icing agent has been performed under equal conditions (when using FS 30).

The current investigation is able to provide evidence for an efficient gritting process of de-icing salt. Namely, it identifies the number of passing vehicles, which can overtake a given road section, before it becomes necessary to renew the concentration of the de-icing salt. These insights

might be helpful to optimize the winter service sector. As an example, one can say that it is suitable to grit road sections with low volumes of traffic in the evening in order to save time for roads with higher traffic volume. These sections can be taken care of during the morning and shortly before road surfaces become slippery.

Summary

Persistence of de-icing salt on rural roads

Historical context and motives

In the Federal Republic of Germany, owners are obliged to perform winter service on their own property. This legal obligation is defined in § 3 III of the Federal Highway Act of Germany and enhanced by laws of the Federal states of Germany. Consequently, in addition to their normal obligations (described by paragraph 1), public authorities have to clear road sections of ice and snow and/or grit salt. However, given all laws of Germany, there is no exact agreement stating that every road has to be cleared and spread with salt at any given point in time. Nevertheless, roads or spots with high degree of exposure and risk of injuries (for instance bridges, shady or inclining sections) and spots, which are often underestimated by road-users, have to be under continuous control and persistent winter service. Ultimately, it is part of the duty of road users to ensure that their vehicles and their way of driving are adequate for prevailing weather conditions. The more one identifies a road as “wintery”, the more one is obliged to react to these circumstances.

Still, the standard evaluation time for performing winter service is not preventative but curative in the sense that public authorities is given time to react to alternating weather conditions.

Yet, economic and safety-related aspects show the advantages of a prophylactic salt spreading (SVANEKIL, 2009). On the one side, one needs less de-icing salt. When doing preventative winter service, the salt is normally dropped in form of brine and there are only small amounts of salt needed to produce this brine. On the other side, a preventative spreading process is responsible for an increased driving speed of winter service vehicles. In this way, agglomerations of snow are prevented. These agglomerations are hard to remove from road surfaces, if vehicles have already rolled over it. The preventative use of salt transforms the snow into snow slush and keeps it workable for arriving winter service vehicles.

There are two fundamental aspects, which are important to know when dropping de-icing salt:

Namely, the impact of salt on ice and snow over time and the persistence of de-icing salt given the volume of traffic, the geographic location of the road section and weather conditions. However, investigations regarding the influence of external circumstances on the proportion of salt content on rural road surfaces have only been conducted a very few times in Germany.

Therefore, the present study focuses on highlighting the different dimensions of traffic-related, technical and weather-related influences on the concentration of de-icing agents. The aim of this investigation is to deepen knowledge in the field of persistence of de-icing salt on rural roads and the effectiveness of de-icing salt over time given certain inhomogeneities in networks, weather conditions and the technical and procedural method of spreading.

Selection of road sections

Mainly, road sections with an automatic capturing system of the de-icing salt distribution at the responsible road maintenance office have been shortlisted. This criterion of exclusion provided several advantages: It made it possible to capture particular details of winter services even after the termination of the experiment (e.g. where and when did the gritter drop de-icing salt and how much time has already passed since the salt has been spread, width of spreading, concentration of the de-icing salt, speed of the winter service vehicle, ...) and enabled the researchers to become aware of the amount of de-icing salt, which has already been lying on the road surface, when starting the experiment.

Unfortunately, only a small number of road maintenance offices are fully equipped to provide such a control system. Even if third-party vehicles were capable of capturing their use of de-icing salt on roads, vehicles owned by responsible road maintenance offices were certainly not. Nevertheless, the present study observed these kind of road sections as well. If a maintenance office was not able to provide the automatic capturing system, winter service vehicle drivers themselves documented all relevant information, inter alia the exact time of spreading, the gritting place, the width of spreading and the concentration of de-icing salt at given sections.

Regardless prevailing weather conditions and current mission requirements, at least one winter

service vehicle has been present for each measurement session. This enabled the researchers to influence spreading procedures and document it immediately.

Volumes of traffic as well as vehicle speeds have been criterions for eliminating road sections. In terms of these characteristics, the rural road network of Germany is extremely heterogeneous. These factors strongly influence the persistence of de-icing salt on road surfaces.

Different altitudes of road sections capture varying local and micro-climatic contexts. Thus, this circumstance has been considered when carrying out the election. Furthermore, road sections with shady areas (in forests mainly) as well as road sections with hillside locations and road sections at exposed locations are part of the investigation sample.

In addition, only road sections with sufficient sight distances at the measuring spots have been chosen for the experiment. One side of the road had to be closed temporarily for conducting measurements. Therefore, it was extremely important to ensure appropriate sight distances.

Within 70 days, the investigation has been completed. As a whole, the study involved 13 different road sections close to Karlsruhe, Gernsbach, Schwäbisch Gmünd and Würzburg.

Approach

For measuring the remaining amount of de-icing salt, one employed the measuring instrument SOBO 20 of Boschung. The integration of side radar devices in delineators enabled researchers to capture volumes of traffic and velocities of vehicles for all measurements. Mobile sensors recorded local conditions such as air temperature, temperature of the road surface and relative humidity. The thickness of water films has been ascertained with help of the "cloth test". "Sand-patch-tests" validated the average depth of road surfaces.

For each measuring sequence, one defined several test fields in a row. Yet, every test field consisted of four measuring spots, which were situated next to each other on the transverse section of the road: one on the left lane (LL), one at the centre of the

lane (C), one on the right lane (RL) and one on the marginal strip (MS). Therefore, the centre of the lane has been specified as the centre point between the inner edge of the lane separator and the inner edge of the roadside marking. The position of the wheel paths were located 0.9 m to the left or right of the lane centre. The measurement spot on the marginal strip was the place furthest from the roadside marking, but still paved.

The measuring fields lay in a row, but in opposite direction to the direction of travel. This special position successfully impeded any mutual interferences on measurements (for example influences through an onward movement of the measuring fluid initiated by passing vehicles). There have been four measuring spots for each measuring field. These were situated on a transverse line. In total, five measurements have been conducted for each measuring spot. The arithmetic mean of these measurements represented the actual measured value of a lane.

2 g/m² embodied the amount of residual salt, which was still appropriate for winter service purposes. Under these circumstances, when it starts raining and the temperature of a road surface is around 0 °C, the amount of salt is still sufficient to hinder any formation of ice. At least, enough time is granted to take action. For example, a remaining salt content of 2 g/m² in combination with rainfall that produces a film of water with a thickness of 0.1 mm results in a 2-percent-saline which is lowering the freezing point to ca. -1 °C (see the eutectic chart of sodium chloride). Thus, the above-mentioned assumption ensured comparability of results and enabled their interpretation.

Influence of relevant boundary conditions

Overall, it is important to remark that before jumping to conclusions, individual measurements have to be taken into account. The résumé on its own provides merely a general idea. This is principally due to altering boundary conditions when dispersing de-icing salt and carrying out measurements (among other things the kind of de-icing salt used for the road, the quantity and dosage of de-icing agent and road conditions). Also changing ambient conditions such as discontinuous weather conditions handicap an appropriate evaluation.

- Number of passing vehicles

Whenever the road surface is wet, already a few passing vehicles (< 200 vehicles) provoke a decline of 50% in the concentration of the de-icing salt on roads, regardless the dispersion strategy. If the road surface is humid-wet, more vehicles (ca. 600 vehicles) bypass a measuring point without causing this kind of reduction in the concentration of de-icing agents. More than a 1,000 vehicles are able to overtake a passage without triggering a cutback over 50% when the road surface is humid or dry. Thus, particularly on dry road surfaces one cannot deny the possibility of an increased salt content when it starts raining. Consequently, for example, when taking preventative actions, those will most likely last longer on dry road surfaces of rural roads than on dry road surfaces of highways, since the latter ones are more frequented and possess a higher maximum speed level.

If on wet surfaces the pre-wetted solution initially comprised 20 g/m² of salt, the concentration of the de-icing agent reaches 2 g/m² after the bypass of ca. 500 vehicles. This insight is independent of the structure of the road surface. When using brine, in same conditions about 200 vehicles decrease the salt content to 2 g/m².

Reductions in the concentration of de-icing salt are slowing down on humid or dry road surfaces. When gritting 20 g/m² of brine on a humid road surface (which stays equally humid the whole time) it is recommendable to regenerate the de-icing protection after the passing of 500 to 750 vehicles. In the case of dry road surfaces, a renewal becomes necessary after the overtaking of 1,000 to 1,500 vehicles. Accordingly, the preventative use of de-icing agents, even brines, is beneficial given the facts that it is applied shortly before roads become slippery. That the road surface is humid or dry and that the road is more likely to be less frequented.

When dispersing a de-icing agent of FS 30 under 10 g/m² on dry (or drying) road surfaces, the values tend to increase or at least to level off. This is especially observable when road surfaces are temporarily wet and then dry up again.

- Road Conditions

Evaluations of the percentage decrease in residual salt show with increasing water film thickness in general a slightly elevated loss of residual salt. For specific decreasing rates the data base, however, is

not conclusive enough. Further investigations (also regarding influences of the longitudinal and transverse inclination) are deemed necessary.

- Temperature of the road surface

Observations concerning the temperature of the road surface (the road surface has been humid or wet) point out that if the temperature of a road surface rises, also the decline in the concentration of de-icing salt increases slightly. These occurrences were more visible in the case of wet road surfaces.

- Relative Humidity

There is only a slight reduction of the salt content perceptible when intensifying relative humidity. Therefore, the influence of relative humidity is considered as neutral. This investigation has solely been carried out for dry road surfaces.

Summary

Certain conclusions about declines in the concentration of de-icing salt on rural roads are obtainable when taking into account results of individual measurements and other observations. Depending on the general set-up, it is possible to determine an approximate number of passing vehicles, which collectively reduce the concentration of a de-icing agent just above a certain level. Concentrations above this level testify that drivers are still able to react to the smoothness of a road.

The greatest decline in the concentration of de-icing salt is perceptible on roads with permanently wet road surfaces (thickness of the water film ≥ 0.1 mm). Consequently, when gritting 20 g/m² FS 30 (15.4 g/m² of de-icing substances), the concentration of de-icing salt on road surfaces reaches 2 g/m² after the by-passing of 500 vehicles. 2 g/m² correspond to 13% of the initial concentration of the de-icing salt. Especially immense longitudinal and transverse inclinations seem to influence the concentration of the de-icing agent. On the one hand, transverse inclinations may provide a positive effect on the dispersion of de-icing salt (when gritting FS 30): They ensure an even distribution of salt. Dissimilar initial concentrations, caused by erratic gritting procedures, assimilate. On the other hand, this

finding assists the argument that a higher initial concentration of de-icing salt also triggers a higher initial decline. When the road has a transverse inclination to the centre of the road, dispersing the salt in direction of travel offers a better diffusion of the de-icing agent. However, this should not matter for a well-adjusted gritting tool. Besides, transverse inclinations typically vary along the course of a road. Therefore, there is no urgent need to investigate this topic any further. The average depth of road surfaces seems to have little influence when gritting FS 30.

In contrast to FS 30, on wet surfaces (thickness of the water film ≥ 0.1 mm), a de-icing salt concentration of 2 g/m^2 in brine is only quantifiable under ideal conditions. Influences given by a great longitudinal and transverse inclination, a low profile of the road surface or the thickness of the water film are particularly strong. Hence, the number of overtaking vehicles is reduced to 200 or even 50 in the case of wet road surfaces (thickness of the water film ≥ 0.1 mm). Longitudinal and transverse inclinations normally accelerate the decrease of de-icing salt. Consequently, also on low frequented roads the decline in the concentration of de-icing agents take place after a very short time.

A certain magnitude of the influence of longitudinal and transverse inclinations has not been within reach. Further investigations in this field of study are desirable.

The perseverance of de-icing salt on humid road surfaces (thickness of the water film < 0.1 mm) equals three to four times its perseverance on wet road surfaces given equal conditions and FS 30. Besides, once more, the film of water has great impact on obtained results. Different concentrations of the de-icing agent on different parts of the road, caused by an incorrect distribution of the de-icing agent, are diminishing over time. At relatively high concentrations of the de-icing agent greater amount of residual salt is remaining on humid road even longer. In wet conditions the residual salt quantities decrease rapidly, even at high output levels. By contrast, even small concentrations of the de-icing agent remain for a long time on dry to slightly humid road surfaces (eg. in Schwabisch Gmund or Gernsbach) when two factors are present: employees are gritting frequently and there is no rainfall.

In this context, one has to call attention to the „water-proofing effect“: Here, the salt is distributed on a wet surface and dissolves into a solution. Then, the weather becomes dry and the salt crystallizes. Under these circumstances, the concentration of the de-icing agent persists several days without diminishing significantly. Therefore, up to 9,000 vehicles can overtake the road section in question without causing an excessive decline in the concentration of salt. On the other hand, as soon as the road surface becomes wet again, this dried residual salt fades faster than residual salt in grain shape.

Generally, a quite small amount of dry salt is already sufficient to persist several days on dry, non-smooth road surfaces.

The analysis demonstrates that a well-adjusted gritting tool (humid salt) is dampening the salt in an optimal way and provides an even distribution of de-icing agents (example: Karlsruhe). The amount of salt laying on the verge is minimalized. Particularly the characteristics of the employed salt contribute notably to an even distribution of the de-icing agent throughout the road section. The escorted spreading processes of FS 30 indicate that even spreading widths, which are up to 1 m less wide than the transverse section of a road, are enough to guarantee safe travel. This is due to the driving and spreading velocity of winter maintenance machines. Yet, when using smaller spreading widths, a certain proportion of salt always remains on the verge of a road. Admittedly, this proportion gets smaller as soon as the spreading widths decrease. However, this relationship is erroneous for spreading procedures with brines. Brine should be applied on whole lane width in any case.

Furthermore, the documented measurements support the following arguments:

- When a wet road surface is only slightly covered, it dries up fast – even if woodland surrounds the road section in question.
- By-passing vehicles considerably favour the drying process of road surfaces (within the wheel paths).
- De-icing salt remains under snow covered road surfaces, when vehicles are not rolling over it. This makes it easier to remove snow from road surfaces, but it has no effect on thawing processes (e.g. Gernsbach).

Road conditions	Number of overtaking vehicles, which collectively reduce the salt concentration on road surfaces to an unbearable level (average conditions)	
	FS 30, 20 g/m ²	brine, 20 g/m ²
dry	5,000 vehicles	n. s.
humid	2,000 vehicles	n. s.
humid-wet	1,000 vehicles	500 vehicles
wet	500 vehicles	200 vehicles

Tab. 1: Number of overtaking vehicles, which collectively reduce the salt concentration on the road surface to an unbearable level given temperatures above -2 °C

Table 1 summarizes the results of all measurements. It demonstrates the decline in de-icing salt with reference to the number of vehicles passing the road section in question.

It is important to remark that these results have been verified for average conditions. Influences caused by great longitudinal or transverse inclinations, abrupt changes in weather conditions and further aspects have not been taken into consideration. Hence, particularly for a preventative use of salt, overlapping corresponding hydrographs of road sections may provide helpful insights for recourse scheduling.

Due to the small number of experiments with brine on dry or humid road surfaces, no boundary values have been determined for these factors. However, experts from Bavaria, who contributed to this investigation, suspect that brine persists notably longer on dry road surfaces than humid salt. Consequently, brine offers an important advantage for preventative practices.

Recommendations

The observations made within the present study result in the following gritting recommendations for rural roads:

- For a preventative use on dry or humid roads with a road surface temperature above -7 °C it is satisfactory to grit a relatively small concentration of humid de-icing salt (5 to 10 g/m²).
- The rigorous and correct employment of temperature control systems is one way to ensure a small concentration of de-icing agents.
- Depending on the type of road and the volumes of traffic, it is appropriate to reduce the dispersion width up to 1 m compared to the width of the road. However, a precondition is a

repeatedly preventative winter service. It is not necessary to adopt the concentration of the de-icing agent as well.

- Brine is very efficient for a preventative use of de-icing salt. It is not as salt-consuming as humid salt and therefore, it saves costs. Nevertheless, distributing brine on wet road surfaces is not recommendable. The depth of road surfaces as well as longitudinal and transverse inclinations have strong negative influences on the persistence of de-icing agents and provoke great declines in the concentration of salt.
- When talking about humid salt as well as brine, it is very important to scrutinize spreading devices at least once a year (preferably shortly before winter period). Maladjusted spreading devices or malfunctioning nozzles have a strong negative impact on dispersion results.
- When volumes of traffic at night are relatively small, performing winter service at night or in the morning has no notable impact on the concentration of de-icing salt. This may lead to changes in winter service strategies. As a result, less frequented roads may be gritted during the evening while high-frequented roads are taken care of in the morning and shortly before roads become slippery.

Research demands

While executing the measurements on the described roads, some influencing factors on the persistence of de-icing agents have been recognized. Still, due to limited research-facilities, it has not been possible to take care of them. As an example, there might be a relationship between the decline of the concentration of de-icing salt and the thickness of the water film as well as a relationship

between the longitudinal and transverse inclinations and the decline of the concentration of de-icing salt. The fact that somehow the longitudinal and transverse inclinations influence brines and dissolved salt has already been verified by the present investigation. Particularly for winter services in regions of the German low mountain range, further insights into the correlation between the persistence of salt and road inclinations have significant meaning.

Moreover, it is desirable to quantify the influence of the depth of road surfaces. It has already been observable that brine (or dissolved salt) is more affected by the depth of a road surface than humid salt. However, specific differences have not been figured out yet. Besides, measurements of the average depth of a road are strongly varying for the present examination. This is due to the applied "sand-patch-test". A more sophisticated method (e.g. a laser scan) should definitely be used when undertaking further investigations in this field of study.

The measuring technique raises another important issue. Especially on dry or slightly humid road surfaces, the SOBO 20 is not capable of providing reliable measurements of humid or dry salt concentrations. In most cases, the reasons for this are qualitative influences. Consequently, the development of technically mature measurement devices are strongly promoted. Preferably, mobile measuring tools and capturing devices for vehicles should be launched in the near future.

The same suggestion holds when quantifying road conditions. Employees working for winter service offices experience difficulties in measuring road conditions through observations only. Predominantly, different levels of ground moisture and particularly the difference between wet and humid road surfaces are hard to distinguish. The numerous material types of road surfaces make it even more problematic to characterise road conditions. In addition, calcium chloride, a special de-icing salt, is strongly hygroscopic. Consequently, road surfaces appear wet, but they are not. All together, the reasons for a misinterpretation are various. However, differentiations are essential when using temperature control systems. Hence, it is indispensable to develop for new measuring tools for evaluating road conditions. If possible, these devices should be applicable for vehicles. With the help of new measuring tools, it will be easier to quantify the necessary amount of de-icing salt.

Inhalt

1	Einführung und Problemstellung . . .	13	4.2.4	Messreihe Karlsruhe, KW 13-2012, feuchte Fahrbahn	31
2	Internationaler Stand der Technik. . .	14	4.2.5	Messreihe KW 48-2012, L 604.	34
2.1	Bisherige Durchführung von Streu- einsätzen	14	4.2.6	Messreihe KW 48-2012, Querspange	36
2.2	Untersuchungen zur Liegedauer von Tausalzen	14	4.2.7	Messreihe KW 48-2012, Grabener Straße.	38
2.3	Methoden zur Erfassung von Rest- salzgehalten	16	4.2.8	Messreihe Karlsruhe, KW 51-2012, L 604.	40
2.4	Einflussgrößen auf die Liegedauer. . . .	17	4.2.9	Messreihe Karlsruhe, KW 06-2013. . .	42
			4.2.10	Messreihe KW 07-2013	45
3	Vorgehensweise	17	4.3	Messreihen Gernsbach	47
3.1	Untersuchungsgebiete	17	4.3.1	Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Gernsbach	47
3.1.1	Auswahlkriterien	17	4.3.2	Messreihe KW 03-2012	47
3.1.2	Bereich des AfA Karlsruhe	18	4.3.3	Messreihe KW 08-2012	50
3.1.3	Bereich der SM Gernsbach	19	4.3.4	Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_a	54
3.1.4	Bereich der SM Schwäbisch Gmünd. . .	20	4.3.5	Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_b	56
3.1.5	Bereich der SM Würzburg	21	4.3.6	Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_c	57
3.2	Erfasste Daten	22	4.3.7	Messreihe Gernsbach, KW 08-2013, L66b_a	59
3.2.1	Tausalzgehalt	22	4.3.8	Messreihe Gernsbach, KW 08-2013, L66b_b und L66b_c . . .	59
3.2.2	Verkehrsdaten.	22	4.3.9	Messreihe KW 09-2013	61
3.2.3	Witterungsbedingungen	23	4.4	Messreihen Schwäbisch Gmünd	62
3.2.4	Sonstige Erfassungen/ Untersuchungen	24	4.4.1	Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Schwäbisch Gmünd.	62
3.3	Versuchsanordnung	25	4.4.2	Messreihe Schwäbisch Gmünd, KW 04-2012	62
3.3.1	Messfeld	25	4.4.3	Messreihe 10-2012, trockene Fahrbahn	64
4	Ergebnisse	25	4.4.4	Messreihe 10-2012, nasse Fahrbahn	67
4.1	Erläuterungen	25	4.4.5	Messreihe KW 03-2013, trockene und feuchte Fahrbahn	67
4.1.1	Allgemeine Hinweise	25	4.4.6	Messreihe KW 03-2013, Schneematsch	68
4.1.2	Darstellung der Ergebnisse	26			
4.2	Messreihen Karlsruhe.	27			
4.2.1	Übersicht der Messreihen im Bereich des AfA Karlsruhe	27			
4.2.2	Messreihe Karlsruhe, KW 04-2012, feuchte Fahrbahn	27			
4.2.3	Messreihe Karlsruhe, KW 09-2012, trockene Fahrbahn	28			

4.4.7	Messreihe KW 10-2013, trockene Fahrbahn	70
4.5	Messreihen Würzburg	71
4.5.1	Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Würzburg	71
4.5.2	Messreihe Würzburg, KW 49-2012, Trockensalz	72
4.5.3	Messreihe KW 05-2013, Kombinationsstreuung	73
4.5.4	Messreihe KW 05-2013, Feuchtsalzstreuung	74
4.5.5	Messreihe KW 49-2013 und KW05-2013, B 19	75
4.5.6	Messreihe KW 49-2013 und KW05-2013, B 19, Wü4	78
4.5.7	Messreihe KW 49-2013 und KW05-2013, Wü9a, freie Strecke	79
4.5.8	Messreihe KW 49-2013 und KW05-2013, Wü9b, Brücke	80
5	Einfluss relevanter Randbedingungen	82
5.1	Allgemeines	82
5.2	Anzahl der Fahrzeugüberrollungen	83
5.3	Querneigung, Längsneigung, Oberflächentextur	86
5.4	Salzqualität	86
5.5	Fahrbahnzustand	86
5.6	Fahrbahntemperatur	88
5.7	Relative Luftfeuchtigkeit	90
5.8	Überblick über die Auswirkungen der Einflussgrößen	90
6	Zusammenfassung, Empfehlungen und Ausblick	91
6.1	Zusammenfassung	91
6.2	Empfehlungen	93
6.3	Weiterer Forschungsbedarf	93
7	Literatur	94

Anlagen

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen
BAST-Archiv ELBA unter:

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

1 Einführung und Problemstellung

Die Räum- und Streupflicht im Rahmen des Winterdienstes ist ein Bestandteil der allgemeinen Straßenverkehrssicherungspflicht auf der Basis von § 823 Absatz 1 BGB. Für Straßen in der Baulast des Bundes ergibt sich eine Räum- und Streupflicht aus § 3 Absatz 3 des Bundesfernstraßengesetzes, laut dem „die Träger der Straßenbaulast [...] nach besten Kräften über die ihnen nach Absatz 1 obliegenden Aufgaben hinaus die Bundesfernstraßen bei Schnee- und Eisglätte räumen und streuen“ sollen. Basierend darauf und entsprechend der Gesetze der einzelnen Bundesländer ergibt sich demnach keine allgemeine Verpflichtung, dass Straßen an jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt geräumt bzw. gestreut sein müssen. Allerdings lässt sich insbesondere für solche Stellen, die als besonders gefährlich gelten (bspw. Brücken, Schatten- und Steigungsstrecken) bzw. möglicherweise für den Verkehrsteilnehmer nicht als solche erkannt werden können, auch aus § 823 Absatz 1 BGB eine Streu- und Räumspflicht ableiten. Ansonsten obliegt auch dem Verkehrsteilnehmer die Pflicht, seine Fahrweise und sein Fahrzeug den Witterungsbedingungen anzupassen, umso mehr, je deutlicher die Straße als winterlich zu erkennen ist.

Der Bewertungsmaßstab ist hierfür allerdings nicht die präventive, sondern die kurative Streuung. Das heißt, dass den Winterdienstverantwortlichen eine gewisse Zeit zum Reagieren eingeräumt wird.

Von der wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Seite her gesehen ist hingegen die vorbeugende Streuung ein größerer Garant, um Glätte zu bekämpfen, bzw. diese gar nicht erst entstehen zu lassen (SVANEKIL, 2009). Zum einen wird weniger Salz benötigt, da durch die Nutzung von beispielsweise reiner Sole sehr geringe Salzmengen gleichmäßig ausgebracht werden können. Zum anderen ermöglicht die präventive Streuung schnellere Fahrgeschwindigkeiten der Winterdienstfahrzeuge und verhindert (bspw. bei starken Schneefällen) das vorzeitige Zusammenpacken des Schnees, der nur noch schwer von der Fahrbahn zu entfernen ist, wenn er festgefahren wurde. Das heißt, dieser kann so durch die Entstehung von Schneematsch räumfähig gehalten werden, bis ein Räumfahrzeug eintrifft.

Ein wichtiger grundsätzlicher Faktor bei der Tausstoffausbringung ist die Kenntnis über die zeitliche

Wirkung des ausgebrachten Salzes sowie dessen Liegedauer aufgrund von Verkehrsaufkommen, Lage der Strecke und der Witterung. Untersuchungen über die Beeinflussung des Salzgehaltes auf der Straße durch verschiedene äußere Einflüsse, sind allerdings bislang kaum verfügbar. Genannt sei hier zunächst die Untersuchung „Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn“ (HAUSMANN, 2009), in der diese Effekte auf Autobahnen näher untersucht wurden. Wegen der Unterschiede der Verkehrsmengen, der Verkehrsverteilung und der Fahrzeuggeschwindigkeiten ist eine Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf das Landstraßennetz jedoch kaum gegeben.

Allerdings gelten auch in diesem Netz einbahniger Außerortsstraßen Offenhaltungszeiten von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr (BMVBS, 2004), in denen die Befahrbarkeit ebenfalls gewährleistet sein muss. Daher ist insbesondere auf verkehrlich und sicherheitstechnisch bedeutsamen Streckenabschnitten eine Information über die Wirksamkeit der ausgebrachten Streustoffe von großer Bedeutung.

Die Tausalzverteilung bzw. –liegedauer ist abhängig von den eingesetzten Streumaschinen und Streustoffen (Sole, Feuchtsalz, Trockensalz), Wind- und Wetterverhältnissen, der Lage der Strecke, der Höhe des Verkehrsaufkommens und den gefahrenen Geschwindigkeiten. Hier zeigt sich jedoch die Schwierigkeit, der ein Fahrer eines Winterdienstfahrzeuges bzw. ein Winterdienstverantwortlicher gegenübersteht: Bei so vielen Einflussfaktoren auf die Tausalzverteilung müssen genaue Kenntnisse vorhanden sein, wie viel Einfluss jeder Parameter auf die Verteilung bzw. Liegedauer hat. Andernfalls besteht die Tendenz, im Gegensatz zum allgemeinen Konsens „so viel wie nötig, sowenig wie möglich“ nach dem Prinzip „sicher ist sicher“ und daher mit meist zu hohen Streudichten zu fahren.

Neben den bereits genannten relativ offensichtlichen Einflüssen sind allerdings auch weitere Größen in die Überlegungen einzubeziehen. So haben BADEL et al. (2003) festgestellt, dass gerade bei dünnen Eisschichten (unter Laborbedingungen) feinkörnigere Natriumchloride (< 2 mm) deutlich schneller in Lösung gehen als grobkörnige. Dieses Ergebnis eines höheren Nutzens bzw. eines höheren Wirkungsgrades von Salzen mit geringer Korngröße, konnte in einer norwegischen Studie (SVANEKIL, 2009) in Feldversuchen unter Verkehr bestätigt werden. Diese gehen schneller in Lösung und bleiben somit länger auf der Fahrbahn liegen.

Dies macht deutlich, dass auch die Frage unterschiedlicher Kornformen des Salzes im Winterdienst eine Bedeutung haben kann.

Hauptfokus dieser Untersuchung ist, die verschiedenen Größenordnungen unterschiedlicher verkehrlicher, technischer und witterungsbedingter Einflussgrößen herauszuarbeiten. Angesichts der gegenüber dem Autobahnnetz sehr viel größeren Inhomogenität der zu betrachtenden Landstraße von vielbefahrenen überregionalen Bundesstraßen bis hin zu kaum befahrenen Gemeindeverbindungsstraßen sollen diese Einflussgrößen ermittelt werden.

Das Ziel dieser Untersuchung stellt die möglichst genaue Kenntnis der Liegedauer bzw. der zeitlichen Wirksamkeit von Tausalzen auf Landstraßen dar mit Bezug auf die angedeuteten Inhomogenitäten im Netz, bei der Witterung und der Technik bzw. Vorgehensweise der Streustoffausbringung.

2 Internationaler Stand der Technik

2.1 Bisherige Durchführung von Streueinsätzen

Die FGSV (2011) hat Hinweise für die Bediensteten im Winterdienst herausgegeben, anhand derer aufgrund des vorhandenen (sichtbaren) und des zu erwartenden Fahrbahnzustandes und der erwarteten Fahrbahntemperatur eine Streudichte angegeben wird. Diese Anhaltswerte können allerdings auch nur als solche angesehen werden, bei einem Großteil der Einsätze ist der Erfolg immer noch stark von der Erfahrung der einzelnen Mitarbeiter im Winterdienst abhängig. Dies führt zu verschiedenen Interpretationen der Fahrbahnzustände bzw. Abschätzung der auf einem Streckenabschnitt vorhandenen Fahrbahntemperaturen (Schattenstrecke, Sonnenstrecke, Brücke, ...) und somit zu verschiedensten Streudichten. Auch Streubreiten werden je nach Fahrer unterschiedlich eingestellt. Eine mögliche Unterstützung neben diesen Anhaltswerten stellen Winterdienstfahrzeuge mit Temperatursteuerung dar, bei der „nur“ der erwartete Fahrbahnzustand eingestellt werden muss und das Gerät die Streudichte anhand der örtlich gemessenen Fahrbahntemperatur selbst einstellt.

Völlig unberücksichtigt bleibt bisher das evtl. noch auf der Fahrbahn verbleibende Restsalz, zumin-

dest auf Straßen, die nicht den Bundesfernstraßen zugeordnet werden. Dort stehen in den meisten Fällen keine Glättemeldeanlagen zur Verfügung. Und wenn, dann in der Regel ohne Messeinrichtungen für die Erfassung von Restsalzgehalten.

2.2 Untersuchungen zur Liegedauer von Tausalzen

In Deutschland können hinsichtlich des Verbleibs von Salz auf der Fahrbahn zumindest im Bereich der Autobahnen bereits Auskünfte über die Liegedauer von Tausalzen erteilt werden. Untersuchungen im Bereich von Landstraßen sind nur eingeschränkt verfügbar. Dabei spielen Faktoren wie die Verkehrsmenge, aber vor allem auch die gefahrenen Geschwindigkeiten eine große Rolle. So konnte bei Untersuchungen auf Autobahnen von NIEBRÜGGE (2011) aufgrund von Beobachtungen Vermutungen angestellt werden, dass die gefahrenen Geschwindigkeiten eine größere Bedeutung haben als die Verkehrsstärke selbst. Dies ist vor allem an Verwirbelungen hinter vorbeifahrenden Fahrzeugen (Sogwirkung) zu erkennen.

Bereits 1983 hat SCHMITZ (1983) angegeben, dass es bei feuchter, vor allem aber trockener Fahrbahn besonders wichtig ist, möglichst nasses Salz zu streuen. So können zeitintensive Lösungsvorgänge des Salzes zu Beginn eines Niederschlagsereignisses wesentlich verkürzt werden, zudem haftet das feuchte Salz besser auf der Fahrbahn.

Bei Versuchen von HAUSMANN (2009) mit FS 30 auf Autobahnen konnte festgestellt werden, dass nach präventiver Feuchtsalzstreuung auf trockene oder leicht feuchte Fahrbahn nur ein geringer Anteil, ca. 12 % des Salzes (hauptsächlich der Soleanteil), zur Wirkung kommt. Ein großer Anteil wird durch den Verkehr schon frühzeitig von der Fahrbahn befördert. So lohnen sich Präventiveinsätze nur, wenn sie zeitnah (max. 60 Minuten auf trockener und max. 120 Minuten auf feuchter Fahrbahn) vor einem vorhergesagten Glätteereignis stattfinden.

Laut NIEBRÜGGE (2011) kann durch den Einsatz von reiner Sole („Flüssigstreuen“) die Taustoffmenge bei Präventiveinsätzen im Vergleich zu FS-30-Einsätzen um ca. 60 % gesenkt werden, da die geringen Taustoffmengen ausreichen, um Glätte zu vermeiden. Hinzu kommt, dass die hohen Anfangsverluste bei der Flüssigstreuung wesentlich geringer ausfallen als bei der FS-30-Streuung.

In einer österreichischen Studie (HOFFMANN et al., 2012) wurde der Verbleib von Restsalz auf der Fahrbahn unter dem Einfluss des Verkehrsaufkommens, der gefahrenen Geschwindigkeiten, der Gradienten, Straßenoberflächentextur und Niederschlagsrate untersucht. Demnach sind nach 10 Minuten (bzw. 100 Fahrzeugen) nur noch 60 % in der Rollspur eines Fahrstreifens vorhanden. Die hohen Anfangsverluste kommen u. a. durch den Fahrtwind bzw. die Luftwirbelungen hinter vorbeifahrenden Fahrzeugen zustande. Aber auch durch Niederschlag (Salz geht in Lösung und läuft von der Fahrbahn) und Haftenbleiben an Fahrzeugreifen erfolgt ein erheblicher Anfangsverlust. Auf nassen Straßen ist nach ca. 2.000 Fahrzeugen kein Salz mehr auf der Fahrbahn vorhanden, bei nur feuchten oder trockenen Straßen ist selbst nach 8.000 Fahrzeugen noch Salz messbar (1 bis 5 g/m²) (Bild 1).

FONNESBECH (2001) gibt Ergebnisse von Untersuchungen wieder, bei denen auf stärker und schwächer befahrenen Streckenabschnitten in Dänemark Vergleichsuntersuchungen zur Liegedauer von FS 30 und reiner Sole durchgeführt wurden. Folgende Gleichungen für den Verlauf der Abnahme des Restsalzgehaltes unter Verkehrseinfluss konnten hierbei ermittelt werden:

$$\text{Restsalz (Sole)} = -0,012\% \cdot \text{TI} + 88 \%,$$

$$\text{Restsalz (FS 30)} = -0,011 \% \cdot \text{TI} + 64 \%,$$

TI = Anzahl der Fahrzeugübergänge.

Dabei wird deutlich, dass die Liegedauer von FS 30 deutlich mehr vom Verkehrsaufkommen beeinflusst

wird als die Liegedauer von reiner Sole. Bei niedrigeren Verkehrsstärken (ca. < 2.000 Fahrzeuge/24h) ist der relative Salzverlust bei FS 30 (2 Stunden nach einer Streuung) 21 % höher als bei reiner Sole. Auf Strecken mit höheren Verkehrsstärken (> 5.000 Fahrzeuge/24h) liegt der relative Salzverlust bis zu 30 % höher. Näher beziffert bedeutet das, dass die Salzmenge, die als Sole gestreut wird, um 36 % niedriger sein kann als die Menge für FS 30, um nach 2 Stunden immer noch den gleichen Betrag auf der Straße vorzufinden wie zum gleichen Zeitpunkt für FS 30. Noch deutlicher wird dieser Unterschied bei Messungen vier Stunden nach dem Streueinsatz.

In einer norwegischen Studie wurden umfassende Messungen mit dem Restsalzmessgerät SOBO 20 (vertrieben durch die Firma Boschung) durchgeführt. Laut SVANEKIL (2009) beträgt das Einsparungspotenzial von Salzlösung gegenüber Trockensalz und Feuchtsalz zwischen 30 und 70 %. Auf nasser Fahrbahn wird die Liegedauer von Salzlösung nicht wesentlich länger, jedoch kann erheblich an den eingesetzten Salzmengen gespart werden, da sich die Liegedauer durch den Einsatz von Salzsole auch nicht verkürzt im Vergleich zu Feuchtsalz (Bild 2). Bei präventiver Streuung ist die Flüssigstreuung selbst mit niedrigen Dosierungen der größte Garant für einen im Gegensatz zur Feuchtsalzstreuung längeren Verbleib auf der Fahrbahn.

Bei den Messungen konnte festgestellt werden, dass das Messgerät SOBO 20 beim Erfassen von Trockensalz(-anteilen) keine zufriedenstellenden

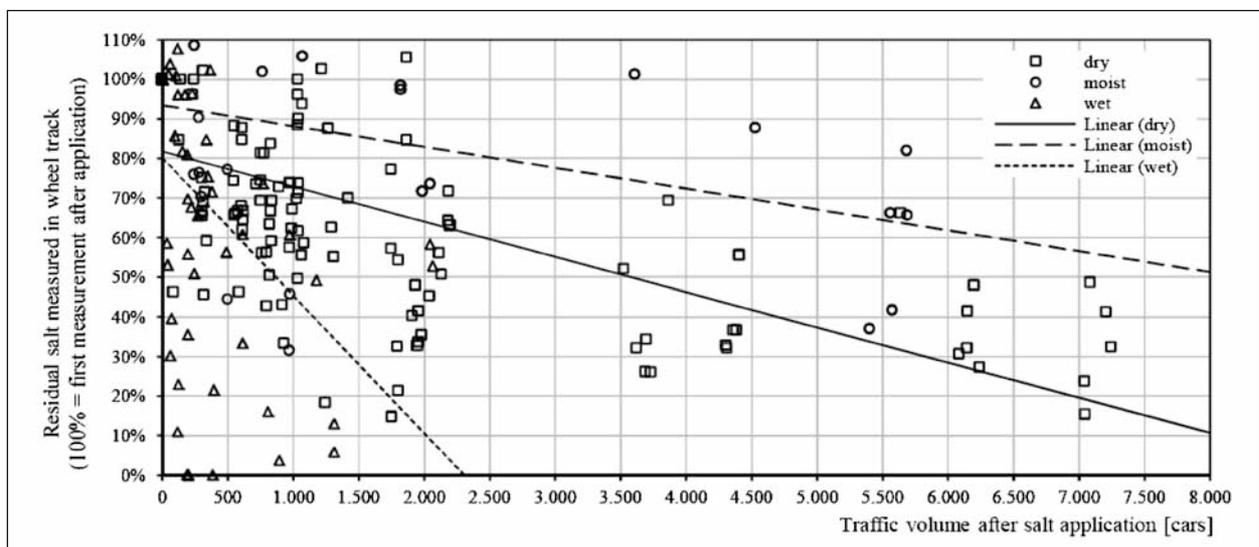


Bild 1: Restsalz in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke (HOFFMANN et al., 2012)

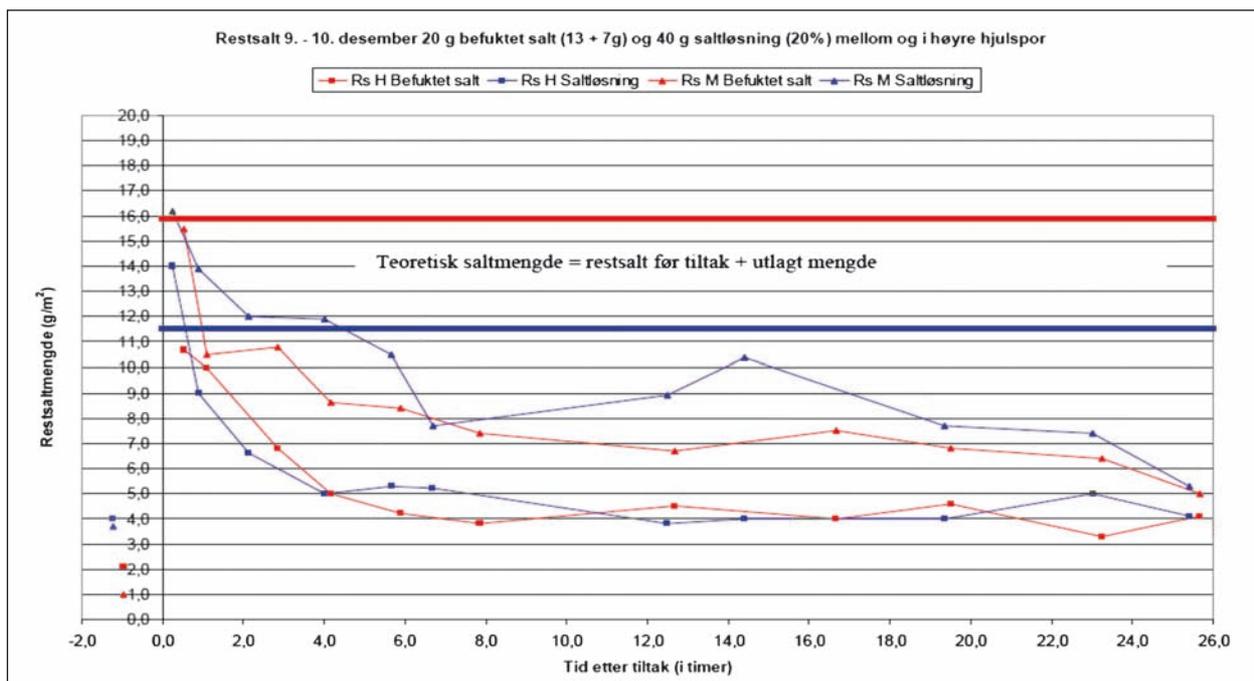


Bild 2: Abnahme des Salzgehaltes unter Verkehr in der Fahrstreifenmitte (M) und der rechten Rollspur (H); Vergleich von Feuchtsalz (rot) und Salzlösung (blau), SVANEKIL (2009)

Ergebnisse bringt und hierfür eine andere Methode entwickelt werden muss.

Nach SINTEF (2009) verbleibt Salz mit einer geringeren Korngröße länger auf der Fahrbahn als großkörnigere Salze. Die Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, dass 70 % von ausgebrachtem Trockensalz auf trockener Fahrbahn nach nur 5 Fahrzeugübergängen mit ca. 65 km/h von der Fahrbahn verfrachtet wurden. Nach 100 Fahrzeugübergängen sind nur noch 15 % zu erfassen.

Eine andere Feststellung war, dass tendenziell bei mehr Verkehr weniger Salz gestreut werden muss, da durch die Überrollungen der Fahrzeuge das Salz schneller zerkleinert und besser auf der Fahrbahn verteilt wird. D. h. es ist besser, kurz vor einer erwarteten Verkehrsspitze (z. B. Rush Hour morgens) zu streuen als schon weit voraus in der Nacht, wenn kaum Verkehr ist.

2.3 Methoden zur Erfassung von Restsalzgehalten

DELLA FAILLE (1981) hat auf die große Bedeutung hingewiesen, bei der Entscheidung über die Notwendigkeit einer Salzstreuung nicht nur die Witterungsbedingungen zu berücksichtigen, sondern auch den Restsalzgehalt auf der Straße, der ggf. von vorherigen Einsätzen noch übrig ist. Um jedoch

Restsalzgehalte zu erfassen, wurden verschiedene Methoden auf ihre Tauglichkeit überprüft und vorgestellt, darunter chemische und elektrische Verfahren. Die chemischen Verfahren liefern zwar exakte Ergebnisse, jedoch sind sie im Versuchsaufbau und hinsichtlich des Zeitaufwandes eher aufwändig. Aus dem elektrischen Verfahren, bei dem der elektrische Widerstand von Salzlösungen mittels zweier Elektroden gemessen wird, ist das Messgerät SOBO 20 entstanden, das heute noch eine recht einfache und gängige Methode darstellt, den Restsalzgehalt auf der Straße zu erfassen. Allerdings wird davon ausgegangen, dass sich das Salz auf der Straße in der Messflüssigkeit komplett löst, was bei größeren Salzkörnern (Trockensalz oder bei Teilen des Feuchtsalzes) zu Problemen führen kann.

Eine neuere Methode der Streustoffbestimmung auf der Fahrbahn stellt das Spül-Saug-Gerät der Firma ESG dar. Mit ihm kann Salz von der Fahrbahn auf einer bestimmten Fläche komplett aufgenommen (aufgesaugt) und mit hoher Genauigkeit im Nachgang bestimmt werden. Ein Vorteil dieser Methode ist der mögliche Einsatz auf trockener und nasser Fahrbahn ohne Genauigkeitsverluste.

2.4 Einflussgrößen auf die Liegedauer

Bereits 1969 wurden von ZULAUF (1969) die wichtigsten Faktoren zusammengestellt, die dafür verantwortlich sind, sog. Haftsatz (heute: Feuchtsatz) auf der Straße zu halten. Grund hierfür war die Erkenntnis, dass trockenes Salz für einen präventiven Streueinsatz nicht geeignet ist, da im Laufe der Zeit zwischen Einsatz und einsetzender Glättebildung das Salz durch den Verkehr schon wieder von der Straße verfrachtet wurde.

Danach ist neben dem Benetzungsgrad des Salzes mit Sole oder Wasser die Korngröße, die Verkehrsfrequenz, die Fahrgeschwindigkeit und die Oberflächenbeschaffenheit (Oberflächentexturen) der Straße von großer Bedeutung.

Durch die Benetzung eines Salzkorns wird das Salz durch mehrere physikalische Effekte an die Fahrbahnoberfläche gebunden: Durch die Schwerkraft, die Trägheit und das Trägheitsmoment, Adhäsion durch Feuchtigkeit, elektronische Bindungskräfte und mechanische Verzahnung. Auch bei einer Austrocknung bleiben, außer der Adhäsion, diese Kräfte bestehen. Unter Verkehr kommen noch der Druck der Reifen hinzu, der das Salz und die Lösung in die Straßenoberfläche hineinreiben, was zu einer sehr engen Verzahnung mit der Straßenoberfläche führt und das Salz lange auf der Straße haftbar macht. Dies setzt allerdings einen Wasserversatz von 25 bis 40 Gewichtsprozent voraus.

Genannt werden auch die Vorteile einer CaCl-Sole im Gegensatz zum Einsatz einer NaCl-Sole. Da CaCl schon bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 % (NaCl bei ca. 75 %) hygroskop wirkt, hat dies vor allem den Effekt, dass Salz auf der Fahrbahn nie ganz austrocknet und somit neben den anderen genannten physikalischen Kräften die wichtigen Adhäsionskräfte nie ganz verloren gehen. (Dabei ist anzumerken, dass durch den Einsatz der hygroskopischen CaCl-Sole eine Fahrbahn, auch bei niedrigen Temperaturen, feucht wirkt und somit den Winterdienstverantwortlichen veranlasst, mehr Salz zu streuen, da nicht ersichtlich ist, ob die Feuchte von der CaCl-Sole stammt oder evtl. doch gefrieren kann, wodurch ein erhöhter Salzverbrauch entsteht, der den Vorteil der physikalisch etwas längere Liegedauer von CaCl zunichtemacht.)

In Bezug auf Oberflächentexturen werden die geschlossenen (bspw. Beton) als nachteilig dargestellt. Bezüglich des Verkehrseinflusses wird viel Verkehr mit moderaten Geschwindigkeiten als

vorteilhaft genannt, da dieser das Salz in die Poren der Deckschicht einbringt und nicht durch hohe Geschwindigkeiten und somit hohe Sogkräfte das Salz von der Fahrbahn verdrängt.

3 Vorgehensweise

3.1 Untersuchungsgebiete

3.1.1 Auswahlkriterien

Bei der Auswahl der für die Untersuchung genutzten Streckenabschnitte stand zunächst im Vordergrund, ob die zuständige Straßenmeisterei eine automatische Streu- und Wegdatenerfassung nutzt. Der Vorteil daran ist, dass auch im Nachgang der Messungen noch detaillierte Informationen über den Winterdienst (wann wurde wo gefahren, Streubreite, Streudichte, gefahrene Geschwindigkeit des Winterdienstfahrzeugs ...) erfasst werden können, die ggf. Aufschluss über z. B. bereits vor dem Start einer Messreihe vorhandene Salz mengen auf der Straße geben können.

Da die Vollausrüstung einer Straßenmeisterei mit solch einer Technik momentan eher noch die Ausnahme darstellt, bzw. die Erfassung oft nur bei Fremdfahrzeugen, nicht aber bei meistereieigenen Fahrzeugen eingesetzt wird, wurden auch Strecken im Bereich von Straßenmeistereien ausgesucht, die diese Technik nicht nutzen. In diesen Fällen wurde vom jeweiligen Fahrer dokumentiert, wann er wo auf der Strecke war und wieviel (Streudichte und Streubreite) gestreut wurde.

Zudem war es möglich, dass in allen teilnehmenden Meistereien, je nach Witterung und Einsatzlage, ein Winterdienstfahrzeug die Messungen begleitet, sodass die Streuvorgänge direkt vor Ort abgesprochen und dokumentiert werden konnten.

Des Weiteren standen bei der Auswahl der Strecken die verkehrlichen Belastungen einer Strecke und die gefahrenen Geschwindigkeiten im Fokus, da diese im hiesigen Landstraßennetz sehr stark variieren und einen wesentlichen Faktor bei der Liegedauer von Streusalzen darstellen.

Die verschiedenen lokalen und mikroklimatischen Verhältnisse wurden dahingehend beachtet, dass die Strecken auf verschiedenen Höhenstufen liegen. Des Weiteren sind sowohl Schattenstrecken (im Wald) als auch Straßen in Hanglage und in ungeschützter Lage in der Untersuchung enthalten.

Streckenabschnitte		DTV [Kfz/24h]	Höhe ü. NN	Umfeldsituation	Mittlere Oberflächentexturtiefe [mm]
SM Gernsbach					
L76b_A	FS 30, NaCl	1.650	360	Hanglage	Fahrtrichtung A 1,81; Fahrtrichtung B 0,94
L76b_B		500	850	Hanglage, Langsneigung	
L76b_C		500	900	Wald	
AfA Karlsruhe					
L 604	FS 30, NaCl	7.500	115	Wald	0,41
Grabener Strasse		5.000	115	freie Lage	Fahrtrichtung A 0,37; Fahrtrichtung B 0,95
Querspange		5.000	115	freie Lage	
SM Schwäbisch Gmünd					
L 1075	FS 30, NaCl und CaCl-Sole	3.700	420	freie Lage	Fahrtrichtung A 1,05; Fahrtrichtung B 0,75
L 1159		2.200	560	Hanglage, Langsneigung	
L 1160		4.100	550	freie Lage	
SM Würzburg					
B 19	NaCl-Sole	6.000	280	freie Lage	0,68
Wu4		3.200	350	Wald, Langsneigung	0,63
Wu9a		700	340	freie Lage	0,31
Wu9b		700	340	Brücke, freie Lage	0,70

Tab. 1: Ausgewählte Strecken zur Untersuchung und deren Charakteristiken

Ferner wurde bei der Auswahl der Strecken darauf geachtet, dass an den konkreten Messstellen ausreichende Sichtweiten vorhanden sind, da bei den Messungen eine halbseitige Sperrung der jeweiligen Straße durchgeführt werden musste.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die ausgewählten Strecken und deren Charakteristiken bzw. Umfeldbedingungen wieder.

3.1.2 Bereich des AfA Karlsruhe

Durch die Lage im Oberrheintal weist Karlsruhe allgemein ein verhältnismäßig mildes Klima mit relativ hohen durchschnittlichen Temperaturen auf. Die Strecken im Bereich des Amtes für Abfallwirtschaft Karlsruhe (AfA Karlsruhe) liegen auf einer Höhe von etwa 115 m ü. NN und sind die am niedrigsten gelegenen im Untersuchungskollektiv.

Bild 3 gibt die Lage der Strecken mit den DTV-Werten der bundesweiten 5-jährlichen Straßenverkehrszählung (SVZ Baden-Württemberg, 2010) wieder.

Die L 604 liegt in einem Waldabschnitt und ist die am stärksten befahrene Straße im gesamten Untersuchungskollektiv mit den höchsten durchschnittlichen Geschwindigkeiten (siehe Bild 4, Geschwindigkeitsverteilungen der einzelnen Streckenabschnitte und Anhang 1.1, Ganglinie). Die Geschwindigkeitsverteilungen zeigen jeweils den Median (0,5 Quantil) in der Mitte der grauen Box, das heißt den Wert der Geschwindigkeit, den 50 % der erfassten Fahrzeuge über- bzw. unterschreiten. Die äußeren Enden der Boxen stellen jeweils das 0,25 Quantil (unten) bzw. 0,75 Quantil (oben)



Bild 3: Streckenabschnitte im Bereich des AfA Karlsruhe

dar. Das heißt, 25 % bzw. 75 % der erfassten Fahrzeuge haben eine Geschwindigkeit unterhalb dieser Grenzen. Die äußersten dargestellten Werte stellen hier jeweils das 0,1 Quantil, bzw. das 0,9 Quantil dar.

Bei den beiden anderen Streckenabschnitten handelt es sich um nicht klassifizierte Gemeindeverbindungsstraßen, weswegen aus der 5-jährlichen Straßenverkehrszählung keine DTV-Werte bekannt sind. Durch eigene Messungen an einem repräsentativen Werktag lassen sich die ungefähren Belastungen allerdings abschätzen. Die gemessenen Verkehrsstärken auf der Querspange zwischen der Grabener Straße und der Anschlussstelle Neureut Nord zur B 36, sowie der Grabener Straße liegen bei ca. 5.000 Kfz/24 h.

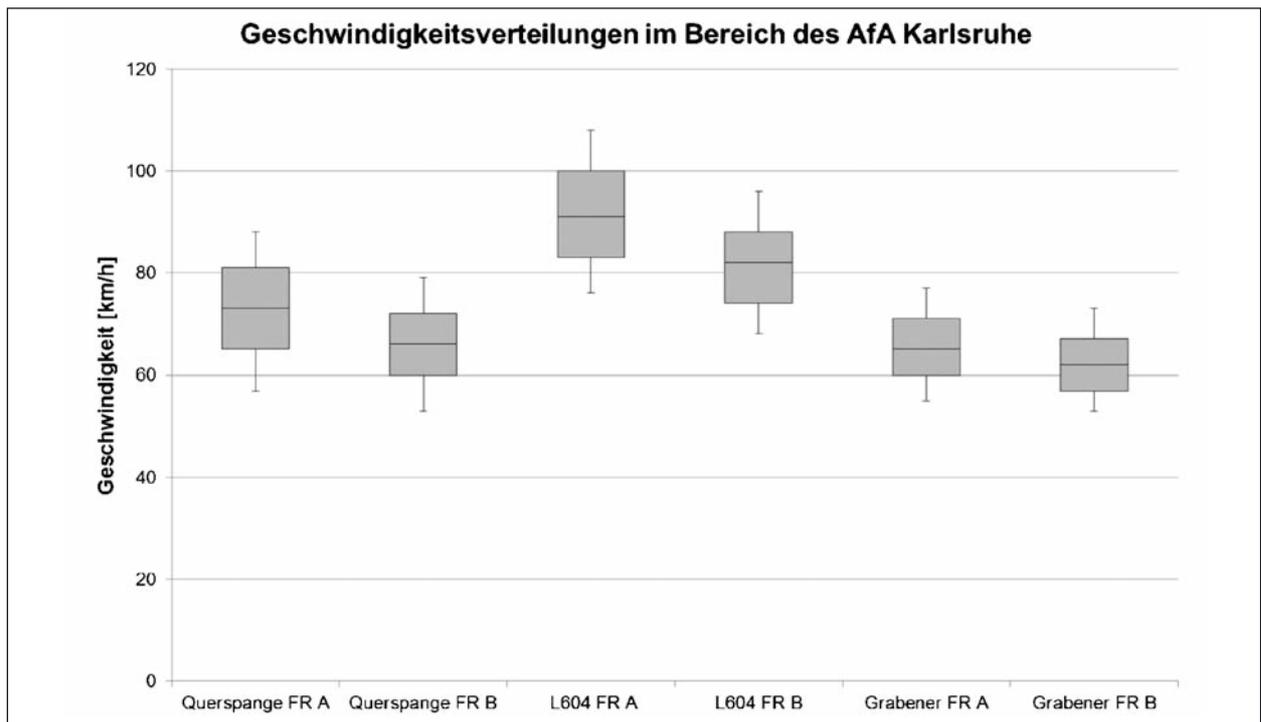


Bild 4: Geschwindigkeitsverteilungen aller Streckenabschnitte in beide Fahrrichtungen im Bereich des AfA Karlsruhe

Die ermittelten Tagesganglinien aller Streckenabschnitte in Karlsruhe sind in Anhang 1.1 dargestellt.

Alle Winterdienstfahrzeuge des AfA Karlsruhe sind mit einer automatischen Streu- und Wegedatenerfassung sowie Temperatursteuerung ausgestattet. Bei den Messungen wurde ein Streuer vom Typ Küpper-Weiser IMSSN E 2940 HFS aus dem Jahr 2005 eingesetzt.

3.1.3 Bereich der SM Gernsbach

Die für die Untersuchung vorgesehenen drei Streckenabschnitte (im Folgenden L66b_a, L66b_b und L66b_c genannt) im Bereich der Straßenmeisterei Gernsbach (Landkreis Rastatt/Baden-Württemberg) liegen alle auf der L 66b im Bereich verschiedener Höhenstufen. Die Geschwindigkeitsverteilungen aller Streckenabschnitte in beide Fahrrichtungen im Bereich des AfA Karlsruhe gehört zu den am wenigsten befahrenen Straßen im Untersuchungskollektiv und weist nur in der Ferienzeit aufgrund der Lage in einem Wintersportgebiet ein erhohotes Verkehrsaufkommen auf. Die DTV-Werte der 5-jährlichen Verkehrszählung (SVZ Baden-Württemberg, 2010) geben ca. 1.900 Kfz/24h an (Bild 5).

An einem repräsentativen Werktag aus dem Kollektiv der Untersuchungstage wurde im Bereich L66b_a eine Verkehrsbelastung von knapp 1.650 Kfz/24h



Bild 5: Streckenabschnitte im Bereich der SM Gernsbach

gemessen (km 3,2; ca. 360 m . NN). Im Bereich L66b_b bzw. L66b_c (km 5,8 bzw. km 6,4, 850 m bzw. 900 m . NN) sank dieser Wert auf knapp 500 Kfz/24 h. Anhang 1.2 gibt die Tagesganglinien der Streckenabschnitte wieder. Die Geschwindigkeitsverteilungen der jeweiligen Abschnitte sind in Bild 6 wiedergegeben.

Im Bereich der SM Gernsbach sind nur die Fremdfahrzeuge mit einer automatischen Streu- und Wegedatenerfassung ausgestattet, weswegen hier auf von den Fahrern dokumentierte Einsatzdaten

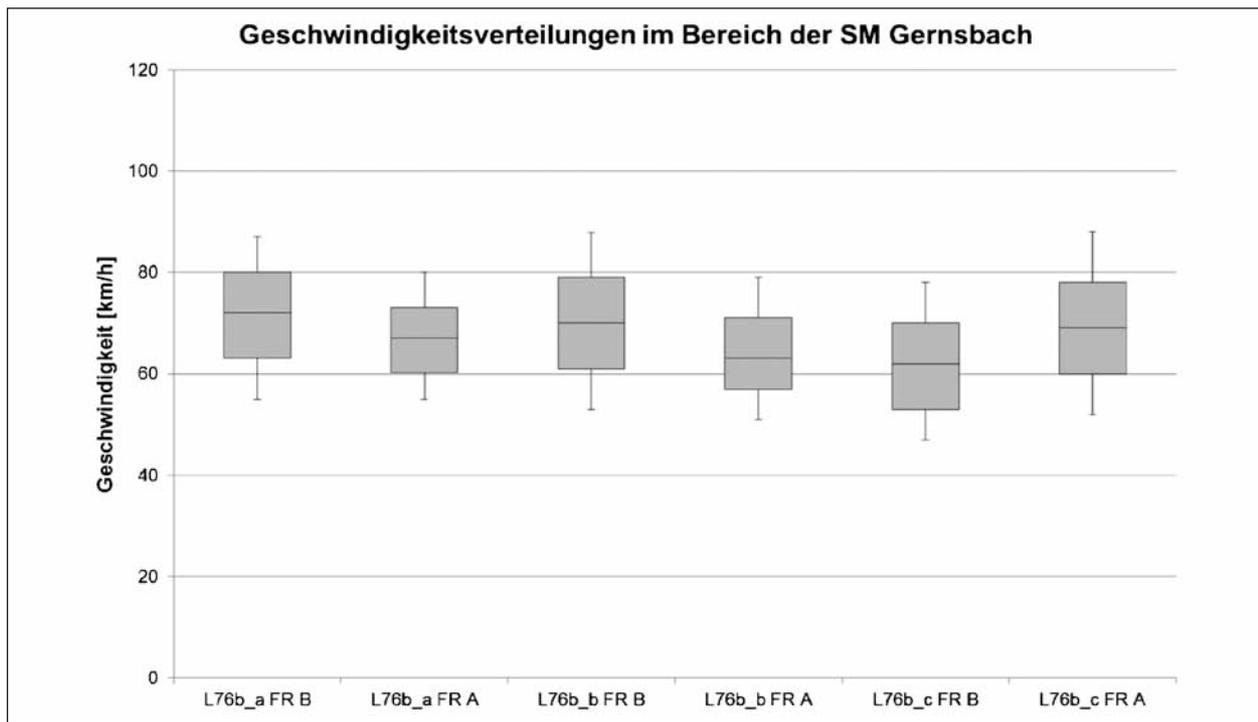


Bild 6: Geschwindigkeitsverteilungen aller Streckenabschnitte in beide Fahrrichtungen im Bereich der SM Gernsbach

zurückgegriffen werden muss bzw. auf die vor Ort aufgenommenen Daten. Aufgrund der besonderen Streckencharakteristik (wenig Verkehr, relativ langsame gefahrene Geschwindigkeiten und ein häufiger Anteil an winterlichen Einsatztagen) wurde die Strecke trotz dieser ungünstigen Dokumentationsrandbedingungen in das Untersuchungskollektiv aufgenommen. Im Winter 2011/2012 stand als Streumaschine übergangsweise ein Leihgerät der Firma Rasco zur Verfügung, im Winter 2012/2013 ein Streuer der Firma Schmidt.

3.1.4 Bereich der SM Schwäbisch Gmünd

Im Bereich der SM Schwäbisch Gmünd konnte komplett auf die Daten der automatischen Streu- und Wegdatenerfassung zugegriffen werden. Zudem konnte an den Untersuchungstagen, sofern es die äußeren Umstände zuließen, seitens der Meisterei ein Unimog durchgängig zur Verfügung gestellt werden, um Streuversuche durchzuführen.

Folgende Streckenabschnitte sind für die Untersuchung vorgesehen worden:

Die L 1075 liegt zwischen Straßdorf und Metlangen, ca. 420 m ü. NN mit einem DTV von ca. 3.700 Kfz/24 h. Die L 1159 liegt auf knapp 560 m. ü. NN zwischen Straßdorf und Rechberg mit einem DTV von ca. 2.200 Kfz/24h. Die L 1160 liegt auf knapp 550 m

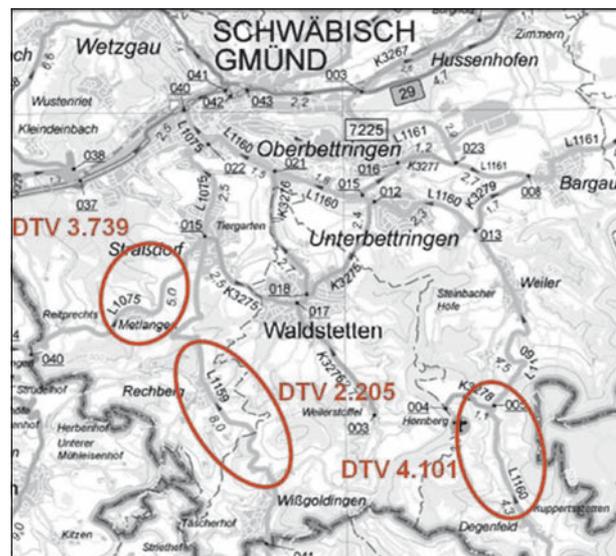


Bild 7: Streckenabschnitte im Bereich der SM Schwäbisch Gmünd

ü. NN mit einem DTV von ca. 4.100 Kfz/24 h. Aufgrund eines nahe gelegenen Kieswerkes lag hier im Winter 2012/2013 ein erhöhter Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil), im Winter 2011/2012 aufgrund von Umleitungsmaßnahmen nicht. Bild 7 gibt die Lage der Streckenabschnitte wieder.

Die gemessenen Tagesganglinien sind Anhang 1.3 zu entnehmen. Die Geschwindigkeitsverteilungen der jeweiligen Streckenabschnitte sind in Bild 8 dargestellt.

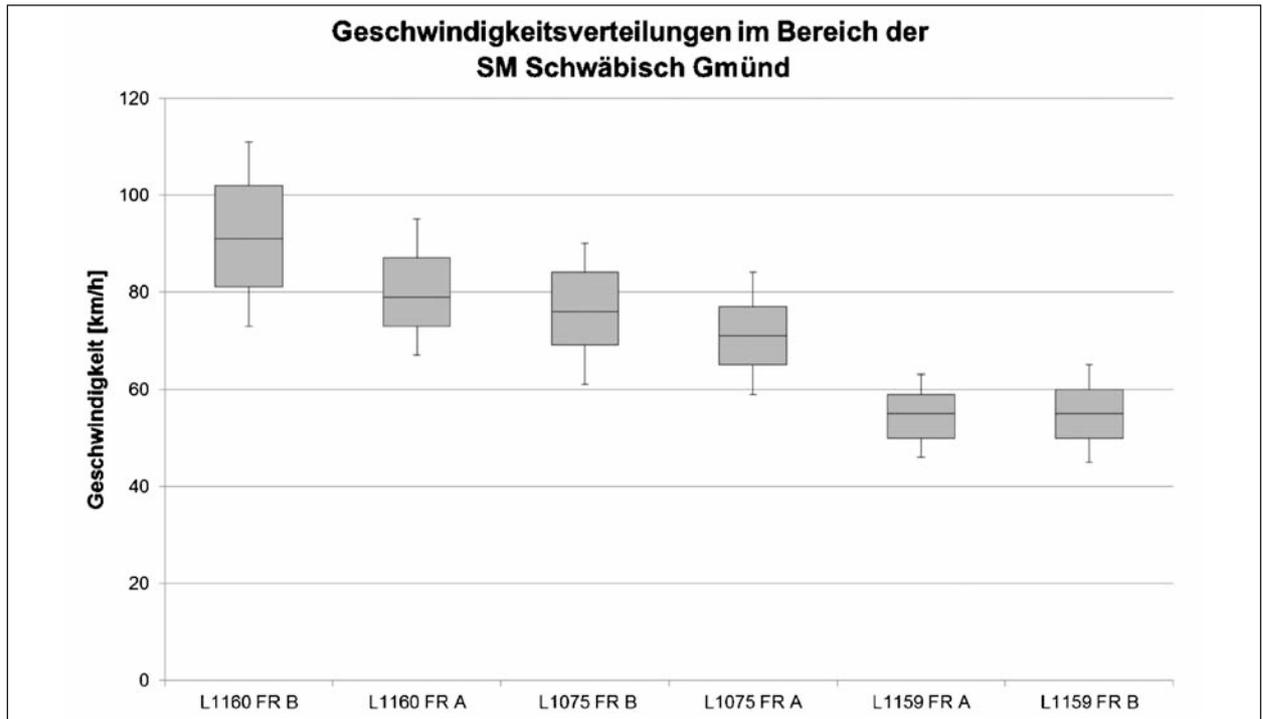


Bild 8: Geschwindigkeitsverteilungen aller Streckenabschnitte in beide Fahrrichtungen im Bereich der SM Schwäbisch Gmünd

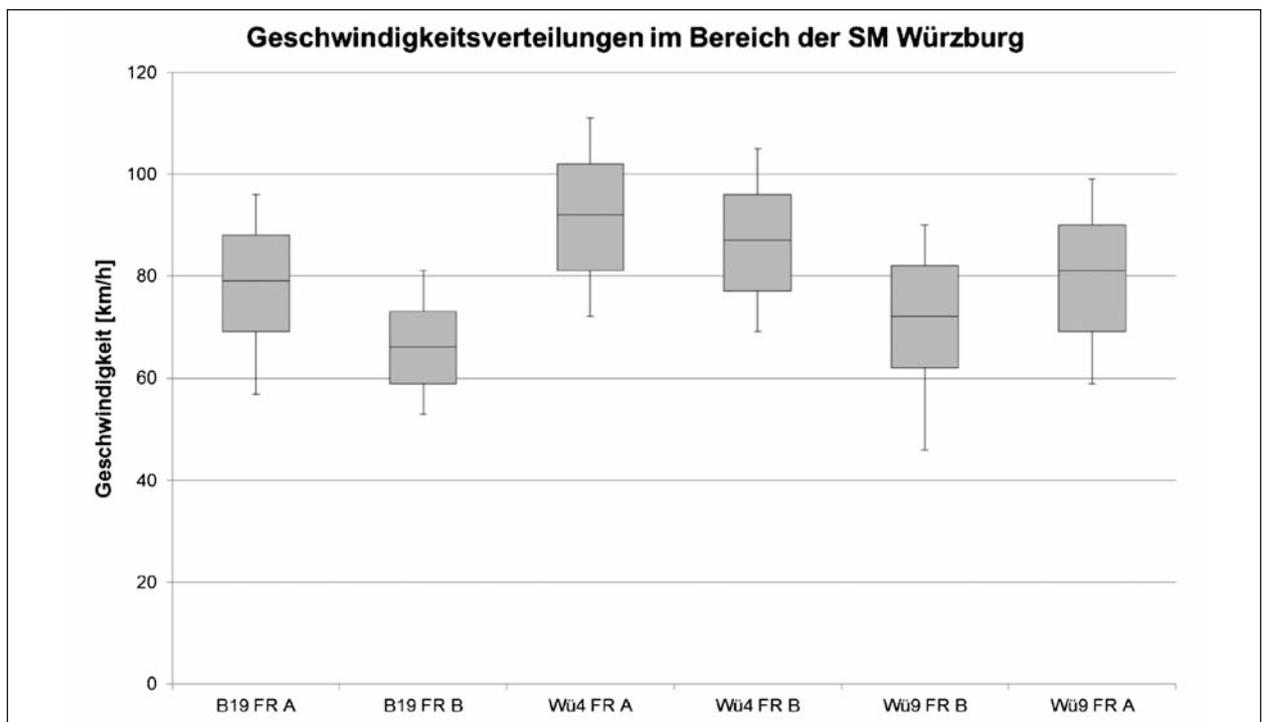


Bild 9: Geschwindigkeitsverteilungen aller Streckenabschnitte in beide Fahrrichtungen im Bereich der SM Würzburg

3.1.5 Bereich der SM Würzburg

In der Winterperiode 2012/2013 wurden noch drei Streckenabschnitte im Bereich der SM Würzburg in die Untersuchungen mit aufgenommen, um Einsätze mit reiner Sole solchen mit Feuchtsalz gegen-

überzustellen. Hierfür stand ein Kombistruer der Firma Küpper-Weiser zu Verfügung. Bei den Streckenabschnitten handelte es sich um die B 19 mit einem DTV von knapp 6.000 Kfz/24 h, die ein freies Umfeld aufweist und ca. 280 m ü. NN verläuft. Die im Wald gelegene und durch eine hohe Längs-

neigung charakterisierte Kreisstraße Wü4 hat einen DTV von knapp 3.200 Kfz/24h und liegt auf einer Höhe von ca. 350 m ü. NN. Die sehr wenig befahrene Wü9 hat einen DTV von knapp 700 Kfz/24h und liegt auf ca. 340 m ü. NN. Auf dieser Strecke wurden zwei Streckenabschnitte zur Untersuchung herangezogen. Zum einen der Streckenabschnitt Wü9a, dem keine eindeutige Querneigung mehr zugeordnet werden kann und ein ansonsten freies Umfeld aufweist und zum anderen der kurz darauf folgende Streckenabschnitt Wü9b, der auf einer Brücke gelegen eine starke Querneigung aufweist. Bild 9 gibt die Geschwindigkeitsverteilungen der untersuchten Streckenabschnitte im Bereich der SM Würzburg wieder.

3.2 Erfasste Daten

3.2.1 Tausalzgehalt

Zur Messung der Restsalzmenge wird das von der Firma Boschung vertriebene Messgerät SOBO 20 eingesetzt. Durch einen Pumpmechanismus wird eine definierte Messflüssigkeit (destilliertes Wasser und Aceton, das zum Herabsenken des Gefrierpunktes der Lösung beigemischt wird, um auch Messungen bei Temperaturen unter 0 °C zu ermöglichen) auf die Straßenoberfläche aufgebracht. Ein Dichtungsring begrenzt den Messbereich und sorgt dafür, dass die Flüssigkeit im Messbereich verbleibt. Die Messflüssigkeit vermischt sich mit dem auf der Straße verbliebenen (Rest-)Salz, mittels der Elektroden des Messgerätes wird die Leitfähigkeit der Flüssigkeit ermittelt, die einen Rückschluss auf die verbliebene Salzmenge zulässt. Die Anzeige erfolgt in g/m^2 , die Messung selbst kann temperaturunabhängig getätigt werden. Begünstigt durch den nahezu gleichen elektrischen Widerstand von CaCl und NaCl können auch FS-30-Mischungen untersucht werden, die aus NaCl -Festsalz und CaCl -Sole bestehen. Bild 10 zeigt den Einsatz des Gerätes. Die Messungen können durch die einfache Handhabbarkeit relativ zügig durchgeführt werden.

Eine Problematik, die im Laufe der Messungen festgestellt wurde, ist die Erfassung von frisch gestreutem Salz. Die grobkörnigen Festsalze des FS 30 können vom Gerät nicht vollständig erfasst werden, daher weist die Anzeige systematisch geringere Werte aus als die tatsächlich ausgebrachten Salzmengen. Dies zeigt sich vor allem deutlich bei den Ergebnissen von Versuchen auf trockener und



Bild 10: Einsatz des Salzmengensmessgerätes SOBO 20

leicht feuchter Fahrbahn. Näheres dazu ist in den Beobachtungen der einzelnen Messreihen (Kapitel 4) beschrieben.

3.2.2 Verkehrsdaten

Um genaue Daten des Verkehrsaufkommens sowie der gefahrenen Geschwindigkeiten zu erhalten, werden in Leitpfosten integrierte Verkehrsstatistikgeräte SR5 der Firma Sierzega eingesetzt. Diese erfassen in beide Fahrrichtungen für alle Einzelfahrzeuge deren

- Geschwindigkeit [km/h],
- Zeittücke [s] zum vorausfahrenden Fahrzeug,
- Länge [dm] zur Unterscheidung Pkw/Lkw.

Vor dem Beginn einer Messreihe wird ein Gerät am zu untersuchenden Streckenabschnitt platziert. Durch die Unterbringung in Leitpfosten werden die Verkehrsteilnehmer von der Messung nicht beeinflusst (Bild 11). Zudem können die Messgeräte bis zu 10 Tage ohne Akkuwechsel stehen bleiben, sodass nur am Anfang einer kompletten Messreihe die Notwendigkeit besteht, die Geräte zu platzieren.



Bild 11: Leitpfosten mit integriertem Radargerät SR5

3.2.3 Witterungsbedingungen

Infrarot-Thermometer

Um vor Ort die Fahrbahntemperatur festzustellen, wurde ein handelsübliches Infrarotthermometer eingesetzt (Bild 12 links). Die getätigten Kalibrierungsmessungen im Labor zeigten eine gute Übereinstimmung. Allerdings erscheinen manche Messergebnisse vor Ort, gerade bei kühleren Temperaturen, unplausibel. Zwar wurde darauf geachtet, dass das Gerät die Umgebungstemperatur annehmen konnte, allerdings stellt dies bei tiefen Temperaturen scheinbar ein Problem dar, sodass die Fahrbahnoberflächentemperatur oft zu niedrig angegeben wurde.

Temperaturlogger

Um vor Ort den Verlauf der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte zu dokumentieren, werden Temperaturlogger verwendet, die deren Verläufe über einen kompletten Messtag aufzeichnen (Bild 12 rechts). Zum Abgleich der Werte wurde zudem die Temperatur des Thermometers am Fahrzeug, das die Messungen begleitete, dokumentiert.

Tuchtest

In der Winterperiode 2012/2013 wurde zusätzlich zu visuellen Beurteilung des Fahrbahnzustandes



Bild 12: Infrarotthermometer zur Überprüfung der Fahrbahntemperatur (links); Temperaturlogger zur Dokumentation von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte (rechts)



Bild 13: Infrarotthermometer zur Überprüfung der Fahrbahntemperatur (links); Temperaturlogger zur Dokumentation von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte (rechts)

(trocken – feucht – nass) der sog. Tuchtest durchgeführt. Bei diesem werden sehr saugfähige Tücher vor einer Messung gewogen. Mit diesen Tüchern wird danach auf einer Fläche von $0,1 \text{ m}^2$ die vorhandene Feuchtigkeit von der Fahrbahnoberfläche aufgenommen. Danach werden die gesamten Tücher wieder gewogen. Somit kann der aufgenommene Wassergehalt auf g/m^2 hochgerechnet werden, was einen Rückschluss zulässt auf die mm Wasserfilmdicke, die sich auf der Fahrbahn befanden. Werden beispielsweise 20 g Wasser auf $0,1 \text{ m}^2$ aufgenommen, resultieren daraus auf einem Quadratmeter 200 g Wasser. Dies entspricht wiederum $0,2 \text{ l/m}^2$ bzw. $0,2 \text{ mm}$ Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn. Bild 13 zeigt die Durchführung des Tuchtests.

EULER et al. (1989) definierten eine feuchte Fahrbahn zwischen $0,1$ und $0,25 \text{ mm}$, wobei die

Abgrenzung zur feucht-nassen Fahrbahn (ab 0,25 mm) bereits schwierig zu erfassen war. Aufgrund dessen und der Tatsache, dass bei der Durchführung des Tuchtests immer etwas Feuchte auf der Fahrbahn zurückbleibt, wurde die Grenze von feucht zu nass bei dieser Untersuchung auf 0,1 mm Wasserfilmdicke festgelegt (siehe Tabelle 2). Diese Grenzen wurden auch schon von LYSBAKKEN et al. (2008) bei ihren Untersuchungen verwendet.

Darüber hinaus wurden die anzutreffenden Witterungsbedingungen dokumentiert. Dazu gehört der jeweilige Bedeckungsgrad des Himmels (Bild 14), dieser gibt an „wie groß der Anteil des Himmelsgewölbes ist, der insgesamt mit Wolken bedeckt ist“ (DWD, 2012).

Fahrbahnzustand	Wasserfilmdicke
trocken	0,00 mm
feucht	0,01-0,09 mm
nass	≥ 0,1 mm

Tab. 2: Abgrenzung der Fahrbahnzustände nass, feucht und trocken aufgrund der erfassten Wasserfilmdicken

Bedeckung	Bezeichnung	Symbol	Bedeckung	Bezeichnung	Symbol
0/8	wolkenlos	○	5/8	bewölkt	◐
1/8	sonnig	◑	6/8	stark bewölkt	◒
2/8	heiter	◓	7/8	fast bedeckt	◔
3/8	leicht bewölkt	◕	8/8	bedeckt	◖
4/8	wolkig	◗	9/8	Himmel nicht erkennbar	⊗

Bild 14: Angabe des Gesamtbedeckungsgrades (DWD, 2012)

3.2.4 Sonstige Erfassungen/Untersuchungen

Mittlere Oberflächentexturtiefe der Fahrbahn

Um die bei den Untersuchungen vorliegenden Fahrbahnoberflächen bezüglich ihrer Texturbeschaffenheit und deren Einfluss auf die Liegedauer vergleichen zu können, wurde das Sandfleckverfahren nach DIN EN 13036-1 (2010) an jedem Streckenabschnitt durchgeführt. Hierbei werden 25 mm³ Glassand (Glaskugeln mit einem Durchmesser von 0,18 bis 0,25 mm) auf der Straßenoberfläche so ausgebreitet, dass ein kreisförmiger Fleck gebildet wird. Der Durchmesser der gebildeten Kreisfläche wird dabei an mindestens vier Stellen gemessen, woraufhin der mittlere Durchmesser berechnet werden kann. Die mittlere Texturtiefe (MTD) der Fahrbahn (bzw. die mittlere Tiefe der Sandschicht) kann daraufhin mit der Formel

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2}$$

berechnet werden, mit

MTD mittlere Oberflächentexturtiefe (Mean Texture Depth) [mm]

V Probenvolumen des Glassandes [mm³]

D mittlerer Durchmesser der vom Glassand bedeckten Fläche [mm]

Die erfassten bzw. berechneten mittleren Oberflächentexturtiefen für alle Streckenabschnitte können Tabelle 1 in Kapitel 3.1.1 entnommen werden. Bild 15 zeigt die Durchführung des Sandfleckverfahrens.

Trotz visueller großer Unterschiede bei den verschiedenen Fahrbahnoberflächen, war die Größenordnung der Texturtiefen teilweise sehr ähnlich (siehe als Beispiel Bild 16), weswegen bei der Interpretation bei Bedarf noch einmal gesondert auf



Bild 15: Durchführung des Sandfleckverfahrens



Bild 16: Vergleich der Oberflächentextur; links: MTD = 0,37 mm (L 604, Karlsruhe), rechts: MTD = 0,31 mm (Wü9a, Würzburg)

die Beschaffenheit der Fahrbahn eingegangen wurde.

Laboruntersuchung der Tausalze

Alle eingesetzten Tausalze der vier Straßenmeistereien sind nach den TL Streu (2003) im Labor untersucht worden. Auffälligkeiten konnten dabei keine festgestellt werden. Die detaillierten Ergebnisse sind in Anhang 6 dargestellt.

3.3 Versuchsanordnung

3.3.1 Messfeld

Bild 17 gibt die Anordnung des Messfeldes für die Restsalzmessung einer einzelnen Messung wieder. Durchgeführt wurden die Messungen an vier Stellen im Straßenquerschnitt: In der linken Rollspur (LR), der Fahrstreifenmitte (FM), der rechten Rollspur (RR) und auf dem Randstreifen (RS). Dabei wurde als Fahrstreifenmitte die Mitte zwischen Innenkante der Leitlinie und Innenkante der Fahrbahnrandmarkierung angenommen. Im Abstand von jeweils 0,9 m von der Fahrstreifenmitte nach links bzw. rechts wurden die Rollspuren angenommen. Die Messungen auf dem Randstreifen fanden immer auf dem äußersten noch befestigten Teil der Fahrbahn statt.

Um eine gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Messungen auszuschließen (bspw. durch das Weitertransportieren der Messflüssigkeit auf der Fahrbahn durch Fahrzeuge), wurden die Messfelder nacheinander entgegen der Fahrtrichtung angelegt. Pro Messfeld wurden an den vier Messstellen im Querschnitt fünf Einzelmessungen durchgeführt. Das arithmetische Mittel dieser fünf Einzelwerte diente jeweils als eigentlicher Messwert einer Spur.

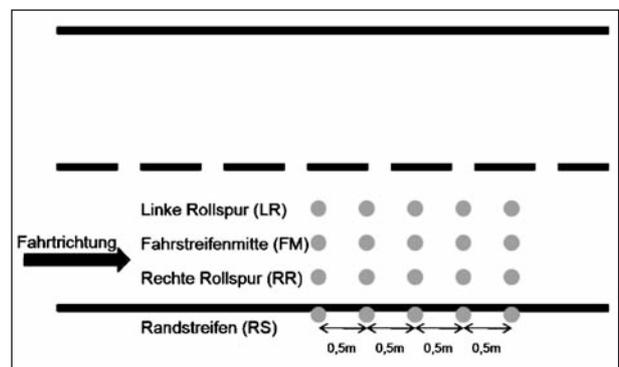


Bild 17: Anlage eines einzelnen Messfeldes innerhalb einer Messreihe

4 Ergebnisse

4.1 Erläuterungen

4.1.1 Allgemeine Hinweise

Bei den durchgeführten Messungen wurde darauf geachtet, an mindestens zwei aneinandergrenzenden Tagen in einem Meistereibezirk bzw. auf einem Streckenabschnitt zu messen. So konnten die Winterdienstseinsätze besser in Zusammenhang mit der vorherrschenden Witterung, den Restsalzmessungen auf der Fahrbahn und dem Verkehrsaufkommen bzw. den gefahrenen Geschwindigkeiten gesetzt werden als bei Messungen an einzelnen Tagen.

Dabei entstanden sog. Messreihen, die Aufschluss über den Verbleib von Tausalz auf der Fahrbahn unter verschiedenen Randbedingungen wiedergeben. Insgesamt konnten über die Winterperiode 2011/2012 sowie 2012/2013 an ca. 70 Messtagen Messungen durchgeführt werden. Dabei sind auch Testmessungen durchgeführt worden, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können bzw. um Ungereimtheiten, sofern möglich, bei den Messungen auszuschließen.

4.1.2 Darstellung der Ergebnisse

Im Folgenden wird auf die einzelnen Messreihen eingegangen, Ergebnisse bzw. Auffälligkeiten werden dokumentiert. Dies geschieht anhand von detaillierten Diagrammen (bspw. Bild 20), die für jede Messreihe erstellt wurden.

Die Diagramme geben das jeweilige Datum und die Zeit eines Winterdienstesatzes und einer Messung wieder. Die Winterdienstesätze sind als Balken in Höhe des absoluten tauwirksamen Anteils dargestellt. Wurden bspw. 20 g/m² Feuchtsalz gestreut, so liegt der tauwirksame Anteil der FS-30-Mischung (bzw. der reine Salzgehalt) bei 15,4 g/m². Zudem enthalten die Diagramme die Information über die Fahrtrichtung (FR) in die gestreut wurde, die Streubreite und ggf. Räumaktivitäten (R, R+S). Dabei wird eine Streubreite von beispielsweise 6,5 m als/6,50 m angegeben.

Zusätzlich enthalten die Diagramme die Mittelwerte aus den fünf Messwerten einer Spur eines Messfeldes (RS, RR, FM, LR) der bei den jeweiligen Messungen erfassten Restsalzgehalte (linke Ordinate). Auf der rechten Ordinate befinden sich die gemessenen Temperaturen (Luft- und Fahrbahntemperatur, LT und FBT). Im oberen Bereich des Diagramms kann der jeweilige Bedeckungsgrad, der Fahrbahnzustand sowie die Witterung (Art von Niederschlag oder trocken sowie relative Luftfeuchtigkeit) abgelesen werden. Die Information „Anzahl Fzg. seit WIDI“ gibt die Anzahl der Fahrzeuge wieder, die seit einem Winterdienstesatz den Streckenabschnitt passiert hat. Die Angabe Vm gibt das arithmetische Mittel der gefahrenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge zwischen den einzelnen Messungen in km/h wieder. Diese variieren teilweise, da während einer Messung die Geschwindigkeiten durch die halbseitige Sperrung der Fahrbahn abnehmen. Sofern eindeutig vorhanden, ist ebenfalls die Querneigung der Fahrbahn im Diagramm angegeben (siehe Bild 18).

Vor dem Beginn einer Messreihe steht immer die sog. „Nullmessung“, d. h. bevor die Straße abgestreut wurde, ist anhand einer Messung festgestellt worden, ob und wieviel Salz sich bereits auf der

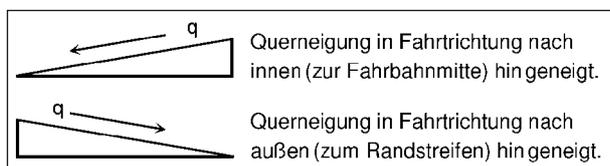


Bild 18: Querneigung der Fahrbahn

Fahrbahn befunden hat. In der Winterperiode 2012/2013 mussten die Messungen hauptsächlich „unter Betrieb“ durchgeführt werden. D. h., dass aufgrund der vorherrschenden Witterung in den meisten Fällen die Strecken durch abendliche oder früh am Morgen stattfindende Winterdienstesätze schon abgestreut waren. Dadurch war eine systematische Variation der Streubreiten und -dichten nicht immer möglich. In der vorangegangenen Winterperiode 2011/2012 war ein Einsatzfahrzeug meistens vor Ort mit dabei.

Im Regelfall wurde bei den Versuchen mit FS 30 gestreut. Sofern dies nicht der Fall war, wird es in den Diagrammen gesondert angegeben (Trockensalz, Sole, Kombination Sole + FS 30).

Bei gleichen Randbedingungen (gleiche Streudichte und gleicher Fahrbahnzustand) sind die Ergebnisse am Ende einer Messreihe noch einmal zusammengefasst dargestellt. Hierbei werden nur der Mittelwert aller Messungen aus rechter Rollspur, Fahrstreifenmitte und linker Rollspur verwendet, da die Hinzunahme des Randstreifens oft (durch sehr niedrige aber auch sehr hohe Werte) zu Verschiebungen der Ergebnisse führen würde.

Für die Winterperiode 2012/2013 stehen durch den durchgeführten Tuchttest bei jeder Messung zudem detaillierte Daten über die Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn zur Verfügung. Hier wird die Abnahme des Tausalzgehaltes noch einmal über die bei der jeweiligen Messung vorhandene Wasserfilmdicke aufgetragen, um ggf. noch detailliertere Kenntnisse über die Abnahme des Tausalzgehaltes in Abhängigkeit der Wasserfilmdicke zu erhalten. Die Abgrenzung zwischen feuchter und nasser Fahrbahn liegt bei 0,1 mm Wasserfilmdicke, wie in Kapitel 3.2.3 bereits beschrieben.

Für die Interpretation bzw. Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde das Erreichen von 2 g/m² Restsalzgehalt nach Fahrzeugüberrollungen als Maßstab für eine zu erwartende Glättevermeidung definiert. Diese Tausalzmenge kann bei Fahrbahntemperaturen um 0 °C gerade noch Glätte bei einem auftretenden Niederschlagsereignis vermeiden, sodass noch eine gewisse Zeitspanne zum Reagieren für die Räum- und Streudienste besteht. Fällt beispielsweise bei 2 g/m² Restsalzgehalt eine Niederschlagsmenge, die in einer Wasserfilmdicke von 0,1 mm (= nass) resultiert, so entsteht eine 2-prozentige Salzlösung auf der Fahrbahn, die den Gefrierpunkt auf ca. -1 °C (siehe eutektisches Diagramm von Natriumchlorid) herabsetzt.

4.2 Messreihen Karlsruhe

4.2.1 Übersicht der Messreihen im Bereich des AfA Karlsruhe

Tabelle 3 gibt die Messreihen im Bereich Karlsruhe wieder. Bei allen Messungen kam FS 30 (NaCl + NaCl-Sole) zum Einsatz. Bei den grau hinterlegten Messungen wurden während bzw. nach den Messungen Unregelmäßigkeiten festgestellt, weswegen diese nur teilweise in die Schlussbewertung mit eingehen können.

4.2.2 Messreihe Karlsruhe, KW 04-2012, feuchte Fahrbahn

An allen drei Messstrecken wurden nach einem morgendlichen Streudurchgang gegen 06:30 Uhr jeweils zwei Messungen in beide Fahrtrichtungen durchgeführt. Gestreut wurden 20 g/m² FS 30 bei einer Streubreite von 6 m in jeweils einer Fahrtrichtung (L 604 Fahrtrichtung A, Grabener Straße Fahrtrichtung B und Querspange Fahrtrichtung B). Die erste Messung auf der Querspange fand zwei Stunden nach dem Streuvorgang statt. Die erste

KW-Jahr	Bemerkungen	Datum	Strecke	Salzart
Feuchte Fahrbahn				
04-2012		23.-24.01.2012	L 604	FS 30 NaCl
04-2012		23.-24.01.2012	Querspange	FS 30 NaCl
04-2012		23.-24.01.2012	Grabener Straße	FS 30 NaCl
Trockene Fahrbahn				
09-2012		29.02.-02.03.2012	L 604	FS 30 NaCl
09-2012		29.02.-02.03.2012	Querspange	FS 30 NaCl
09-2012		29.02.-02.03.2012	Grabener Straße	FS 30 NaCl
Feuchte Fahrbahn nach künstlicher Bewässerung vor dem Streuvorgang				
13-2012	Wasserschleppwagen	29.-30.03.2012	L 604	FS 30 NaCl
13-2012	Wasserschleppwagen	29.-30.03.2012	Querspange	FS 30 NaCl
Nasse Fahrbahn				
48-2012		26.+27.11.2012	L 604	FS 30 NaCl
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
48-2012		27.+28.11.2012	Querspange	FS 30 NaCl
Feuchte bis trockene Fahrbahn				
48-2012		29.+30.11.2012	Grabener Straße	FS 30 NaCl
Trockene Fahrbahn				
51-2012	Große Salzkörner	20.12.2012	L 604	FS 30 NaCl
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
06-2013		08.02.2013	L 604	FS 30 NaCl
06-2013		07.+08.02.2013	Querspange	FS 30 NaCl
06-2013	Radargerät defekt	07.+08.02.2013	Grabener Straße	FS 30 NaCl
Trockene Fahrbahn				
07-2013	Keine Einsatzberichte vom 15.02.1013	11.-15.02.2013	L604	FS 30 NaCl
07-2013	Keine Einsatzberichte vom 15.02.1013	11.-15.02.2013	Querspange	FS 30 NaCl
07-2013	Keine Einsatzberichte vom 15.02.1013	11.-15.02.2013	Grabener Straße	FS 30 NaCl

Tab. 3: Übersicht über alle Messreihen im Bereich Karlsruhe

Messung auf der L 604 fand 4 Stunden nach dem dortigen Streuvorgang. Danach wurden im Abstand von 2 bis 4 Stunden noch einmal auf jeder Strecke Wiederholungsmessungen durchgeführt. Bei allen Messungen lag ein feuchter Fahrbahnzustand vor (Bild 19), zudem konnten Rückgänge der einzelnen Salzgehalte bezogen auf die gestreute Salzmenge von 20 g/m² (was einem tauwirksamen Anteil von 15,4 g/m² entspricht) bzw. auf den vorher gemessenen Wert bei jeder Messung festgestellt werden. Stellvertretend für alle Messungen wird hier nur das Diagramm der L 604, Fahrtrichtung A angegeben (Bild 20). Die Ergebnisse zu den weiteren Messreihen an jeder Strecke an diesem Tag befinden sich in Anhang 2.1.

Bild 21 rechts zeigt zusammenfassend die Abnahme des Salzgehaltes aufgrund der Anzahl der Fahrzeugüberrollungen, Bild 21 links gibt die Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit wieder. Die Diagramme beinhalten alle Messungen aller Strecken (außer der Nullmessung) der Messreihe KW 04-2012 in Karlsruhe. Aufgrund eines Ausfalls des Radargerätes können nicht alle Messwerte der Grabener Straße über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen wiedergegeben werden.

4.2.3 Messreihe Karlsruhe, KW 09-2012, trockene Fahrbahn

Zu Beginn dieser Messreihe wurden alle drei Streckenabschnitte mit 20 g/m² (15,4 g/m² tauwirk-



Bild 19: Feuchter Fahrbahnzustand in der KW 04-2012, Karlsruhe (links: L 604, Mitte: Querspange, rechts: Grabener Straße)

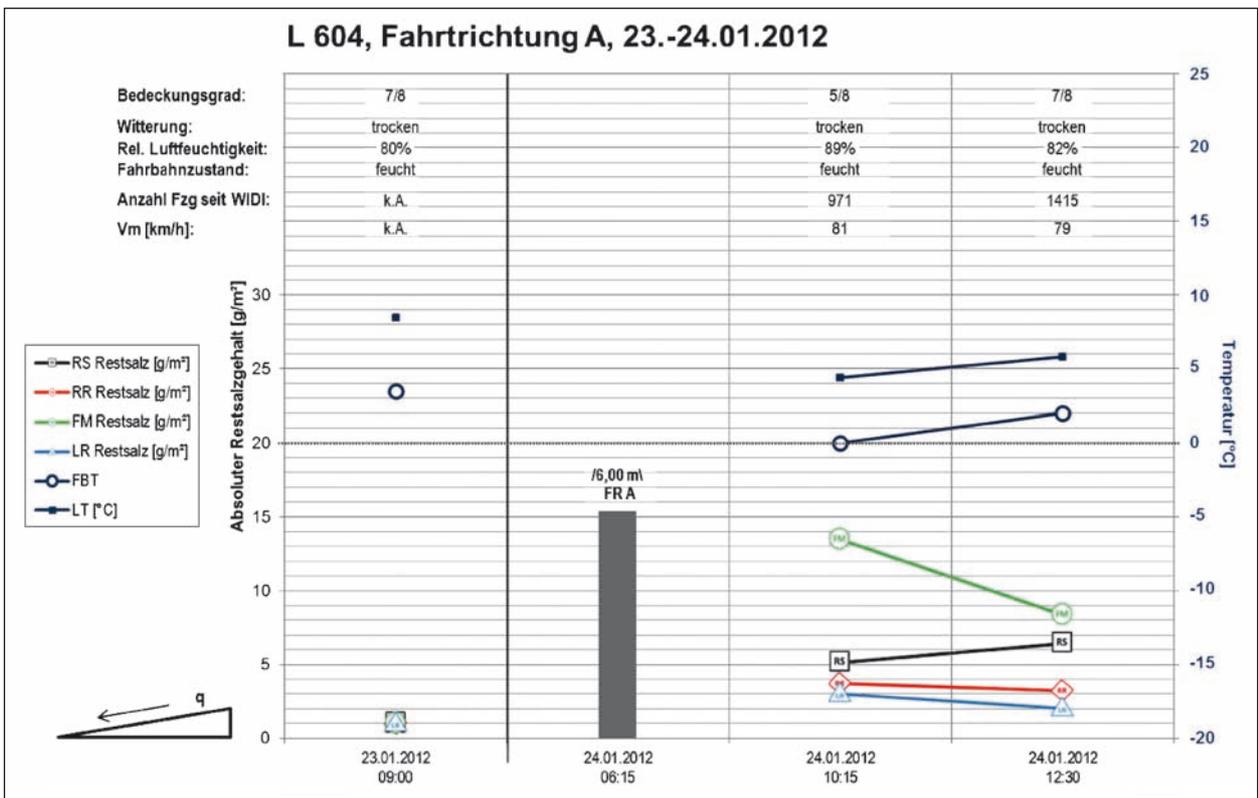


Bild 20: Messreihe KW 04-2012 auf der L 604 in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

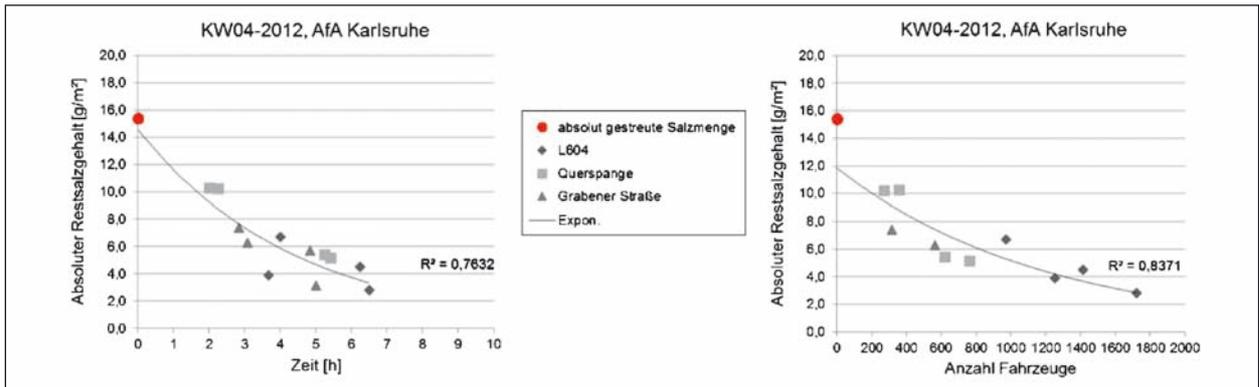


Bild 21: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) aller Messreihen in KW 04-2012, Karlsruhe



Bild 22: Streubild des frisch justierten Streuers im Stand (links) und bei der Hinterherfahrt (rechts)

samer Anteil) und einer Streubreite von 3 m in jeweils eine Fahrtrichtung abgestreut. Am Tag vor dem Beginn der Messreihe wurde der Streuer frisch justiert, was in einem sehr gleichmäßigen Streubild resultierte. Bild 22 zeigt links das Streubild im Stand, aus dem die gute Anfeuchtung der einzelnen Salzkörner ersichtlich wird. Bild 22 rechts zeigt den Streuer bei der Hinterherfahrt auf der L 604 (Streubreite 3 m bei einer Fahrstreifenbreite von 2,90 m). Eine fast randscharfe Ablegung des Salzes ist erkennbar, bei der nur Feinteile in das Bankett gekehrt werden.

Die erste Messung unmittelbar nach dem Streuen fand auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung B statt (Bild 24). Dort wurde in der linken Rollspur ein Salzgehalt von nur 1 g/m² festgestellt. In der rechten Rollspur konnten 5 g/m² ermittelt werden (in entgegengesetzter Fahrtrichtung waren alle Messwerte Null). Eine Ursache hierfür stellt der trockene Fahrbahnzustand dar. Obwohl der Streuer neu justiert war, sind auf der Fahrbahn deutliche Sole Spuren im Bereich der rechten Rollspur zu erkennen (Bild 23). Zudem kann bei trockenem Fahrbahnzustand kein Salz in Lösung gehen, weshalb es vom Messgerät aufgrund der einzeln verteilten Salzkörner nicht gut erfasst werden kann. Dies zei-



Bild 23: Solespuren im Bereich der rechten Rollspur auf der Grabener Straße, KW 09-2012, Karlsruhe

gen auch die allgemein sehr geringen Restsalzgehalte bei den Messungen.

Am Ende der Messreihe auf der Grabener Straße drei Tage später ist in allen Spuren immer noch Salz vorhanden, bei hauptsächlich trockenem bis leicht feuchtem Fahrbahnzustand. Eine ähnliche Beobachtung konnte auf der Querspange in Fahrtrichtung B gemacht werden. Der Salzgehalt ist bis zum dritten Tag fast konstant bei 1 bis 2 g/m², in entgegengesetzter Fahrtrichtung Null (Anhang 2.3).

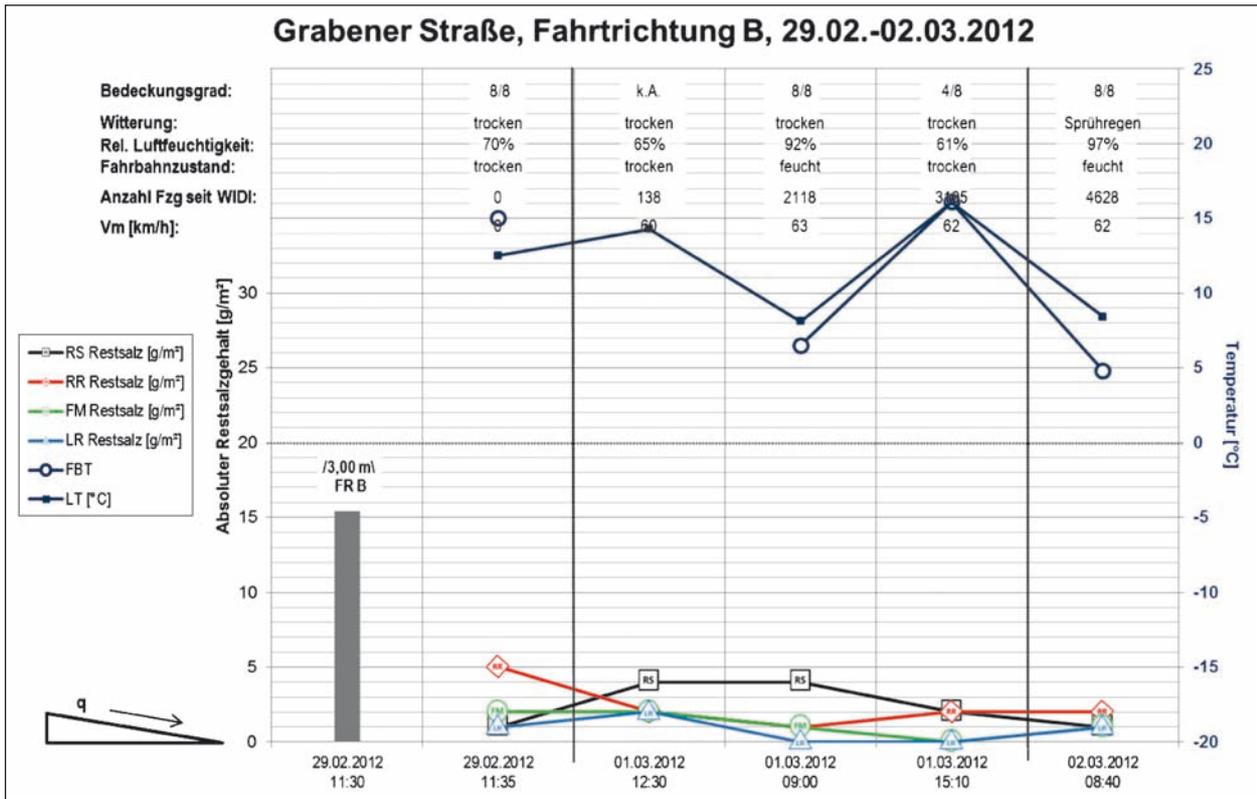


Bild 24: Messreihe KW 09-2012 auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung B, Karlsruhe



Bild 25: Fahrbahnzustand auf der L 604 am 01.03.2013 (links) und 02.03.2013 (rechts), KW 09-2013, Karlsruhe

Auf der L 604 in Fahrtrichtung Eggenstein wurde zum 1. Messzeitpunkt (ca. 2,5 h nach dem Streuen) maximal 1 g/m² festgestellt, was als Indiz dafür angesehen werden kann, dass durch die höhere Verkehrsmenge ein großer Anteil des Salzes von der Fahrbahn verfrachtet wurde. Allerdings konnte bei einer nochmaligen Messung zwei Tage später auf der L 604 ein leicht erhöhter Salzgehalt bei feuchtnasser Fahrbahn festgestellt werden (Bild 26). Zu erklären ist dies nur damit, dass noch Salz in den Poren liegen geblieben ist. Dieses wurde durch den Verkehr nicht von der Straße verfrachtet und konnte vom Messgerät bei den vorliegenden trockenen Fahrbahnbedingungen aufgrund der Korngröße

nicht erfasst werden. Erst durch den Anstieg der Feuchtigkeit (Bild 25 rechts) auf der Straße am 2. März 2012 ging das Salz in Lösung und konnte so erfasst werden. Dies wiederum ist auch ein Indiz dafür, dass die geringen Messwerte nicht den realen Restsalzgehalt auf der Fahrbahn wiedergeben, sondern deutlich niedrigere Werte.

Aufgrund der geringen Streubreite sind für die Zusammenfassung der drei Messstrecken nur die Fahrtrichtungen, in die gestreut wurde, relevant. Bild 27 links und rechts zeigt die zusammengefassten Messungen. Im Bild links (Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit) ist ein Vergleich

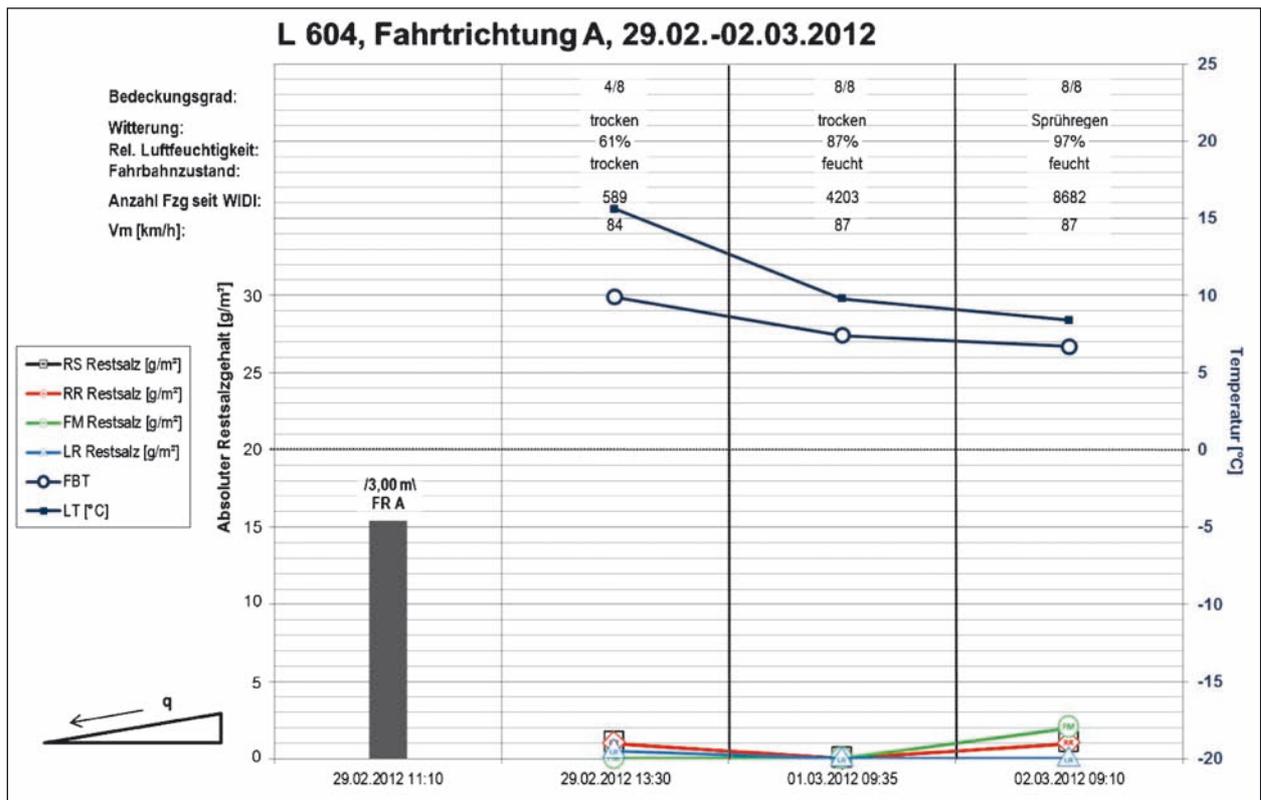


Bild 26: Messreihe KW 09-2012 auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

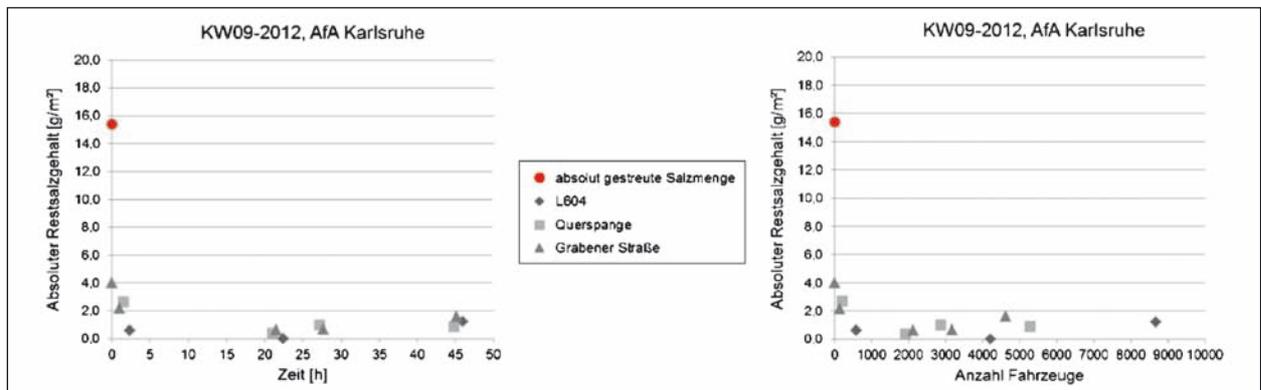


Bild 27: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihen in KW 09-2012, Karlsruhe

der Messwerte über die Witterungsverhältnisse gut erkennbar. Auf allen Strecken kann ein (allerdings nur sehr leicht) erhöhter Restsalzgehalt aufgrund der feuchten Fahrbahn am zweiten Tag (ca. 45 Stunden nach dem Streuvorgang) festgestellt werden. Die Abnahme über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen macht deutlich, dass sich selbst nach mehr als 8.000 Fahrzeugüberrollungen auf trockener Fahrbahn am Restsalzgehalt nicht viel geändert hat.

4.2.4 Messreihe Karlsruhe, KW 13-2012, feuchte Fahrbahn

Die Messreihe wurde durchgeführt, um den tatsächlichen Unterschied zwischen Messungen auf trockener und nasser Fahrbahn zu erfassen. Hierfür wurde vom AfA Karlsruhe ein Wasserschleppwagen zur Verfügung gestellt, der die Straße unmittelbar vor dem Abstreuen so bewässert hat, dass der Straßenzustand danach als nass bezeichnet werden kann. Bild 28 links zeigt den Wasserschleppwagen bei einem Probelauf abseits der Messstrecke und den darauffolgenden Fahrbahnzustand.

Bild 28 rechts zeigt den nassen Fahrbahnzustand zu Beginn der ersten Messung unmittelbar nach dem Abstreuen der Fahrbahn auf der Querspange in Fahrtrichtung A. Gestreut wurden 20 g/m² bei einer Streubreite von 3 m. Bild 29 zeigt die dazugehörigen Werte, die deutlich höher liegen als nach einem Streuvorgang auf trockener Fahrbahn, jedoch immer noch nicht an die eigentliche Streudichte von 20 g/m² (d. h. 15,4 g/m² tauwirksamer Anteil) herankommen.

Über die Zeit (und somit mit einer steigenden Anzahl von Fahrzeugübergängen) ist ein deutlicher Rückgang der verbliebenen Salzmenge auf der

Straße erkennbar. Die Messungen am darauffolgenden Tag haben auf trockener Fahrbahn (um 9:25 Uhr) und auf nochmals künstlich befeuchteter Fahrbahn (9:30 Uhr) stattgefunden (Bild 30 links). Die Werte zeigen jedoch kaum Unterschiede. Dies zeigt, dass bei genügend Feuchtigkeit auf der Straße das Salz so in Lösung geht, dass es dann selbst bei abgetrockneter Fahrbahn für das Messgerät noch gut zu detektieren ist. Die Messung um 10:30 Uhr (auf zuvor befeuchteter Fahrbahn) zeigt wiederum einen deutlichen Rückgang des Salzgehaltes. Die Rollspuren waren schon deutlich abgetrocknet im Gegensatz zum Rest des Messfeldes (Bild 30 rechts).



Bild 28: Wasserschleppwagen im Einsatz (links), Fahrbahnzustand nach der Überfahrt mit dem Wasserschleppwagen und dem Streufahrzeug, KW 13-2012, Karlsruhe

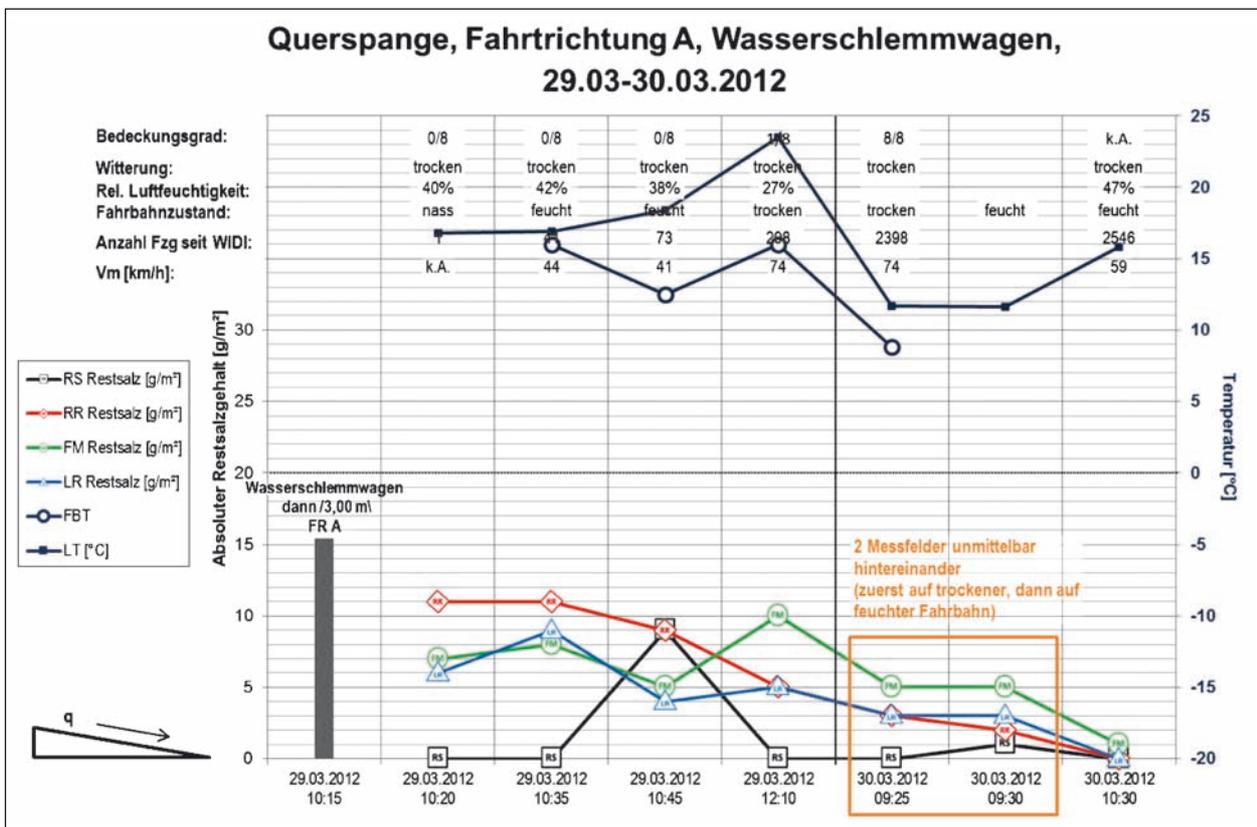


Bild 29: Messreihe KW 13-2012 auf der Querspange in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

Die Messungen auf der L 604 haben in ähnlicher Weise stattgefunden wie auf der Querspange. Nach der Befeuchtung mit dem Wasserschleppwagen wurde unmittelbar gestreut. Die erste Messung fand ca. eine Stunde später statt. Auffällig war, dass die Rollspuren schon abgetrocknet waren und das gelöste, getrocknete Salz als weißer Schleier auf der Fahrbahn zu erkennen war (Bild 32).



Bild 32: Fahrbahnzustand auf der L 604 eine Stunde nach der Überfahrt mit dem Wasserschleppwagen und dem Streufahrzeug

Nicht eindeutig erklärbar ist der Anstieg des Salzgehaltes ca. 1 Stunde später (Bild 31). Die Fahrbahn war zu diesem Zeitpunkt vollständig abgetrocknet. Ggf. wurde noch mehr Salz gelöst durch die noch verbliebene Restfeuchtigkeit. Eine Zusatz-



Bild 30: Messungen am Tag nach der Überfahrt (30.03.2012) mit dem Wasserschleppwagen auf trockener und erneut künstlich befeuchteter Fahrbahn um 09:30 Uhr (links) und um 10:30 (rechts)

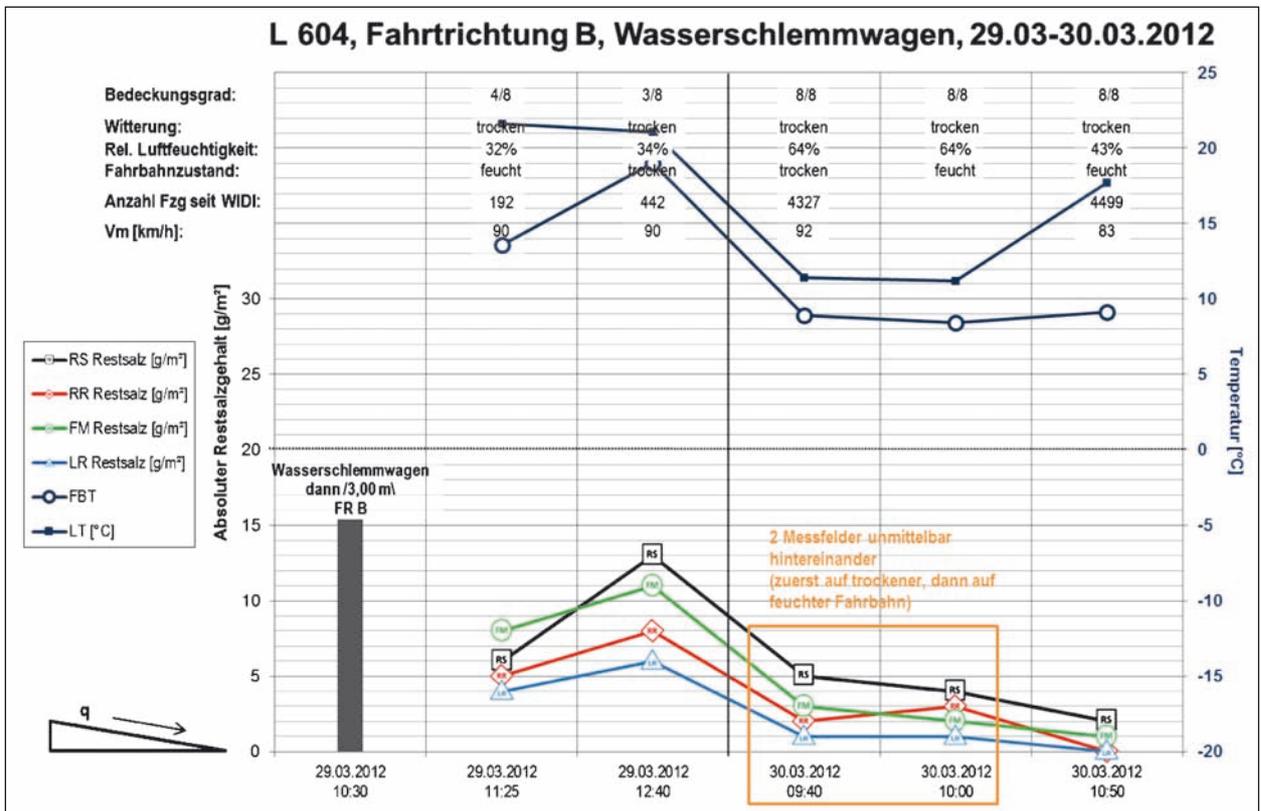


Bild 31: Messreihe KW 13-2012 auf der L 604 in Fahrtrichtung B, Karlsruhe

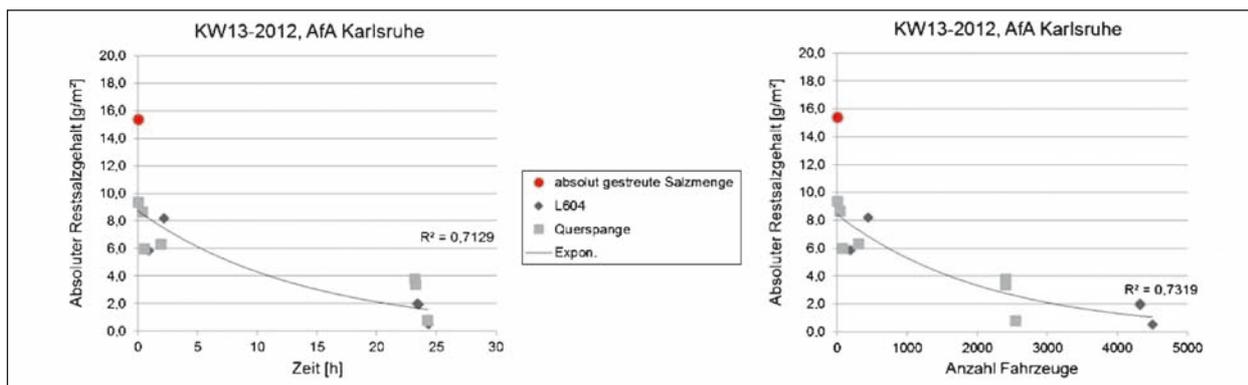


Bild 33: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihen in KW 13-2012, Karlsruhe

messung auf dem noch nassen Bereich zwischen Fahrstreifenmitte und rechter Rollspur könnte diese These stützen. Der Mittelwert der dort gemessenen Werte lag bei $13,2 \text{ g/m}^2$. Zudem ist die Querneigung in Fahrtrichtung nach außen geneigt, was die Verfrachtung von Salz mit der Flüssigkeit möglich machen könnte.

Zum Abschluss der Messreihe am 30.03.2012 waren auf beiden Messstrecken (nach ca. 3.000 Fahrzeugübergängen und bei Anfeuchtung des Messfeldes eine Stunde vor der letzten Messung) noch etwa 2 g/m^2 Salz detektierbar. Demnach waren wohl keine größeren Salzkörner mehr auf der Fahrbahn vorhanden, die in Poren rutschen konnten. Das Salz hatte sich zu Beginn der Messreihe auf nasser Fahrbahn recht schnell gelöst und ist als feiner Salzfilm wieder abgetrocknet. Dies hat bei der erneuten Befeuchtung zu einem relativ schnellen Abtrag des Restsalzes geführt (im Gegensatz zur Messreihe in KW 09-2012 (Bild 27 links), wo vermutlich noch nicht gelöste Salzkörner in den Poren zu einem Anstieg des Salzgehaltes beim Auftreten von Feuchtigkeit auf der Straße geführt hat).

4.2.5 Messreihe KW 48-2012, L604

Zu Beginn der Messreihe wurde die L 604 bei einer Streubreite von 5 m und einer Streudichte von 20 g/m^2 (entsprechend $15,4 \text{ g/m}^2$ tauwirksamen Anteil) in Fahrtrichtung A abgestreut. Durch anhaltenden leichten Niederschlag war der Fahrbahnzustand während der Messungen durchgehend nass (Bild 34).

Die erste Messung hat unmittelbar nach dem Abstreuen in Fahrtrichtung A stattgefunden (Bild 35). Der Mittelwert aus RR, FM und LR lag bei



Bild 34: Nasser Fahrbahnzustand der L 604 am 26.11.2013, KW 48-2012, Karlsruhe

$12,9 \text{ g/m}^2$. 40 Minuten später konnte ein leichter Anstieg des Mittelwertes auf $14,3 \text{ g/m}^2$ festgestellt werden. Erst danach konnte eine kontinuierliche Abnahme des Salzgehaltes beobachtet werden. Dies ist wiederum vermutlich der Messtechnik zuzuschreiben. Das Salz muss zuerst in Lösung gehen und braucht dafür eine gewisse Zeit. Der Anstieg bei der zweiten Messung stellt demnach keinen tatsächlichen Anstieg des Tausalzgehaltes dar, sondern eher eine Umverteilung bzw. einen Lösungsprozess der größeren noch vorhandenen Salzkornfraktionen auf der Fahrbahn, was für das Messgerät besser zu detektieren ist.

In entgegengesetzter Fahrtrichtung zum Streuvorgang (Fahrtrichtung B) waren die gemessenen Werte zu Beginn der Messung relativ gering (Bild 36). Allerdings kam es auch zu keiner nennenswerten Abnahme der Werte wie in Fahrtrichtung A. Trotzdem kam es auch hier zu einer (geringen) Umverteilung, bzw. einem geringen Anstieg des Mittelwertes zwischen der ersten und der zweiten Messung. Insbesondere in der linken Rollspur (LR) konnte von Beginn an das meiste Salz detektiert werden. Dies kann zum einen am Streuvorgang selbst liegen, zum anderen könnte die Querneigung der Straße (in Fahrtrichtung B nach außen) eine

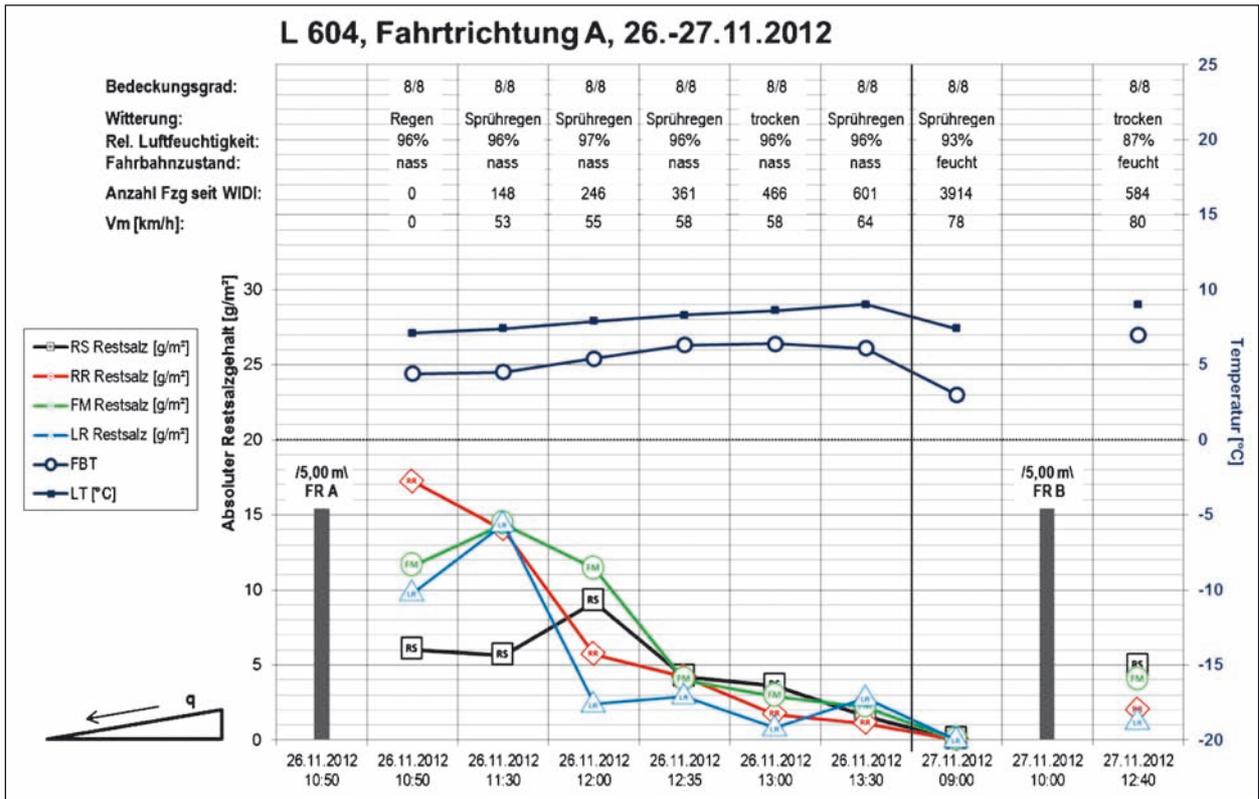


Bild 35: Messreihe KW 48-2012 auf der L 604 in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

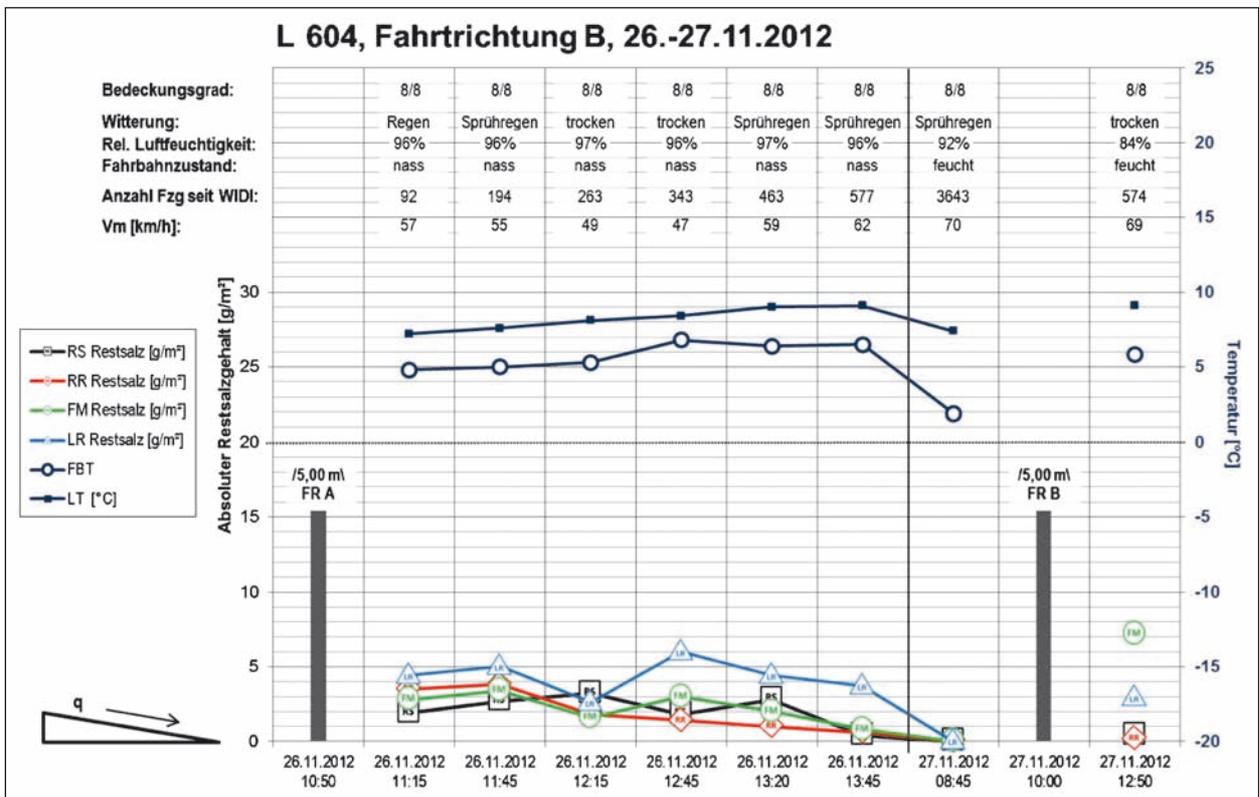


Bild 36: Messreihe KW 48-2012 auf der L 604 in Fahrtrichtung B, Karlsruhe

Rolle spielen. Welcher Faktor aber überwiegt, kann nicht abschließend geklärt werden. Außerhalb der

Fahrbahn konnten bei der dritten Messung um 12:15 Uhr 1,5 g/m² detektiert werden.

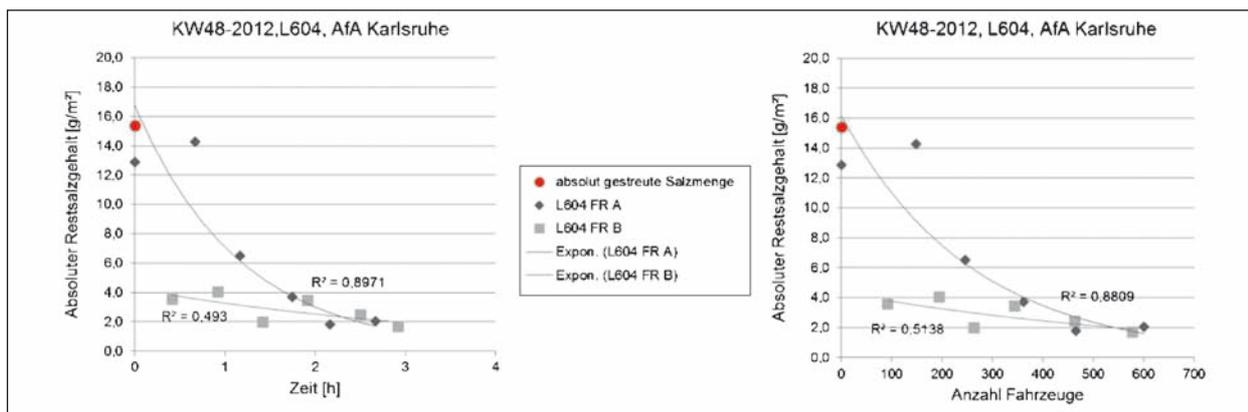


Bild 37: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihen auf der L 604 in KW 13-2012, Karlsruhe

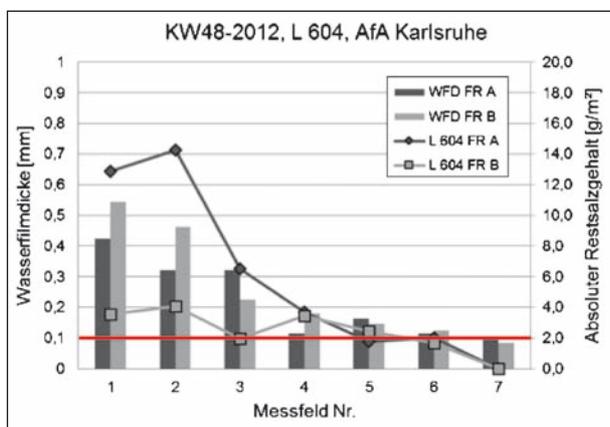


Bild 38: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 48-2012, L 604, Karlsruhe

Bei Betrachtung der Zusammenfassungen der beiden Fahrrichtungen (Bild 37) wird einmal mehr ersichtlich, dass sich die Werte des Restsalzgehaltes nach einer bestimmten Zeit bzw. nach einer gewissen Anzahl von Fahrzeugüberrollungen angleichen. So gilt für die L 604 auf anhaltend nasser Fahrbahn, dass nach ca. 500 Fahrzeugüberrollungen (und ca. 2,5 Stunden) die kritische Grenze von 2 g/m² unterschritten wird, was einen Abtrag von knapp 87 % der gestreuten Salzmenge darstellt. Dies kann im Umkehrschluss bedeuten, dass eine höhere Streudichte auch höhere Anfangsverluste nach sich ziehen kann und demnach häufig nicht sinnvoll sein dürfte.

Bild 38 gibt den Verlauf der Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn wieder. In den meisten Fällen liegt diese in Fahrrichtung B höher, was der Querneigung zugeschrieben werden kann. Trotz des höheren Wassergehaltes auf der Fahrbahn in Fahrrichtung B kann jedoch nicht ausgesagt werden, dass dadurch mehr Salz von der Fahrbahn verfrachtet wird. Bzw. wenn, dann geschieht das erst, nachdem es in Lösung gegangen ist.

4.2.6 Messreihe KW 48-2012, Querspange

Zu Beginn der Messreihe wurde die L 604 bei einer Streubreite von 5 m und einer Streudichte von 20 g/m² (entsprechend 15,4 g/m² tauwirksamem Anteil) in Fahrrichtung A abgestreut. Durch abwechselnde Witterungsbedingungen (trocken und Sprühregen) und einem durchgehend bedeckten Himmel war der Fahrbahnzustand während der Messungen entweder feucht oder nass (Bild 39).

Die erste Messung hat unmittelbar nach dem Abstreuen in Fahrrichtung A stattgefunden (Bild 40). Der Mittelwert aus RR, FM und LR betrug 11,1 g/m². 50 Minuten später konnte auch hier (wie auf der L604) ein leichter Anstieg des Mittelwertes auf 13,1 g/m² festgestellt werden, worauf eine kontinuierliche Abnahme des Salzgehaltes folgte. Dies ist wiederum nicht einem realen Anstieg des Tausalzgehaltes zuzuschreiben, sondern der Messtechnik.

In entgegengesetzter Fahrrichtung zur Streurichtung wurden wie bei der Messung auf der L 604 geringere Anfangswerte festgestellt. Auch hier bleiben die Werte zunächst konstant, bis sie dann (insbesondere mit einem Anstieg der Wasserfilmdicke), weiter abnehmen.

Zusammengefasst kann ausgesagt werden, dass sich die gemessenen Werte der unterschiedlichen Fahrrichtungen auch hier angleichen, allerdings nicht in der Größenordnung wie auf der L 604 (Bild 41). Dies liegt zum einen am Fahrbahnzustand, der insbesondere zu Beginn der Messungen feucht und nicht nass war. Zum anderen kann auch hier die Querneigung eine Rolle spielen, die bei dieser Messreihe in Fahrrichtung A nach außen geneigt war. Dies ist auch gut anhand der Wasserfilmdicke



Bild 39: Feuchter (links) bzw. nasser (rechts) Fahrbahnzustand der Querspange am 27.11.2013, KW 48-2012, Karlsruhe

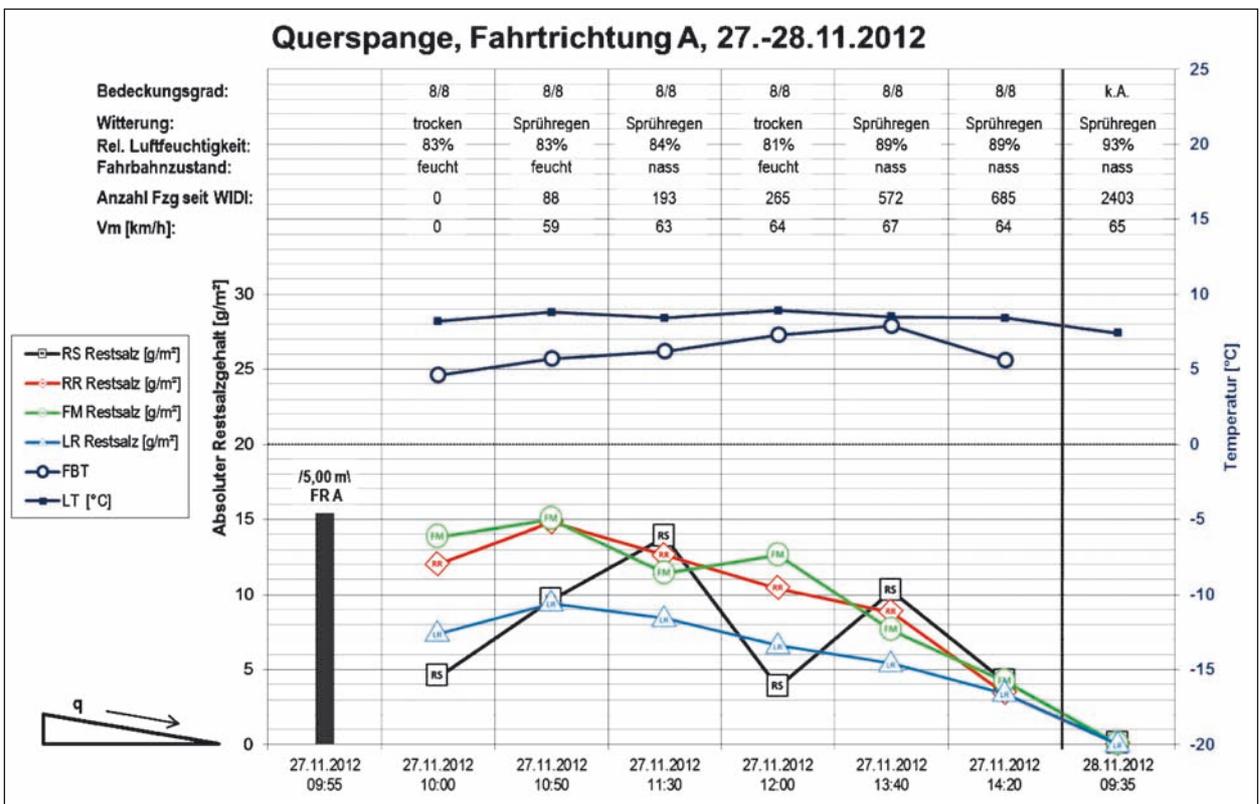


Bild 40: Messreihe KW 48-2012 auf der Querspange in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

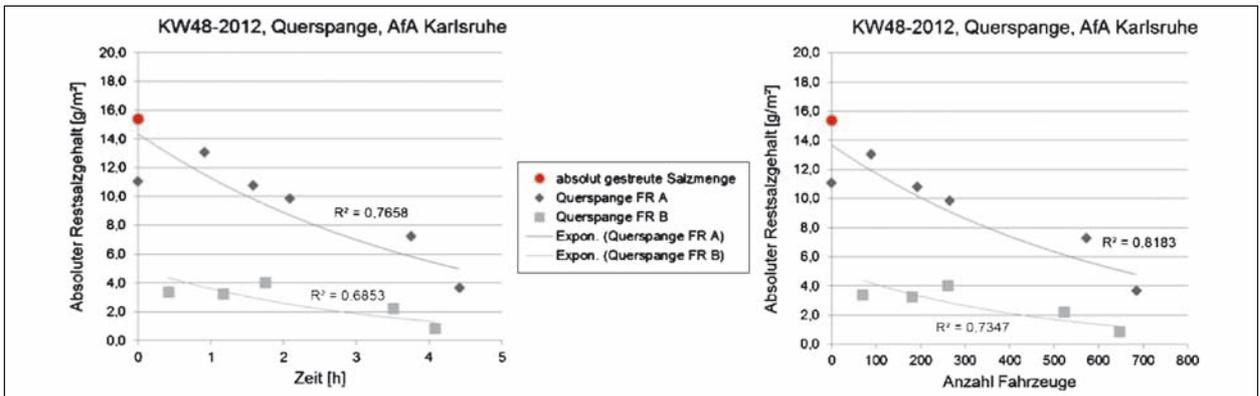


Bild 41: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihen auf der Querspange in KW 13-2012, Karlsruhe

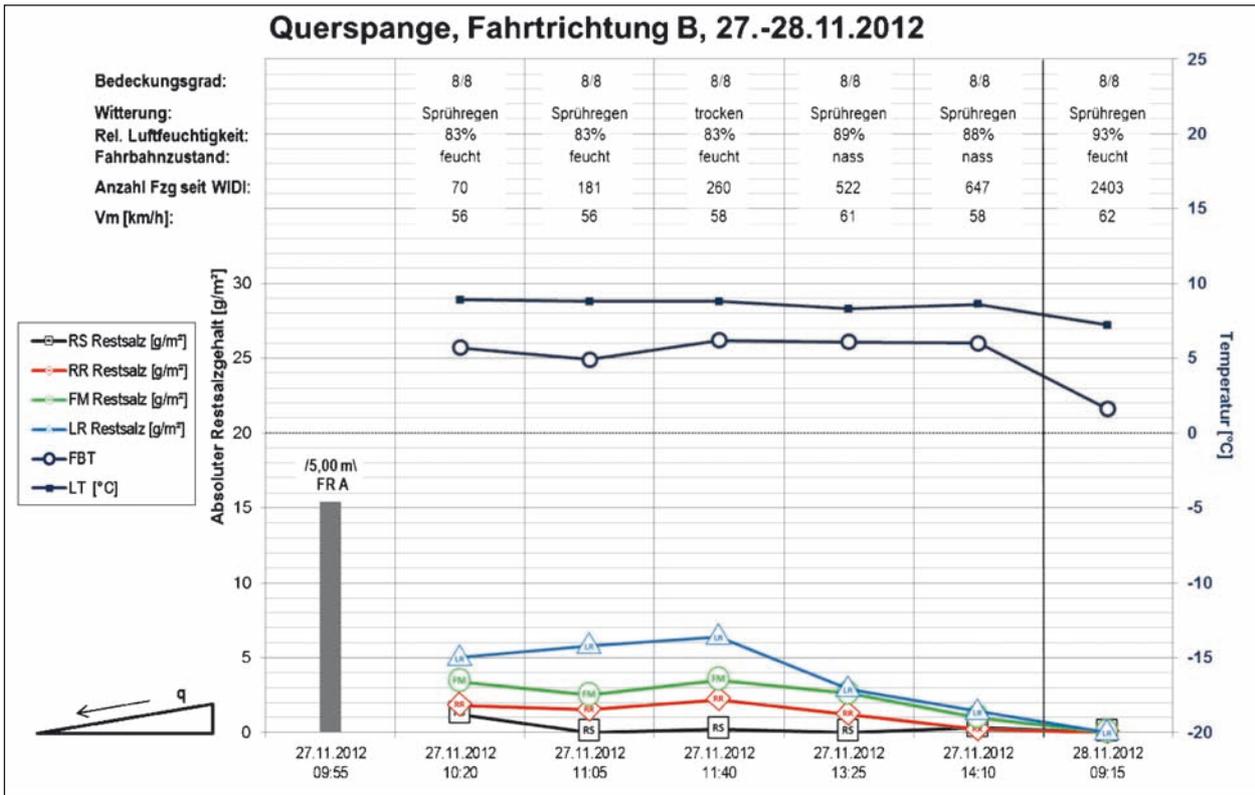


Bild 42: Messreihe KW 48-2012 auf der Querspange in Fahrtrichtung B, Karlsruhe

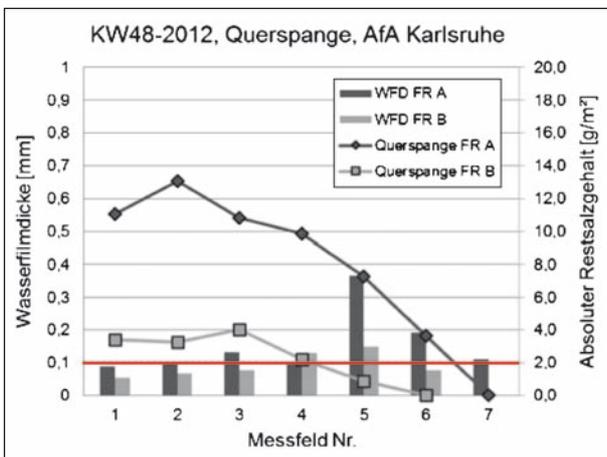


Bild 43: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 48-2012, Querspange, Karlsruhe

in Bild 43 zu erkennen. Diese ist überwiegend in Fahrtrichtung A höher als in entgegengesetzter Fahrtrichtung.

4.2.7 Messreihe KW 48-2012, Grabener Straße

Bei der Messreihe auf der Grabener Straße wurde unmittelbar vor den Messungen die leicht feuchte Fahrbahn in Fahrtrichtung A mit 20 g/m^2 (= $15,4 \text{ g/m}^2$ tauwirksamer Anteil) und einer Streubreite von 6 m abgestreut. In Streurichtung liegt der Mittelwert von RR, FM und LR bei ca. 8 g/m^2 bei den ersten Messungen. Auf der Strecke findet ein starker Wechsel der mittleren Oberflächentexturtiefe (MTD) (Bild 44 rechts) statt, was jedoch im Verlauf der Messungen nicht relevant erscheint.



Bild 44: Fahrbahnzustand zu Beginn der Messreihe (links), Solespuren auf der Fahrbahn (Mitte), Wechsel der MTD in FRA (rechts), KW 48-2012, Grabener Straße, Karlsruhe

Der recht starke Abfall bei Messung 4 in Fahrtrichtung A (Bild 45) kann nicht näher erklärt werden und muss auf den Streuvorgang selbst zurück-

geführt werden. Das gleiche gilt für Fahrtrichtung B (Bild 46). Der Anstieg, insbesondere in der linken Rollspur (LR) kann nicht näher erläutert

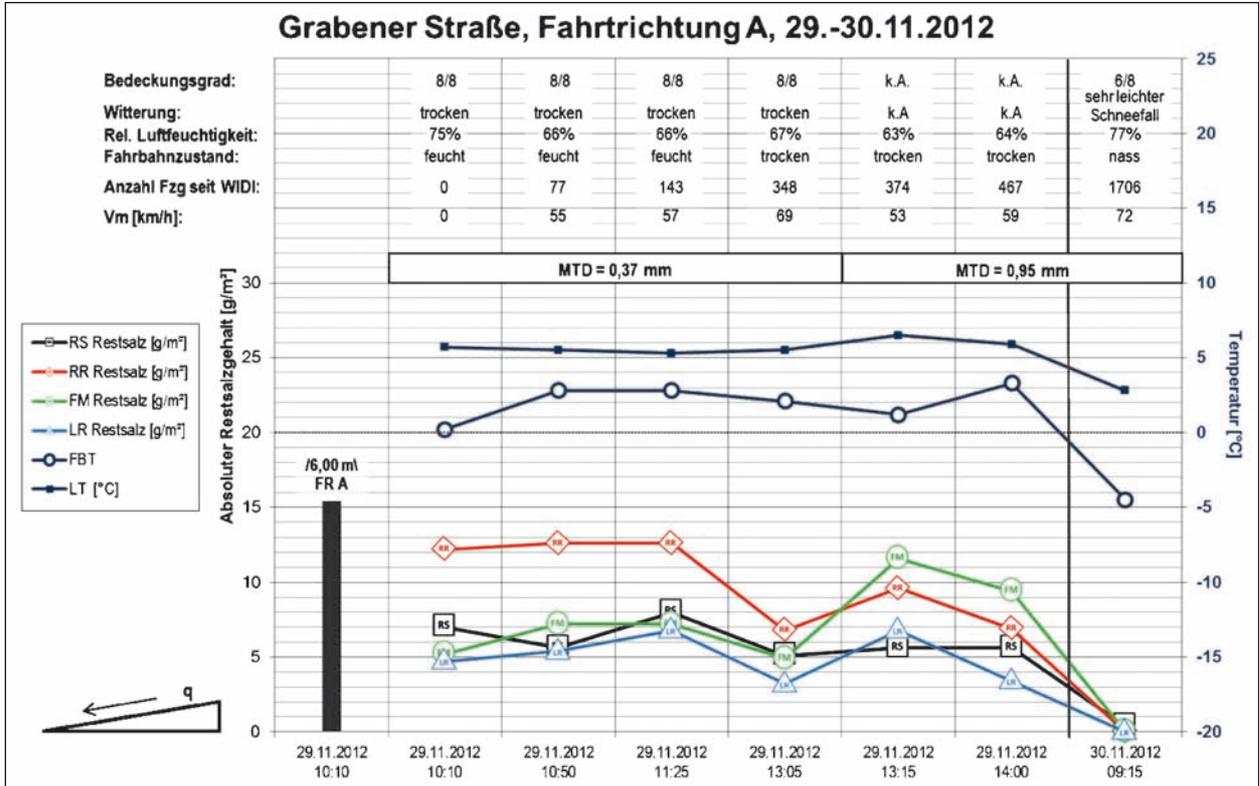


Bild 45: Messreihe KW 48-2012 auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

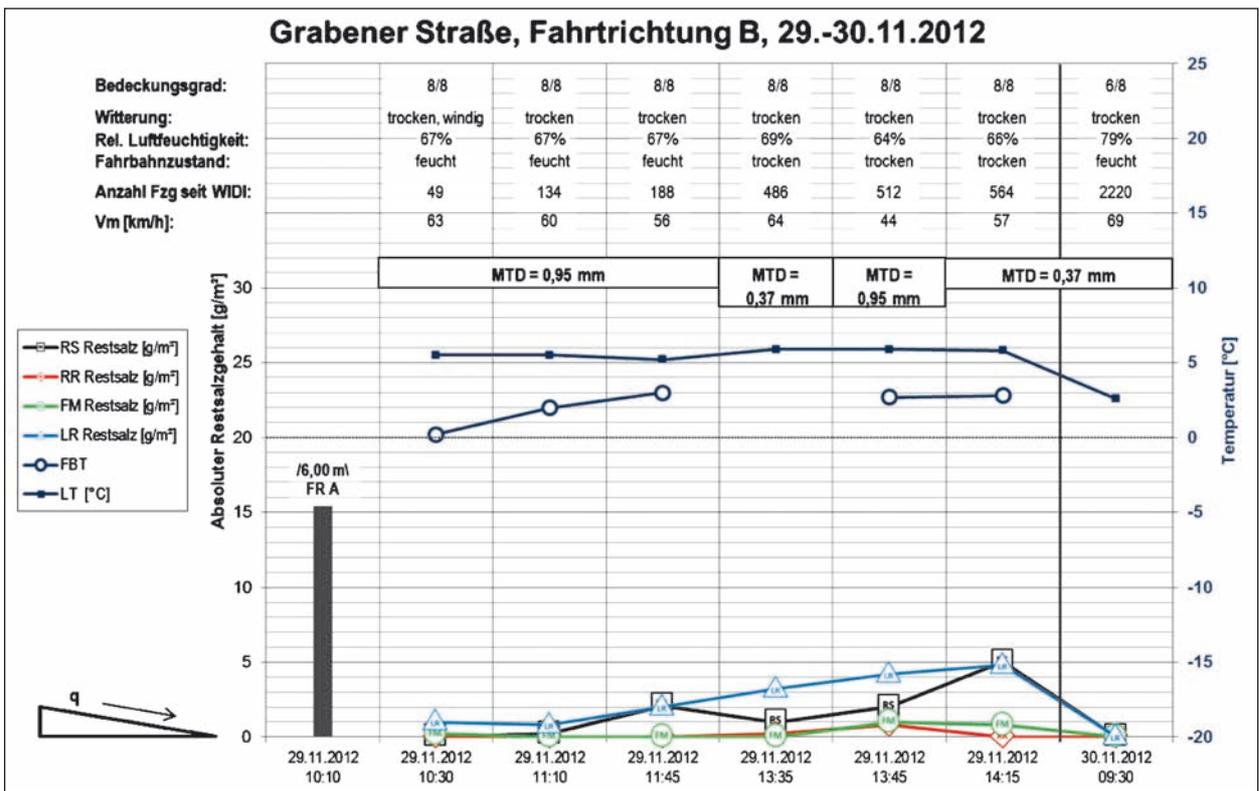


Bild 46: Messreihe KW 48-2012 auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung B, Karlsruhe

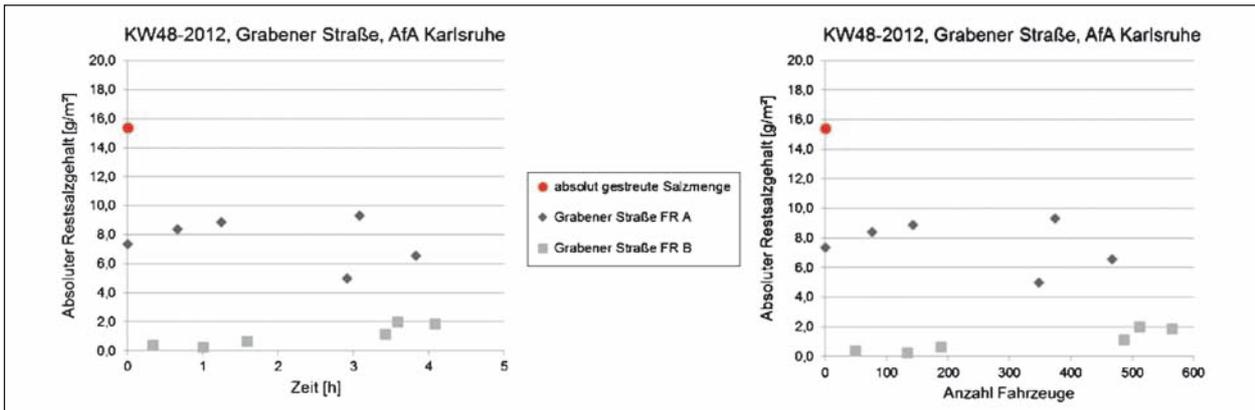


Bild 47: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihen auf der Grabener Straße in KW 13-2012, Karlsruhe

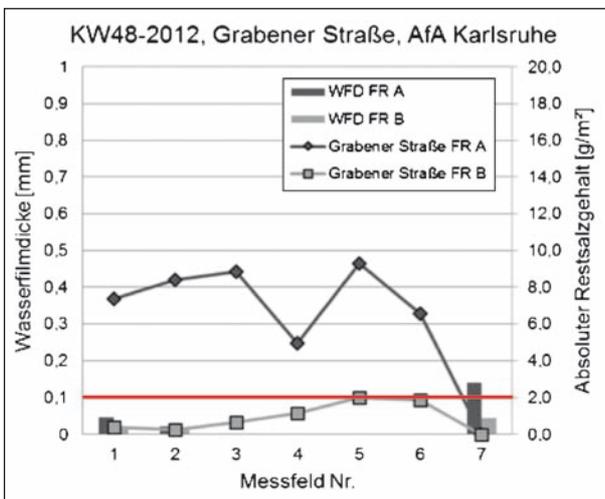


Bild 48: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 48-2012, Grabener Straße, Karlsruhe

werden. Auch kann dies dem überwiegend trockenen bis leicht feuchten Fahrbahnzustand zugeschrieben werden, der die Interpretation der Ergebnisse erschwert.

Anhand der Zusammenfassung der Ergebnisse (Bild 47) kann ausgesagt werden, dass eine Angleichung der Ergebnisse ausgeschlossen werden kann, insbesondere auch aufgrund des Fahrbahnzustandes, der überwiegend trocken bis leicht feucht war. Dennoch kann ausgesagt werden, dass der Restsalzgehalt auf der Strecke recht konstant geblieben ist, selbst nach mehr als 500 Fahrzeugüberrollungen.

In beide Fahrrichtungen konnte am Tag nach dem Streuvorgang durch erneuten Niederschlag am Vorabend und dadurch stark feuchten bis nassen

Fahrbahnzustand kein Salz mehr erfasst werden. Bild 48 macht zudem deutlich, dass die Querneigung auf der Grabener Straße nur einen sehr geringen Einfluss hat. Es handelt sich um einen recht alten Streckenabschnitt, bei dem teilweise die Festlegung der Querneigung schwierig war, auch aufgrund von Verformungen der Fahrbahndecke.

4.2.8 Messreihe Karlsruhe, KW 51-2012, L604

Gestreut wurden bei dieser Messreihe 20 g/m^2 (= $15,4 \text{ g/m}^2$ tauwirksamer Anteil) bei einer Streubreite von 5 m in Fahrtrichtung A. Auffällig beim Streuvorgang selbst war, dass ein recht großer Anteil über den Randstreifen hinaus direkt ins Bankett gestreut wurde (Bild 49 links). Bei näherer Betrachtung des Salzes, das im Bankett auf Gummimatten aufgefangen wurde, war ersichtlich, dass teilweise sehr große Salzkörner (bis zu 1 cm Durchmesser) vorhanden waren, bzw. Salzkörner miteinander verklebt waren (Bild 49 rechts). Warum das so war, konnte im Nachhinein nicht geklärt werden, die Laboruntersuchung des Tausalzes war unauffällig (siehe Anhang 6).

Durch das sehr ungleichmäßige, bzw. verschobene Streubild, wird hier nur die Messreihe in Fahrtrichtung A dargestellt und näher beschrieben (Bild 50), in Fahrtrichtung B konnte kein Salz festgestellt werden (Anhang 2.3). Trotz des Streuvorgangs in Fahrtrichtung A, waren die Messwerte dort unmittelbar nach dem Streuvorgang verhältnismäßig niedrig im Vergleich zu vorangegangenen Messreihen. Grund hierfür ist vermutlich das verschobene Streubild, sowie der trockene Fahrbahnzustand. Am Randstreifen war der Fahrbahn-



Bild 49: Streuvorgang auf der L 604 (links), großer Salzkörner im Bankett (rechts), KW 51-2012, Karlsruhe

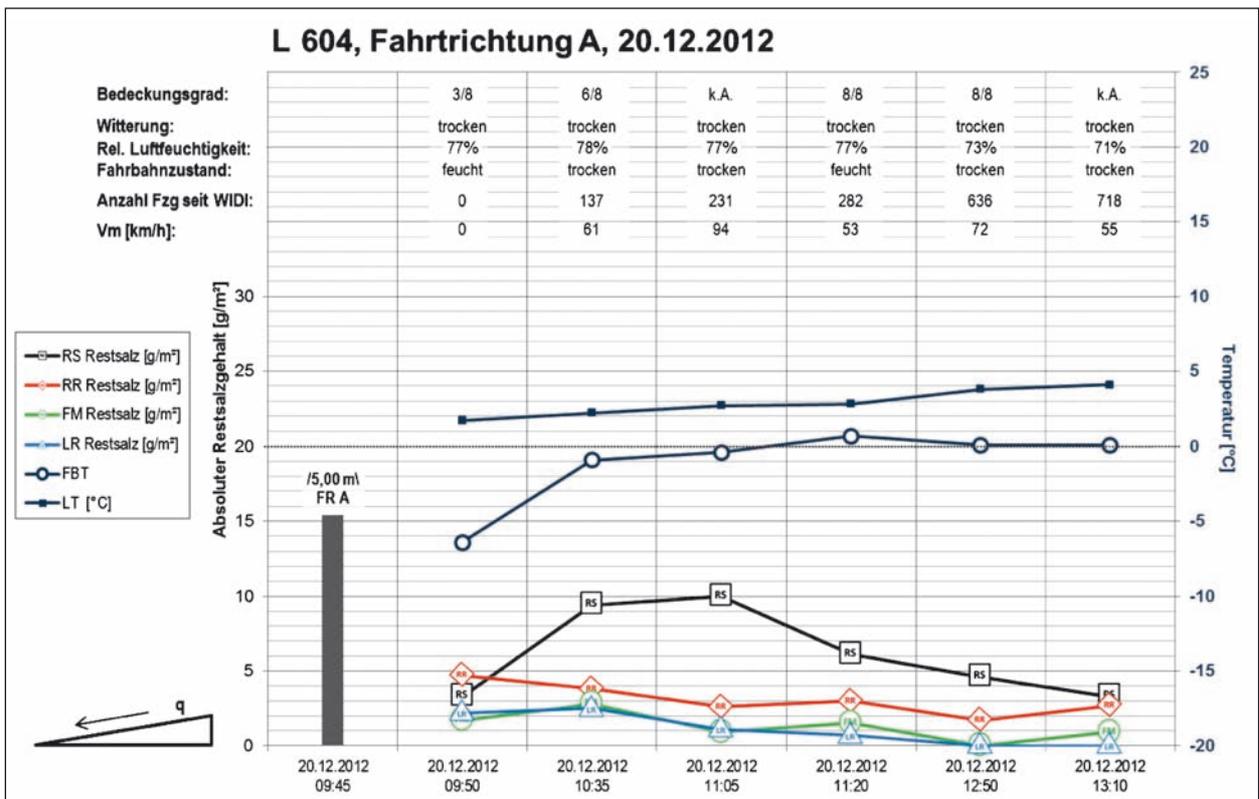


Bild 50: Messreihe KW 51-2012 auf der L 604 in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

zustand eher feucht. Mithilfe des Tuchtestes konnte allerdings keine Feuchte nachgewiesen werden, dies konnte nur aufgrund der dunkleren Fahrbahn visuell festgestellt werden (Bild 51). Dies (zusammen mit dem Streubild) könnte auch ein Hinweis sein für die deutlich höheren Werte auf dem Randstreifen.

Die Zusammenfassung der Messwerte zeigt zwar einen kontinuierlichen Rückgang des Restsalzgehaltes, allerdings ist durch den Streuvorgang sowie die Beschaffenheit des gestreuten Salzes keine aussagekräftige Schlussfolgerung möglich. Die Messreihe macht jedoch deutlich, dass sowohl die Streutechnik als auch die Salzbeschaffenheit wichtig für ein gleichmäßiges Streubild sind.



Bild 51: Fahrbahnzustand auf der L 604 in Fahrtrichtung A, KW 51-2012, Karlsruhe

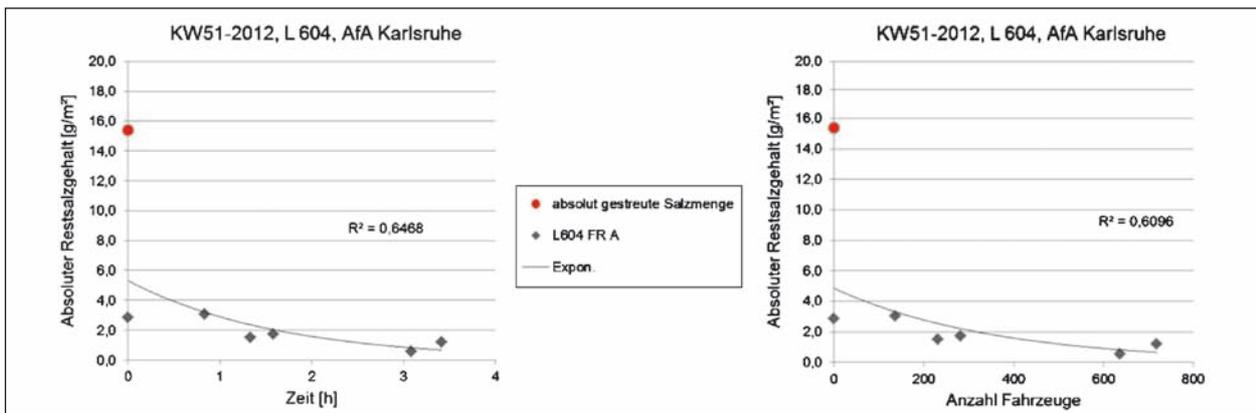


Bild 52: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihe auf der L 604, Fahrtrichtung A in KW 13-2012, Karlsruhe

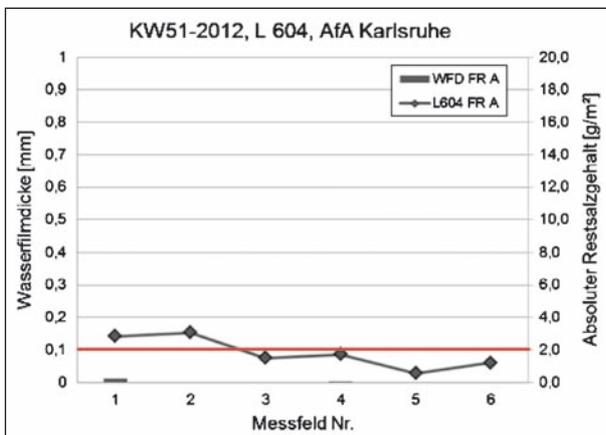


Bild 53: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 51-2012, L 604 FR A, Karlsruhe

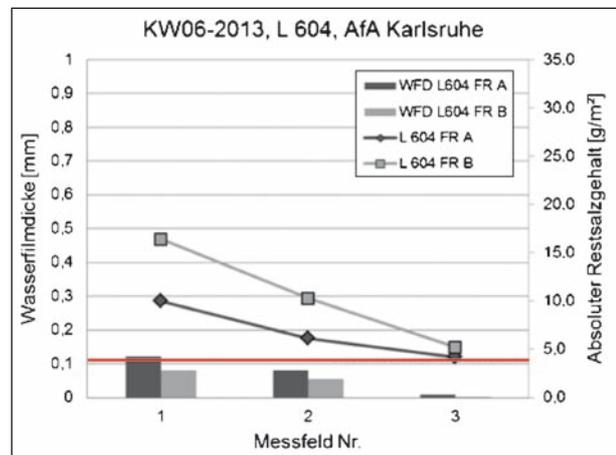


Bild 54: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 06-2013, L 604, Karlsruhe

4.2.9 Messreihe Karlsruhe, KW 06-2013

In dieser Messwoche mussten die Streudaten für die L 604 handgeschriebenen Winterdienstinsatzberichten entnommen werden, da die automatische Streu- und Wegdatenerfassung in diesem Bereich ausgefallen war. Eine Streubreite konnte dort nicht entnommen werden. Die Streudichte betrug in beide Fahrrichtungen jeweils 20 g/m^2 (insgesamt 40 g/m^2), was einem tauwirksamen Anteil von $30,8 \text{ g/m}^2$ entspricht. Ca. 5,5 Stunden nach dem Abstreuen der Fahrbahn wurden in Fahrtrichtung A im Mittel 10 g/m^2 (Bild 55), in Fahrtrichtung B $16,4 \text{ g/m}^2$ (Anhang 2.4) Restsalz detektiert. Daraufhin erfolgte eine kontinuierliche Abnahme des Restsalzgehaltes in beide Fahrrichtungen.

Bild 54 gibt deutlich den Verlauf der Wasserfilmdicke wieder. Zu erkennen ist dabei, dass bei feuchtem Fahrbahnzustand die Querneigung auf der L 604 nicht ausreicht, um Wasser (bzw. damit

auch Salz) aus Fahrtrichtung A (Querneigung nach innen) nach Fahrtrichtung B (Querneigung nach außen) zu verfrachten, im Gegensatz zum nassen Fahrbahnzustand der Messreihe in KW 48-2012 auf der L 604. Trotzdem gleichen sich die Restsalzgehalte in beide Fahrrichtungen nach und nach wieder an.

Auf der Querspange wurde am 07. und 08.02.2013 ebenfalls in beide Fahrrichtungen gestreut mit Streubreiten jeweils über 6 m. Dies entspricht wiederum einem tauwirksamen Anteil von $30,8 \text{ g/m}^2$. In den Nächten vom 06. auf den 07.02.2013 sowie vom 07. auf den 08.02.2013 hat es jeweils leicht geschneit. Trotz der recht hohen Streudichte sind am 07.02.2013 nach bereits knapp 500 Fahrzeugen in Fahrtrichtung A auf feuchter Fahrbahn (Bild 56) nur noch knapp 5 g/m^2 Restsalz erfasst worden. Ähnlich sieht es in Fahrtrichtung B aus (Anhang 2.4). Am 08.02.2013 liegen die Werte bei gleicher Streudichte sowohl in Fahrtrichtung A als auch in Fahrtrichtung B (bei

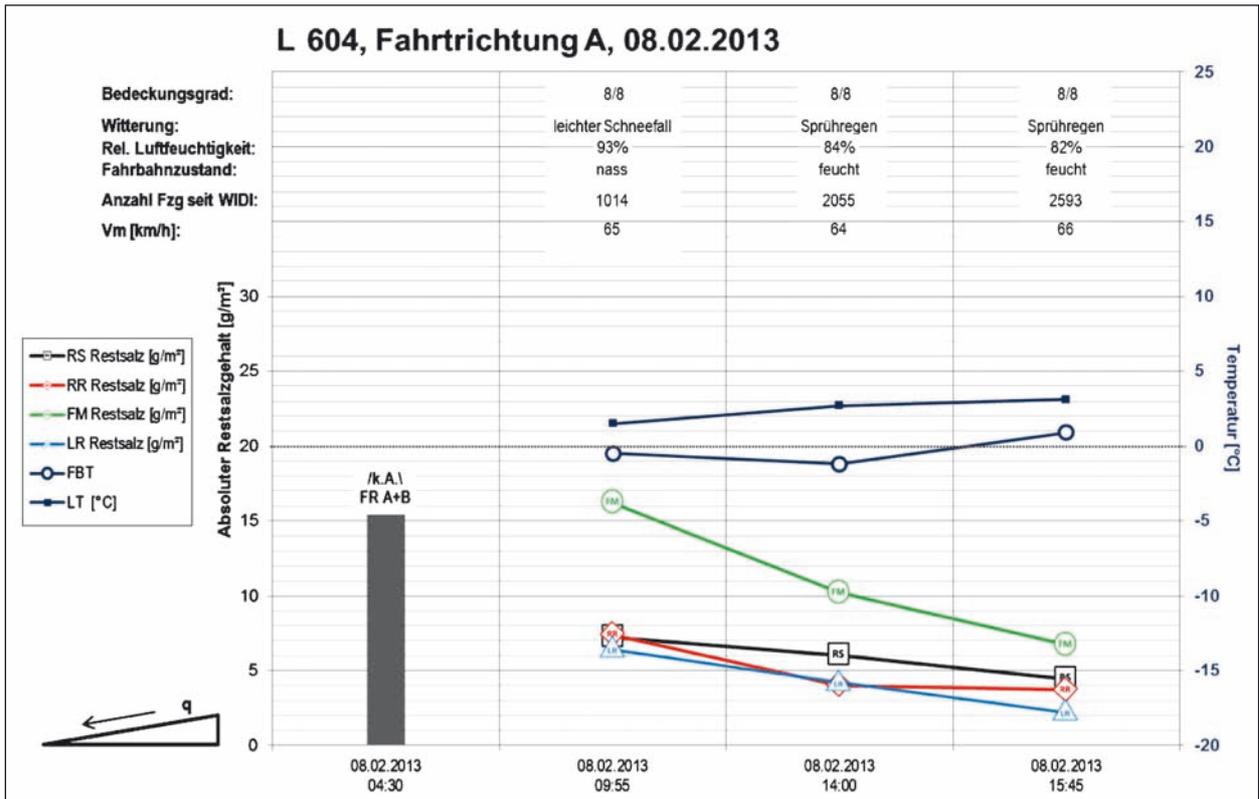


Bild 55: Messreihe KW 06-2013 auf der L 604 in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

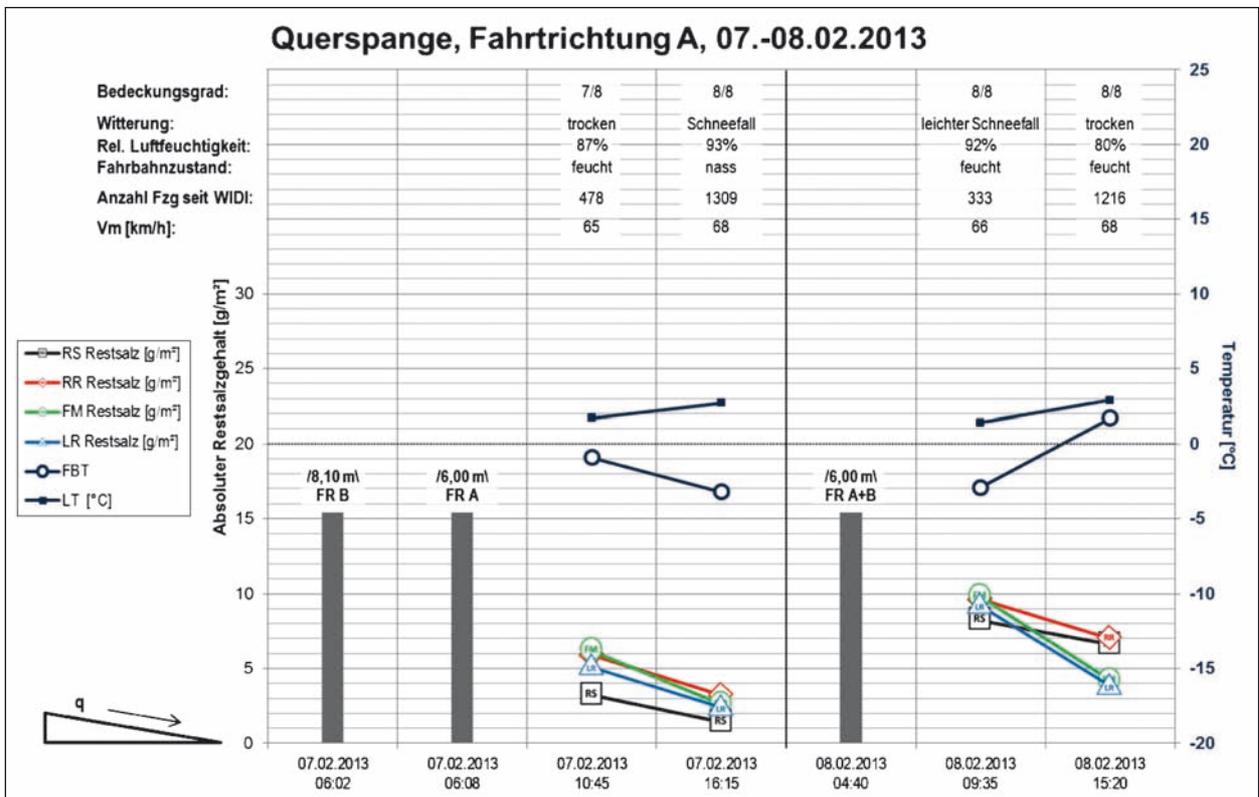


Bild 56: Messreihe KW 06-2013 auf der Querspange in Fahrtrichtung A, Karlsruhe

einer nur etwas geringeren Anzahl an Fahrzeugübergängen) deutlich höher. Besonders gut zu erkennen ist dies in Bild 57. Eventuell ist hierfür die Wasserfilmdicke, also die Wassermenge auf der Fahrbahn zum Zeitpunkt des Streuvorgangs (und danach bis zur jeweiligen Messung) verantwortlich (je mehr Wasser, desto mehr Salz kann in Lösung gehen und somit messtechnisch besser erfasst werden), oder Restsalz vom Vortag. Diese Werte

konnten jedoch nicht erfasst werden, weshalb weitere Erklärungen hierfür nicht gegeben werden können. Ferner ist auch bei dieser Messreihe ein Angleich der Messwerte der beiden Fahrtrichtungen eindeutig zu erkennen.

Nach dem Abstreuen der Grabener Straße in beide Fahrtrichtungen (ebenfalls mit 30,8 g/m² tauwirksamem Anteil) konnten in Fahrtrichtung B im Mittel leicht höhere Werte erfasst werden als in Fahrtrichtung A (siehe Bild 59 bzw. Anhang 2.4). Die Abnahme des Restsalzgehaltes lag jedoch an

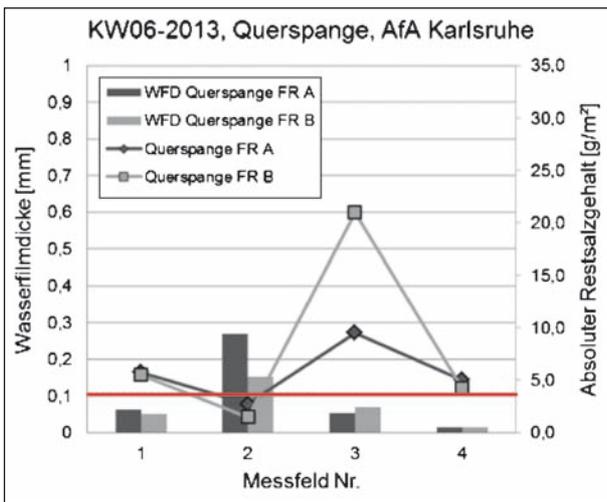


Bild 57: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 51-2012, Querspange, Karlsruhe



Bild 58: Brückenbauwerk auf der Grabener Straße mit Wasseransammlung am Randstreifen, KW 06-2013, Karlsruhe

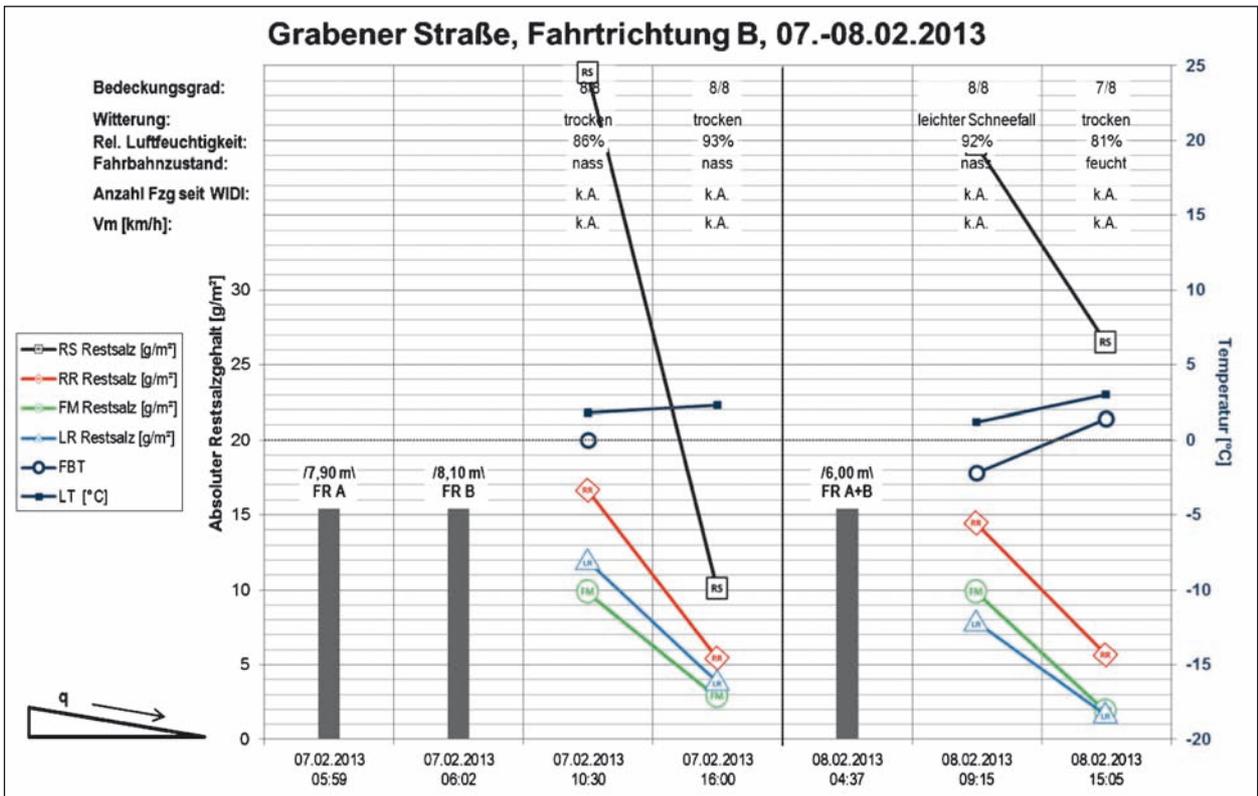


Bild 59: Messreihe KW 06-2013 auf der Grabener Straße in Fahrtrichtung B, Karlsruhe

beiden Tagen in der gleichen Größenordnung, trotz der sehr unterschiedlichen mittleren Oberflächentextur der beiden Fahrtrichtungen (Bild 60). Über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen kann keine Aussage getätigt werden, da das Radargerät an der Strecke ausgefallen war. Die sehr hohen Werte auf dem Randstreifen in Fahrtrichtung B sind damit zu erklären, dass die Messungen auf einer Brücke stattgefunden haben (mit der Querneigung nach außen, Bild 58) und sich dadurch Wasser, das nicht über ein Bankett abfließen konnte, angesammelt hat und Salz in Lösung gebracht hat.

Bei einer Streudichte von 40 g/m^2 (bzw. einem tauwirksamen Anteil von $30,8 \text{ g/m}^2$) und feuchter bis nasser Fahrbahn, ist nach längerer Zeit bzw. mehr Fahrzeugüberrollungen als bei geringerer Streudichte noch mehr Salz auf der Fahrbahn vorhanden

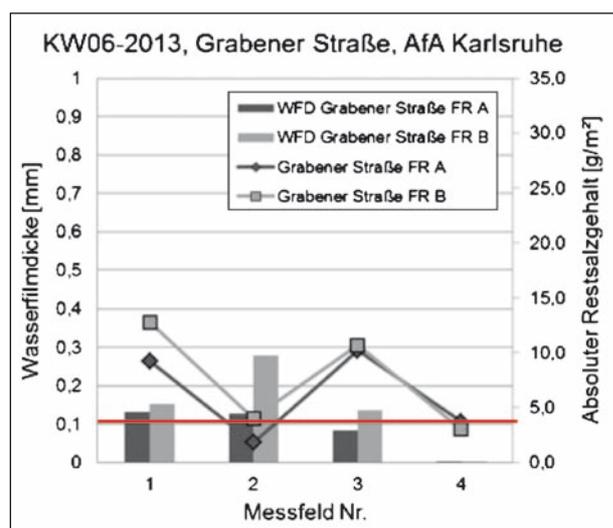


Bild 60: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 06-2013, Grabener Straße, Karlsruhe

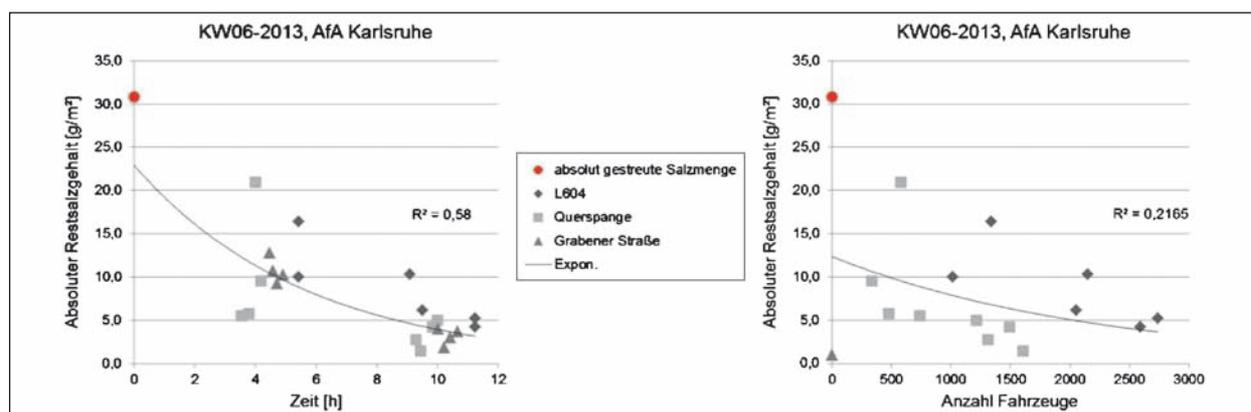


Bild 61: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) aller Messreihen in KW 06-2013, Karlsruhe

(Bild 61). Dies wird insbesondere auch ersichtlich beim Vergleich der Messreihen mit denen aus KW 04-2012. Wird aber beispielsweise bei der Präventivstreuung darauf geachtet, dass im näheren zeitlichen Umfeld vor einem Glätteereignis gestreut wird, ist auch keine erhöhte Streudichte erforderlich, die länger auf der Straße liegen bleibt, da ein Großteil des Salzes direkt nach dem Streuen von der Fahrbahn verdrängt wird (hohe Anfangsverluste).

4.2.10 Messreihe KW 07-2013

Die Witterung in dieser Messwoche war kalt mit Temperaturen um 0 °C und ohne Niederschlag. Stellvertretend ist hier für alle Messreihen die Querspange in Fahrtrichtung A wiedergegeben (Bild 63), alle anderen finden sich in Anhang 2.5 wieder.

Vom 11. bis zum 14.02.2013 haben keine Winterdienstesätze stattgefunden. Am 15.02.2013 hat es fast den kompletten Tag stark geschneit (Bild 62), sodass Winterdienstesätze gefahren wurden. Diese sind in der automatischen Streu- und Wegdatenerfassung jedoch nicht erfasst, weswegen die gemessenen Restsalzgehalte in den Diagrammen ohne Information über Winterdienstesätze angegeben werden. Im weiteren Verlauf wird auf den 15.02.2013 deswegen nicht weiter eingegangen.

Werden die Tage vom 11. bis zum 14.02.2013 betrachtet, ist festzustellen, dass sich auf allen Messstrecken ein festgetrockneter Salzfilm befunden hat (bspw. Bild 64 links und Mitte). Zudem waren teilweise festgetrocknete Solespuren auf der Fahrbahn zu erkennen (Bild 64 rechts). An den Salzgehalten hat sich über diese vier Tage auf allen Messstrecken kaum etwas geändert, d. h. selbst nach

bis zu 10.000 Fahrzeugüberrollungen war der Restsalzgehalt gleich geblieben. Wenn Salz, nachdem es in Lösung gegangen ist aufgrund trockener Witterung auf der Fahrbahn wieder auskristallisiert,

kann dieses über mehrere Tage auf der Fahrbahn verbleiben. Hier kann von einem sogenannten „Impregnierungseffekt“ (NIEBRÜGGE, 2011) gesprochen werden.



Bild 62: Winterliche Verhältnisse am 15.02.2013 auf der L 604 (links), der Querspange (Mitte) und der Grabener Straße (rechts)

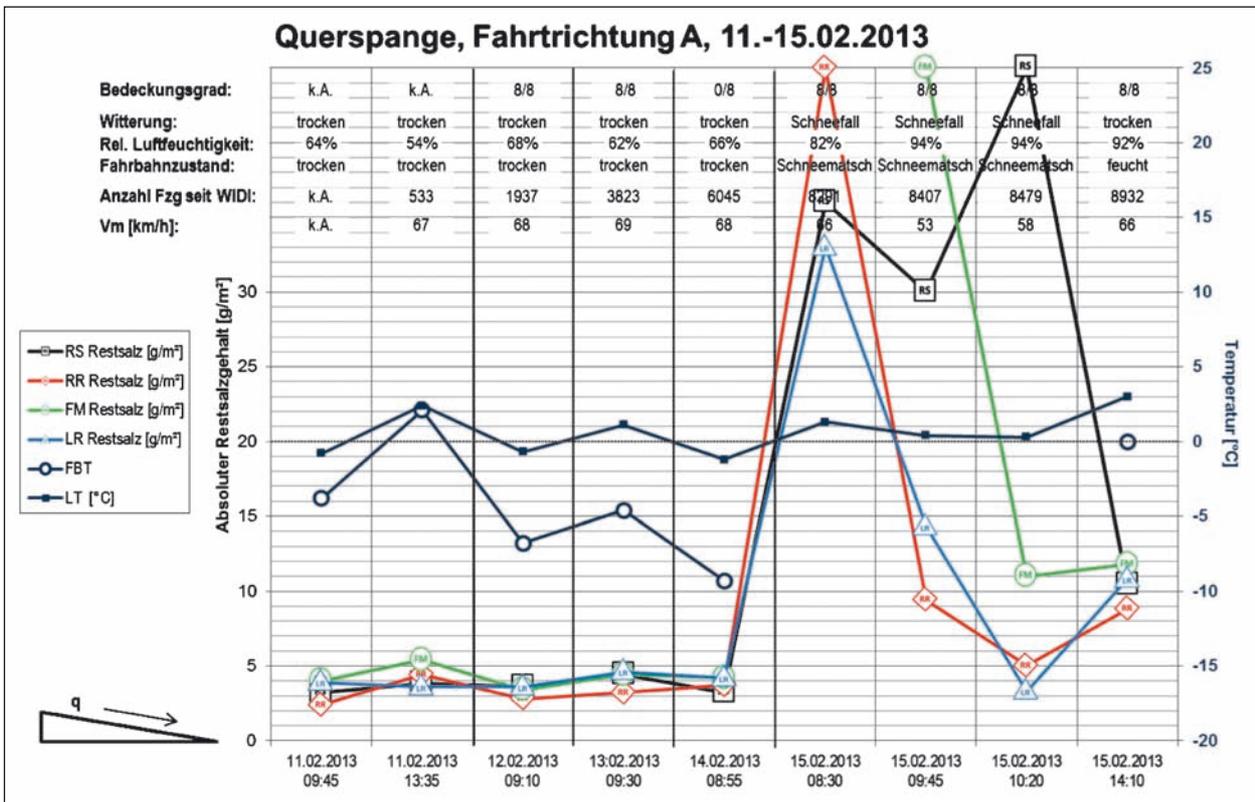


Bild 63: Messreihe KW 07-2013 auf der Querspange in Fahrtrichtung A, Karlsruhe



Bild 64: Angetrockneter Salzfilm auf der Querspange (links), der L 604 (Mitte) und angetrocknete Solespuren auf der Querspange (rechts)

4.3 Messreihen Gernsbach

4.3.1 Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Gernsbach

Tabelle 4 gibt die Messreihen im Bereich Gernsbach wieder. Bei allen Messungen kam FS 30 (NaCl + NaCl-Sole) bzw. u. a. aufgrund eines Defektes der Solepumpe am Fahrzeug auch Trockensalz zum Einsatz.

4.3.2 Messreihe KW 03-2012

Bei der Nullmessung am 16.01.2012 auf der L66b_a in Fahrtrichtung A (Bild 66) ist gegen 12:30 Uhr in allen Messspuren nur 1,0 g/m² Restsalz nachweisbar. Am Tag darauf (17.01.2012) konnte nur Trockensalz (10 g/m² bei 3 m Streubreite) gestreut werden. Die gemessenen Werte liegen ebenfalls bei 1 g/m². Am nächsten Tag konnte nach einem Streuvorgang mit FS 30 (7,7 g/m² tauwirksamer Anteil bei einer Streubreite von 3 m) bei einer ähnlichen Anzahl von Fahrzeugübergängen und einer gleichen mittleren Geschwindigkeit aller

Fahrzeugübergänge von 68 km/h geringfügig mehr Salz nachgewiesen werden. Die Ursache für den geringen Restsalzgehalt liegt sehr wahrscheinlich an der Messtechnik und der trockenen Witterung, an beiden Tagen war es zum Zeitpunkt der Messung trocken und sonnig (Bild 65 links).

Am darauffolgenden Tag (19.01.2012), an dem morgens kein Winterdienstinsatz stattgefunden hat, konnte ein geringfügiger Anstieg des Salzgehaltes festgestellt werden, trotz einer vergleichsweise hohen Anzahl an Fahrzeugübergängen (840 seit der letzten Messung). Der Fahrbahnzustand war aufgrund von Nieselregen feucht bis nass. Eine Erklärung dafür könnte die hohe mittlere Oberflächentexturtiefe der Deckschicht in Fahrtrichtung A von 1,81 mm sein: Salzkörner haben sich in Hohlräumen festgesetzt. Die gefahrenen Geschwindigkeiten waren zu niedrig, um das Salz aufgrund der Sogwirkung der Reifen aus den Poren zu verdrängen. Durch die feuchte Witterung konnte es dann in Lösung gehen und sich etwas verteilen, was messtechnisch bedingt zu den etwas höheren Messergebnissen geführt haben könnte. In Fahrtrichtung B

KW-Jahr	Bemerkungen	Datum	Strecke	Salzart
Trockene Fahrbahn				
03-2012		16.-19.01.2012	L66b_a	Trockensalz und FS 30 NaCl
03-2012		16.-19.01.2012	L66b_b	Trockensalz und FS 30 NaCl
03-2012		16.+18.01.2012	L66b_c	Trockensalz und FS 30 NaCl
Trockene bis feuchte Fahrbahn				
08-2012		20.-23.02.2012	L66b_a	FS 30 NaCl
08-2012		20.-23.02.2012	L66b_b	FS 30 NaCl
08-2012		20.-23.02.2012	L66b_b	FS 30 NaCl
Trockene Fahrbahn				
47-2012		22.+23.11.2012	L66b_a	Trockensalz NaCl
Trockene bis nasse Fahrbahn				
47-2012		21.-23.11.2012	L66b_b	Trockensalz NaCl
47-2012		21.-23.11.2012	L66b_c	Trockensalz NaCl
08-2013		19.-21.02.2013	L66b_a	FS 30 NaCl
08-2013		19.-21.02.2013	L66b_b	FS 30 NaCl
08-2013		19.02.2013	L66b_c	FS 30 NaCl
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
09-2013		25.02.-01.03.2013	L66b_a	Trockensalz NaCl
09-2013		25.02.-01.03.2013	L66b_b	Trockensalz NaCl
09-2013		25.02.-01.03.2013	L66b_c	Trockensalz NaCl

Tab. 4: Übersicht über alle Messreihen im Bereich Gernsbach

(Anhang 3.1) zeigt sich ein ähnliches Ergebnis, es sind ebenfalls konstante Messwerte zu erkennen.

Im Messbereich L66b_c wurden jeweils zwei Messungen unmittelbar hintereinander in die gleiche Fahrtrichtung durchgeführt. Wie in Bild 65 rechts zu erkennen, liegt der Streckenabschnitt teilweise im Wald. Die Messungen wurden durchgeführt, um evtl. Unterschiede zwischen einer im Schatten und einer in der Sonne gelegenen Strecke festzustellen.

Die Nullmessung am 16.01.2012 in Fahrtrichtung A zeigt einen ähnlichen Salzgehalt auf der Sonnenstrecke wie im Schattenbereich (Bild 68). Am Mor-

gen des 17.01.2012 wurden wieder zwei Messungen durchgeführt. Beide Abschnitte lagen allerdings wegen des Sonnenstandes zu diesem Zeitpunkt im Schatten. Obwohl am Morgen nur eine Trockensalzstreuung durchgeführt wurde, kann ein erheblicher Salzgehalt auf der Fahrbahn festgestellt werden. Wieviel davon jedoch von vorausgegangenen Messungen stammt und wieviel des Trockensalzes von Fahrzeugen (ca. 50 Stück) seit dem Winterdiensteseinsatz verdrängt wurde, kann nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Von diesem Streckenabschnitt (gelegen auf fast 900 m ü. NN) bekannt ist jedoch die Tatsache, dass über Nacht bzw. durch Nebel oder tief hängende Wolken oft ein feuchter



Bild 65: Trockene Witterung auf der L66b_a (links), in der Sonne und im Schatten gelegenes Teilstück der L66b_c (rechts)

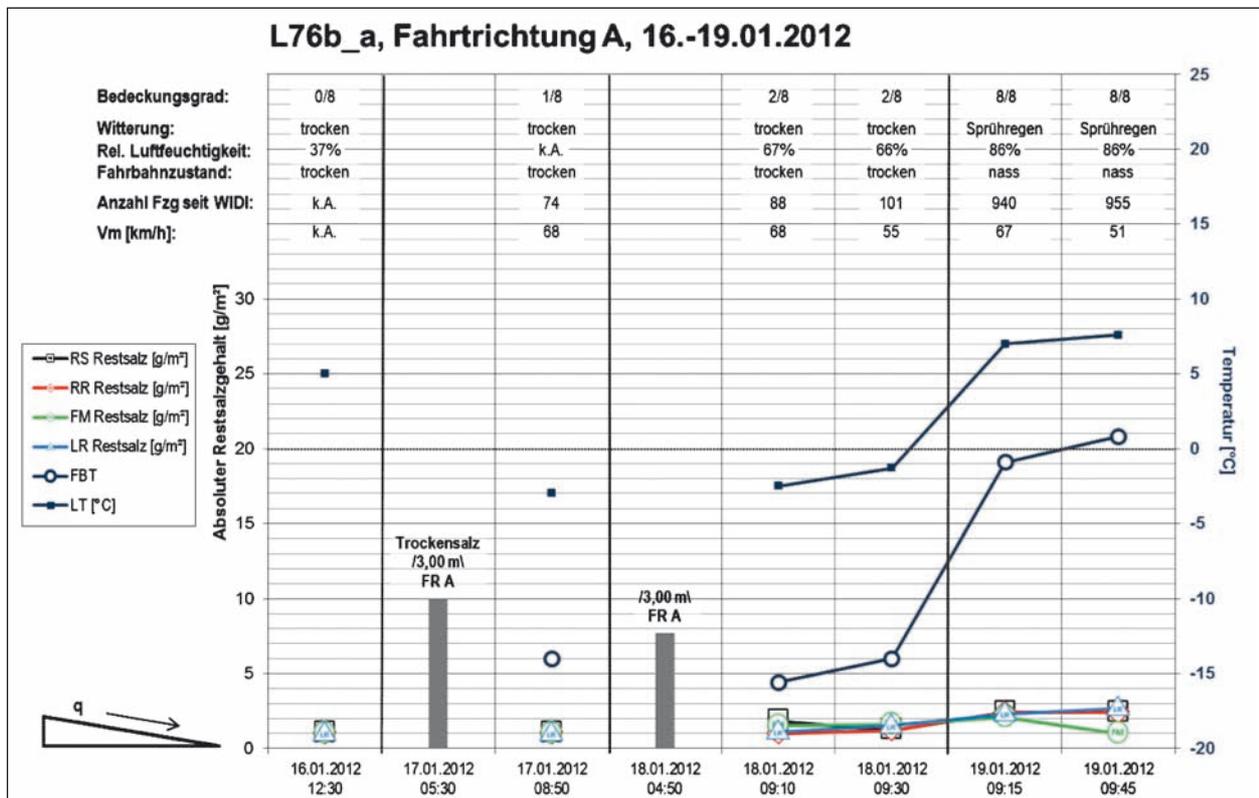


Bild 66: Messreihe KW 03-2012 auf der L66b_a in Fahrtrichtung A, Gernsbach

bis nasser Fahrbahnzustand vorliegt (siehe auch Messreihe 47-2012, Kapitel 4.3.5 mit Nebel). Bild 67 links belegt dies durch die weißen Salzränder die sich über Nacht gebildet haben. Bild 67 in der Mitte zeigt Salzränder der Messung vom Tag zuvor, ein eindeutiger Hinweis, dass ein noch recht großer Tausalzanteil auf der Straße vorliegt, Bild 67 rechts zeigt zusammengefedgte Salzreste vom Randstreifen. Dies sind alles Hinweise für den noch recht hohen Restsalzgehalt.

falls ein Feuchtsalzeinsatz durchgeführt. Bei der Messung ca. sechs Stunden später und nach einer Anzahl von nur 42 Fahrzeugüberfahrten war kaum noch Salz feststellbar. Der Fahrbahnzustand war nass bei starkem Nebel, sodass nur wenige Fahrzeugübergänge notwendig waren, um das Salz von der Fahrbahn zu verdrängen, bzw. es ist mit dem Regenwasser von der Fahrbahn abgelaufen. Bild 69 zeigt die Witterungsverhältnisse an diesem Tag.

Bei der Messung am 18.01.2012 um die Mittagszeit kann nach einem morgendlichen Streueinsatz mit Feuchtsalz ein erhöhter Salzgehalt zum Tag zuvor festgestellt werden. Die Gründe hierfür sind die schon genannten. Am 19.01.2012 wurde eben-

Die Messergebnisse in Fahrtrichtung B zeigen ein ähnliches Bild wie in Fahrtrichtung A (Anhang 3.1). Es können sowohl am 17.01.2012 als auch am 18.01.2012 relativ hohe Salzgehalte festgestellt werden. Dabei machte es keinen Unterschied, ob



Bild 67: Salzränder aufgrund von Feuchtigkeit über Nacht (links) bzw. durch ein altes Messfeld (Mitte). Zusammengekehrte Salzreste vom Randstreifen (rechts)

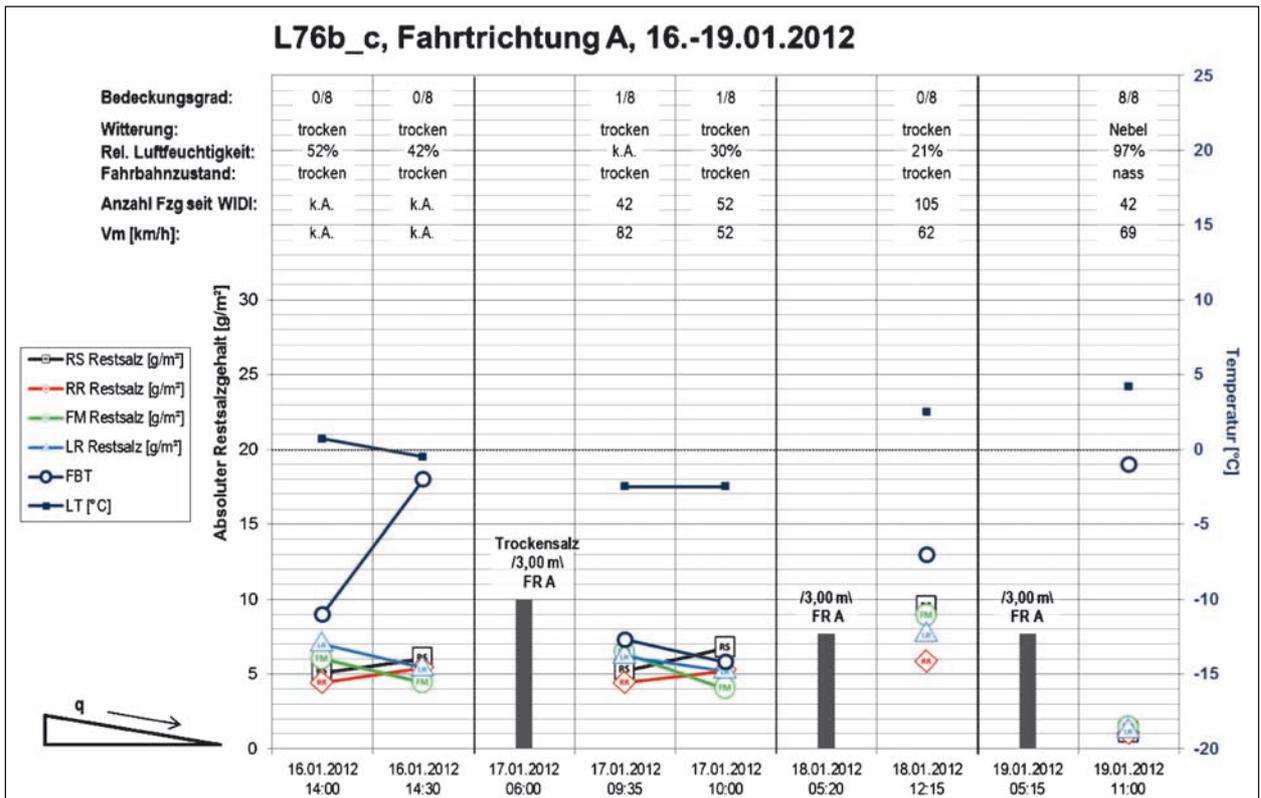


Bild 68: Messreihe KW 03-2012 auf der L66b_c in Fahrtrichtung A, Gernsbach



Bild 69: Witterungsverhältnisse am 19.01.2012, L66b_c, Gernsbach

die Strecke (zumindest zum Zeitpunkt der Messung) im Schatten oder in der Sonne lag.

An der Messstrecke L66b_b wurden am 17.01.2012 keine Messungen durchgeführt (Anhang 3.1). Am 18.01.2012 lagen die Messwerte in beiden Fahrtrichtungen etwas über denen der Messstrecke L66b_c. Die Anzahl der Fahrzeugübergänge zum Zeitpunkt der Messung lag höher als an der Messstrecke L66b_c. Die mögliche Ursache könnte die Lage der Messstrecke sein. Sie liegt an einem Westhang, den die Sonne erst relativ spät erreicht und daher der Fahrbahnzustand länger kalt und feucht bleibt, die Höhenlage ist ähnlich zur Messstrecke L66b_c. So kann mehr Salz in Lösung gehen und wieder abtrocknen, was wiederum zu höheren (realistischeren) Ergebnissen führt und im Fall zuvor zu niedrigeren.

4.3.3 Messreihe KW 08-2012

Die Witterungsverhältnisse in diesem Messzeitraum waren sehr winterlich. Auf dem Bankett und Randstreifen lag im Bereich L66b_a teilweise Schnee, auf den höhergelegenen Streckenabschnitten L66b_b und L66b_c lagen dort mehrere Zentimeter Schnee (Bild 70). Nachts gab es vermehrt starken Frost. Es ist davon auszugehen, dass an allen Messtagen früh morgens Winterdienstesätze durchgeführt wurden. Es konnten jedoch nicht alle Einsätze verifiziert werden.

Auf der Messstrecke L66b_a in Fahrtrichtung A wurde bei jeder Messung Salz auf der Fahrbahn festgestellt (Bild 72). Am 21.02.2012 konnte unmittelbar nach dem Winterdienstesatz und noch einmal nach knapp 500 Fahrzeugübergängen gemessen



Bild 70: Witterungsverhältnisse am 20.02.2012, KW 08-2012, L66b_a (links) und L66b_b (rechts), Gernsbach

sen werden. Gestreut wurden 20 g/m^2 mit einer Streubreite von 2 m auf trockener Fahrbahn in Fahrtrichtung A. Der zeitliche Abstand der Messungen betrug etwa 3,5 Stunden. Es ist zu erkennen, dass selbst nach knapp 550 Fahrzeugen (mit einer mittleren Geschwindigkeit von knapp 60 km/h) immer noch eine ähnliche Menge an Salz auf der Straße lag wie bei der ersten Messung. Die Messwerte scheinen aber im allgemeinen etwas niedrig zu sein, was der Messtechnik zugeschrieben werden kann.

In Fahrtrichtung B (Anhang 3.2) sind die Ergebnisse am 21.02.2012 ähnlich. Allerdings kann ein leichter Rückgang des Salzgehaltes festgestellt werden nach nur knapp 300 Fahrzeugübergängen, aber mit einer mittleren Geschwindigkeit von 70 km/h. Am gleichen Tag wurde eine Matte im Bankett ausgelegt, um zu überprüfen, wieviel Salz beim Streuen über den Fahrbahnrand hinaus getragen wurde (Bild 71). Die aufgenommene Salzmenge betrug auf ca. $2 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ knapp 4,5 g, entsprechend ca. $4,5 \text{ g/m}^2$.

Bild 74 gibt u. a. die Messreihe an der Messstrecke L66b_c in Fahrtrichtung A wieder. Besonders auffällig hierbei ist der 21.02.2012. Hier fand gegen 5:00 Uhr morgens ein Streuvorgang statt. Nach knapp 250 Fahrzeugübergängen bei einer mittleren Geschwindigkeit von 65 km/h konnten ca. 3 g/m² bei feuchter Fahrbahn festgestellt werden. Weitaus mehr, nämlich 7 g/m², konnten auf dem Randstreifen gemessen werden. Die mögliche Ursache hierfür ist vermutlich Schneematsch, der Salz zum Lösen gebracht hat. Bei einer weiteren Messung ca. 3 Stunden später konnte desweiteren ein gene-

reller Anstieg des Salzgehaltes in allen Messspuren festgestellt werden. Eine mögliche Ursache stellt die einsetzende Sonneneinstrahlung dar (Bild 73). Durch diese wird der Schnee am Fahrbahnrand geschmolzen und läuft querneigungsbedingt über die Fahrbahn. Die Flüssigkeit bringt das übrige Salz in Lösung, was wiederum vom Messgerät als höhere Salzkonzentration detektiert wird.

Ähnliche Verhältnisse herrschten am 21.02.2012 an der L66b_c in Fahrtrichtung B (Bild 76). Besonders in der rechten Rollspur waren stark erhöhte



Bild 71: Salzaufnahme im Bankett am 21.02.2012, KW 08-2012, Gernsbach



Bild 73: Sonneneinstrahlung auf die Fahrbahn, L66b_c, Fahrtrichtung A, Gernsbach

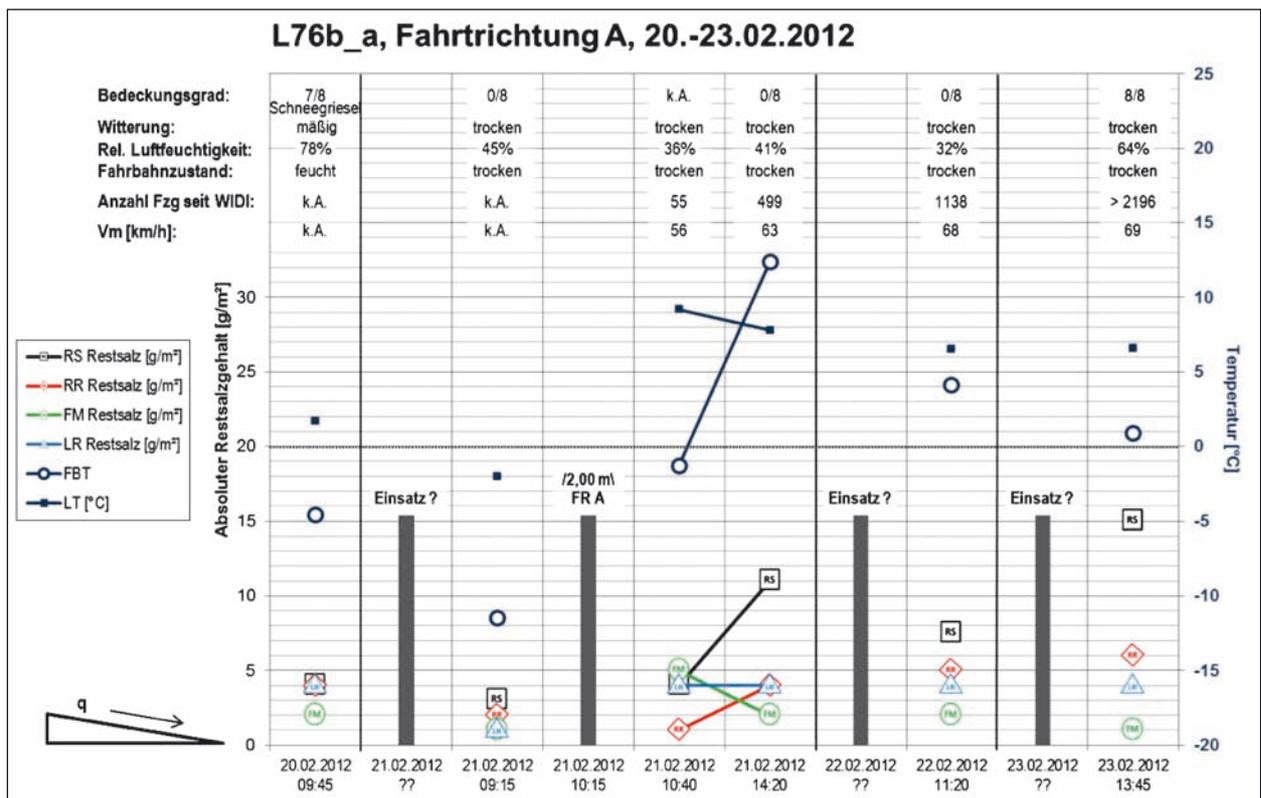


Bild 72: Messreihe KW 08-2012 auf der L66b_a in Fahrtrichtung A, Gernsbach

Werte messbar. Der Fahrbahnzustand in der rechten Rollspur hob sich deutlich vom Rest der Fahrbahn ab, er war sehr stark feucht bis nass. Der Schnee vom Fahrbahnrand wurde durch das Salz aufgetaut und schmilzt zusätzlich aufgrund der Sonneneinstrahlung. Das (Salz-)Wasser fließt über die Fahrbahn und bringt dort das verbliebene Salz in Lösung, wodurch das Messgerät höhere, bzw. realistischere Werte angibt.

Generell sind in Bild 75 rechts die sehr unterschiedlichen Fahrbahnzustände sehr gut zu erken-

nen. Aufgrund des sehr geringen Verkehrsaufkommens und der oberflächlich stark beanspruchten Fahrbahndecke, ist kaum eine homogene Verteilung des Salzgehaltes auf der Straße möglich, was sehr wahrscheinlich zu den (vermutlich nicht nur messtechnisch) bedingten unterschiedlichen Ergebnissen geführt hat.

Ähnliches kann bei der nachfolgenden Messung festgestellt werden (Bild 76, 15:45 Uhr, nach 417 Fahrzeugübergängen seit dem Winterdienstesinsatz). In diesem Fall sind alle Werte leicht erhöht.

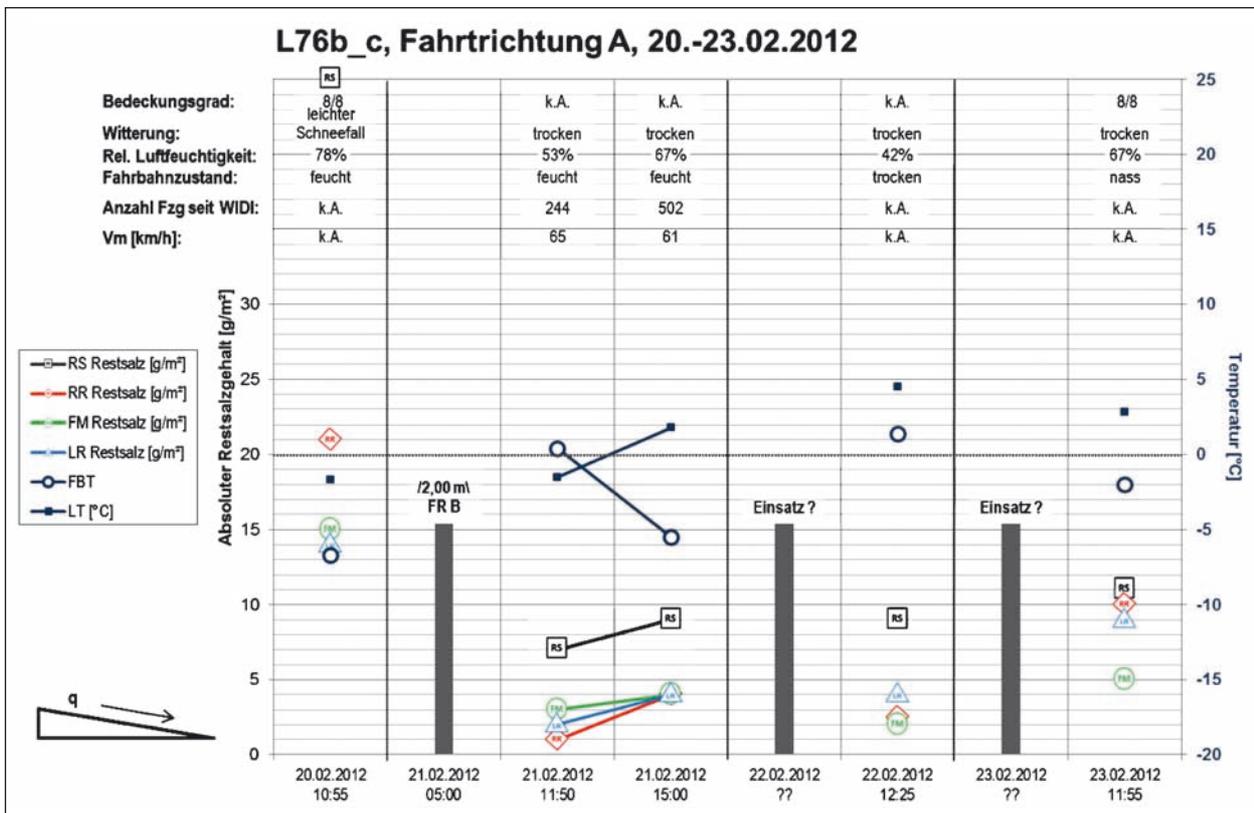


Bild 74: Messreihe KW 08-2012 auf der L66b_c in Fahrtrichtung A, Gernsbach



Bild 75: Unterschiedliche Fahrbahnzustände aufgrund von Schneematsch und Sonneneinstrahlung, 21.02.2012, L66b_c, Gernsbach

Anhang 3.2 gibt die Messreihe an der Messstrecke L66b_b in Fahrtrichtung A wieder. Auffällig sind auch hier die sehr hohen Werte am 23.02.2012, 09:20 Uhr im Randstreifenbereich von 24 g/m^2 . Der Streuvorgang unmittelbar vor der nächsten Messung hat in entgegengesetzter Fahrtrichtung stattgefunden mit einer Streubreite von nur 2 m. Danach wurde ein geringerer Wert von 15 g/m^2 auf dem Randstreifen in Fahrtrichtung A ermittelt, die anderen Werte waren alle leicht erhöht. Eine genaue Begründung kann auch hier nur die sehr geringe Verkehrsstärke und die inhomogene Salzverteilung durch unterschiedliche Fahrbahnzustände zusammen mit der Messtechnik sein. Zudem ist die Querneigung in dieser Fahrtrichtung zum Fahr-

bahnrand hin geneigt. Das könnte auch dafür sprechen, dass durch Flüssigkeit/geschmolzenen Schnee Salz von der anderen Fahrbahnseite in den Randstreifen verfrachtet worden ist (zu erkennen auch am Ablauf der Messflüssigkeit in Bild 77 links). Dies würde auch die relativ niedrigen Werte im Randstreifenbereich in der anderen Fahrtrichtung begründen (Bild 78). Hauptaugenmerk liegt allerdings auf der letzten Messreihe am 23.02.2012. Unmittelbar nach dem Streuvorgang um 10:10 Uhr konnten Restsalzgehalte von 3 g/m^2 (RS und RR) bis 7 g/m^2 (FM) bei trockener Fahrbahn ermittelt werden. Um die Straße künstlich zu befeuchten wurde um 10:45 Uhr Schneematsch auf die Fahrbahn gestreut (Bild 77 Mitte). Die anschließende

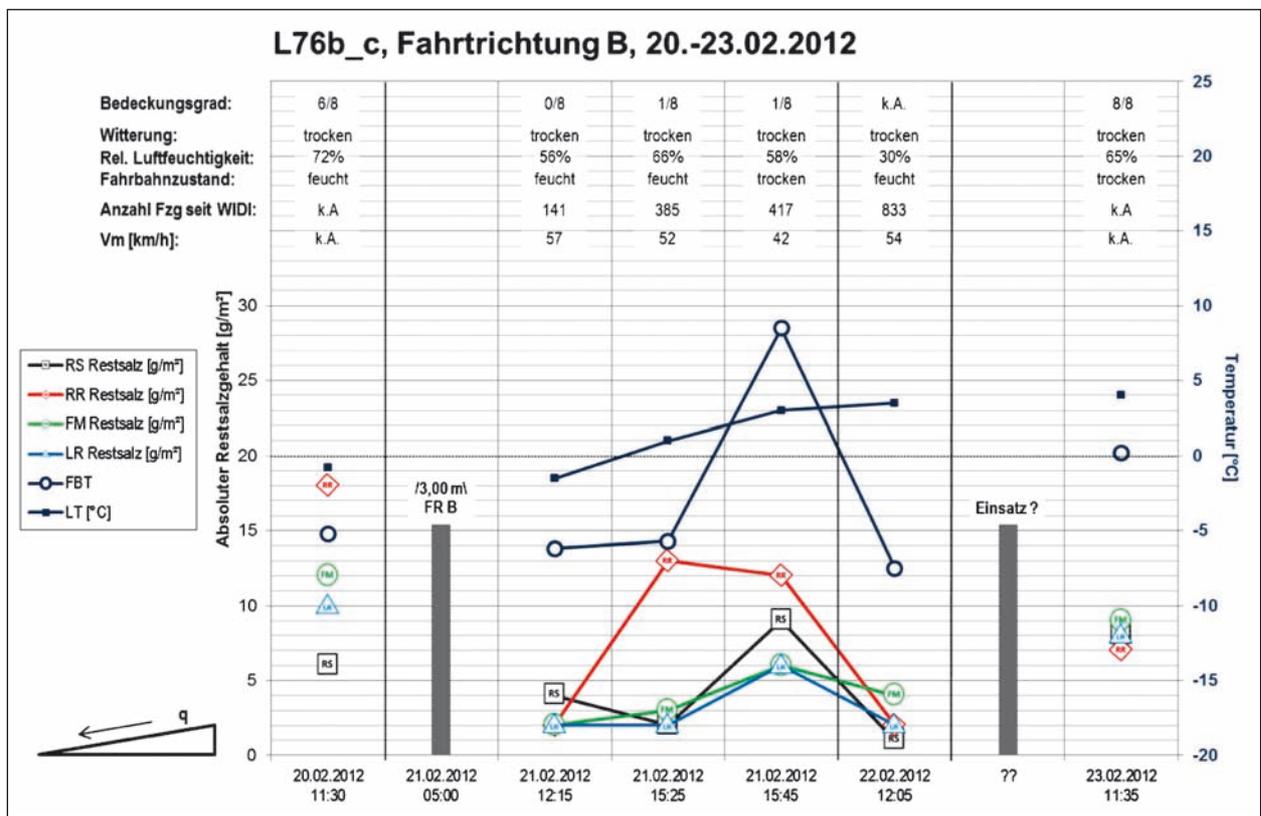


Bild 76: Messreihe KW 08-2012 auf der L66b_c in Fahrtrichtung B, Gernsbach



Bild 77: Ablauf der Messflüssigkeit von der Fahrbahn (links), L66b_b, Fahrtrichtung A; Künstliche Anfeuchtung der Fahrbahn mit Schnee (Mitte) und nach 16 Fahrzeugübergängen (rechts), L66b_b, Fahrtrichtung B, Gernsbach

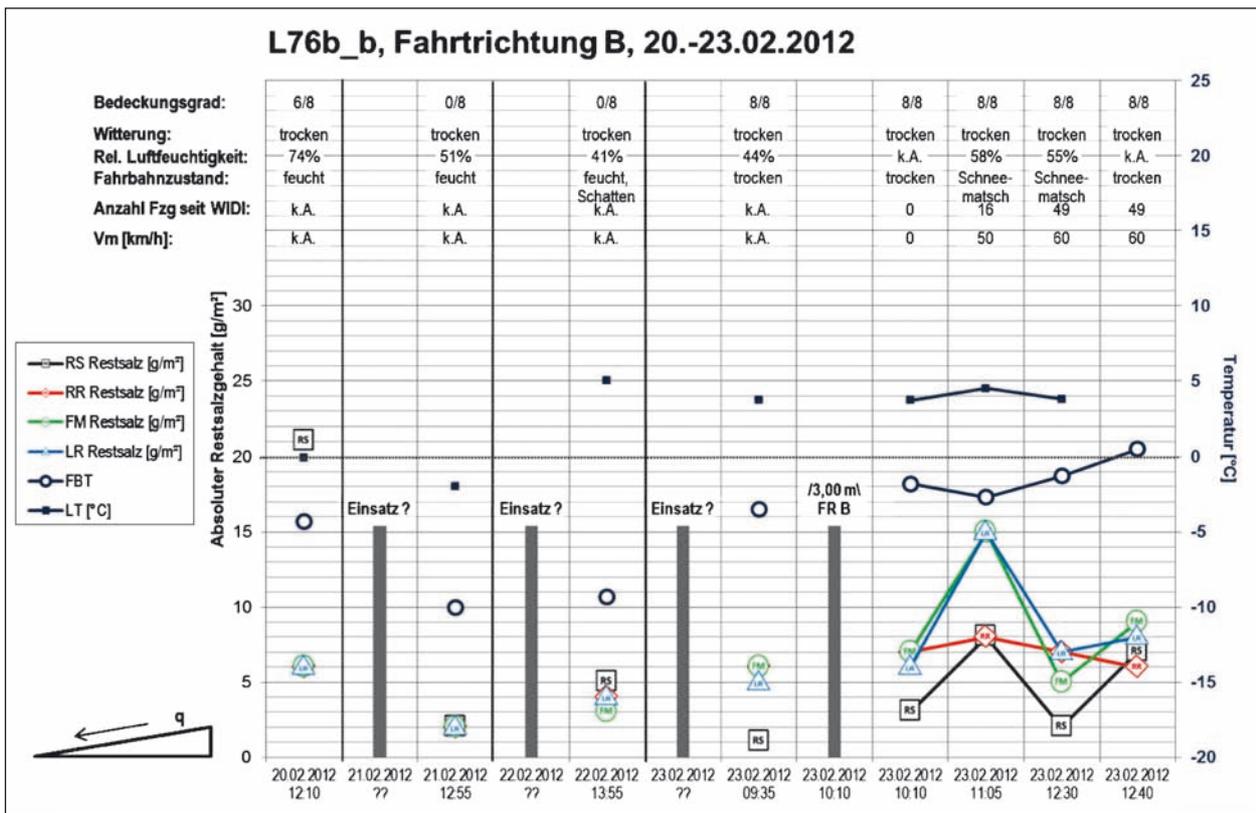


Bild 78: Messreihe KW 08-2012 auf der L66b_b in Fahrtrichtung B, Gernsbach

Messung (nach 16 Fahrzeugübergängen, Bild 77 rechts) ergab deutlich höhere Werte als unmittelbar nach dem Streuvorgang. Danach wurde die Straße wieder für den Verkehr komplett freigegeben, bevor nach ca. 50 Fahrzeugübergängen wieder eine Messung auf einem zuvor zum gleichen Zeitpunkt (10:45 Uhr) befeuchteten Messfeld durchgeführt wurde. Die Werte sind in etwa gleich wie bei der Messung unmittelbar nach dem Streuvorgang, also geringer als bei der Messung auf feuchter Fahrbahn. Dies deutet auf einen deutlichen Einfluss des Verkehrs auf die Liegedauer bei feuchter Fahrbahn hin. Eine Testmessung auf einem trockenen Messfeld, ebenfalls nach 50 Fahrzeugübergängen gibt wiederum Werte in der gleichen Größenordnung an wie unmittelbar nach dem Streuen. Auch dies lässt auf eine relativ lange Liegedauer auf trockener Fahrbahn schließen, was auch die Ergebnisse anderer Messreihen bestätigt.

4.3.4 Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_a

Vor der eigentlichen Messung im Bereich L66b_a wurde die Strecke mit 20 g/m² Trockensalz und 5 m Streubreite in Fahrtrichtung A abgestreut. Überraschend niedrig waren die Messwerte in Streurichtung, dort konnten im Mittel lediglich 0,6 g/m² Salzgehalt festgestellt werden, dieser änderte sich auch kaum bei den zwei darauffolgenden Messungen (Bild 79). Bei der Messung in die andere Fahrtrichtung konnten jedoch Werte von im Mittel knapp 8,5 g/m² (ohne RS) festgestellt werden (Bild 80).

Als Grund ist hier das sehr ungleichmäßige Streubild zu nennen. Obwohl in Fahrtrichtung A gestreut wurde, wurde das Salz hauptsächlich in entgegengesetzter Fahrtrichtung abgelegt wie in Bild 81 deutlich zu erkennen ist. Zusätzlich wurde das gestreute Salz im Bankett auf Gummimatten aufgefangen. In Fahrtrichtung B wurden 14 g/m² gemessen. Auch bei einem darauffolgenden Streuver such (KW 42-2012, L66b_c) konnte diese Problematik festgestellt werden. Dies zeigt deutlich, dass eine gute Justierung des Streuers unbedingt notwendig ist, idealerweise mehrmals in einer Winterperiode.

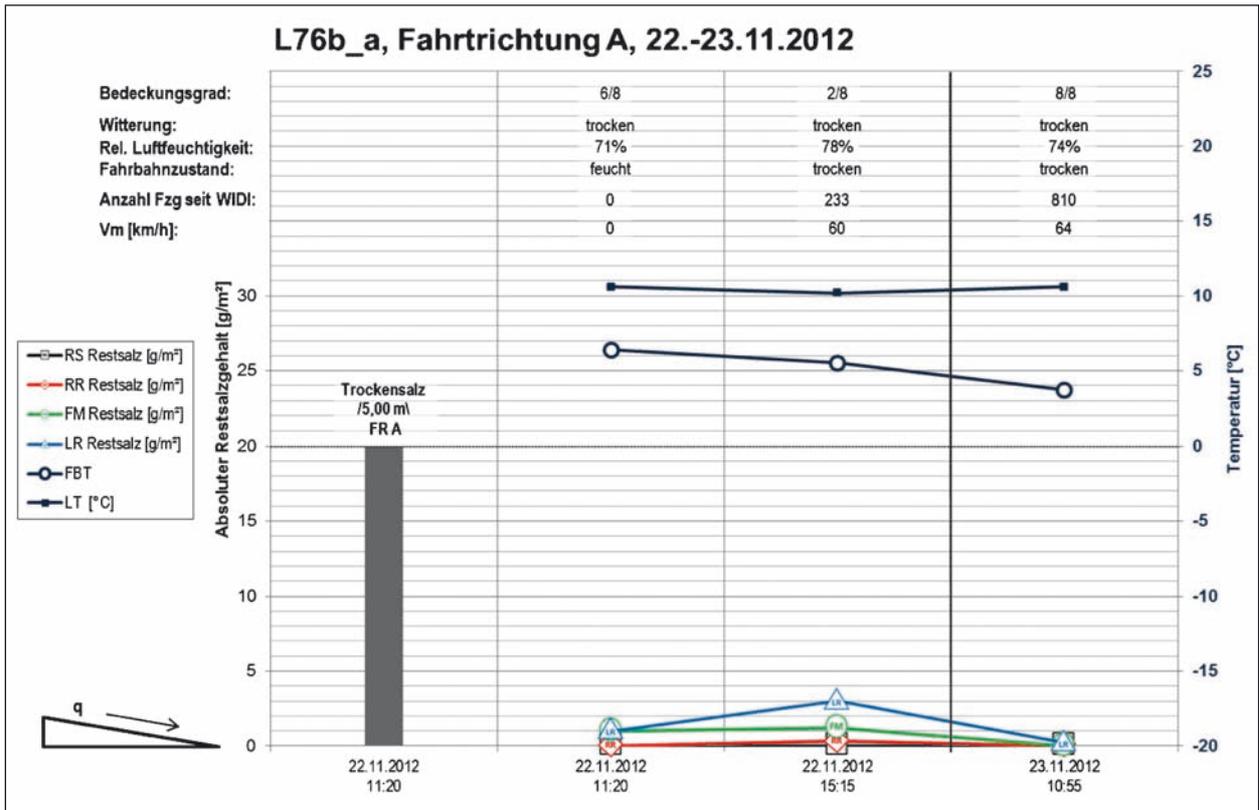


Bild 79: Messreihe KW 47-2012 auf der L66b_a in Fahrtrichtung A, Gernsbach

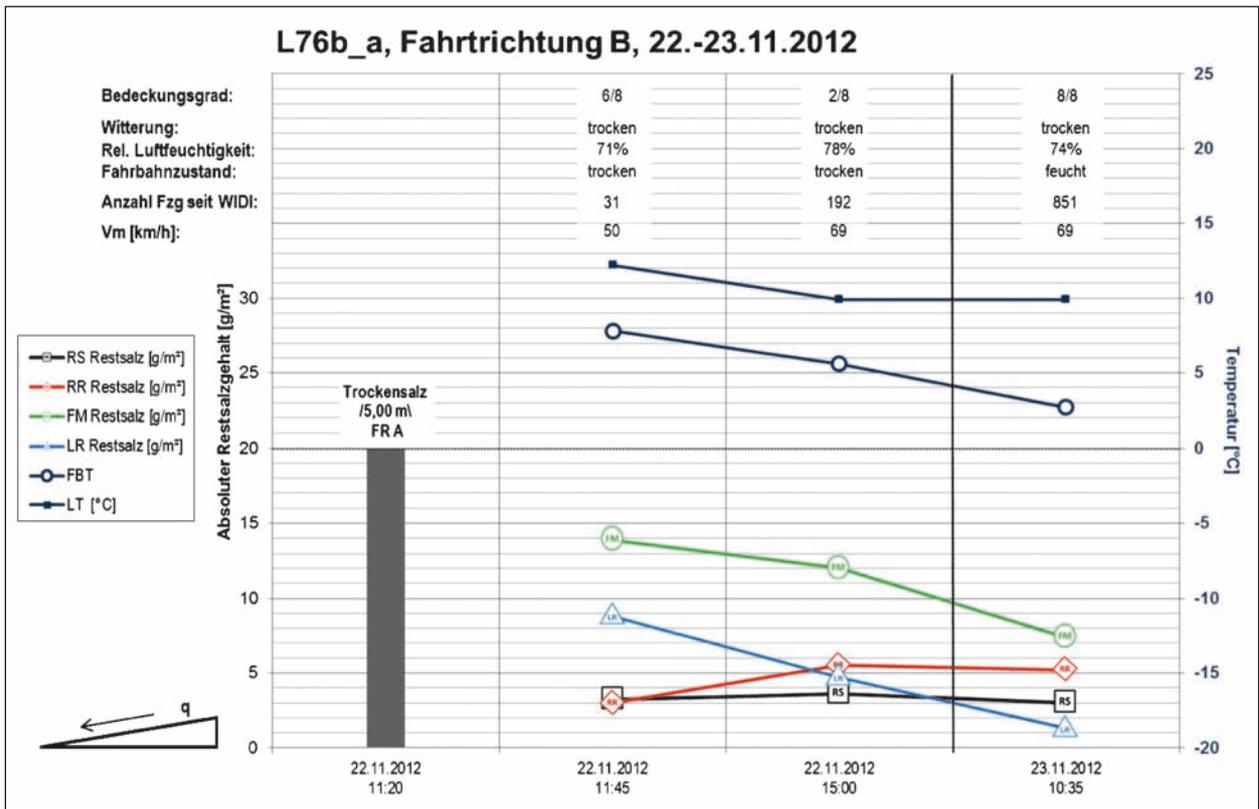


Bild 80: Messreihe KW 47-2012 auf der L66b_a in Fahrtrichtung B, Gernsbach



Bild 81: Ungleichmäßige Streubild, L66b_a; Fahrtrichtung A, KW 47-2012, Gernsbach

4.3.5 Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_b

Bild 82 oben zeigt die Witterungsverhältnisse am 22.02.2012 auf dem Streckenabschnitt L66b_b. Über die komplette Messreihe in beide Fahrrichtungen wurde immer ein feuchter bzw. nasser Fahrbahnzustand festgestellt. Dies lag hauptsächlich am Nebel bzw. an den tief hängenden Wolken und zudem an der Lage an einem Westhang. Niederschlag durch Regen oder Schnee kann über die drei Messtage ausgeschlossen werden. Eine stetige Abnahme des Restsalzgehaltes konnte festgestellt werden (Bild 84 und Anhang 3.3). Dass der Wasserfilm auf der Fahrbahn mit bestehender Längsneigung einen nennenswerten Einfluss haben kann, zeigt Bild 82 unten. Nachdem der Tuchtest (in Fahrtrichtung A, gegen 10:35 Uhr) durchgeführt wurde, war der entstandene trockene Fleck auf der Fahrbahn nach ca. 1 min schon wieder mit Wasser bedeckt. Daraus kann gefolgert werden, dass mit dem Wasser auch darin gelöstes Salz von der Fahrbahn fließt. Zudem zeigt Bild 83, dass auch bei dieser Messreihe (wie zuvor schon bei den Karlsruher Messreihen beschrieben) die Querneigung eine Rolle bei der Wasserverteilung (bzw. Tausalzverteilung) der Fahrbahn spielt. In Fahrtrichtung A, wo die Querneigung nach außen hin geneigt ist, wurde beim Tuchtest immer eine höhere Wasserfilmdicke festgestellt als in Fahrtrichtung B.

Des weiteren gibt Bild 83 wieder, dass der Salzgehalt bei höherer Wasserfilmdicke deutlich schneller abnimmt als bei geringerer. Dies ist hier so stark ausgeprägt, dass sich die Restsalzgehalte über die Zeit wieder angleichen. Dabei ist allerdings auch ersichtlich, dass der Salzgehalt auf der feuchteren

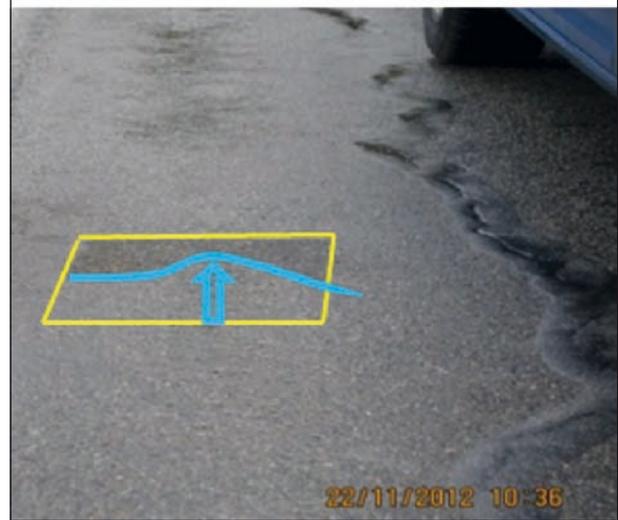


Bild 82: Witterungsverhältnisse (links) und Fahrbahnzustand 1 min nach Tuchtest (rechts) am 22.11.2012, L66b_b, KW 47-2012, Gernsbach

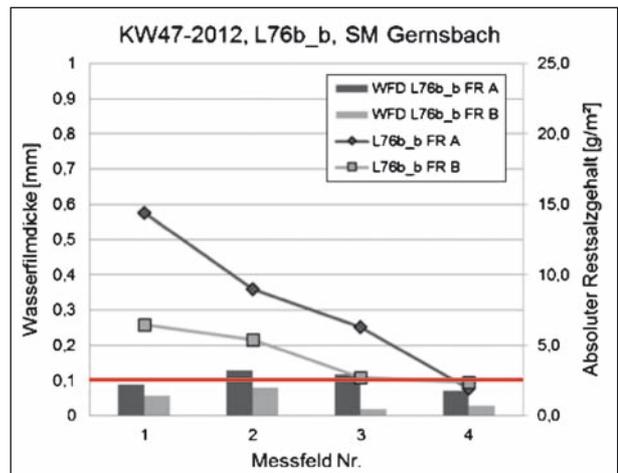


Bild 83: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 47-2012, L66b_b, Gernsbach

bzw. nassen Fahrbahnseite deutlich schneller abnimmt, als in die andere Fahrtrichtung. Zudem hält das Salz auf feuchter Fahrbahn nicht ganz so lange wie bei anderen Messreihen auf feuchter Fahrbahn.

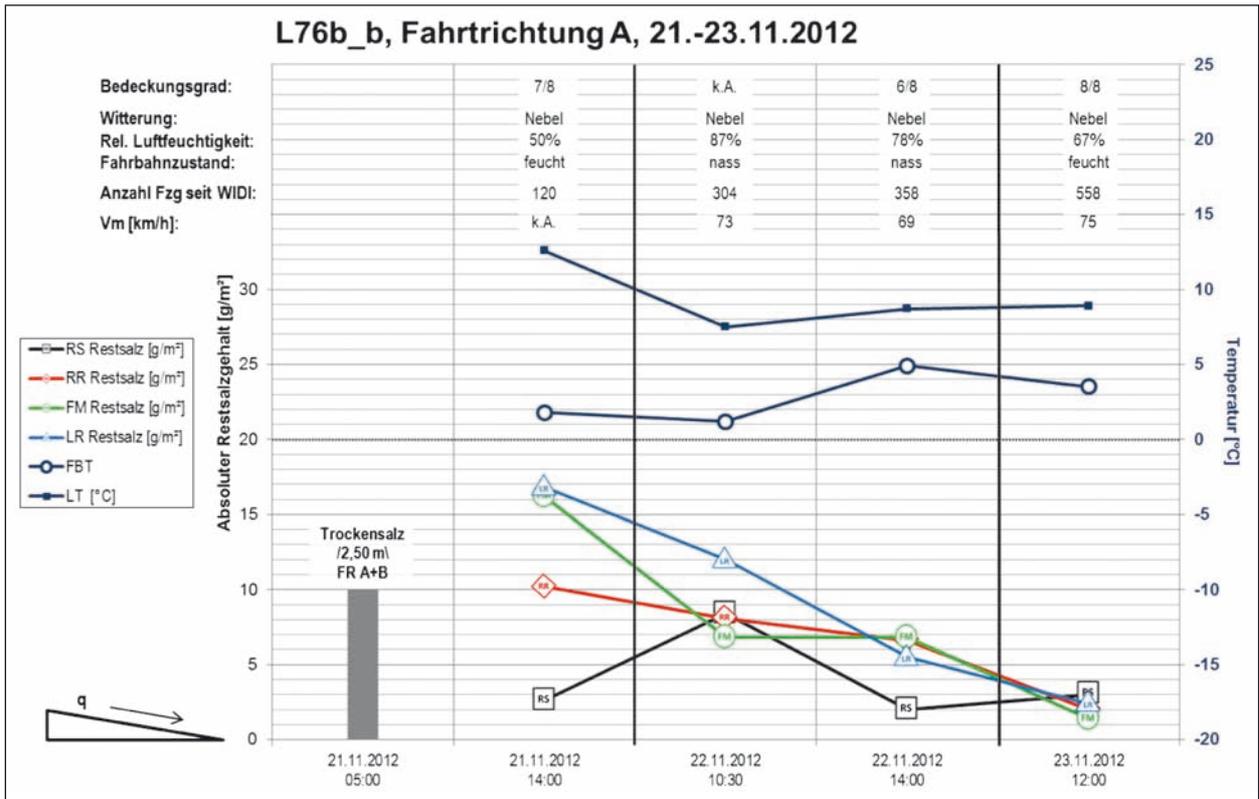


Bild 84: Messreihe KW 47-2012 auf der L66b_b in Fahrtrichtung A, Gernsbach

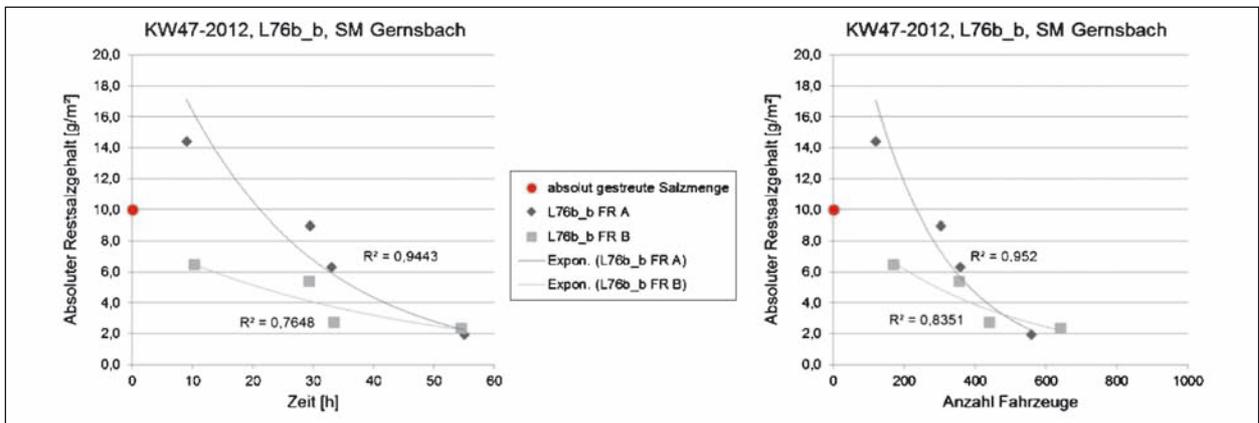


Bild 85: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihe L66b_b in KW 47-2012, Gernsbach

Der Einfluss der Längs- und Querneigung kann also auch den Einfluss des Verkehrs auf die Tausalzabnahme ersetzen bzw. beschleunigen (Bild 85).

4.3.6 Messreihe Gernsbach, KW 47-2012, L66b_c

In dieser Messreihe ist erneut der Effekt des ungleichmäßigen Streuers zu erkennen, da nur in eine Fahrtrichtung gestreut wurde. Nach dem Streuvorgang konnten in Fahrtrichtung B (Bild 87) deutlich

höhere Werte gemessen werden als in Fahrtrichtung A (Anhang 3.3). Gestreut wurden 10 g/m² Trockensalz in Fahrtrichtung A am 21.11.2012 gegen 11:20 Uhr. Auf Bild 86 ist die Tausalzverteilung durch eine Teilerneuerung der Fahrbahn und aufgrund des trockenen Fahrbahnzustandes (in Fahrtrichtung B) sehr gut zu erkennen. Nach ca. 5 Fahrzeugübergängen hat sich auf dem Randstreifen an der Verteilung kaum etwas geändert (Bild 86 links), über den Fahrstreifen verteilt sind kaum noch Salzkörner in der Rollspuren zu erkennen (Bild 86



Bild 86: Tausalzverteilung nach ca. 5 Fahrzeugen auf dem Randstreifen (links), auf dem kompletten Fahrstreifen (Mitte) und nach ca. 30 Fahrzeugen auf dem Fahrstreifen (rechts)

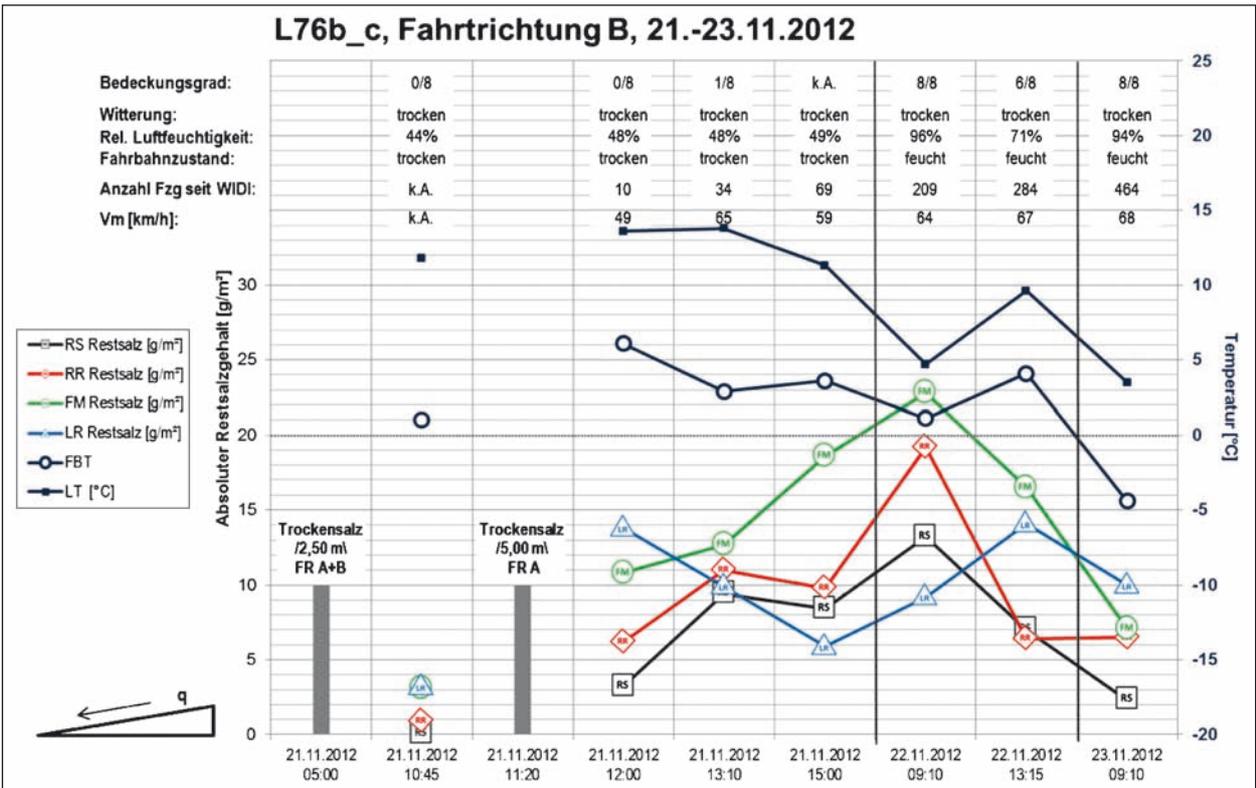


Bild 87: Messreihe KW 47-2012 auf der L66b_c in Fahrtrichtung B, Gernsbach

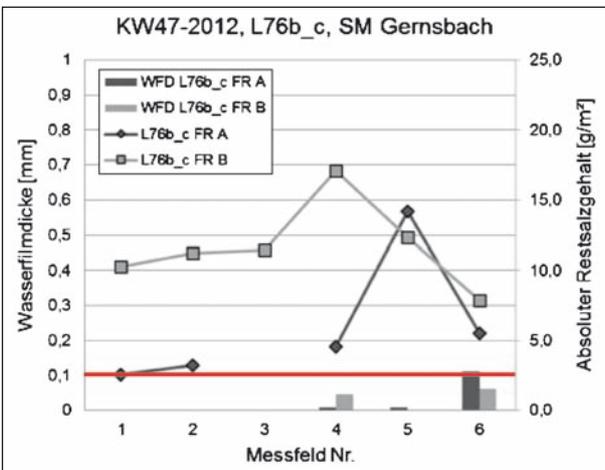


Bild 88: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 47-2012, L66b_c, Gernsbach

Mitte). Nach knapp 30 Fahrzeugen ist vom Salz (außer auf dem Randstreifen) nur noch ein weißer Film erkennbar. Dies lässt auf eine Zerkleinerung bzw. Zerreibung der Salzkörner durch den Verkehr schließen.

In beiden Fahrrichtungen konnte nach dem Streuvorgang ein leichter Anstieg der Restsalzgehalte (vermutlich durch die Zerkleinerung des Salzes) festgestellt werden. Dieser steigt am darauffolgenden Tag messtechnisch bedingt auf durch Nebel bedingter feuchter Fahrbahn durch das Lösen des Salzes durch die Feuchtigkeit noch weiter an. Dies geschieht sogar in so großem Maße, dass der gemessene Wert deutlich über der gestreuten Dichte liegt, was nahe legt, dass vor dem Streuvorgang noch deutlich mehr Salz auf der Fahrbahn war, das

nicht erfasst werden konnte, bis er dann bei gleichbleibendem Fahrbahnzustand wieder deutlich abgesunken ist.

4.3.7 Messreihe Gernsbach, KW 08-2013, L66b_a

Die Messreihen an der Messstrecke L66b_a haben in beide Fahrtrichtungen ähnliche Ergebnisse gezeigt. Bei der ersten Messung am 19.02.2013

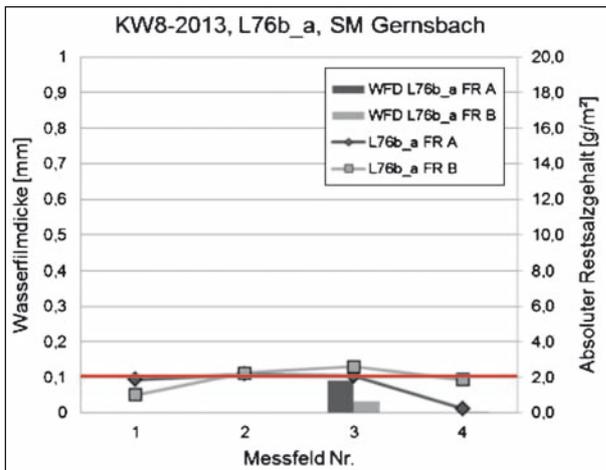


Bild 89: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 08-2013, L66b_a, Gernsbach

gegen 09:30 Uhr wurden auf trockener Fahrbahn rund 2 g/m² gemessen (Bild 90 bzw. Anhang 3.4). Ca. 3,5 h später konnte ein sehr leichter Anstieg des Salzgehaltes festgestellt werden, eine genaue Begründung hierfür kann nicht gegeben werden. Über den letzten Winterdienstesatz kann nur ausgesagt werden, dass dieser mehrere Tage vorher stattfand. In der Nacht von 19. auf 20.02.2013 hat es geschneit, was sowohl einen Winterdienstesatz am 19. abends als auch am 20. morgens notwendig machte und einen fast durchgehend feuchten Fahrbahnzustand begünstigte. In Fahrtrichtung A war der Restsalzgehalt annähernd Null, in Fahrtrichtung B lag dieser bei knapp 2g/m². Zwar fuhren mehr Fahrzeuge als in Fahrtrichtung B (knapp 250 bei der ersten Messung nach dem morgendlichen Winterdienstesatz), die Wasserfilmdicke war allerdings deutlich niedriger (Bild 89).

4.3.8 Messreihe Gernsbach, KW 08-2013, L66b_b und L66b_c

Bild 91 zeigt den feuchten Fahrbahnzustand am 19.02.2013 auf den Messtrecken L66b_b und L66b_c, jeweils in Fahrtrichtung B. Wird dabei zusätzlich Bild 92 betrachtet, wird ersichtlich, dass jeweils in Fahrtrichtung B der Salzgehalt abgenommen hat, in Fahrtrichtung A zugenommen (die

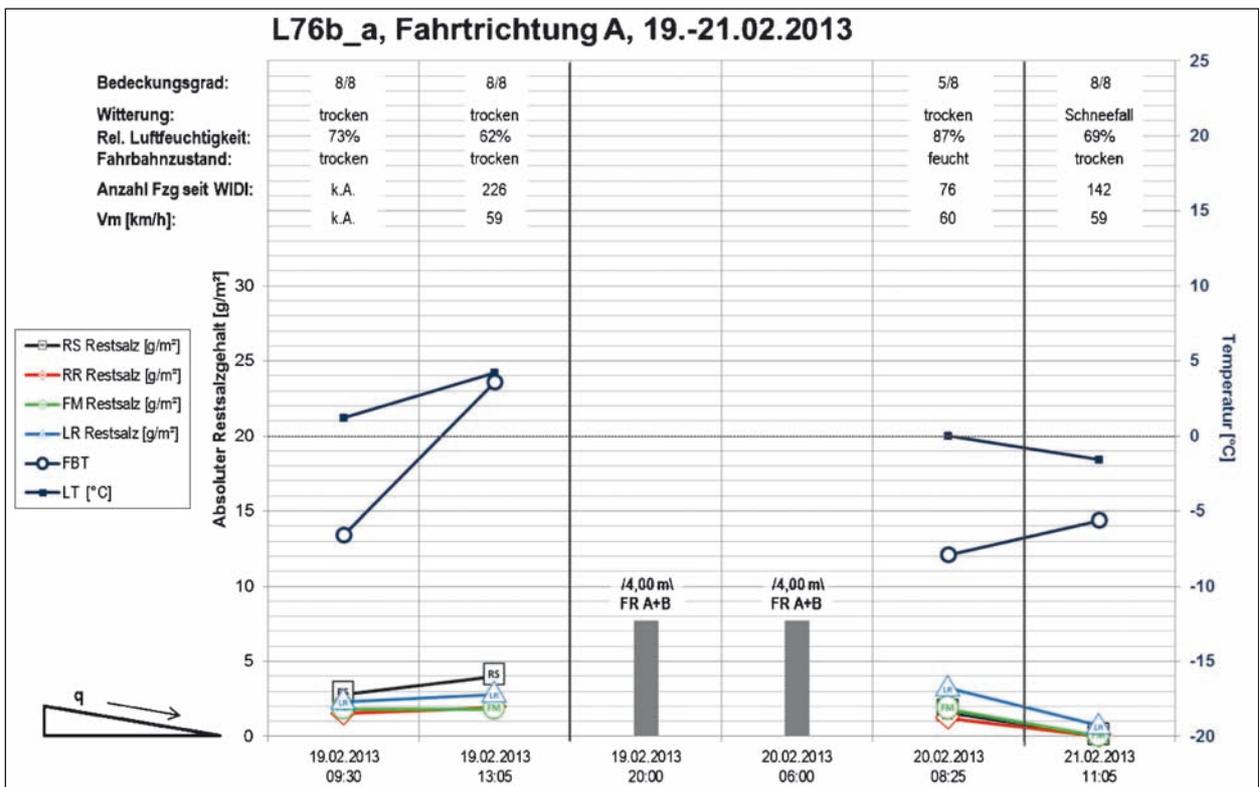


Bild 90: Messreihe KW 08-2013 auf der L66b_a in Fahrtrichtung A, Gernsbach



Bild 91: Fahrbahnzustände des 1. Messfeldes am 19.02.2013 auf der Messstrecke L66b_c (links und Mitte), sowie L66b_b (rechts), jeweils Fahrtrichtung B, KW 08-2013, Gernsbach

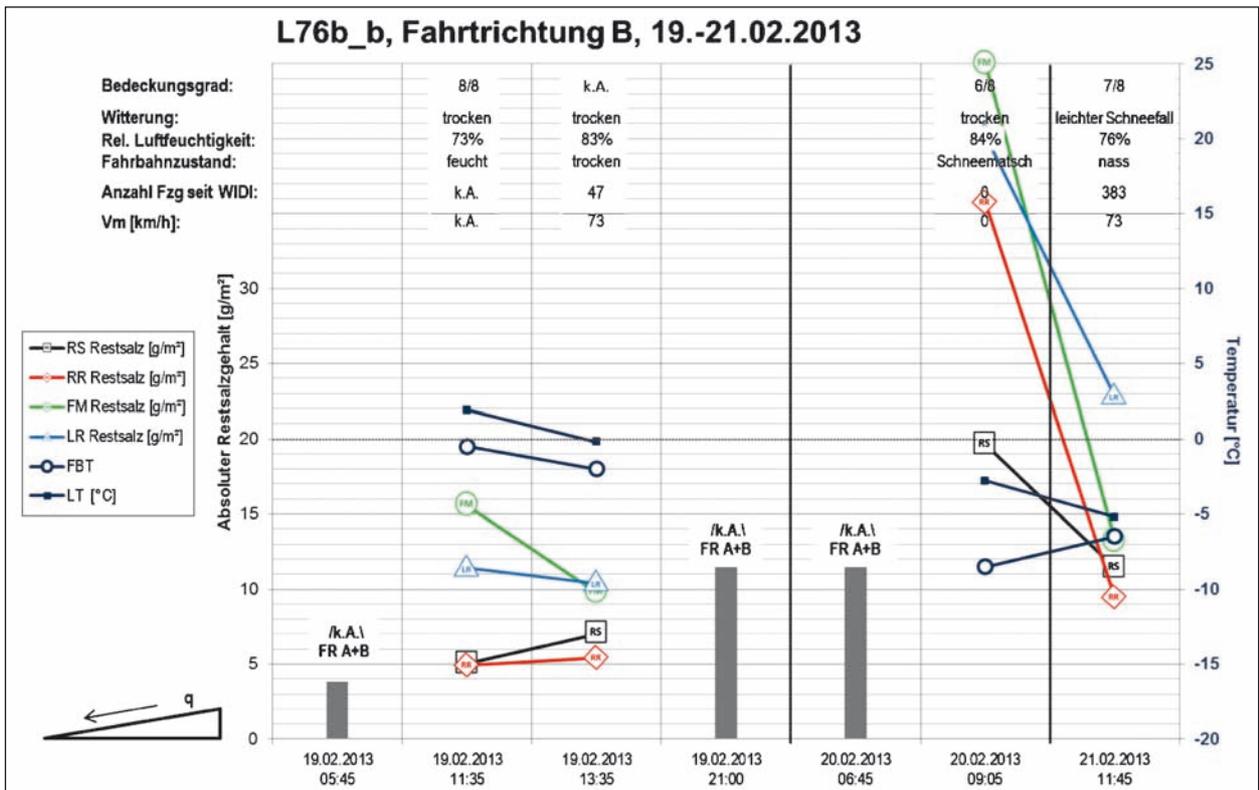


Bild 92: Messreihe KW 08-2013 auf der L66b_b in Fahrtrichtung B, Gernsbach

detaillierten Diagramme der Messreihen sind in Anhang 3.4 dargestellt). Der letzte Winterdienstesatz hat in den frühen Morgenstunden stattgefunden, wobei 5 g/m² Feuchtsalz (entsprechend einem tauwirksamen Anteil von 3,8 g/m²) in jeweils beide Fahrrichtungen gestreut wurden (Bild 92).

Ein Grund für die Abnahme in Fahrtrichtung B könnte sein, dass auf der Messstrecke L66b_b bei der 1. Messung um 11:35 Uhr ein verhältnismäßig höherer Restsalzgehalt gemessen wurde als in Fahrtrichtung A (Bild 93). Auf der Messstrecke L66b_c lag dieser zwar darunter, bei Betrachtung des zweiten Messfeldes wird jedoch ersichtlich, dass auch bei diesem eine feuchte Fahrbahn vorlag, was darauf schließen lässt, dass die Fahrbahn durchgehend feucht war. Die Anzahl der Fahrzeug-

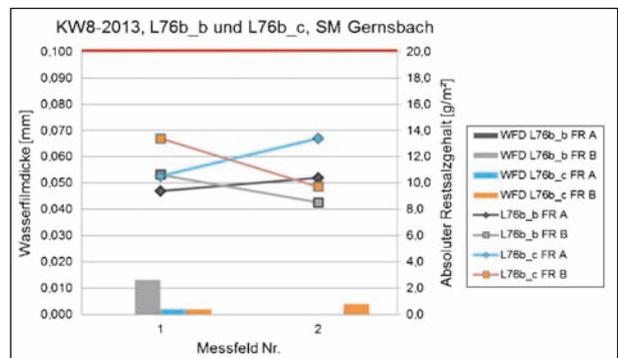


Bild 93: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 08-2013, L66b_b und L66b_c, Gernsbach

übergänge liegt in beide Fahrrichtungen in der gleichen Größenordnung.



Bild 94: Blick in Fahrtrichtung A an der Messstrecke L66b_b

Nach einsetzendem Schneefall in der Nacht von 19. auf 20.02.2013 und zwei Winterdienstseinsätzen mit 15 g/m^2 FS 30 in beide Fahrtrichtungen, konnte die Messreihe aufgrund eines Defektes des Messgerätes nur noch auf der Messstrecke L66b_b fortgesetzt werden. Laut Radargerät haben am 20.02.2013 morgens bis zur Messung keine Fahrzeuge die Messstrecke passiert. Durch den starken Schneefall kann dies aber auch einen Fehler darstellen.

In beide Fahrtrichtungen fallen hohe Restsalzgehalte auf. Die Fahrbahn war bei den Messungen entweder mit Schneematsch bedeckt (am 20.02.2013) oder nass (am 21.02.2013), was die hohen Werte erklären kann. Das gestreute Salz (sowie evtl. Restsalz vom Tag zuvor) ging in Lösung und konnte sehr gut vom Messgerät erfasst werden. Wiederum auffällig ist die starke Abnahme des Restsalzgehaltes in Fahrtrichtung B am 21.02.2013 (mit der Querneigung nach innen) im Gegensatz zu Fahrtrichtung A (mit der Querneigung nach außen), wo der Salzgehalt bei der Messung am 21.02.2013 auf nasser Fahrbahn (trotz einer ähnlichen Anzahl an Fahrzeugüberrollungen) angestiegen ist.

Bild 94 macht noch einmal den Einfluss von Schnee am Fahrbahnrand auf die Tausalzverteilung bzw. die Messergebnisse sichtbar.

4.3.9 Messreihe KW 09-2013

Über alle Messtage herrschten stark winterliche Verhältnisse, d. h. in den frühen Morgenstunden haben täglich Winterdienstseinsätze stattgefunden, bedingt durch einen Ausfall der Solepumpe am Winterdienstfahrzeug ab dem 26.02.2013 nur mit Trockensalz. Am 26.02.2013 haben auch in den Abendstunden, bedingt durch starken Schneefall noch Räum- und Streueinsätze stattgefunden, die

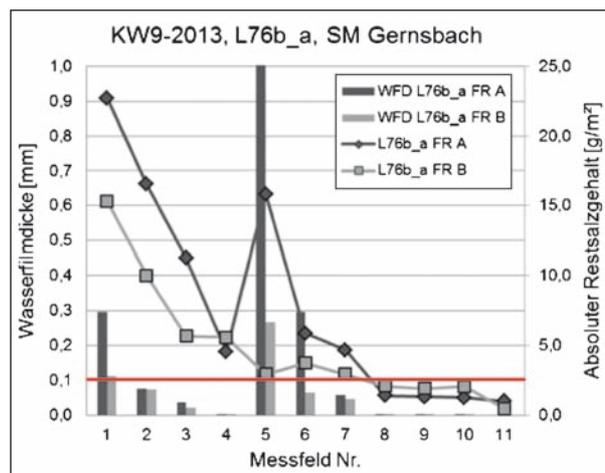


Bild 95: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 09-2013, L66b_a, Gernsbach

aber nicht näher benannt werden können. Die Messreihen in beide Fahrtrichtungen auf dem Streckenabschnitt L66b_a zeigen einen ähnlichen Verlauf des Restsalzgehaltes (Anhang 3.5). Zusammenfassend ist für diese Messreihen auf dem Streckenabschnitt Bild 95 dargestellt. Auffällig war der Restsalzgehalt bei sehr nassem Fahrbahnzustand. Er lag in Fahrtrichtung A (mit Querneigung nach außen) in den meisten Fällen über dem in Fahrtrichtung B, wobei in Fahrtrichtung B immer mehr Fahrzeugüberrollungen stattgefunden haben als in Fahrtrichtung A. Insbesondere am 26.02.2013 (Messfeld 5 in Bild 95) wurde in Fahrtrichtung A mit Querneigung nach außen eine Wasserfilmdicke $> 1 \text{ mm}$ detektiert, was eine deutliche Korrelation zum Restsalzgehalt zeigt. Dieser liegt weit über dem in Fahrtrichtung B, hauptsächlich bedingt durch den Restsalzgehalt in der rechten Rollspur (Anhang 3.5). Auch die Messwerte auf dem Randstreifen sind stark erhöht.

Bild 96 zeigt den Wasserfilm, der sich bei dieser Messung ausgebildet hat. Gut ersichtlich ist dabei das ins Fließen gekommene Wasser unmittelbar am Randstreifen. Bei den Messungen mit sehr geringer Fahrbahnfeuchte (ab Messfeld 8 in Bild 95) sind die Restsalzgehalte annähernd gleich.

Die Messreihe zeigt deutlich den Einfluss der Querneigung (und somit der Wasserfilmdicke) auf die Tausalzverteilung bzw. den Restsalzgehalt auf der Fahrbahn. Wie hoch der Anteil der Tausalzabnahme einerseits aufgrund der Fahrzeugüberrollungen bzw. andererseits aufgrund der Wasserfilmdicke im Einzelnen ist, kann jedoch nicht genau ausgesagt werden.



Bild 96: Nasser Fahrbahnzustand in Fahrtrichtung A, L66b_a, Gernsbach

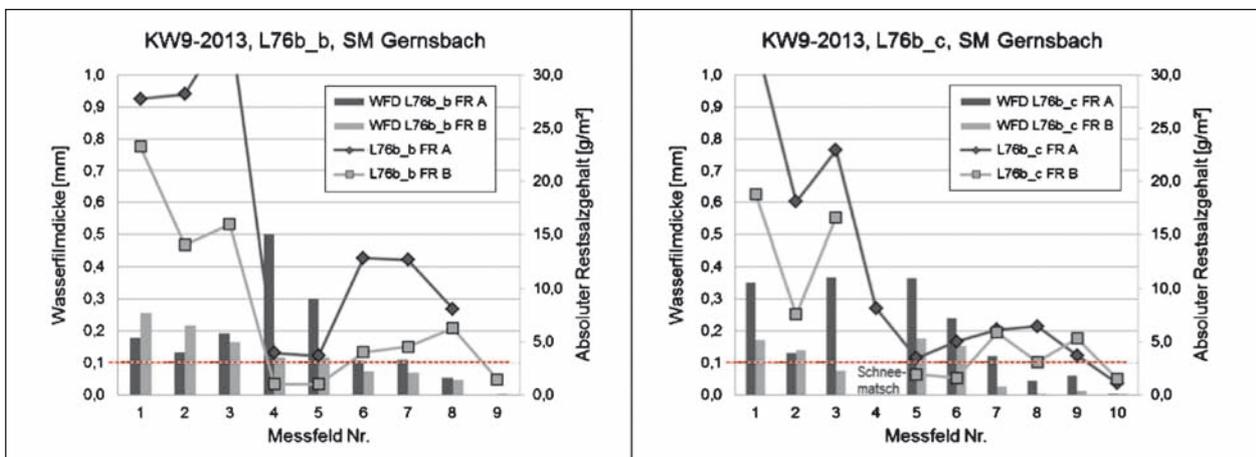


Bild 97: Verlauf der Wasserfilmdicke im Vergleich zum Verlauf des Restsalzgehaltes, KW 09-2013, L66b_b (links) und L66b_c (rechts), Gernsbach

Für die Streckenabschnitte L66b_b und L66b_c können ähnliche Aussagen bezüglich des Einflusses der Querneigung getroffen werden. Die detaillierten Diagramme sind in Anhang 3.5 zu finden, zusammenfassend ist Bild 97 dargestellt.

4.4 Messreihen Schwäbisch Gmünd

4.4.1 Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Schwäbisch Gmünd

Tabelle 5 gibt die Messreihen im Bereich Schwäbisch Gmünd wieder. Bei allen Messungen kam FS 30 (NaCl + CaCl-Sole) zum Einsatz.

4.4.2 Messreihe Schwäbisch Gmünd, KW 04-2012

Die Witterung während dieser Messreihe war sehr winterlich, bei trockener bis feuchter Fahrbahn (Bild 98). Niederschläge wurden kaum registriert. Bei-

spielhaft ist für alle Messreihen Bild 99 wiedergegeben. Alle weiteren Diagramme dieser Messreihe sind in Anhang 4.1 zu finden.

Die Messungen haben im laufenden Betrieb stattgefunden, d. h. in den frühen Morgenstunden wurde auf allen Streckenabschnitten gestreut. In allen Fällen (bis auf eine Ausnahme am 27.01.2012 auf der L 1075) wurde mit Streudichten $\leq 10 \text{ g/m}^2$ gestreut, zusätzlich mittags noch einmal mit einem bereitgestellten Unimog. Nach jeder Streuung wurden ein bis zwei Messungen durchgeführt. Auf der L 1160 wurde bei den regulären Einsätzen morgens jeweils in jede Fahrtrichtung einmal gestreut. Die Bedienung der Strecke im Streuplan unterliegt einem Fremdunternehmer.

Auf trockener bis feuchter Fahrbahn lag der Restsalzgehalt bei teilweise mehr als 700 Fahrzeugübergängen (siehe Zusammenfassung der L 1075 in Bild 100) etwas unter der ausgebrachten Streudichte vor den Messungen. Die Größenordnungen

KW-Jahr	Bemerkungen	Datum	Strecke	Salzart
Trockene bis feuchte Fahrbahn				
04-2012		25.-27.01.2012	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
04-2012		25.-26.01.2012	L 1159	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
04-2012		25.-27.01.2012	L 1160	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
Trockene Fahrbahn				
10-2012		05.-07.03.2012	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
10-2012		05.-09.03.2012	L 1159	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
10-2012		05.-09.03.2012	L 1160	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
10-2012		08.-09.03.2012	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
Trockene bis feuchte Fahrbahn				
03-2013		14.-16.01.2013	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
03-2013		14.-16.01.2013	L 1160	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
03-2013		14.-16.01.2013	L 1159	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
Schneematsch				
03-2013		17.-18.01.2013	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
03-2013		17.-18.01.2013	L 1159	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
03-2013		17.-18.01.2013	L 1160	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
Trockene Fahrbahn				
10-2013		04.-08.03.2013	L 1075	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
10-2013		04.-08.03.2013	L 1159	FS 30 NaCl+CaCl-Sole
10-2013		04.-08.03.2013	L 1160	FS 30 NaCl+CaCl-Sole

Tab. 5: Übersicht über alle Messreihen im Bereich Schwäbisch Gmünd



Bild 98: Witterung in KW 04-2012, L 1075, Bereich Schwäbisch Gmünd

sind auf allen Strecken ähnlich. Nicht eindeutig geklärt werden kann der „Imprägnierungseffekt“, d. h. wieviel Salz vor den morgendlichen Streueinsätzen noch auf der Fahrbahn war. Bei den gegebenen Fahrbahnzuständen und in Anbetracht anderer durchgeführter Messungen ist jedoch davon auszugehen, dass noch Restsalz vorhanden war.

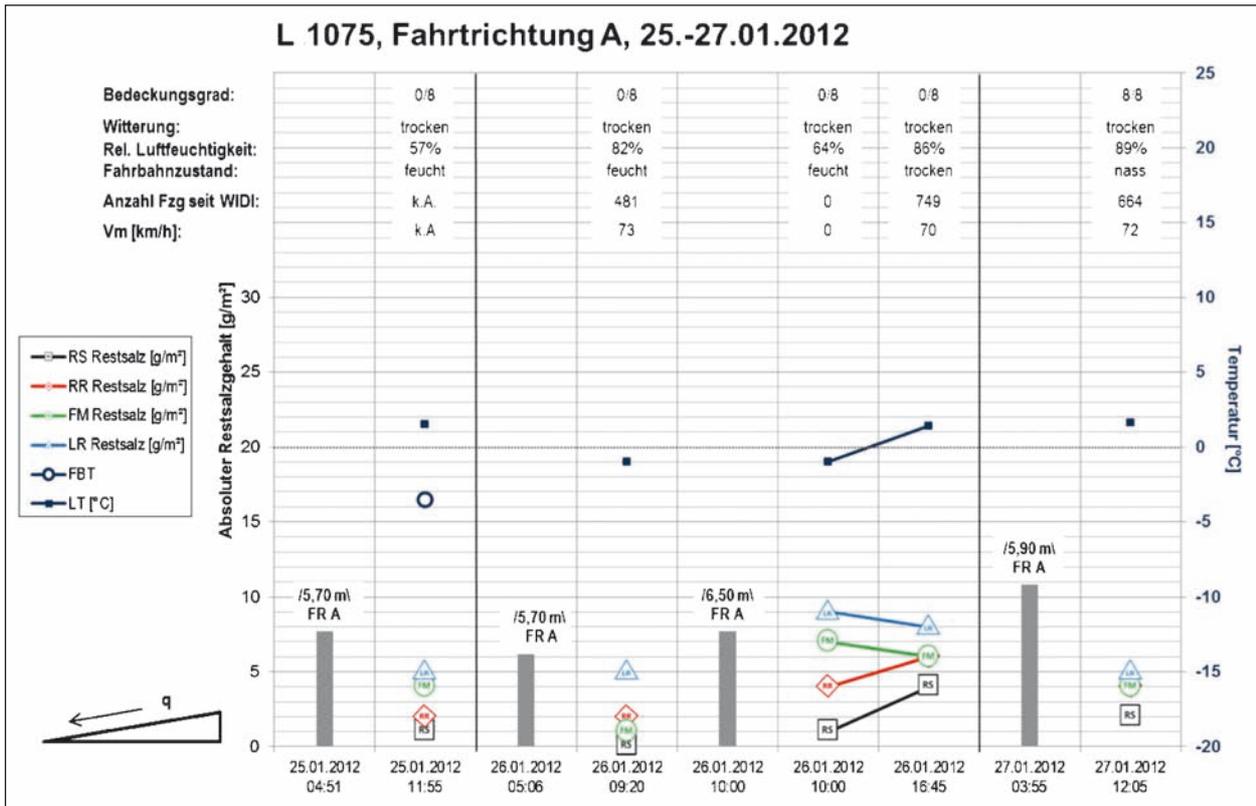


Bild 99: Messreihe KW 08-2013 auf der L66b_b in Fahrtrichtung B, Gernsbach

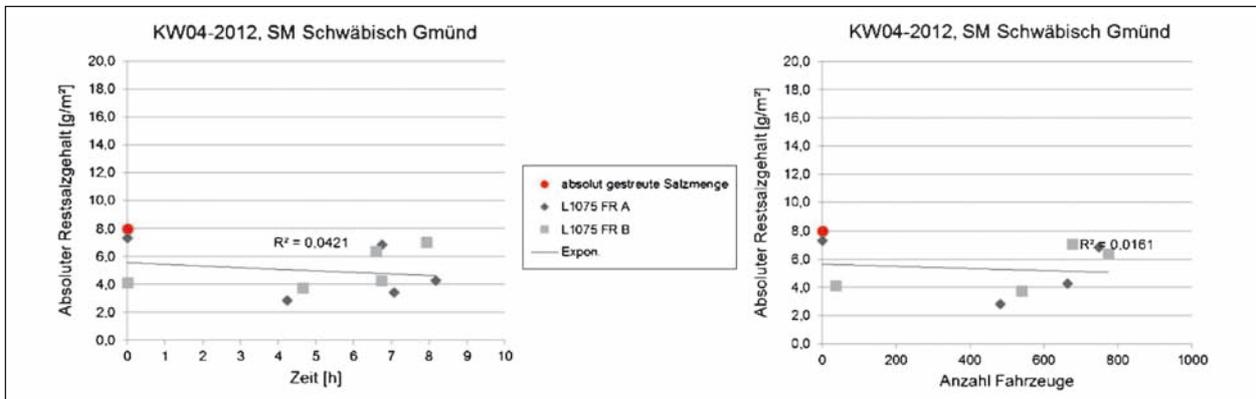


Bild 100: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihe L 1075 in KW 04-2012, Schwäbisch Gmünd

4.4.3 Messreihe KW 10-2012, trockene Fahrbahn

In dieser Messwoche stand bei jeder Messung ein begleitender Unimog zur Verfügung, sodass die angewendete Streudichte und -breite direkt vor Ort erfasst werden konnte. Am 05.03.2012 wurden die Radargeräte platziert und an jeder Messstelle in jede Fahrtrichtung Nullmessungen durchgeführt. Am 6.3.2012 lag der Fokus auf einer Reihenmessung auf der L 1159 und der L 1075. Auf der L 1075 in Fahrtrichtung A konnte ein ähnlicher Effekt fest-

gehalten werden wie in KW 09-2012 auf der Grabener Straße in Karlsruhe. Das frisch gestreute Salz ist unmittelbar nach dem Winterdienstesinsatz auf trockener Fahrbahn kaum messbar, verbleibt allerdings auch nach relativ vielen Überrollungen (mehr als 500 Fahrzeugübergänge) konstant auf der Fahrbahn (Bild 101). In Fahrtrichtung B kann nur ein erhöhter Anteil in der linken Rollspur festgestellt werden, was vermutlich an den Streueinstellungen liegt (5,00 m Streubreite in Fahrtrichtung A). Die Streubreite reicht für die komplette Fahrbahn, zumindest auf trockener Fahrbahn, nicht aus.

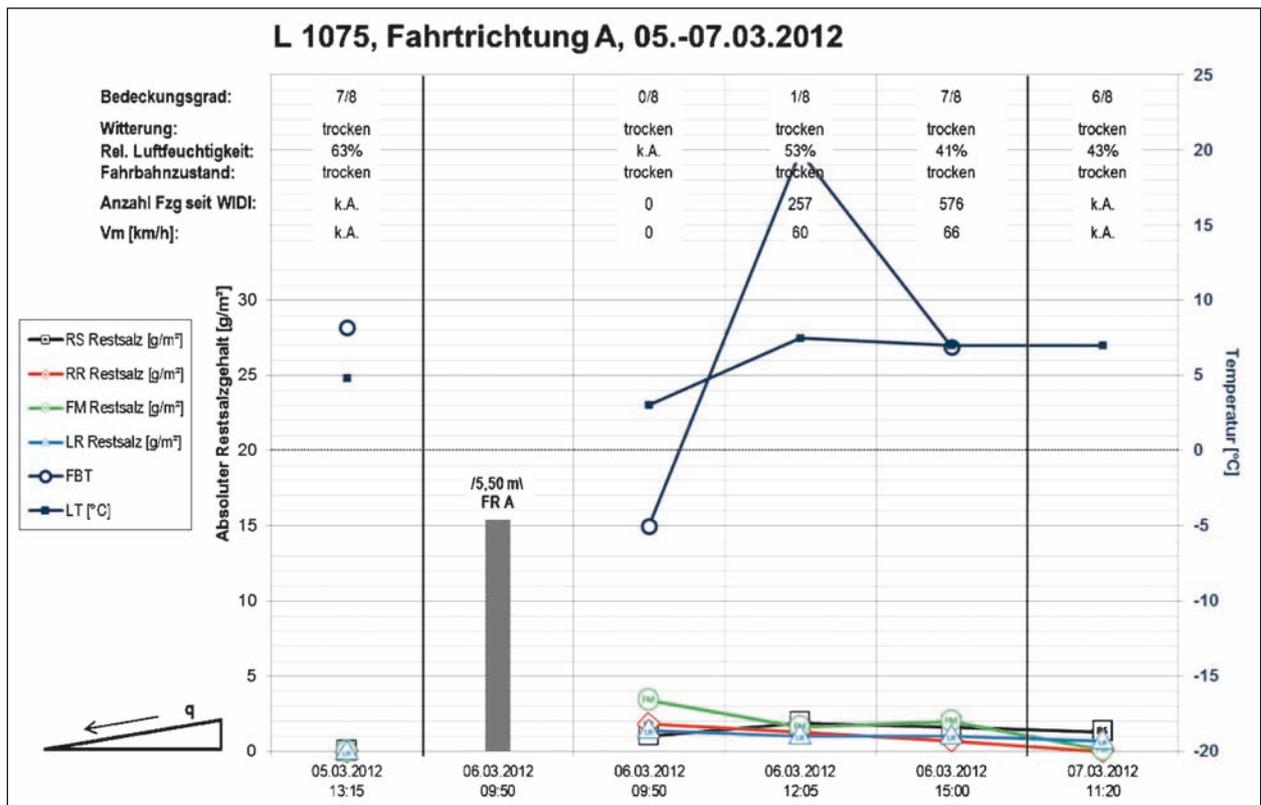


Bild 101: Messreihe KW 10-2012 auf der L 1075 in Fahrtrichtung A, Schwäbisch Gmünd



Bild 102: Streuerüberprüfung in KW 10-2012, Schwäbisch Gmünd

Dennoch lässt sich in der linken Rollspur nach einem längeren Zeitraum noch Salz detektieren (Anhang 4.2). Bei einer Überprüfung des Streuers wurde festgestellt, dass der Soleanteil hauptsächlich im linken Bereich eines Fahrstreifens landet, was vermutlich zu den erhöhten Werten in der linken Rollspur beigetragen hat (Bild 102).

Auf der L 1159 war bei gleichen Streuereinstellungen der gleiche Effekt in der linken Rollspur in Fahrtrichtung B (also entgegen der Streurichtung) festzustellen. Der Restsalzgehalt in Fahrtrichtung A bleibt wie auf der L 1075 auf trockener Fahrbahn auch nach mehr als 700 Fahrzeugübergängen rela-

tiv konstant (Anhang 4.2). Warum die Werte nach dem Streuvorgang jedoch höher angezeigt werden als auf der L 1075, konnte nicht geklärt werden.

Am 07.03.2012 konnte auf der L 1160 in Fahrtrichtung Schwäbisch Gmünd zunächst wieder der gleiche Effekt wie in Karlsruhe und bei vorigen Messungen in Schwäbisch Gmünd beobachtet werden. Das heißt, es wurden unmittelbar nach dem Streuen (09:10 Uhr) nur sehr niedrige Restsalzwerte festgestellt (Bild 104). Zudem konnten in entgegengesetzter Richtung (also Fahrtrichtung A) zum Streuvorgang nur erhöhte Werte in der linken Rollspur festgestellt werden (Anhang 4.2).

4.4.4 Messreihe KW 10-2012, nasse Fahrbahn

In der Nacht zum 08.03.2012 hat es im Untersuchungsgebiet geschneit. Am Morgen ist der Schnee in leichten Regen/Sprühregen übergegangen. Dies führte zu einer konstant feuchten bis nassen Fahrbahn. Auf der L 1160 war bei nasser Fahrbahn (Bild 105 links) kein Salz mehr detektierbar.

Auf der L 1075 wurde eine Reihenmessung in beide Fahrtrichtungen durchgeführt (Bild 106). Die detaillierten Messreihen sind in Anhang 4.2 dargestellt. Gestreut wurden 20 g/m^2 bei 5 m Streubreite in Fahrtrichtung A. Über den Tag konnten in beiden Fahrtrichtungen Messungen im 1- bis 1,5-Stunden-Rhythmus bei ähnlichen Fahrbahnzuständen durchgeführt werden. Es ist eine deutliche Abnahme des Salzgehaltes auf nasser bis feuchter Fahrbahn zu erkennen. Bei der letzten Messung haben ca. 500 Fahrzeuge die Messstellen passiert, der Restsalzgehalt betrug knapp unter 2 g/m^2 .

Auffällig ist, dass die Streubreite auf nasser Fahrbahn ausgereicht hat im Gegensatz zu den vorigen Messungen auf trockener Fahrbahn, aber mit den gleichen Streueinstellungen. Das Salz wurde vermutlich durch die nasse Fahrbahnoberfläche und den überrollenden Verkehr so verteilt, dass es sich zeit- und mengenmäßig wie in der anderen Fahrt-

richtung (= Streurichtung!) verhalten hat. Dieser Effekt konnte auch schon bei den Messungen im Bereich Karlsruhe festgestellt werden.

4.4.5 Messreihe KW 03-2013, trockene und feuchte Fahrbahn

Im Verlauf dieser Messreihe herrschten vom 14. bis 16.01.2013 winterliche Verhältnisse mit abwechselnder trockener und leicht feuchter Fahrbahn. Lediglich am 16.01.2013 konnte auf allen Messstrecken entweder eine nasse oder eine stark feuchte Fahrbahn detektiert werden (Messfeld Nr. 7 und 8 in Bild 107).

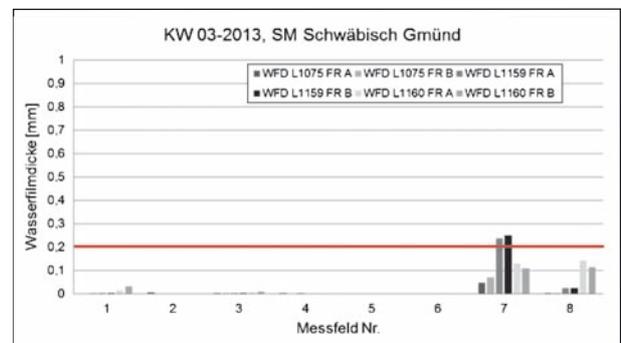


Bild 107: Wasserfilmdicke, KW 30-2013, SM Schwäbisch Gmünd



Bild 105: Fahrbahnzustand am 08.03.2012 auf der L 1160 (links) und L 1075 (rechts), Schwäbisch Gmünd

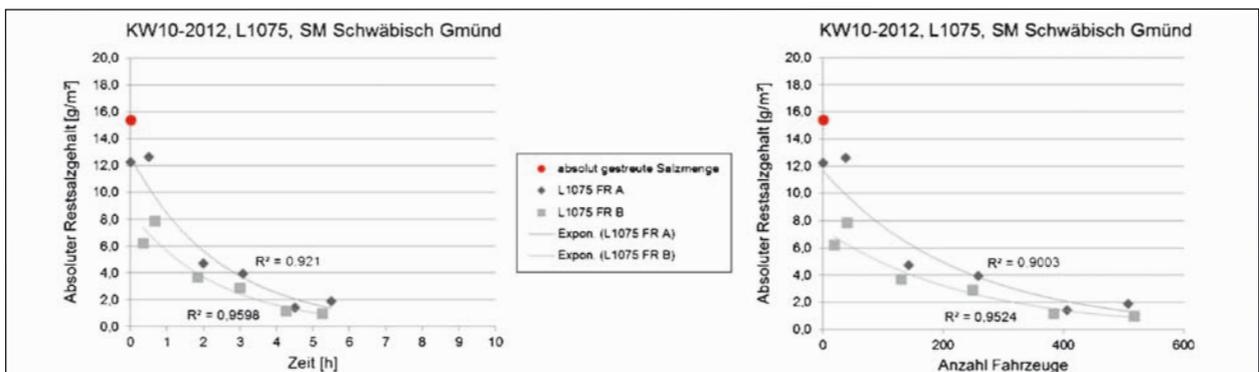


Bild 106: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (rechts) der Messreihe L 1075 in KW 10-2012, Schwäbisch Gmünd

Die detaillierten Messreihen sind in Anhang 4.3 wiedergegeben. Bei allen Messreihen konnten am 14.01.2013 bzw. 15.01.2013 teilweise erhöhte Werte am Nachmittag im Vergleich zur Messung morgens festgestellt werden. Eine Erklärung hierfür könnte die hohe Luftfeuchtigkeit darstellen. Da in der SM Schwäbisch Gmünd CaCl-Sole (mit NaCl-Trockensalz) verwendet wird und diese stark hygroskopisch ist (schon ab einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 %) und somit die Feuchtigkeit aus der Luft anzieht, kann dies Auswirkungen auf den NaCl-Anteil der FS 30-Mischung haben, da das NaCl-Trockensalz durch die Feuchtigkeit und die Fahrzeugüberrollungen in Lösung gehen kann.

Es haben täglich (morgens oder abends) Streueinsätze stattgefunden mit Streudichten zwischen 5 g/m^2 und 10 g/m^2 und mit Streubreiten zwischen 4,50 m und 5,50 m. Auf der L 1075 hat am zweiten Tag mittags noch ein Streueinsatz stattgefunden. Bei allen Messungen war auffällig, dass selbst nach mehreren Stunden und auch über 1.000 Fahrzeugüberfahrten auf allen Strecken Restsalz detektiert werden konnte. In den meisten Fällen lag die Größenordnung sogar über dem tatsächlich ausgebrachten Tausalzgehalt der Streueinsätze,

lediglich am letzten Tag hat aufgrund des erhöhten Feuchteanteils auf der Fahrbahn eine Abnahme stattgefunden. Aus diesem Grund sind die Messreihen zusammengefasst in Bild 108 wiedergegeben.

4.4.6 Messreihe KW 03-2013, Schneematsch

Die Messreihe am 17.01.2013 war geprägt von stark winterlichem Einfluss. Über den ganzen Tag herrschte mäßiger Schneefall im kompletten Untersuchungsgebiet, was zu häufigen Räum- und Streueinsätzen führte. Oft konnten bei den Messfeldern nur die rechte und die linke Rollspur gemessen werden, da in Fahrstreifenmitte oder auf dem Randstreifen zu viel Schnee lag und das Messgerät nicht sinnvoll einsetzbar gewesen wäre. Bild 109 zeigt die Witterungsverhältnisse an allen drei Messstrecken.

Sofern die Messung in der Fahrstreifenmitte und auf dem Randstreifen möglich war, konnten dort sehr stark erhöhte Restsalzgehalte festgestellt werden. Hierbei spielt die Verfrachtung durch den Verkehr eine große Rolle. Auf der L 1075 in Fahrtrichtung B (Bild 112) wurde 5 Minuten (13 Fahr-

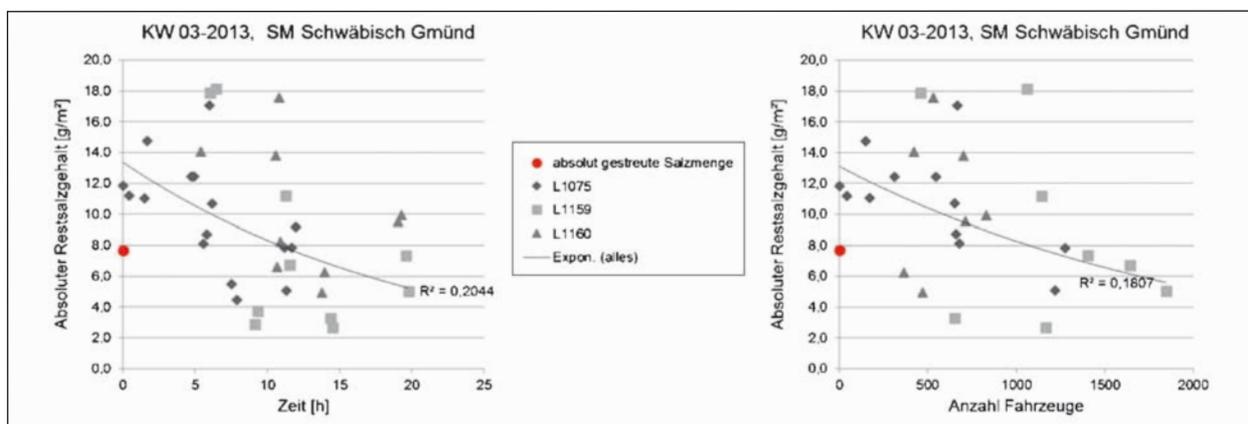


Bild 108: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Zeit (links) und die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen seit einem Winterdienst-einsatz (rechts) der Messreihe KW 03-2013 bei trockener bis feuchter Fahrbahn, Schwäbisch Gmünd



Bild 109: Witterungsverhältnisse am 17.01.2013, L 1075 (links), L 1159 (Mitte) und L 1160 (rechts), Schwäbisch Gmünd

zeugüberrollungen) nach einem Streuvorgang ein deutlich geringerer Restsalzwert als die ausgebrachte Streudichte detektiert. In Fahrtrichtung A (Bild 111) war knapp 20 Minuten (bzw. 18 Fahrzeugüberrollungen) nach dem Streuvorgang ein deutlich erhöhter Restsalzgehalt gegenüber der ausgebrachten Streudichte ermittelbar. Bild 110 zeigt den zugehörigen Fahrbahnzustand. Dabei ist zu erkennen, dass in Fahrtrichtung A die Rollspuren deutlich freier sind als in Fahrtrichtung B, obwohl nur eine geringe Anzahl Fahrzeuge mehr

darüber gefahren ist, die Wirkungszeit für das ausgebrachte Tausalz jedoch etwas länger war. Bild 110 zeigt die dazugehörigen Fahrbahnzustände. Ein ähnlicher Effekt konnte auch auf der L 1159 in beide Fahrtrichtungen (Anhang 4.4) festgestellt werden.

Eine eindeutige Aussage zur Restsalzabnahme aufgrund der Anzahl der Fahrzeugüberrollungen kann nicht getätigt werden, auch aufgrund der sehr unterschiedlichen Streudichten und der immer wiederkehrenden Winterdienstesätze. Nach 300 bis 350 Fahrzeugen konnten jedoch sowohl auf der L 1075 als auch auf der L 1159 noch Restsalzgehalte zwischen 2g/m² und 5 g/m² festgestellt werden mit vorherigen Streudichten teilweise deutlich unter 20 g/m², was beim gegebenen Verkehrsaufkommen einer Zeitspanne von ca. 3 h entsprechen würde.

Wie bei den Messreihen in Gernsbach konnte festgestellt werden, dass Salz auch unter einer Schneedecke liegen kann, aber ohne Verkehr nicht in der Hinsicht zum Wirken kommt, dass die Fahrbahn schwarz wird. Für Räumeinsätze ist dies jedoch ein wichtiger Faktor, da das Salz das Festsetzen auf der Fahrbahn verhindert und der Schnee somit leichter geräumt werden kann.



Bild 110: Fahrbahnzustand auf der L 1075

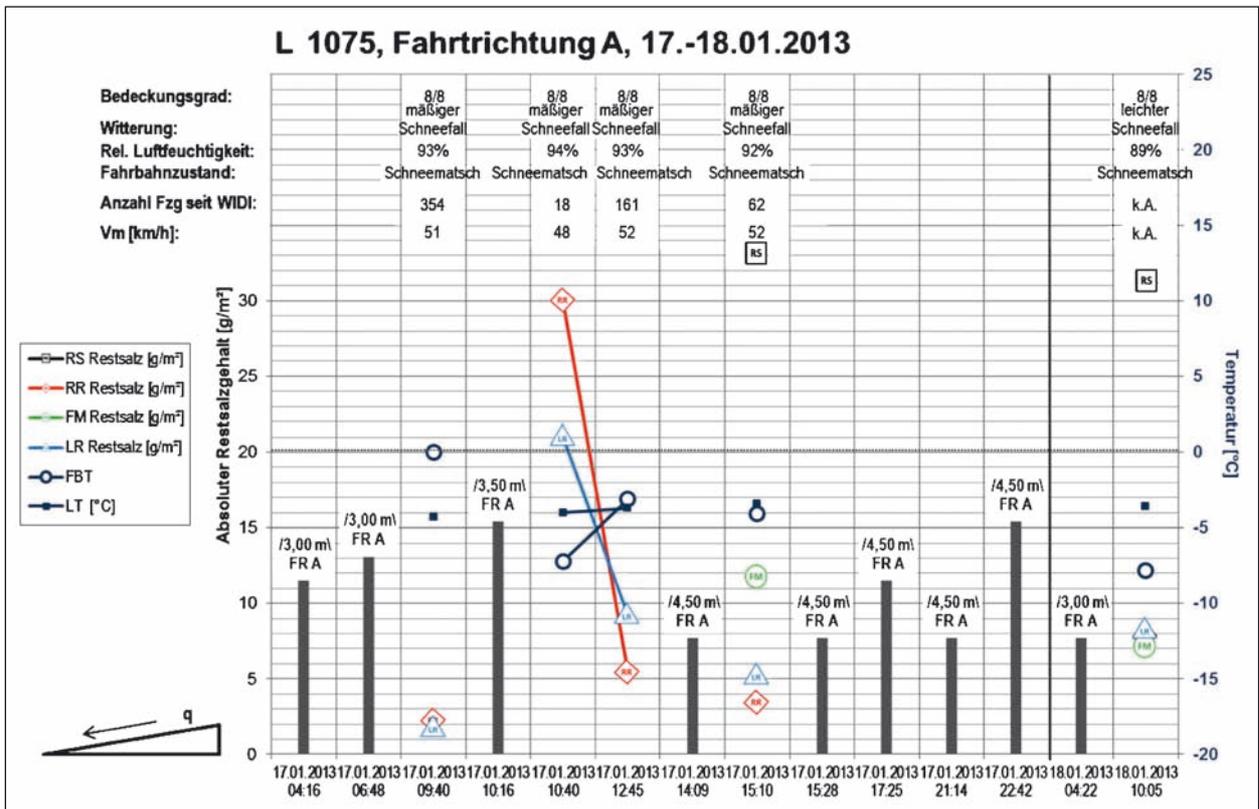


Bild 111: Messreihe KW 03-2013 auf der L 1075 in Fahrtrichtung A, Schwäbisch Gmünd

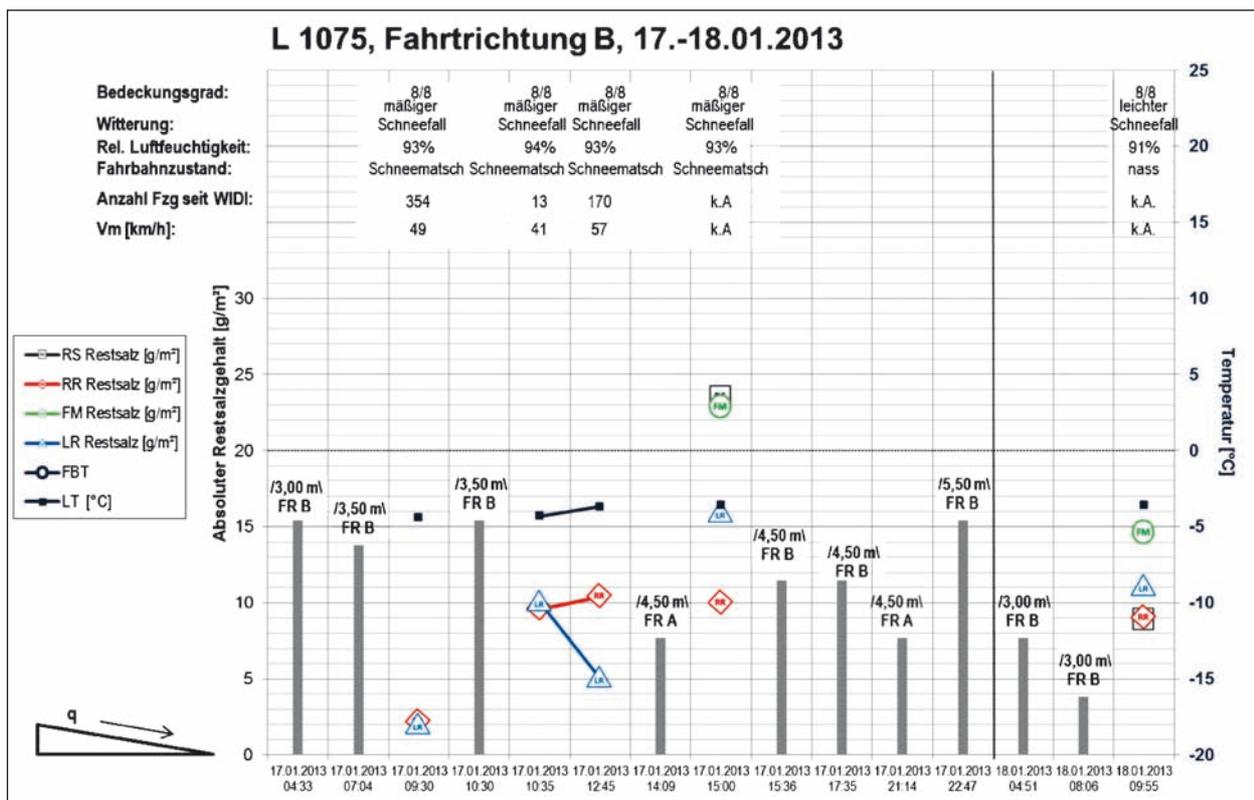


Bild 112: Messreihe KW 03-2013 auf der L 1075 in Fahrtrichtung B, Schwäbisch Gmünd

4.4.7 Messreihe KW 10-2013, trockene Fahrbahn

In dieser Messwoche herrschte fast durchgehend ein trockener Fahrbahnzustand bei sonnigem Wetter. So konnte auf allen Strecken eine Langzeitmessung durchgeführt werden. Auf der L 1075 sowie der L 1159 hat der letzte Winterdienstesatz vor dem 3. März 2013 stattgefunden (Beginn der Messreihen war am 4. März 2013). Auf der L 1160 hat am 4. März 2013 noch ein Einsatz stattgefunden. Auf allen Messstrecken konnte über die ganze Woche hinweg ein relativ hoher Restsalzgehalt gemessen werden ohne größere Abnahmen. Nur am letzten Tag, dem 08. März 2013, der Messreihe konnte auf allen Strecken ein niedrigerer Restsalzgehalt festgestellt werden. In der Nacht von 07. auf 08. März hat es in der Nacht geregnet.

Bei allen Messungen konnte zudem ein Salzfilm auf der Fahrbahn erkannt werden wie beispielhaft in Bild 113 dargestellt. Das heißt, dass ausgebrachtes Salz bei feuchter Fahrbahn in Lösung gehen konnte und durch die Sonneneinstrahlung und die trockene Witterung als Film auf der Straße angetrocknet ist. Dadurch konnte eine sehr lange Liegedauer (bis über 7.000 Fahrzeuge auf der L 1159) erzielt werden, was ca. 4 Tagen entspricht.



Bild 113: Salzfilm auf der Fahrbahn



Bild 114: Feuchte bzw. nasse Fahrbahn aufgrund von Schneeschmelze

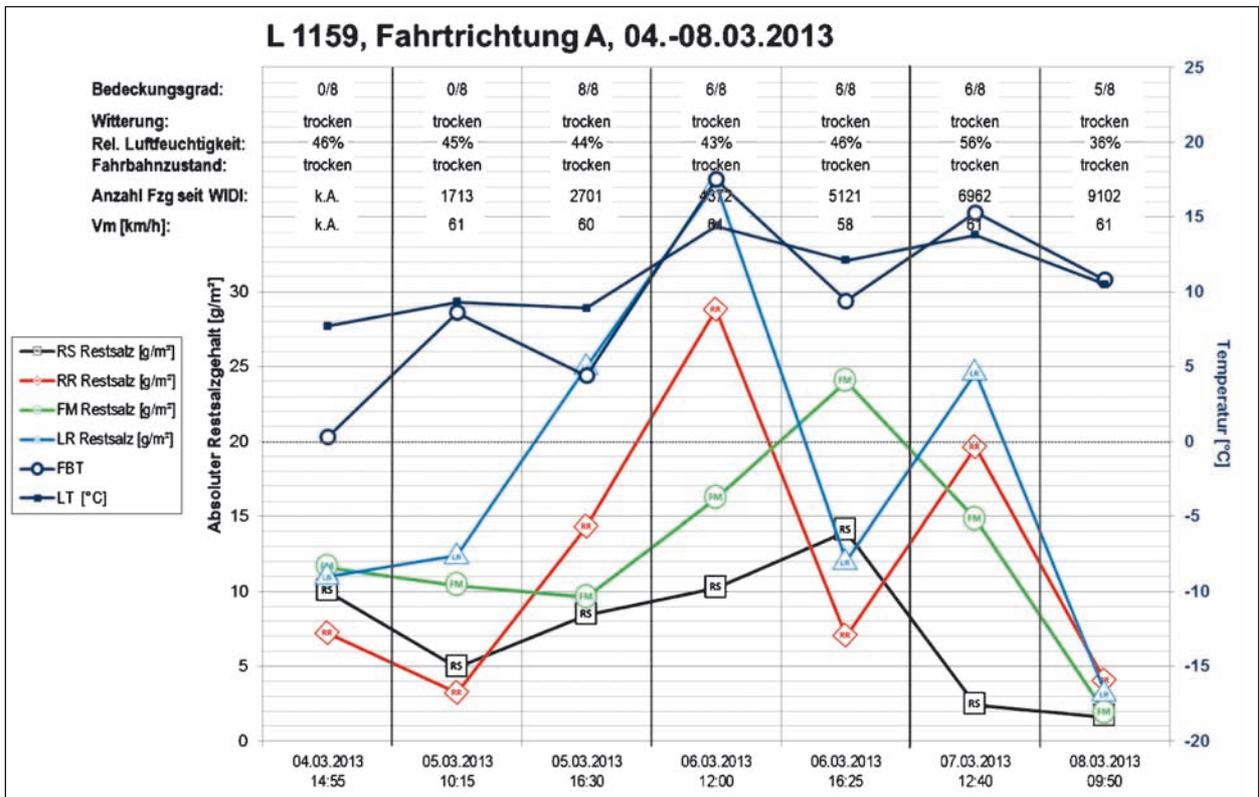


Bild 115: Messreihe KW 10-2013 auf der L 1159 in Fahrtrichtung A, Schwäbisch Gmünd

Auf der L 1075 blieben die Restsalzgehalte über die Woche relativ konstant in beide Fahrrichtungen (Anhang 4.5). Auf der L 1159 ebenso wie auf der L 1160 konnten sehr unterschiedliche Werte beobachtet werden (siehe auch Bild 115 bzw. Anhang 4.5). Bei genauerer Betrachtung der Fahrbahnoberfläche kann dies damit erklärt werden, dass der Salzfilm sehr unterschiedlich stark abgetrocknet ist bzw. in Lösung gegangen ist, was stellenweise große Unterschiede mit sich bringt. Hervorgerufen werden kann das durch die Schneeschmelze, wie Bild 114 zeigt.

4.5 Messreihen Würzburg

4.5.1 Übersicht der Messreihen im Bereich der SM Würzburg

Tabelle 6 gibt die Messreihen im Bereich Würzburg wieder. Bei den Messungen kam hauptsächlich 23-prozentige Salzsole zum Einsatz, stellenweise kamen durch notwendige Streueinsätze vor Beginn der Messreihen auch FS 30 (NaCl + NaCl-Sole) bzw. Kombinationsstreuungen oder Trockensalz zum Einsatz.

KW-Jahr	Bemerkungen	Datum	Strecke	Salzart
Trockene bis feuchte Fahrbahn				
49-2012		03.12.2012	B 19	Trockensalz
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
49-2012		03.12.2012	Wü4	Trockensalz
49-2012		03.12.2012	Wü9a	Trockensalz
49-2012		03.12.2012	Wü9b	Trockensalz
Trockene bis nasse Fahrbahn				
05-2013		28.-29.01.2013	Wü9a	Kombination Sole + FS 30
05-2013		28.-29.01.2013	B 19	Kombination Sole + FS 30
Nasse Fahrbahn				
05-2013		28.-29.01.2013	Wü9a	FS 30
05-2013		28.-29.01.2013	Wü9b	FS 30
Feuchte bis nasse Fahrbahn				
49-2012		04.+05.12.2012	B 19	Sole
49-2012		04.+05.12.2012	Wü4	Sole
49-2012		04.+05.12.2012	Wü9a	Sole
Nasse Fahrbahn				
49-2012		04.+05.12.2012	Wü9b	Sole
Trockene bis nasse Fahrbahn				
05-2013		30.01.-01.02.2013	B 19	Sole
05-2013		30.01.-01.02.2013	Wü4	Sole
05-2013		30.01.-01.02.2013	Wü9a	Sole
05-2013		30.01.-01.02.2013	Wü9b	Sole

Tab. 6: Übersicht über alle Messreihen im Bereich Würzburg

4.5.2 Messreihe Würzburg, KW 49-2012, Trockensalz

Die Messreihe startete am 03.12.2012, in den frühen Morgenstunden wurde auf allen Streckenabschnitten eine Trockensalzstreuung zwischen 9 g/m² und 12 g/m² durchgeführt. Beispielfähig für alle anderen Messreihen ist in Bild 116 die Messreihe auf der B 19 in Fahrtrichtung B wiedergegeben, die anderen Messreihen enthält Anhang 5.1. Auf allen Teilabschnitten konnte selbst nach 10 h noch ein Restsalzgehalt erfasst werden mit gleichen bzw. etwas höheren Werten gegenüber dem Messzeitpunkt vier Stunden zuvor. Eine genaue

Anzahl der Fahrzeugüberrollungen kann nicht wiedergegeben werden, da die Radargeräte erst mit der ersten Messung platziert worden sind. Zwischen der ersten und der zweiten Messung haben jedoch zwischen 80 (Wü9) und 900 (B 19) Fahrzeuge die Streckenabschnitte passiert. Die erhöhten Restsalzgehalte waren im Bereich der am Nachmittag nassen Fahrbahn (Wü4 und Wü9) zu detektieren, was schon bei anderen Messreihen in anderen Straßenmeistereien beobachtet werden konnte. Bild 117 zeigt die Fahrbahnzustände auf der B 19 vormittags und auf der Wü9a nachmittags.

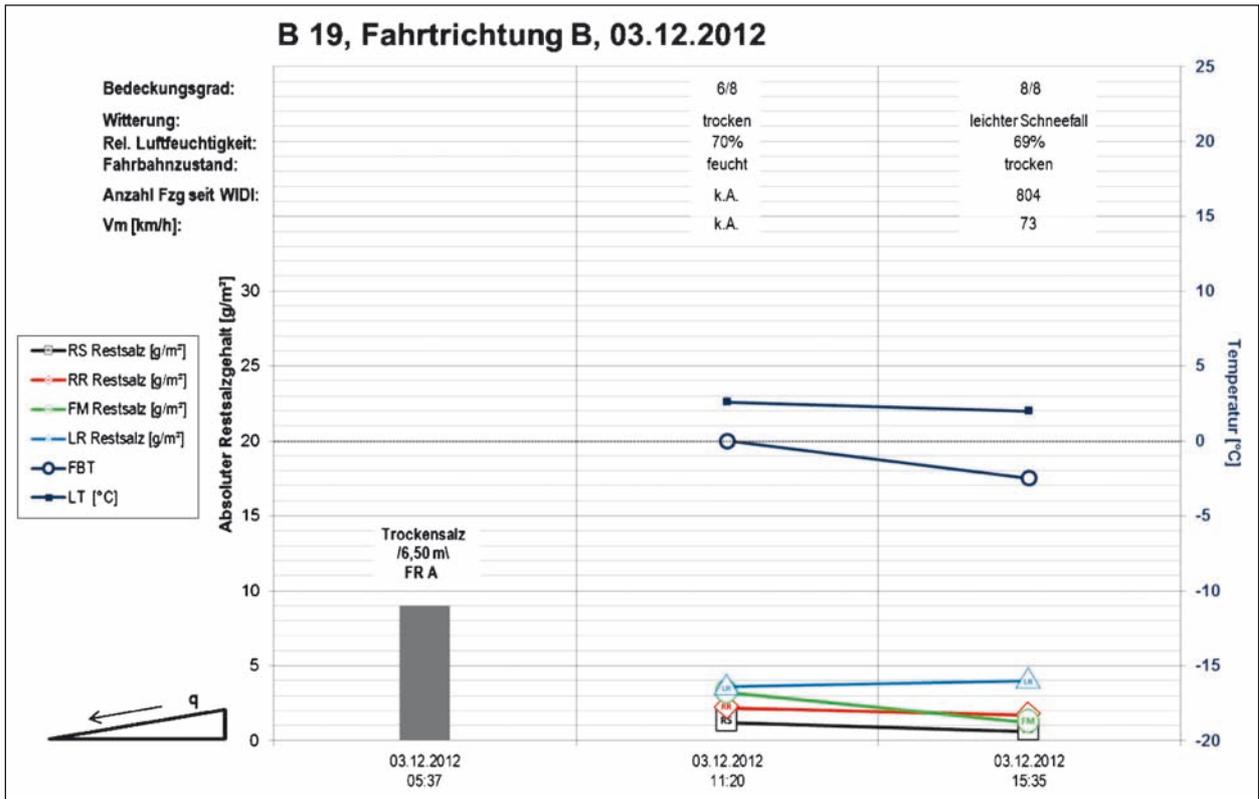


Bild 116: Messreihe KW 49-2012 auf der B 19 mit Trockensalz in Fahrtrichtung B, Würzburg



Bild 117: Fahrbahnzustand am 03.12.2013 auf der B 19 vormittags (links) und der Wü9a nachmittags (rechts)

4.5.3 Messreihe KW 05-2013, Kombinationsstreuung

Zu Beginn der Messwoche wurde am Sonntag, 27.01.2013 am späten Nachmittag auf der B 19 und der Wü4 eine Kombinationsstreuung (Sole + FS 30) durchgeführt. Die Streudichte betrug 23 g/m² (20 g/m² Sole und 3 g/m² FS 30, was einem tauwirksamen Anteil von 6,9 g/m² entspricht). Die erste Messung fand am Montag, 28.01.2013 gegen 11:00 Uhr statt. Die detaillierten Diagramme der Messreihen befinden sich in Anhang 5.2. Ob sich vor dem Streuvorgang noch Restsalz auf der Fahrbahn befunden hat, konnte nicht überprüft werden. An

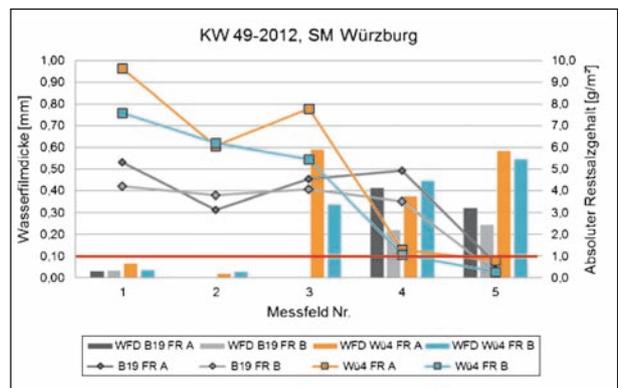


Bild 118: Restsalzgehalt über der Wasserfilmdicke, KW 05-2013, Kombinationsstreuung, Würzburg

beiden Strecken hat sich am Restsalzgehalt selbst nach über einem Tag auf trockener (> 1.000 Fahrzeugübergänge) bis feuchter Fahrbahn seit der ersten Messung nichts geändert (B 19 Messfelder 1 bis 4, Wü4 Messfelder 1 bis 3 in Bild 118). Erst nachdem die Wasserfilmdicke durchgehend angestiegen war, konnte auf beiden Strecken eine starke Abnahme des Restsalzgehaltes beobachtet werden.

4.5.4 Messreihe KW 05-2013, Feuchtsalzstreuung

Auf dem Streckenabschnitt Wü9a wurde am Tag vor Beginn der Messwoche (am 27.01.2013) eine Feuchtsalzstreuung mit einer Streudichte von 12 g/m² (entsprechend einem tauwirksamen Anteil von 9,2 g/m²) durchgeführt. Auf dem Streckenabschnitt Wü9b wurden 17 g/m² (mit einem tauwirksamen Anteil von 13,1 g/m²) gestreut. Aufgrund des Streuvorgangs einen Tag vor Beginn der Messreihe konnten nicht alle Fahrzeugüberrollungen seit dem Streuvorgang ermittelt werden. Der Fahrbahnzustand während der Messungen war fast durchgehend nass. Die detaillierten Diagramme der Mess-

reihen befinden sich in Anhang 5.2. Bild 119 gibt die Abnahme des Restsalzgehaltes aller vier Streckenabschnitte über den Verlauf der Wasserfilmdicke wieder.

Erkennbar ist zunächst, dass sich trotz unterschiedlicher Streudichten die Restsalzgehalte auf der Fahrbahn angleichen. Bild 120 gibt den Fahrbahnzustand auf dem Streckenabschnitt Wü9a am 28.01.2013 (links) bzw. 29.01.2013 (rechts) wieder. Trotz der gleichen Beurteilung des Fahrbahnzustandes („nass“) ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Zwischen Messfeld 1 und 2 passierten in beide Fahrtrichtungen ähnlich viele Fahrzeuge (ca. 45 Stück) die Streckenabschnitte. Zwischen Messfeld 2 und 3 passierten in Fahrtrichtung A ca. 240 Fahrzeuge den Streckenabschnitt, in Fahrtrichtung B ca. 180 Fahrzeuge. In Fahrtrichtung A ist zu Beginn ein höherer Restsalzgehalt detektiert worden.

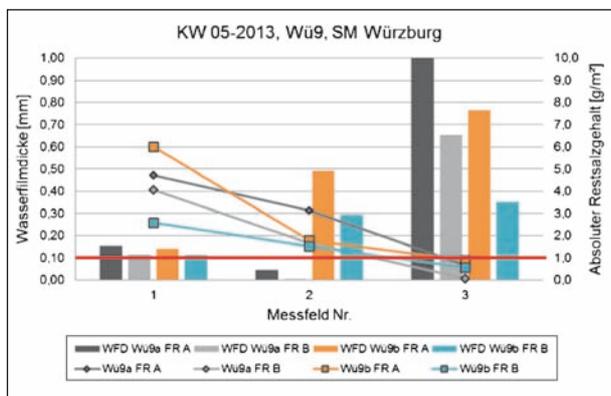


Bild 119: Restsalzgehalt über der Wasserfilmdicke, KW 05-2013, FS-30-Streuung, Würzburg

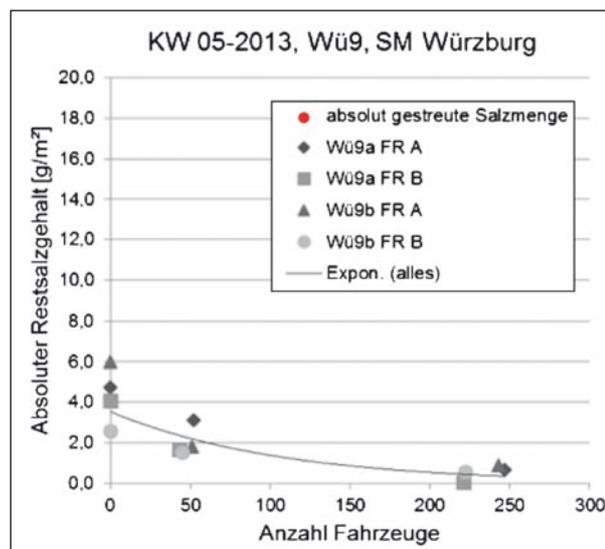


Bild 121: Abnahme des Restsalzgehaltes über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen seit einem Winterdienstinsatz (rechts) der Messreihe KW 05-2013, Wü9a und Wü9b, Würzburg



Bild 120: Nasser Fahrbahnzustand auf der Wü9a am 28.01.2013 (links) und am 29.01.2013 (rechts), SM Würzburg

Vermutlich aufgrund der höheren Anzahl an Fahrzeugüberrollungen und der höheren Wasserfilmdicke ist am Ende der Messreihe ein nahezu gleicher Restsalzgehalt auf der Fahrbahn in Fahrtrichtung A detektiert worden wie in Fahrtrichtung B, was besonders auf dem Streckenabschnitt Wü9b (Brücke) mit einer Querneigung in Fahrtrichtung A nach außen auffällig ist. Dies lässt darauf schließen, dass so viel Wasser auf der Fahrbahn war, dass trotz der unterschiedlichen Restsalzgehalte zu Beginn alles noch verbliebene Salz in Lösung gehen konnte und durch den Verkehr bzw. durch das Abfließen des Wassers auf der Fahrbahn der Salzgehalt abgenommen hat. Dies konnte auch schon durch andere Messreihen bestätigt werden.

horigen genauen Wasserfilmdicken, die bei den einzelnen Messfeldern erfasst wurden. Bei der ersten Messreihe wurden nur 10 g/m² (mit einem tauwirksamen Anteil von 2,3 g/m² Tausalz), bei der zweiten 60 g/m² Sole (mit einem tauwirksamen Anteil von 13,8 g/m²) gestreut. Deutlich zu erkennen ist in beide Fahrtrichtungen eine schnelle Abnahme des Restsalzgehaltes bei der sehr geringen Streudichte. Spätestens nach knapp 200 Fahrzeugen in Fahrtrichtung B bzw. 300 Fahrzeugen in Fahrtrichtung A (evtl. auch schon früher) konnte kein Restsalz auf der leicht feuchten Fahrbahn mehr detektiert werden. Im Gegensatz dazu konnten bei der höheren Streudichte selbst nach knapp 600 Fahr-

4.5.5 Messreihe KW 49-2012 und KW 05-2013, B 19

Zum Vergleich werden alle Messreihen bezogen auf den jeweiligen Streckenabschnitt dargestellt, da Beobachtungen ergeben haben, dass bei der Solestreuung insbesondere die Oberflächentextur der Fahrbahn eine größere Rolle spielt als bei der Feuchtsalz- oder Trockensalzstreuung. Bild 122 und Bild 124 geben die detaillierten Streudichten und Restsalzgehalte wieder, Bild 123 die dazuge-

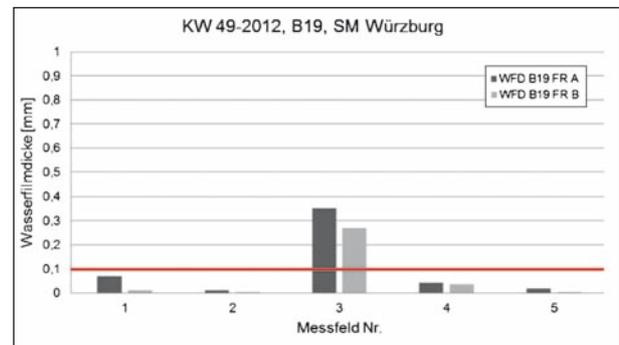


Bild 123: Wasserfilmdicke, KW 49-2012, Sole- Streuung, Würzburg

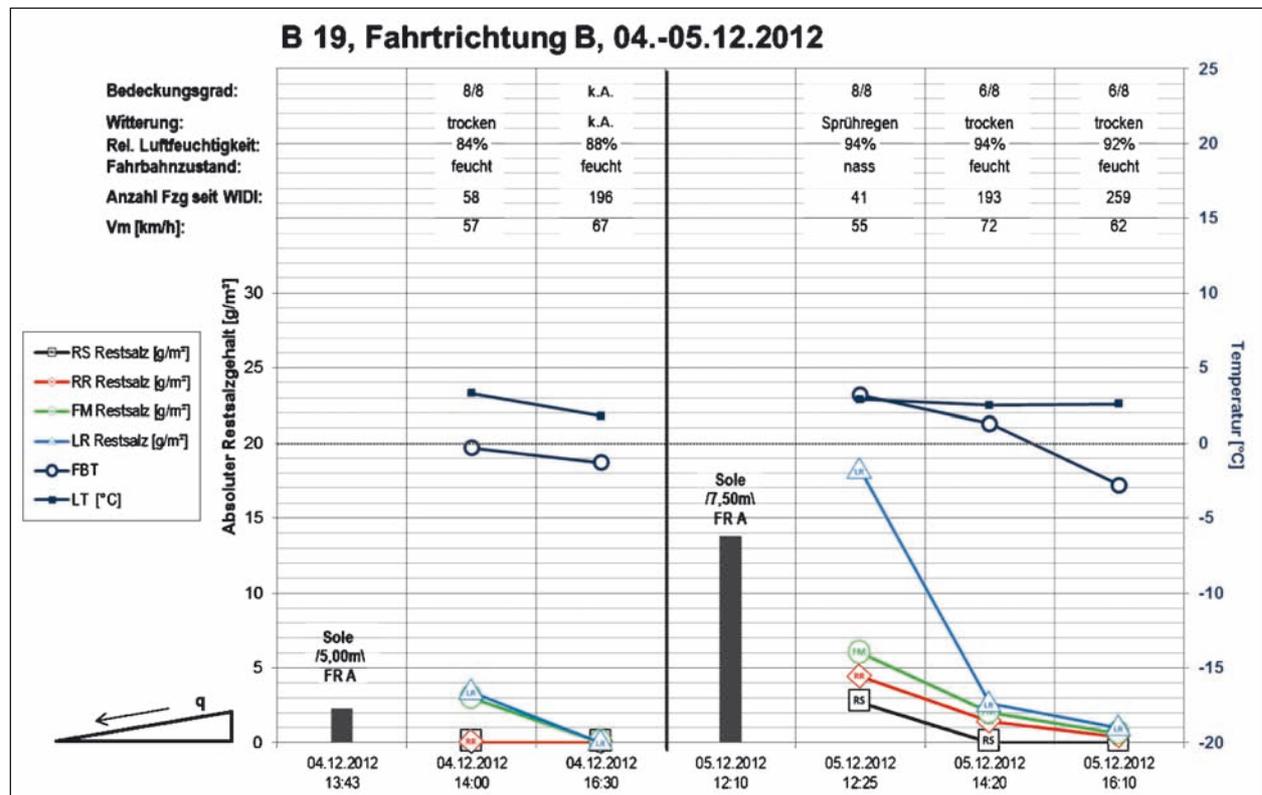


Bild 122: Messreihe KW 49-2012 auf der B 19 mit Sole in Fahrtrichtung B, Würzburg

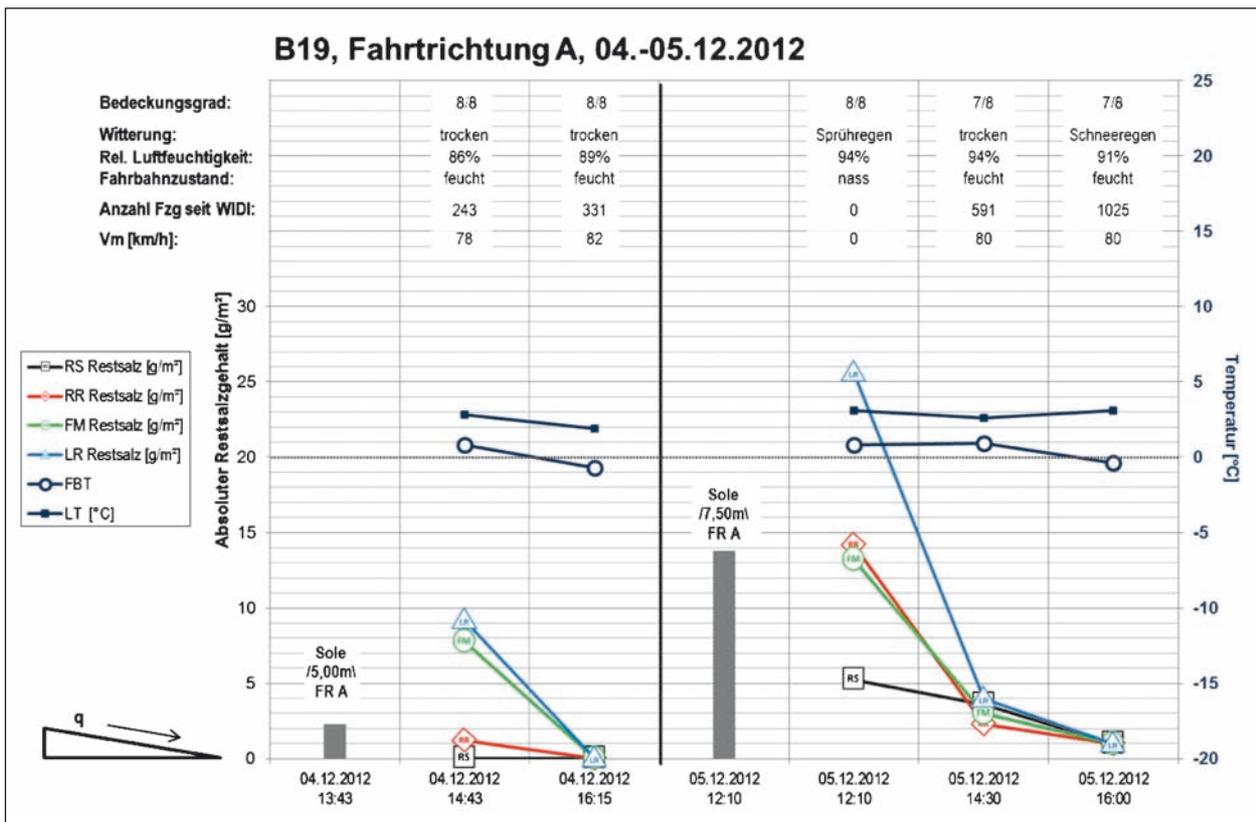


Bild 124: Messreihe KW 49-2012 auf der B 19 mit Sole in Fahrtrichtung A, Würzburg

zeugen in Fahrtrichtung A bzw. 200 Fahrzeugen in Fahrtrichtung B noch Werte deutlich über 2 g/m² erreicht werden, obwohl dort zu Beginn der Messreihe ein nasser Fahrbahnzustand vorherrschte. Erst nach einigen weiteren Fahrzeugüberrollungen fiel der Restsalzgehalt unter 2 g/m².

Auffällig bei den Messungen waren die unmittelbar nach dem Sprühen sehr unterschiedlichen Restsalzgehalte in den einzelnen Messspuren. Als Grund hierfür, gerade in der linken Rollspur, konnte eine defekte Düse ausgemacht werden.

Die Vermutung, dass auch starker Wind einen Einfluss haben könnte, kann nur durch spätere Messungen auf der Wü4 (bewaldet) in der gleichen Messwoche belegt werden. Vor den Messreihen in KW 05-2013 wurde ein Austausch der Sprühdüsen vorgenommen, was trotz wiederum sehr starken Windes zu einem deutlich gleichmäßigeren Streubild auch auf der B 19 führte. Eine Kombination aus beidem könnte dadurch die ungleichmäßige Verteilung verursacht haben.

Die etwas höheren Wasserfilmdicken bzw. Restsalzgehalte in Fahrtrichtung A können durch die Querneigung (in Fahrtrichtung A nach außen geneigt) herrühren.

In der zweiten Messwoche (KW 05-2013) wurde die B 19 kontinuierlich mit 20 g/m² (was einem tauwirksamen Anteil von 4,6 g/m² entspricht) Sole besprüht. Die dabei dokumentierten Messreihen wurden jeweils auf feuchter bis nasser Fahrbahn bzw. trockener bis sehr leicht feuchter Fahrbahn durchgeführt. Bild 125 und Bild 126 geben die detaillierten Messreihen wieder. Zunächst erkennbar sind die niedrigen Restsalzgehalte im Randstreifenbereich und die ansonsten recht gleichmäßige Verteilung der Sole, trotz starken Windes, was eine randscharfe Ablegung des Tausalzes (bei intakter Technik) belegt.

In beide Fahrtrichtungen zeigen die Messreihen einen recht einheitlichen Verlauf. Am 30.01.2013 konnte in beide Fahrtrichtungen nach ca. 500 Fahrzeugübergängen auf feucht-nasser Fahrbahn ein Restsalzgehalt knapp unter 2 g/m² detektiert werden (Bild 127). Auf fast durchgehend trockener Fahrbahn (Bild 128) am 31.01.2013 wurden vor dem Erreichen der gleichen Restsalzmenge drei Mal so viele Fahrzeuge auf dem Streckenabschnitt detektiert. Erst am nächsten Morgen war kein Restsalz mehr detektierbar, was auf den einsetzenden Sprühregen über Nacht zurückzuführen ist.

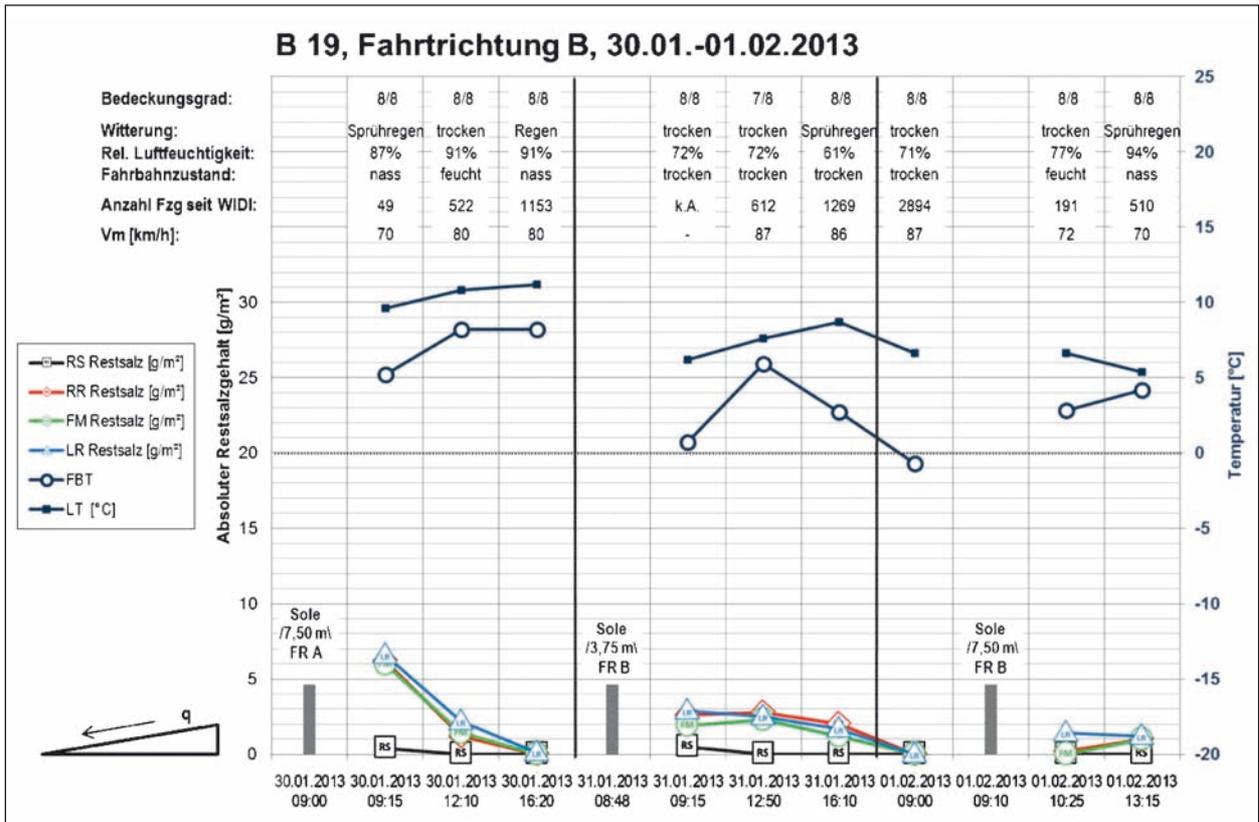


Bild 125: Messreihe KW 05-2013 auf der B 19 mit Sole in Fahrtrichtung B, Würzburg

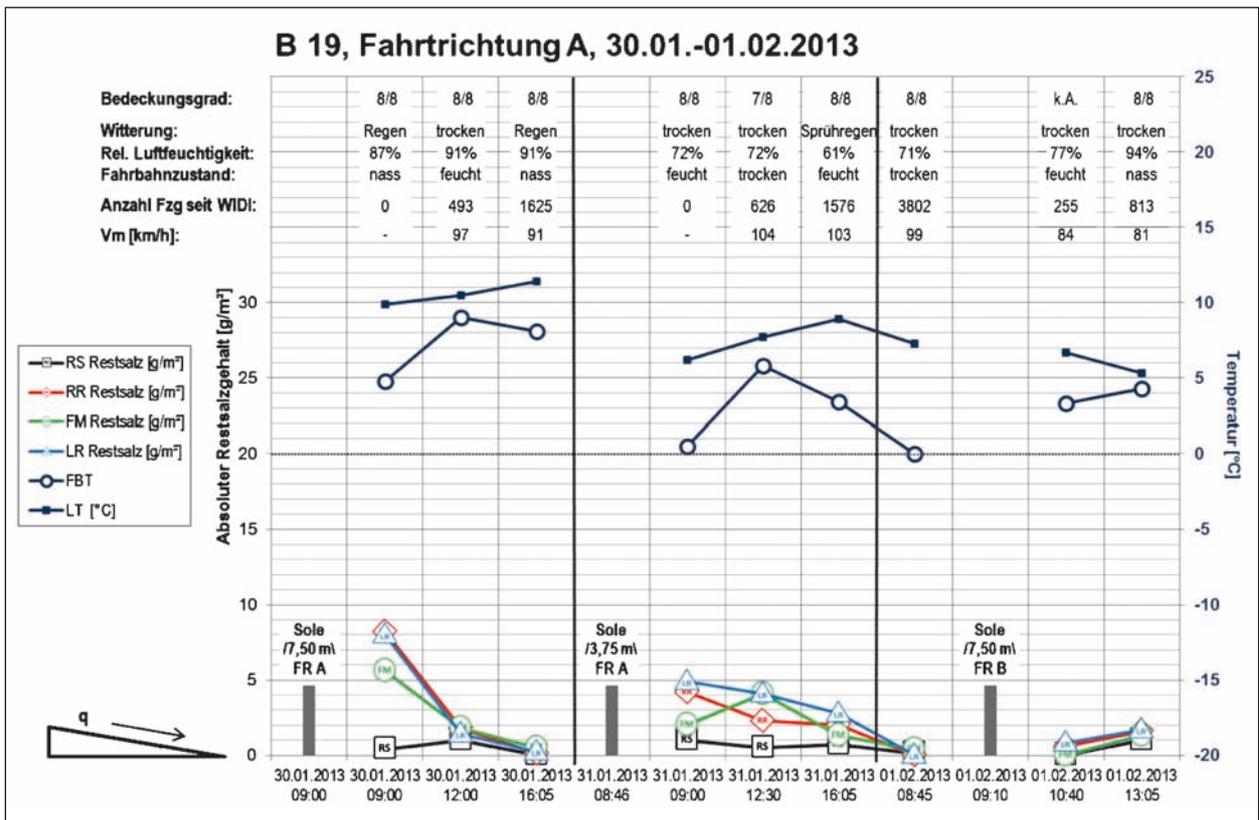


Bild 126: Messreihe KW 05-2013 auf der B 19 mit Sole in Fahrtrichtung A, Würzburg

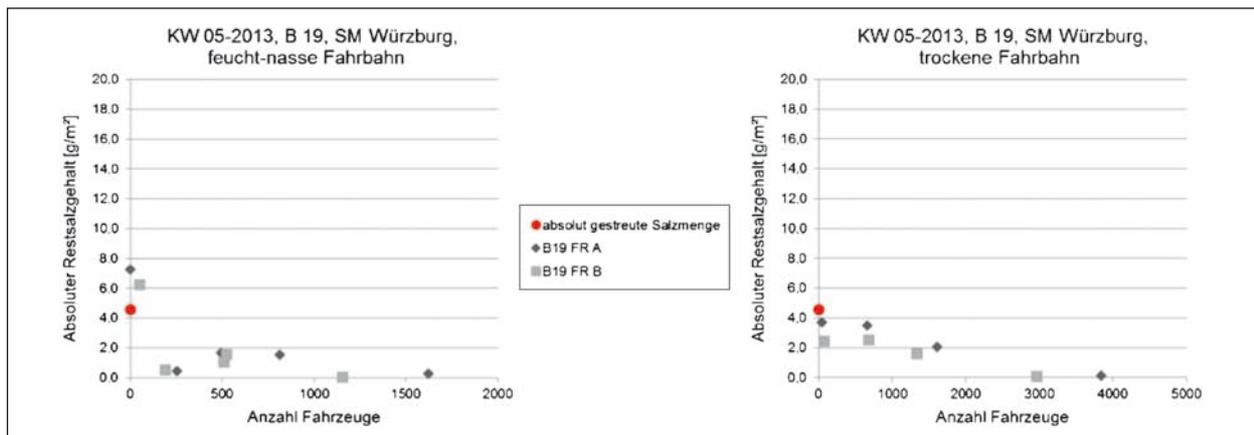


Bild 127: Abnahme des Restsalzgehaltes auf der B 19 bei trockener bzw. feucht-nasser Fahrbahn, KW 05-2013, Würzburg

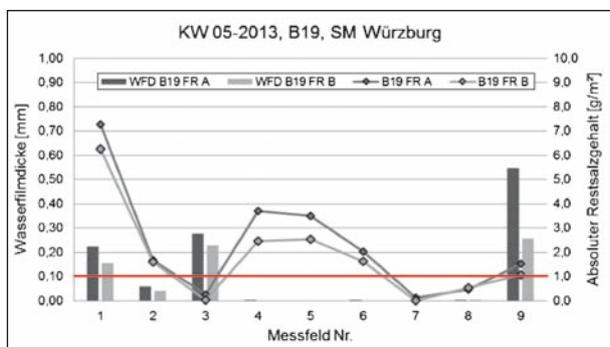


Bild 128: Verlauf der Wasserfilmdicke über den Restsalzgehalt, KW 05-2013, B 19, Würzburg

Nicht eindeutig geklärt werden kann die Messreihe am 01.02.2013. Hier war trotz sehr geringer Fahrbahnfeuchte zu Beginn in beide Fahrtrichtungen nur ein sehr niedriger Restsalzgehalt detektierbar ($< 2 \text{ g/m}^2$). Nach einsetzendem Niederschlag konnte ein in beide Fahrtrichtungen erhöhter Restsalzgehalt festgestellt werden. Eine eventuelle Erklärung hierfür könnte sein, dass das Salz nach dem Sprühvorgang in die Poren der Fahrbahnoberfläche gelaufen ist (Splittmastixasphalt) und somit für das Messgerät nicht detektierbar war. Nach dem einsetzenden Regen wurde das Salz wieder aus den Poren herausgedrückt und konnte somit kurzzeitig wieder erfasst werden.

4.5.6 Messreihe KW 49-2012 und KW 05-2013, B 19, Wü4

Charakteristisch für die Wü4 sind die hohe Längsneigung (Steigung in Fahrtrichtung B) sowie die Lage im Wald, wo Wind bei der Ausbringung kaum eine Rolle spielt, was zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Sole auf der Fahrbahn (insbesondere bei feuchter oder nasser Fahrbahn) führt (Bild 129).



Bild 129: Sprühvorgang auf der Wü4, Würzburg

Bei den Messungen herrschte zudem meist ein feuchter bis nasser Fahrbahnzustand. Gut zusammengefasst werden konnten daher die Messungen mit durchgehend nasser Fahrbahn (Bild 130 links) und feucht-nasser Fahrbahn (Bild 130 rechts). Die detaillierten Diagramme sind in Anhang 5.3 zusammengestellt. Bei durchgehend nasser Fahrbahn und einer Streudichte von 20 g/m^2 Sole reichen knapp unter 200 Fahrzeuge aus, um einen Restsalzgehalt von 2 g/m^2 zu unterschreiten. Bei feucht-nasser Fahrbahn können knapp 400 bis 600 Fahrzeuge die Fahrbahn passieren, was in etwa der Größenordnung auf der B 19 entspricht. Allerdings überwiegt, im Gegensatz zur Darstellung der B 19, bei dieser Darstellung die feuchte Fahrbahn, weswegen die Größenordnung der Fahrzeugüberrollungen eher unter der der B 19 liegt. Demnach kann der Längs- bzw. Querneigung hier ein Einfluss auf den Restsalzgehalt zugeschrieben werden, wofür auch der meist leicht erhöhte Restsalzgehalt bzw. die in den meisten Fällen höhere Wasserfilmdicke (Bild 131) in Fahrtrichtung A mit der Querneigung nach außen spricht.

Nach dem Absprühen auf trockener Fahrbahn am 31.01.2013 konnte wie auf der B 19 auch hier ein

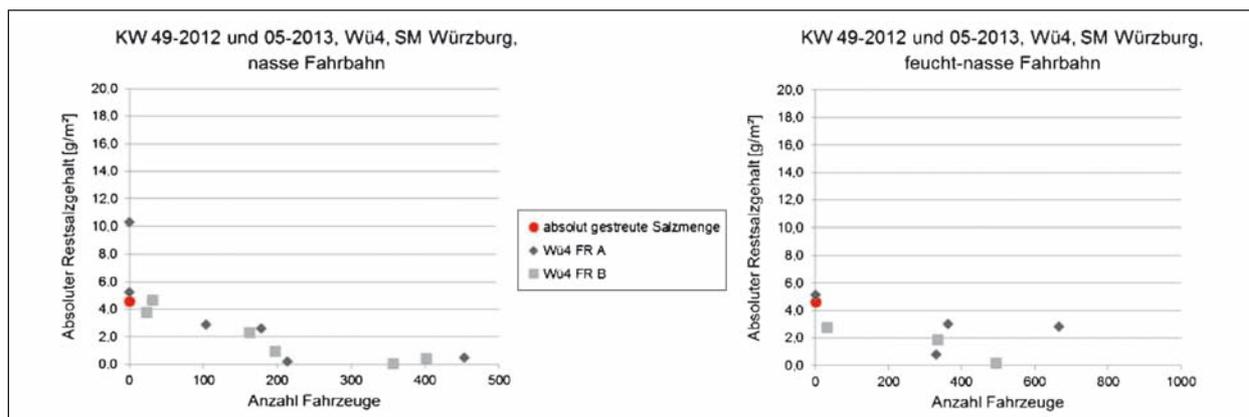


Bild 130: Abnahme des Restsalzgehaltes bei feucht-nasser Fahrbahn (rechts) und nasser Fahrbahn (links), Wü4, Würzburg

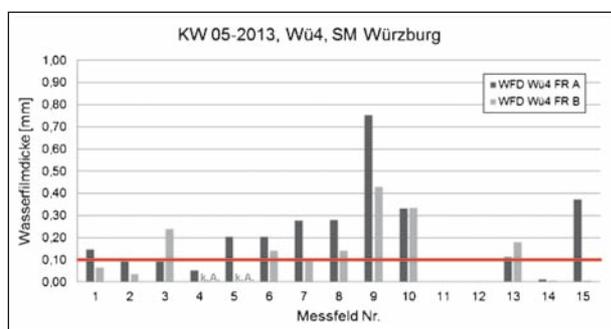


Bild 131: Wasserfilmdicke bei den Messreihen auf der Wü4, KW 49-2012 und 05-2013, Würzburg

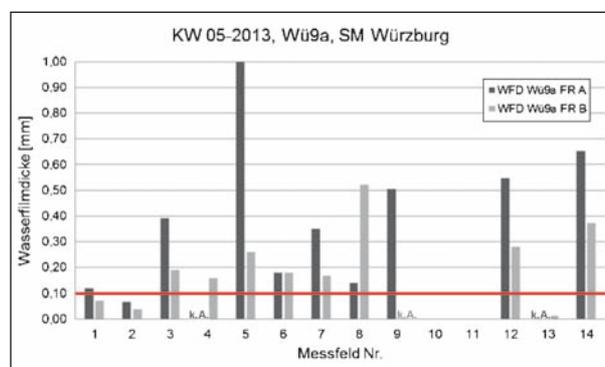


Bild 132: Wasserfilmdicke bei den Messreihen auf der Wü9a, KW 49-2012 und 05-2013, Würzburg

leicht erhöhter Restsalzgehalt nach dem Einsetzen von Regen (und somit einer nassen Fahrbahn) festgestellt werden. Dabei haben bei einsetzendem Regen in beide Fahrtrichtungen jeweils mehr als 500 Fahrzeuge die Messstrecke passiert, was ein Indiz dafür ist, dass bei trockener Fahrbahn die Sole deutlich länger hält als auf feucht-nasser Fahrbahn. Eine genaue Größenordnung kann durch den Wechsel der Witterung jedoch nicht gegeben werden.

4.5.7 Messreihe KW 49-2012 und KW 05-2013, Wü9a, freie Strecke

Bei den folgenden Messreihen auf Streckenabschnitt Wü9a (freies Feld) wurde ebenfalls immer mit 20 g/m² Sole gesprüht. Auch hier konnten in der ersten Messwoche (04. und 05.12.2012) ein etwas ungleichmäßiges Streubild erfasst werden, was wiederum den Sprühdüsen zuzuordnen ist. Aufgrund des Alters des Streckenabschnittes, ist eine eindeutige Querneigung nicht mehr festzustellen. Zudem liegt auf dem Streckenabschnitt eine relativ niedrige mittlere Oberflächentexturtiefe von 0,31 mm vor, was dazu geführt

hat, dass im Gegensatz zu anderen Streckenabschnitten verhältnismäßig hohe Wasserfilmdicken bei nasser Fahrbahn gemessen wurden (Bild 132).

Bei weiterer Betrachtung der Fahrzeugüberrollungen ist zu erkennen, dass auf nasser Fahrbahn bereits nach knapp 40 Fahrzeugüberrollungen der Restsalzgehalt unter 2 g/m² sinkt (Bild 133 rechts), bei feucht-nasser Fahrbahn ist tendenziell eine höhere Liegedauer zu erwarten (Bild 133 links), eine genaue Größenordnung kann jedoch nicht angegeben werden. Bei trockener Fahrbahn hat sich nach 30 bis 50 Fahrzeugen (siehe detaillierte Diagramme in Anhang 5.3) keine Abnahme am Restsalzgehalt ergeben. Da das allgemeine Verkehrsaufkommen auf diesem Streckenabschnitt sehr gering ist (knapp 50 Fahrzeuge in drei Stunden), ist evtl. in diesem Zusammenhang die Fahrbahnoberflächentextur bei der Solestreuung ein ausschlaggebendes Kriterium bei der Liegedauer von Tausalz.

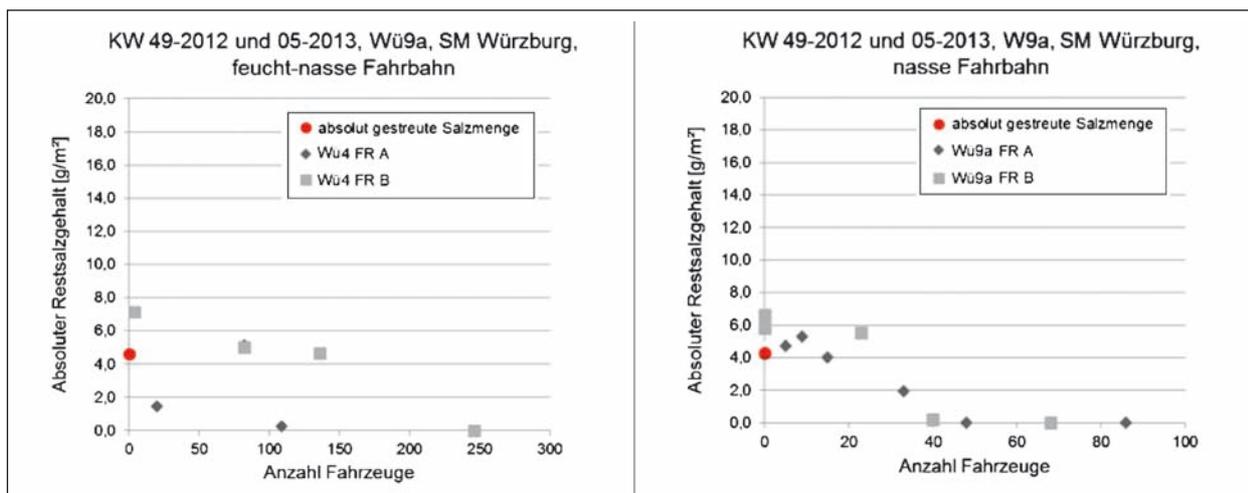


Bild 133: Abnahme des Restsalzgehaltes bei feucht-nasser Fahrbahn (links) und nasser Fahrbahn (rechts), Wü9a, Würzburg

4.5.8 Messreihe KW 49-2012 und KW 05-2013, Wü9b, Brücke

Der Streckenabschnitt Wü9b liegt auf einer Brücke mit einer sehr starken Querneigung nach außen in Fahrtrichtung A. Daraus resultiert bei nasser Fahrbahn immer eine deutlich höhere Wasserfilmdicke in diese Fahrtrichtung (Bild 134).

Zudem konnten auf dem Randstreifen in Fahrtrichtung A bei nasser Fahrbahn (im Gegensatz zu Fahrtrichtung B) immer erhöhte Restsalzgehalte, die auch über denen der anderen Rollspuren lagen, festgestellt werden, was ein eindeutiges Anzeichen für den Einfluss der Querneigung auf diesem Streckenabschnitt ist. Besonders gut zu erkennen ist dies auf Bild 135 bzw. Bild 136. Bei den anderen Streckenabschnitten lag der Restsalzgehalt auf dem Randstreifen in beide Fahrtrichtungen immer unter denen der anderen Rollspuren.

Bei Auftreten einer sehr nassen Fahrbahn (Messfelder 5, 8 und 10 in Bild 134) war auch auf diesem Streckenabschnitt, analog zum Streckenabschnitt Wü9a, nach weniger als 40 Fahrzeugüberrollungen kein Restsalz mehr auf der Fahrbahn detektierbar, außer in Fahrtrichtung A auf dem Randstreifen. Auf trockener Fahrbahn am 31.01.2013 hatte sich am Salzgehalt nach dem Streuvorgang auch nach 40 Fahrzeugübergängen keine wesentliche Änderung des Restsalzgehaltes ergeben. Auf weniger nasser Fahrbahn (Messfelder 1 und 2 in Bild 134 bzw. Anhang 5.3) konnte, wie auf dem Streckenabschnitt Wü9a bei feucht-nasser Fahrbahn, eine längere Liegedauer erfasst werden, was vermutlich auf die Oberflächentextur der

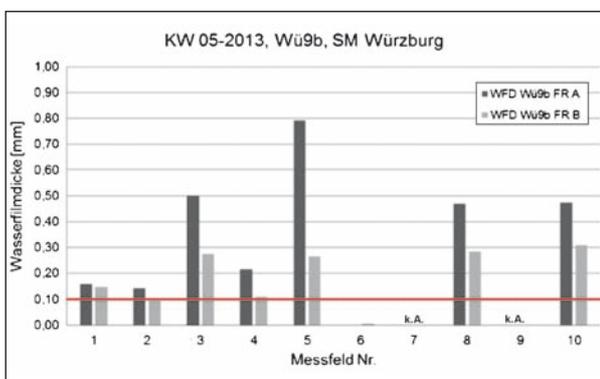


Bild 134: Wasserfilmdicke bei den Messreihen auf der Wü9b, KW 49-2012 und 05-2013, Würzburg

Fahrbahn zurückzuführen ist. Diese ist auf dem Streckenabschnitt Wü9b mehr als doppelt so hoch (MTD = 0,70 mm) als auf dem Streckenabschnitt Wü9a. Trotz der sehr hohen Querneigung ist hier eine Liegedauer bis 2 g/m² bei knapp 100 Fahrzeugüberrollungen gegeben.

Bild 137 gibt die Messreihe am 30.01.2013 auf der Wü9b wieder. Ca. eine Stunde nach dem Streuvorgang (gegen 11:00 Uhr) haben knapp 10 Fahrzeuge den Streckenabschnitt überfahren. Bereits zu diesem Zeitpunkt ist eine starke Verlagerung des Tausalzgehaltes in Querneigung nach unten festzustellen. Zwei Stunden später (nach knapp 30 weiteren Fahrzeugüberrollungen) befindet sich nur noch Restsalz auf dem Randstreifen in Fahrtrichtung A. Trotz der höheren Texturtiefe ist hier ein eindeutiger Einfluss der Querneigung zu erkennen, allerdings kann keine Größenordnung beziffert werden.

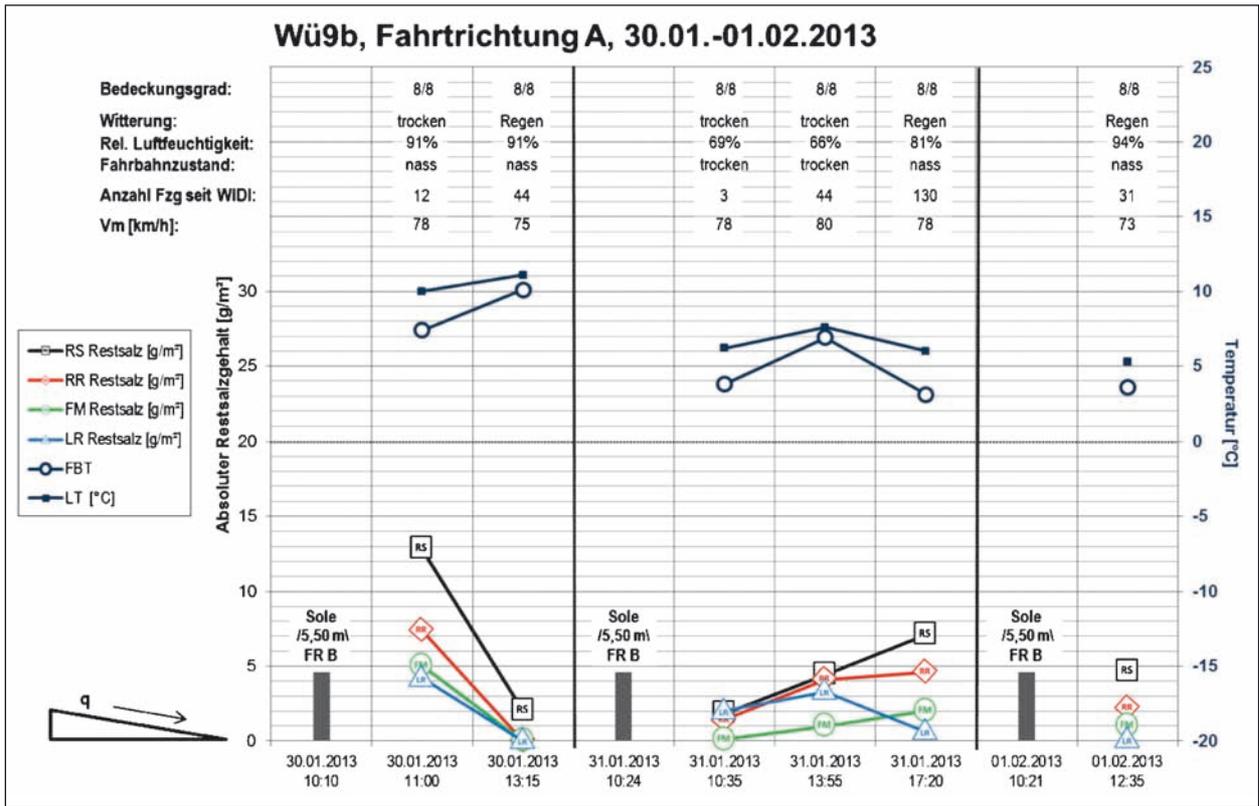


Bild 135: Messreihe KW 05-2013 auf der Wü9b mit Sole in Fahrtrichtung A, Würzburg

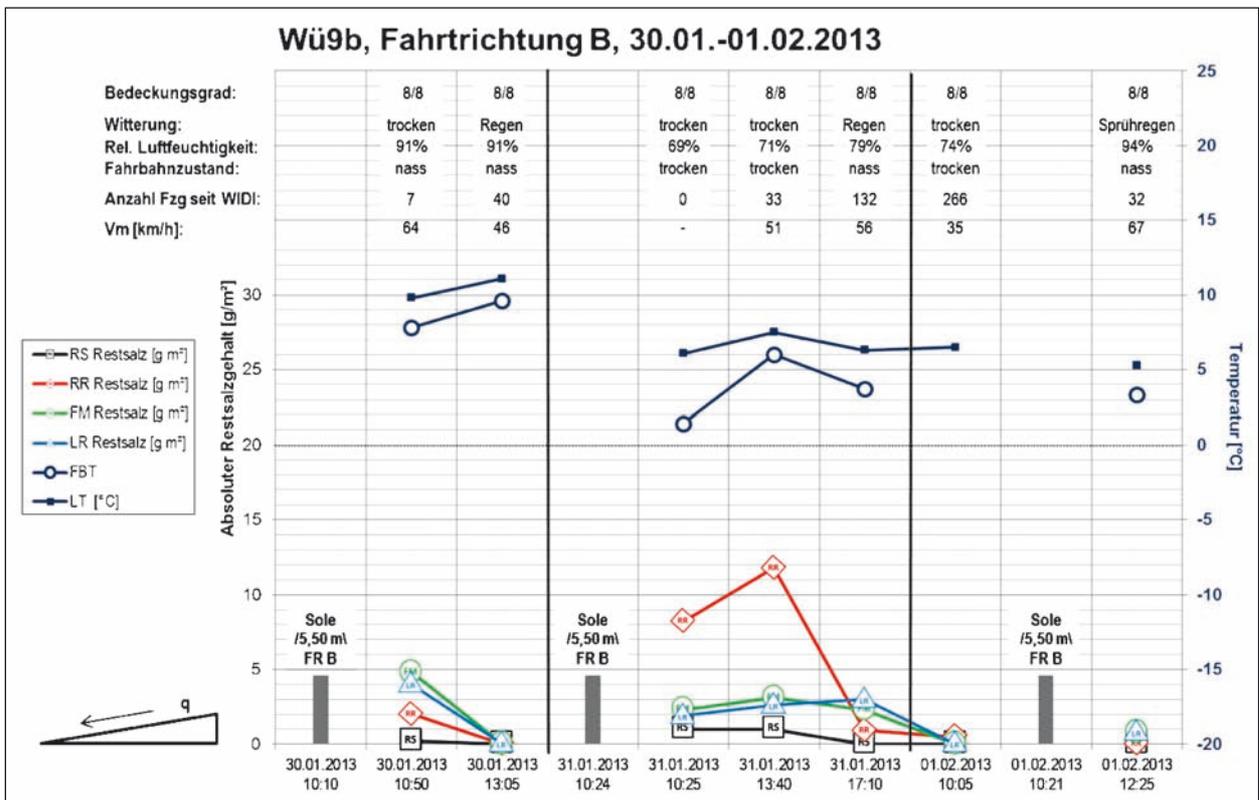


Bild 136: Messreihe KW 05-2013 auf der Wü9b mit Sole in Fahrtrichtung B, Würzburg

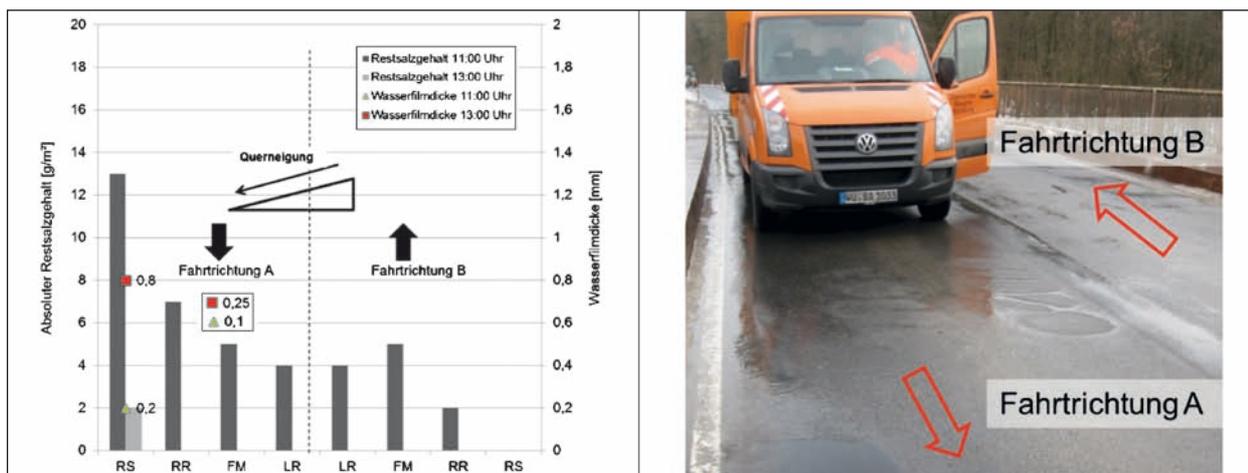


Bild 137: Einfluss der Querneigung auf die Tausalzverteilung auf dem Streckenabschnitt Wü9b, Würzburg

5 Einfluss relevanter Randbedingungen

5.1 Allgemeines

In den folgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Parameter, wie bspw. die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen, die einen Einfluss auf die Liegedauer von Tausalz haben, eingegangen. Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Zusammenfassung der Ergebnisse auch immer die Ergebnisse der einzelnen Messreihen mitbetrachtet werden. Allein aufgrund der Zusammenfassungen ist allenfalls eine Übersicht gegeben, da die vielen unterschiedlichen Randbedingungen, angefangen bei der Art des Streusalzes, der Streudichte, den Fahrbahnzuständen sowohl beim Streueinsatz als auch während der Messungen und der unterschiedlichen Umfeldcharakteristiken einer Strecke eine sinnvolle Zusammenfassung über alle Messreihen kaum möglich machen. Insbesondere die teilweise stark wechselnden Witterungsbedingungen während einzelner Messreihen erschwert dies.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Randbedingungen sind beim Einsatz von FS 30 aufgrund der Messtechnik Messungenauigkeiten aufgetreten. So konnten z. B. bei der Messreihe KW 10-2012 (Kapitel 4.4.4) in Schwäbisch Gmünd und Messreihe KW 48-2012 (Kapitel 4.2.5) in Karlsruhe bei der zweiten Messung nach einem Streuvorgang höhere bzw. gleichbleibende Werte ermittelt werden als unmittelbar nach dem Streuvorgang. Auf nasser Fahrbahn hat dies den Hintergrund, dass direkt nach dem Streuen die Salzkörner eine gewisse Zeit brauchen, um vollständig in Lösung zu gehen. Das

Messgerät SOBO 20 ist jedoch nur imstande die korrekte Salzmenge anzugeben, wenn das Salz komplett gelöst vorliegt. So sind beispielsweise Salze mit einem höheren Gehalt an feinem, sich schneller lösenden Salz leichter zu erfassen. Daraus resultieren auch Schwierigkeiten bei der Erfassung der korrekten Streumenge auf trockener Fahrbahn. Es kann davon ausgegangen werden, dass der eigentliche Salzgehalt auf trockener Fahrbahn noch über dem ermittelten Salzgehalt liegt (sofern Salz bestimmt werden konnte und nicht bei null lag). Kein Problem stellt die Messtechnik beim Einsatz von Sole dar, da hier bereits komplett gelöstes Salz vorliegt und somit auch auf trockener Fahrbahn problemlos bestimmt werden konnte.

Für die Darstellung der Zusammenfassung des Restsalzgehaltes über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen wurde auf eine logarithmische Trendlinie zurückgegriffen. Diese kann insbesondere bei stark zunehmenden/ansteigenden Daten mit anschließendem „Auslaufen“ zu einem bestimmten Wert hin eingesetzt werden. Zudem ist sie auch sinnvoll einsetzbar, wenn die Datenreihen Null-Werte enthalten. Das zugehörige Bestimmtheitsmaß R^2 (in den Diagrammen nicht angegeben) fällt bei den Darstellungen gering aus. Dies resultiert aus den verschiedenen Randbedingungen vor Ort. Je weniger Variation zur Darstellung eines Diagramms verwendet wurden (bspw. Anzahl der Streckenabschnitte), desto höher fällt offensichtlich auch das Bestimmtheitsmaß aus. Nachteilig wirkt sich das auf die Anzahl der Datenpunkte aus, die bei geringerer Variation (beispielsweise die Zusammenfassung von nur einem Streckenabschnitt bei nasser Fahrbahn) ebenfalls geringer ausfällt. Ange-

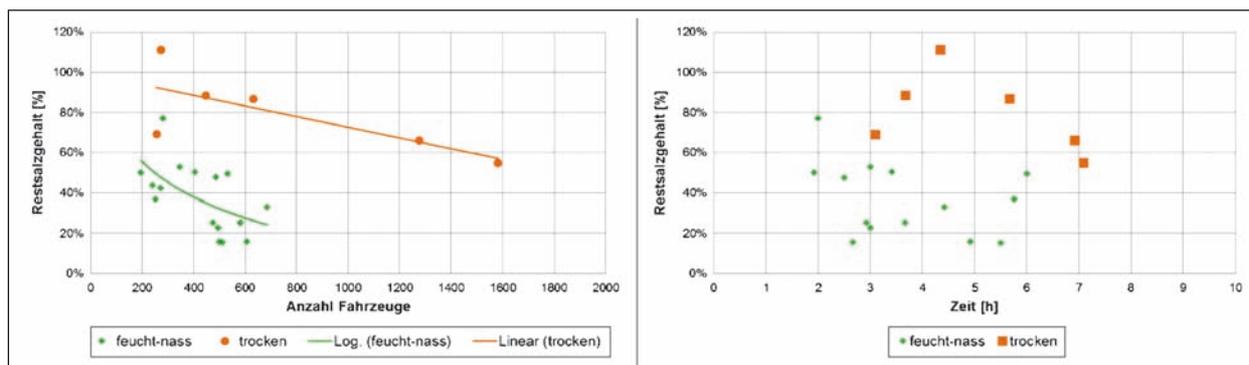


Bild 138: Verlauf des Restsalzgehaltes über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (links) und die Zeit (rechts)

sichts der geringen Anzahl an Datenpunkten ist ohnehin eine Verdeutlichung qualitativer Zusammenhänge von größerer Bedeutung als signifikante statistische Zusammenhänge im engeren Sinn.

Bei der Darstellung der Ergebnisse wird generell auf die Anzeige des Restsalzgehaltes über die Zeit verzichtet. Bild 138 zeigt beispielhaft die Auswertung von drei unterschiedlichen Messreihen auf verschiedenen Streckenabschnitten über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen (links) und die Zeit (rechts). Dabei ist eine Darstellung aufgrund der unterschiedlichen Verkehrsstärken auf allen Strecken nur über die Anzahl der Fahrzeuge sinnvoll. Dies sollte auch später bei der Planung von Winterdienstseinsätzen in der Hinsicht Berücksichtigung finden.

Auf die Angabe von DTV-Werten wird demzufolge generell verzichtet, da sich selbst bei Strecken mit gleichem DTV die Form der Ganglinien sehr unterschiedlich auf die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen in einem bestimmten Zeitraum auswirken kann. Auch könnte bei Verwendung von DTV-Werten nicht auf Spitzenstunden auf einer Strecke eingegangen werden. Teilweise passiert in einer Spitzenstunde (insbesondere morgens oder abends) die dreifache Menge an Fahrzeugen einen Streckenabschnitt gegenüber anderen Zeiten (beispielsweise in der Mittagszeit). Am Beispiel der Ganglinie der Wü4, Anhang 1.4, ist dies gut zu erkennen.

5.2 Anzahl der Fahrzeugüberrollungen

Bild 139 gibt die Anteile des Restsalzgehaltes über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen aller Messreihen wieder. Die Punkte stellen jeweils den Restsalzgehalt der letzten Messung einer Messreihe bezogen auf den jeweils zuerst gemessenen Wert

nach einem Streuvorgang dar. Somit ist gewährleistet, dass auch Restsalzgehalte, die vor einem Streuvorgang noch auf der Fahrbahn vorhanden waren, in die Betrachtung mit einfließen.

Die Einteilung der Fahrbahnzustände erfolgte aufgrund des bei jedem Messfeld einer Messreihe durchgeführten Tuchttests (Kapitel 3.2.3). Die erhöhten Restsalzgehalte (über 100 % des zuerst gemessenen Wertes) stellen messtechnisch bedingte Anstiege durch zwischen den Messungen unterschiedlich vorherrschende Fahrbahnzustände (die nicht erfasst werden konnten) und Zerkleinerung und Verteilung vorhandenen Trockensalzes durch den Verkehr dar (siehe auch Auswertung der einzelnen Messreihen). Da nicht bei allen Messreihen ein durchweg gleicher Fahrbahnzustand herrschte, wurde die Darstellung der „feucht-nassen“ Fahrbahn hinzugefügt, bei der innerhalb der Messreihe zwischen den einzelnen Messfeldern der Fahrbahnzustand stets von feucht zu nass und umgekehrt wechselte.

Bild 140 gibt die gleichen Messreihen zur besseren Übersicht aufgeteilt nach den einzelnen Fahrbahnzuständen wieder. Dabei wird ersichtlich, dass bei durchgehend nasser Fahrbahn schon nach sehr wenigen Fahrzeugüberrollungen (< 200 Fahrzeuge) bereits 50 % des ursprünglichen Salzgehaltes von der Fahrbahn verfrachtet wurden. Bei feucht-nasser Fahrbahn können deutlich mehr Fahrzeuge die Fahrbahn passieren, (ca. 600 Fahrzeuge). Bei feuchter bzw. trockener Fahrbahn sind selbst nach 1.000 Fahrzeugüberrollungen noch mehr als 50 % Restsalzgehalt auf der Fahrbahn messbar. Insbesondere bei den Messreihen auf trockener Fahrbahn kann ein messtechnisch bedingter Anstieg der Salzgehalte nach Einsetzen von Niederschlag nicht ausgeschlossen werden, d. h. dass bspw. Präventiveinsätze auf trockener Fahrbahn auf Landstraßen im größeren zeitlichen

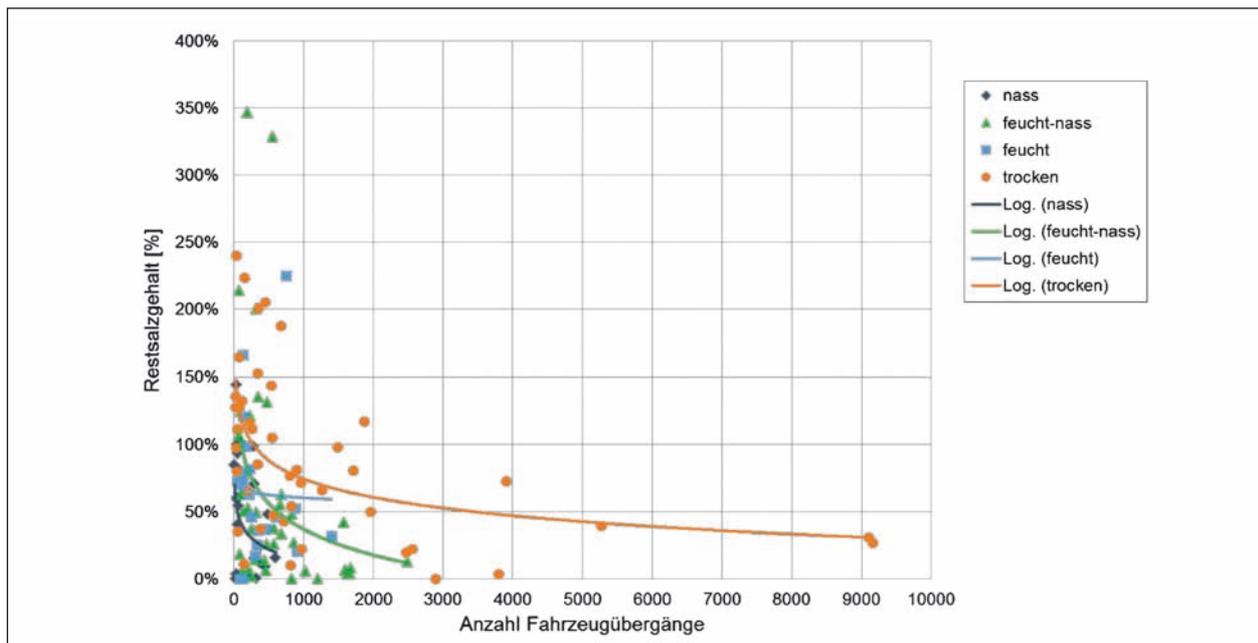


Bild 139: Restsalzgehalte über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen aller Messreihen zusammengefasst bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen

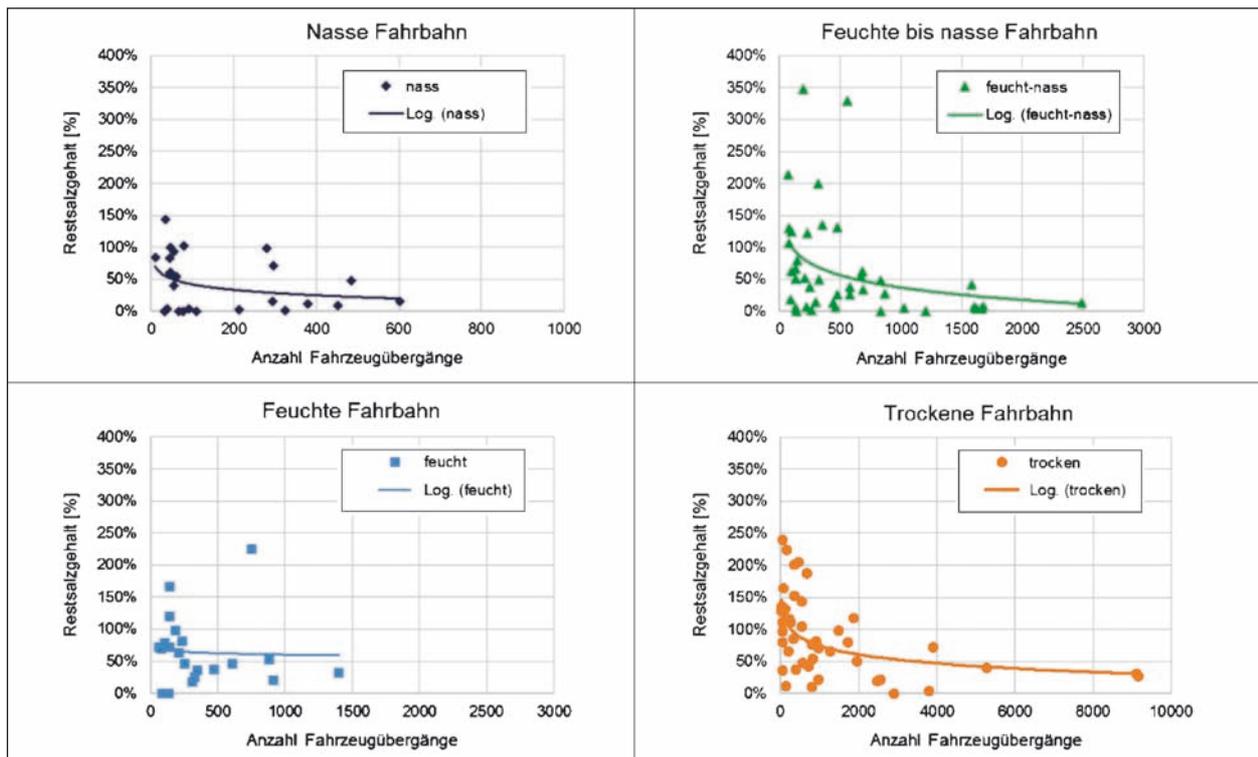


Bild 140: Restsalzgehalte über die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen aller Messreihen der Fahrbahnzustände nass, feucht-nass, feucht und trocken

Vorlauf geschehen können als auf Autobahnen, alleine durch das niedrigere Verkehrsaufkommen und die niedrigeren gefahrenen Geschwindigkeiten.

Eine Unterscheidung nach den verschiedenen Salzarten ist aufgrund der unterschiedlichen Ergeb-

nisse bei den Salzarten untereinander (beispielsweise bei unterschiedlichen Oberflächentexturteilen bei Sole) nur bedingt möglich, weswegen hier noch einmal explizit auf die Ergebnisse der einzelnen Messreihen verwiesen wird. Bild 141 links zeigt zusammengefasst die Abnahme des Tausalzgehal-

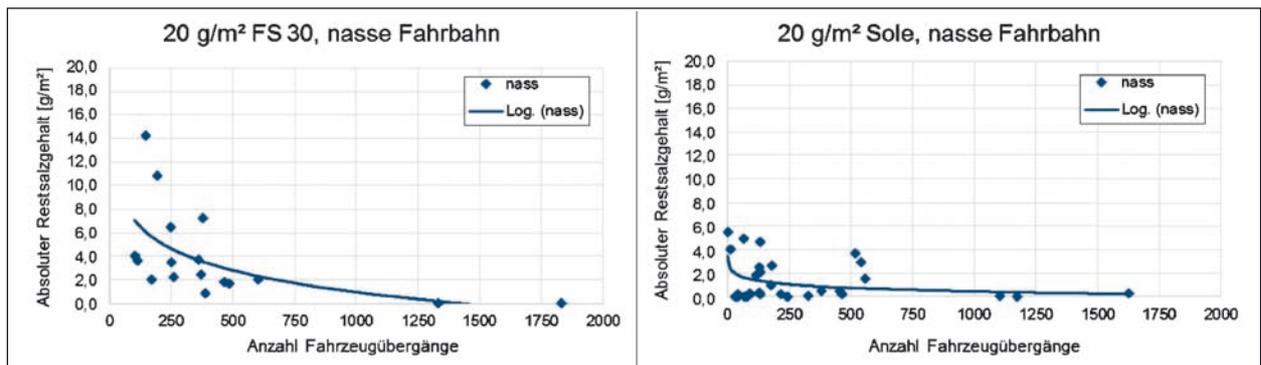


Bild 141: Abnahme des Restsalzgehaltes bei 20 g/m² FS 30 (links) und 20 g/m² Sole (rechts) auf nasser Fahrbahn

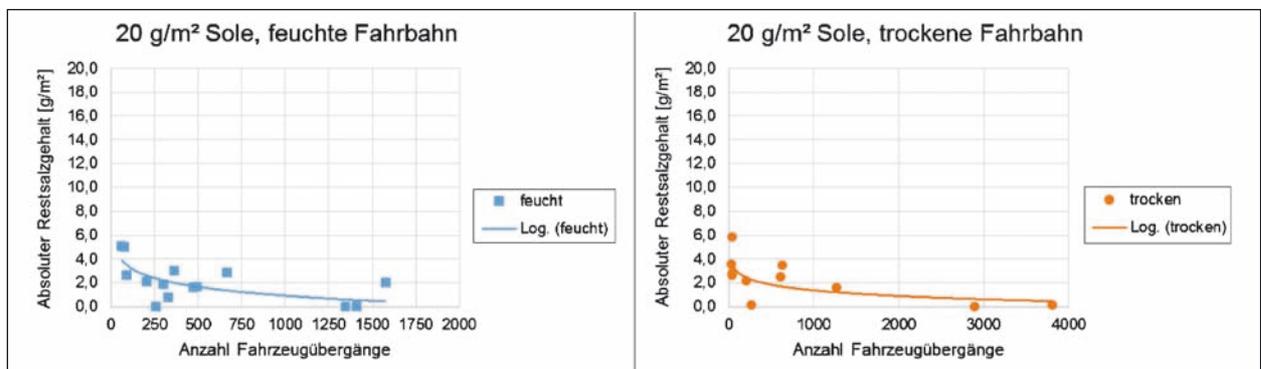


Bild 142: Abnahme des Restsalzgehaltes bei 20 g/m² Sole auf feuchter (links) und trockener Fahrbahn (rechts)

tes auf nasser Fahrbahn bei einer Streudichte von 20 g/m² FS 30. Im Vergleich dazu ist in Bild 141 rechts die Abnahme von Tausalz bei einer Solestreuung von 20 g/m² dargestellt. Wie in den einzelnen Messreihen beschrieben, ist bei einem Feuchtsalzinsatz eine relativ eindeutige Abnahme auf 2 g/m² bei ca. 500 Fahrzeugübergängen gegeben, unabhängig von den verschiedenen Fahrbahnoberflächen. Bei Sole ist die Abnahme auf 2 g/m² tendenziell schon bei knapp 200 Fahrzeugen erreicht. Auch wenn abhängig von Oberflächentextur bzw. Quer- und Längsneigung höhere Werte erreicht werden können, ist jedoch ein vorbeugender Solestreuvorgang auf nasser Fahrbahn in der Regel als nicht sinnvoll zu erachten.

Wie Bild 142 zeigt, ist eine relevante Abnahme des Tausalzgehaltes bei einem Sprühvorgang von 20 g/m² Sole auf feuchter bzw. trockener Fahrbahn erst nach deutlich mehr Fahrzeugübergängen zu erkennen. So kann bei feuchter Fahrbahn davon ausgegangen werden, dass ein erneuter Streuvorgang (bei gleichbleibendem feuchtem Fahrbahnzustand) erst nach 500 bis 750 Fahrzeugen wieder notwendig wird, auf trockener Fahrbahn nach ca. 1.000 bis 1.500 Fahrzeugen. Präventive Streuvorgänge auch mit Sole sind demnach kurz vor einem

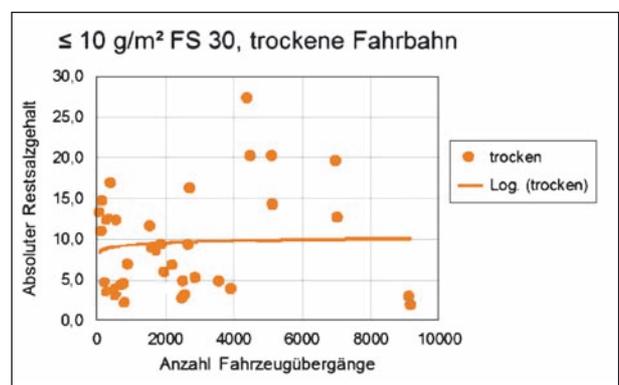


Bild 143: Restsalzgehalt bei Streudichten < 10 g/m² mit FS 30 auf trockener bzw. abtrocknender Fahrbahn als Präventivmaßnahme

evtl. eintretenden Glätteereignis bei diesen Fahrbahnzuständen und entsprechend niedrigen Verkehrsbelastungen sinnvoll.

Bild 143 gibt den Verlauf des Restsalzgehaltes auf trockener Fahrbahn (bzw. abtrocknender Fahrbahn) bei Streudichten unter 10 g/m² mit FS 30 wieder. Insbesondere bei zwischenzeitlich feuchter Fahrbahn und einem erneuten Abtrocknen bzw. Auskristallisieren ist beim Salzgehalt tendenziell eher ein Anstieg bzw. zumindest ein Gleichbleiben als eine Abnahme zu erkennen. Dies kann eine Er-

leichterung für die Einsatzplanung darstellen, indem beispielsweise präventive Streuvorgänge nicht morgens sehr früh stattfinden müssen, sondern am Abend vorher möglich sind, wenn sichergestellt ist, dass anschließend keine große Anzahl an Fahrzeugübergängen zu erwarten ist. So kann der Fokus bei den morgendlichen Einsätzen auf den Streckenabschnitten der Dringlichkeitsstufe 1 liegen, ohne dass dabei ein größerer Nachteil für die Strecken der höheren Dringlichkeitsstufen entsteht, da bei einem bevorstehenden Glätteereignis mehr Zeit bzw. allg. mehr Ressourcen zum Reagieren und Agieren vorgehalten werden können.

5.3 Querneigung, Längsneigung, Oberflächentextur

Wie in Kapitel 4 bei den einzelnen Messreihen bereits näher erläutert, haben auf nasser Fahrbahn die Quer- und Längsneigung sowie auf trockener Fahrbahn die Oberflächentextur einen größeren Einfluss auf die Liegedauer von Tausalz als bisher angenommen. Folgende Auswirkungen konnten bei FS 30 festgestellt werden:

- Auf Streckenabschnitten mit wenig Verkehrseinwirkung und nasser Fahrbahn (bspw. Messreihe KW 47-2012, Kapitel 4.3.5, Gernsbach) ist zu erkennen, dass vor allem vorhandene Längs- bzw. Querneigungen für einen kontinuierlichen Salzabtrag sorgen.
- Insbesondere wenn die Fahrbahn in Richtung des bei der Streuung nicht befahrenen Fahrstreifens geneigt ist, konnte ein Angleichen der Werte des Restsalzgehaltes festgestellt werden (z. B. Messreihe 10-2012, Schwäbisch Gmünd, Kapitel 4.4.4).
- Beim Einsatz von FS 30 auf Streckenabschnitten mit unterschiedlichen mittleren Oberflächentexturtiefen konnte eine ähnliche Liegedauer nachgewiesen werden (bspw. Messreihe KW 09-2012, Karlsruhe, Kapitel 4.2.3).
- Sind viele große Poren vorhanden (große mittlere Oberflächentexturtiefe), kann sich selbst Trockensalz lange darin halten (bspw. auf L66b_b und L66b_c, Gernsbach). Auch auf glatteren Streckenabschnitten (geringere mittlere Oberflächentexturtiefe) kann, durch die relativ geringen Geschwindigkeiten, Trockensalz fein

gemahlen werden und sich in den Poren festsetzen (bspw. auf der L 604 oder der Grabener Straße, Karlsruhe).

- Gleiche Größenordnungen der mittleren Oberflächentexturtiefe können durch unterschiedliche tatsächliche Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche bedingt sein. So können gleichmäßig in hoher Anzahl verteilte Poren mit geringer Tiefe (bspw. die Grabener Straße, Karlsruhe) zu den gleichen Messwerten führen wie ungleichmäßig verteilte und weniger oft auftretende große Poren (bspw. die L 604, Karlsruhe).

5.4 Salzqualität

Im Rahmen der Untersuchungen wurde auch das verwendete Tausalz nach den TL Streu (2003) untersucht (Anhang 6.2). Dabei konnten geringe Unterschiede bei den Korngrößenverteilungen festgestellt werden. Alle ermittelten Werte liegen jedoch im Normbereich.

Es ist jedoch davon auszugehen, dass bei erhöhten Feinanteilen das Salz bei nasser Fahrbahn schneller in Lösung geht und somit auch etwas früher von der Fahrbahn verdrängt wird bzw. auch für das Messgerät besser zu erfassen ist. Im Umkehrschluss lässt sich daraus ableiten, dass angefeuchtetes feines Salz auch auf trockener Fahrbahn besser in kleineren Poren haften bleibt als sehr grobkörniges Salz. Größenordnungen hierzu können nicht angegeben werden.

5.5 Fahrbahnzustand

Wie einzelne Messreihen gezeigt haben, waren höhere Abnahmen des Tausalzgehaltes bei Vorhandensein höherer Wasserfilmdicken erkennbar. Beim Auftragen der prozentualen Abnahme des Restsalzgehaltes vom jeweiligen Wert der vorherigen Messung über den Anstieg der Wasserfilmdicke (Bild 144 für feuchte Fahrbahn bzw. Bild 145 für nasse Fahrbahn) ist bei feuchter Fahrbahn eine minimal erhöhte Abnahme des Restsalzgehaltes mit ansteigender Wasserfilmdicke zu erkennen. Auf nasser Fahrbahn fällt die Abnahme deutlicher aus. Eine negative Abnahme des Restsalzgehaltes in diesen Bildern bedeutet zunächst eine (messtechnisch) bedingte Zunahme des absoluten Restsalzgehaltes auf der Fahrbahn.

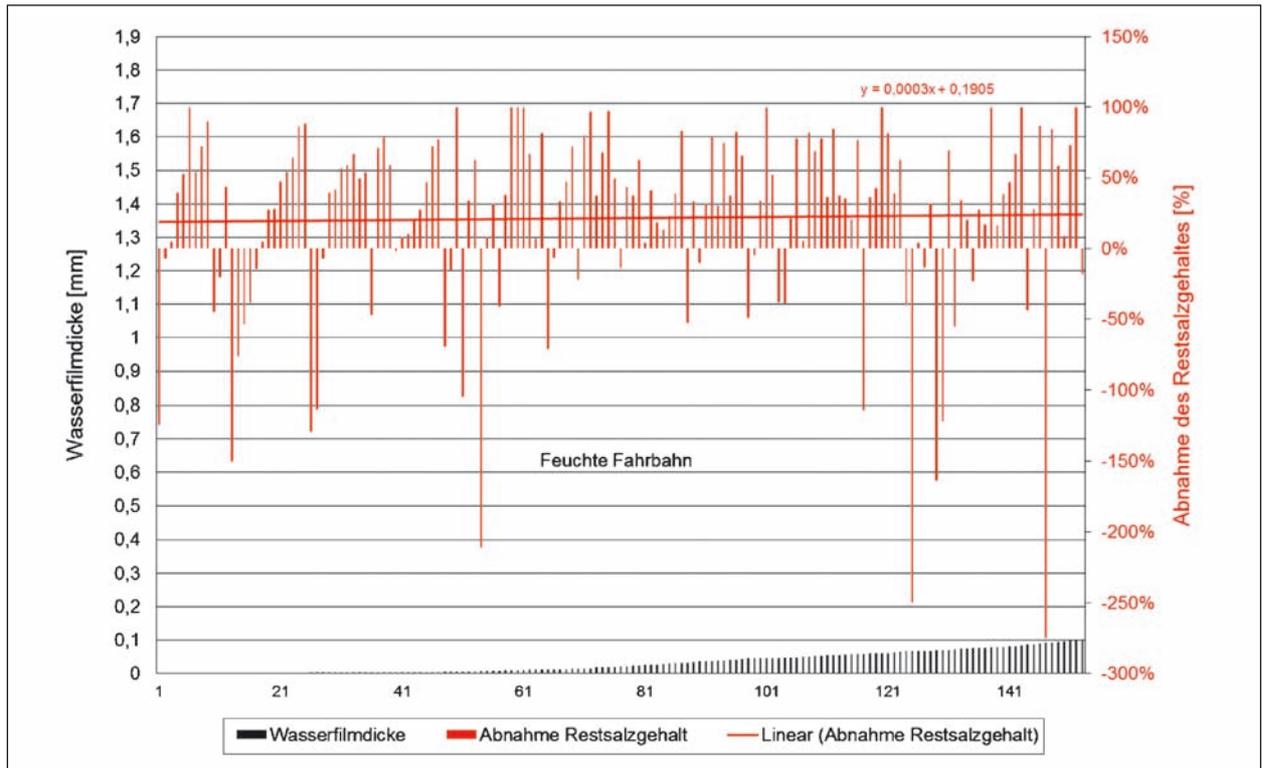


Bild 144: Abnahme des Restsalzgehaltes über der Wasserfilmdicke auf feuchter Fahrbahn

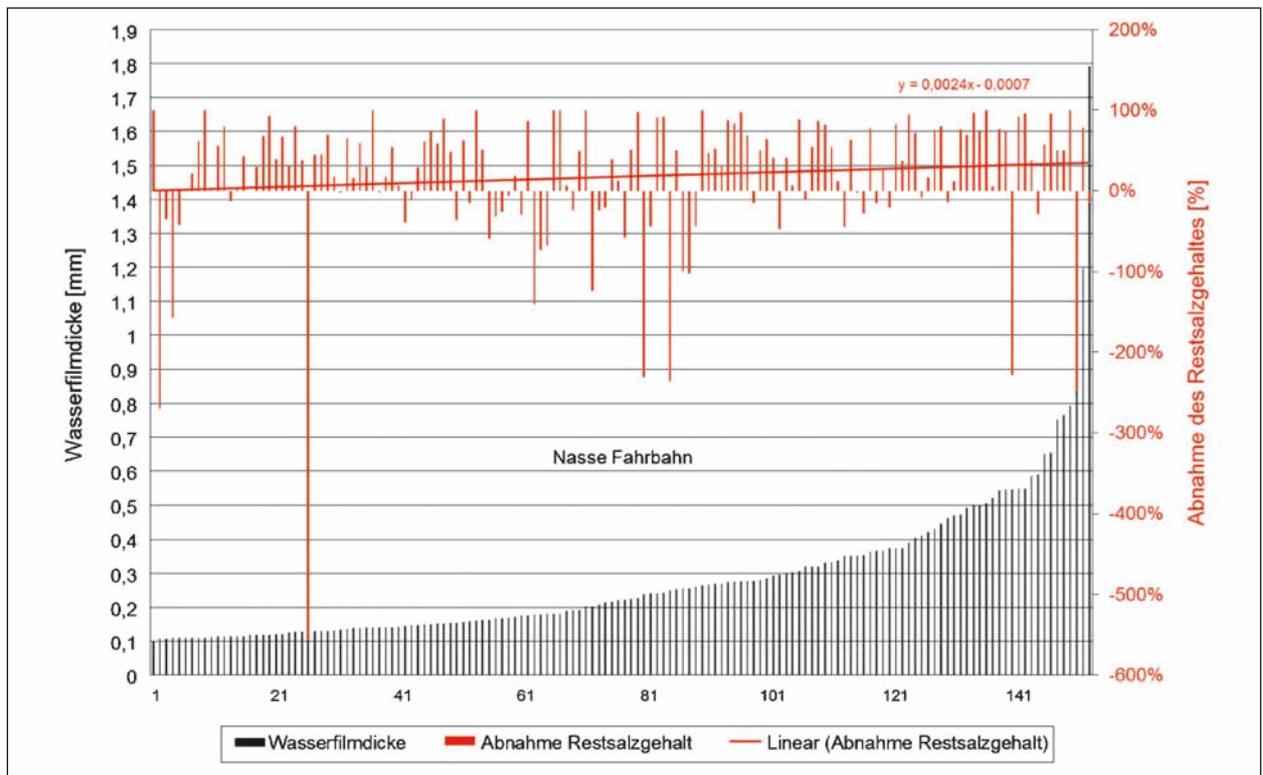


Bild 145: Abnahme des Restsalzgehaltes über der Wasserfilmdicke auf nasser Fahrbahn

So ist ersichtlich, dass die Höhe der Wasserfilmdicke einen wesentlichen Einfluss hat auf die Abnahme des Restsalzgehaltes. Jedoch spielen neben der Wasserfilmdicke auch wie bereits erläu-

tert die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen und insbesondere die Neigungsverhältnisse (siehe Kapitel 5.3) sowie die Oberflächentextur an jedem einzelnen Querschnitt eine wesentliche Rolle. Genannt

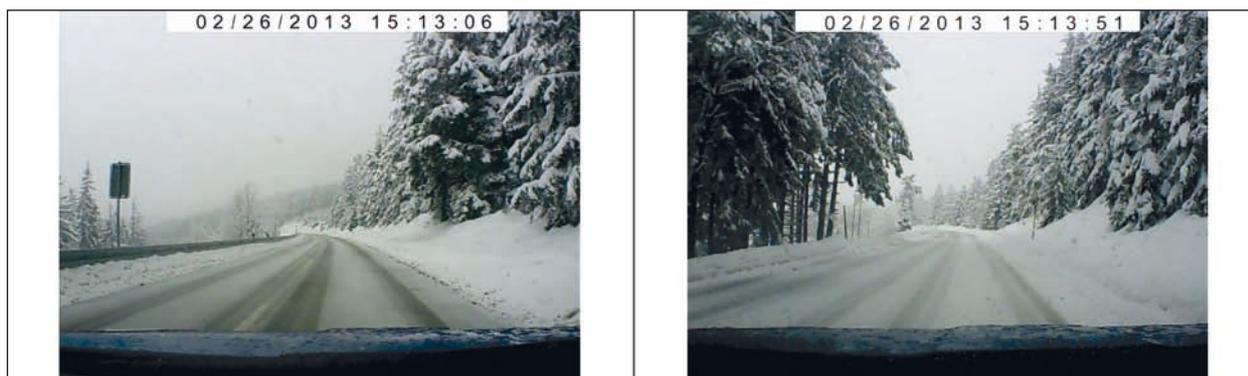


Bild 146: Unterschiedlich ausgeprägte Rollspuren auf der L 66b aufgrund der Lage der Strecke (frei, links bzw. im Wald, rechts)

seien hier beispielsweise die Messungen aus Gernsbach mit starker Längsneigung und nasser Fahrbahn aufgrund von Nebel (siehe Kapitel 4.3.5) sowie die Messungen aus Würzburg auf nasser Fahrbahn und starker Querneigung (siehe Kapitel 4.5.8). An beiden Fahrbahnabschnitten herrschte nur wenig Verkehr, dennoch verschwand das Salz teilweise relativ schnell von der Fahrbahn, wobei dies bei Sole noch deutlicher zu beobachten ist als bei Feuchtsalz mit seinen festen Bestandteilen. Deswegen ist davon auszugehen, dass insbesondere bei nasser Fahrbahn die Neigungsverhältnisse einen ähnlichen Einfluss haben auf den Salzabtrag wie Fahrzeugüberrollungen.

Gerade der Einfluss der Längs- und Querneigungen vor Ort an jedem einzelnen Querschnitt konnte im Rahmen des Projektes nicht festgestellt werden. Zur Erfassung des Einflusses sind detailliertere Untersuchungen notwendig.

In Bezug auf schneebedeckte Fahrbahnen konnte festgestellt werden, dass sich auf wenig befahrenen Strecken unter einer Schneedecke zuvor ausgebrachtes Salz hält. Das macht es einfacher, den Schnee von der Straße zu räumen, da er nicht an der Straßenoberfläche anbackt. Ein Tauen des Schnees konnte bei anhaltendem Schneefall ohne Fahrzeugeinwirkung nicht beobachtet werden. Lediglich mit immer wiederkehrenden Fahrzeugüberrollungen konnten Rollspuren im Schnee gebildet werden, das gestreute Salz wurde von Fahrzeugen auf den Randstreifen oder den Mittelstreifen bzw. zwischen die Rollspuren verfrachtet, wo deutlich erhöhte Werte ($> 45 \text{ g/m}^2$) festgestellt werden konnten.

Auffällig waren beispielsweise Streckenabschnitte mit abwechselnd frei gelegenen Abschnitten und

im Wald gelegenen. Die Rollspuren von Fahrzeugen zeichneten sich auf den freien Strecken deutlich mehr ab als in den Waldabschnitten, wo vermutlich eine etwas niedrigere Fahrbahntemperatur herrschte und die Fahrbahn den Eindruck einer geschlossenen Schneedecke machte, obwohl noch Salz auf der Fahrbahn vorhanden war (Bild 146). Eine genaue Größenordnung der Fahrbahntemperatur kann hier nicht wiedergegeben werden.

5.6 Fahrbahntemperatur

Bei Betrachtung der Fahrbahntemperatur (auf feuchter bzw. nasser Fahrbahn (Bild 147 und Bild 148) wird ersichtlich, dass mit ansteigender Fahrbahntemperatur, bzw. ansteigender Temperatur des Wassers auf der Fahrbahn auch die Abnahme des Restsalzgehaltes ansteigt. Bei nasser Fahrbahn wird dies noch deutlicher als bei feuchter Fahrbahn. Welchen Einfluss auch hier die Fahrzeugüberrollungen und die Neigungsverhältnisse spielen, kann nicht abschließend geklärt werden. Basierend auf den einzelnen Messungen aus Kapitel 4 kann aber vermutlich davon ausgegangen werden, dass die Fahrbahntemperatur selbst einen eher geringen Einfluss auf den Salzabtrag hat. Berücksichtigung findet sie jedoch bei der Temperatursteuerung (siehe bspw. bei der SM Schwäbisch Gmünd), bei der am Fahrzeug mittels Infrarotthermometer die Fahrbahntemperatur fortlaufend ermittelt wird. Zusammen mit den vom Fahrer manuell einzustellenden Fahrbahnzuständen („Stufen“) wird dann die Streumenge automatisch ermittelt und eingestellt.

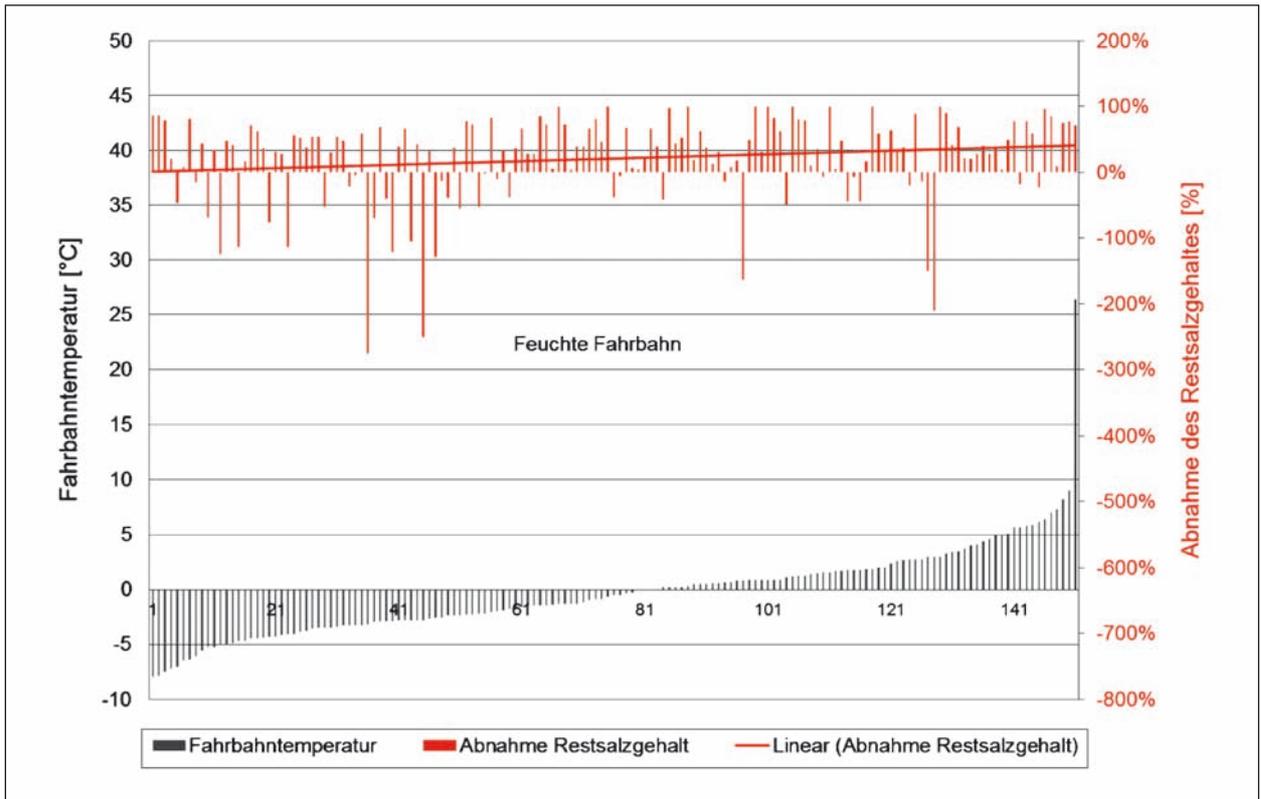


Bild 147: Fahrbahntemperatur im Vergleich zur Abnahme des Restsalzgehaltes auf feuchter Fahrbahn

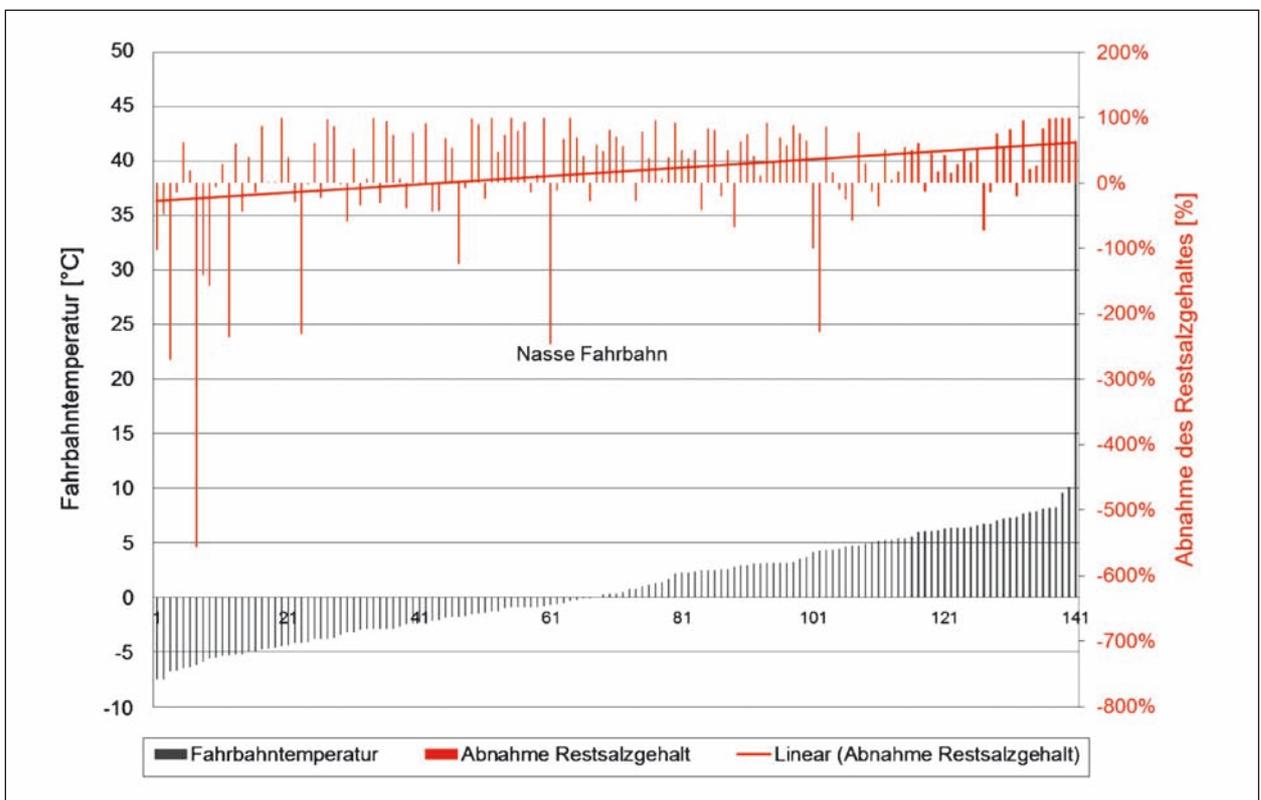


Bild 148: Fahrbahntemperatur im Vergleich zur Abnahme des Restsalzgehaltes auf nasser Fahrbahn

5.7 Relative Luftfeuchtigkeit

Bei Betrachtung der relativen Luftfeuchtigkeit über der Abnahme des Tausalzgehaltes auf der Fahrbahn (nur bei trockenem Fahrbahnzustand) ist nur eine sehr leichte Tendenz der Abnahme des Tausalzgehaltes mit steigender Luftfeuchtigkeit zu erkennen. Der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf den Restsalzgehalt kann daher als neutral angesehen werden (Bild 149).

5.8 Überblick über die Auswirkungen der Einflussgrößen

Tabelle 7 gibt zusammenfassend einen Überblick, wie groß die Auswirkungen der untersuchten Einflussgrößen auf die Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen sind.

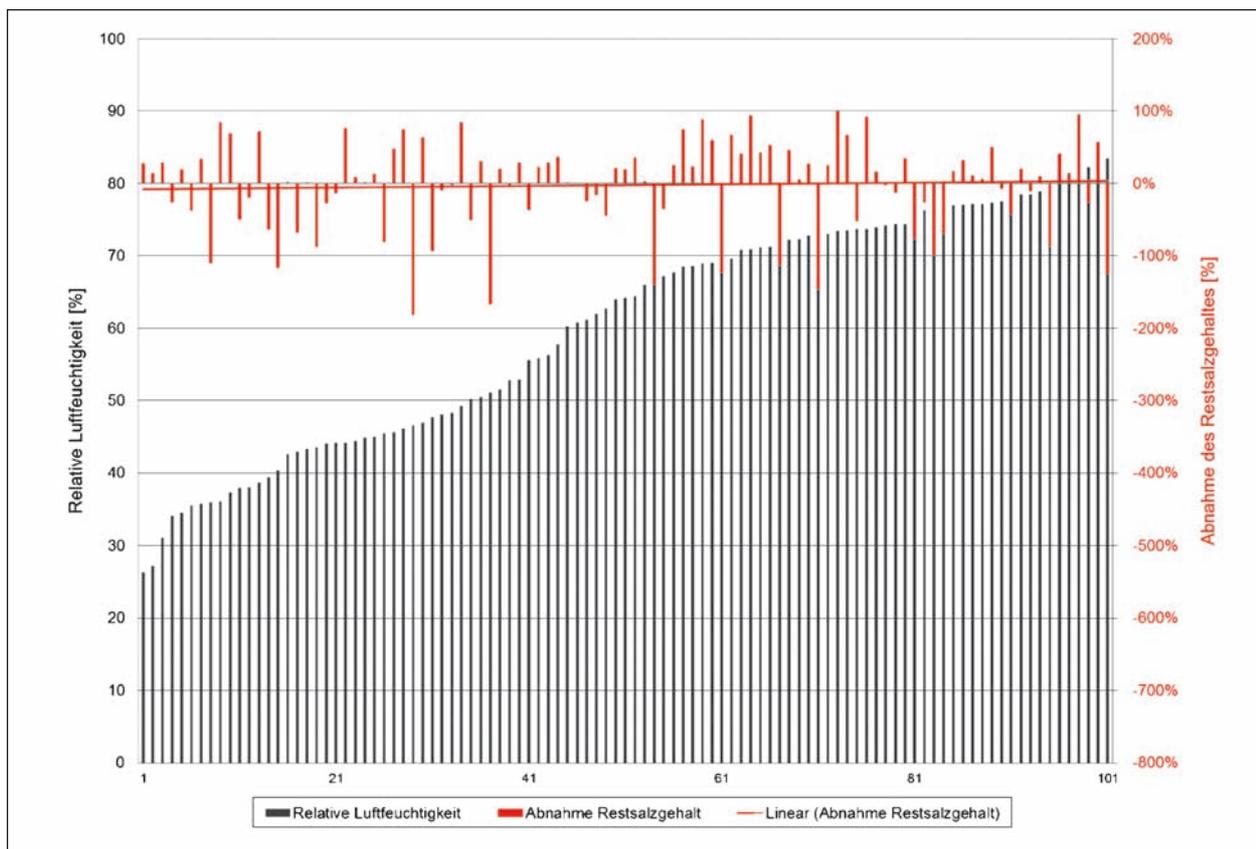


Bild 149: Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Abnahme des Restsalzgehaltes

Einflussgröße	FS 30	Sole
Verkehrsstärke	++	++
Oberflächentextur	o	+*
Wasserfilmdicke	++	++
Querneigung	+	++*
Längsneigung	+	+*
Fahrbahntemperatur	o	o

Tab. 7: Gewichtung der Einflussgrößen auf die Liegedauer von Tausalzen
 (++ Großer Einfluss, + Einfluss, o: zu vernachlässigender Einfluss, * bei nasser Fahrbahn)

6 Zusammenfassung, Empfehlungen und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Basierend auf den Ergebnissen der einzelnen Messreihen können durch Beobachtungen und die erhaltenen Messergebnisse zusammenfassend Aussagen über die Abnahme des Tausalzgehaltes auf der Fahrbahn von Landstraßen sowie deren beeinflussende Faktoren getroffen werden. Abhängig von bestimmten Randbedingungen können Größenordnungen für die Anzahl von Fahrzeugüberrollungen angegeben werden (Tabelle 8), die einen Streckenabschnitt passieren können, sodass bei einem eintretenden Glätteereignis für die beteiligten Verantwortlichen noch Zeit zum Reagieren bleibt.

Die stärkste Abnahme der Restsalzgehalte hat sich bei einer durchgehend nassen Fahrbahn (Wasserfilmdicke $\geq 0,1$ mm, siehe Tabelle 2) gezeigt. So wurden nach Streuvorgängen auf verschiedenen Streckenabschnitten mit 20 g/m^2 FS 30 (mit einem tauwirksamen Anteil von $15,4 \text{ g/m}^2$) nach ca. 500 Fahrzeugübergängen noch knapp 2 g/m^2 Tausalz auf der Fahrbahn detektiert, was knapp 13 % des ursprünglichen Tausalzgehaltes entspricht. Dabei konnte festgestellt werden, dass große Längs- und Querneigungen einen Einfluss auf die Tausalzabnahme haben können. Insbesondere die Querneigung kann in der Hinsicht auch einen positiven Effekt auf die Tausalzverteilung (bei FS 30) haben, sodass sich unterschiedliche Anfangsgehalte auf der Fahrbahn (aufgrund des Streuvorgangs) angleichen, was im Umkehrschluss bedeuten kann, dass höhere Streudichten auch höhere Anfangsverluste mit sich bringen. Streuen in Fahrtrichtung mit Querneigung zur Fahrbahnmitte scheint eine bessere Streusalzverteilung zu ermöglichen. Bei gut justiertem Streuer sollte das allerdings keinen Einfluss haben. Da im Verlauf eines Straßenzuges in der Regel die Querneigungsrichtungen wechseln, kann dies ohnehin nicht berücksichtigt werden. Der Einfluss der mittleren Oberflächentextur scheint bei FS 30 keine bzw. eine nur sehr geringe Rolle zu spielen.

Im Gegensatz zu FS 30 können bei Solestreueung nur unter idealen Bedingungen Restsalzgehalte von 2 g/m^2 auf nasser Fahrbahn (WFD $\geq 0,1$ mm) nachgewiesen werden. Die Einflüsse von hoher Längs- und Querneigung, geringer mittlerer Oberflächentexturtiefe der Fahrbahn und der Wasser-

filmdicke sind beim Soleinsatz besonders stark, was stellenweise die Anzahl der Fahrzeugüberrollungen auf unter 200 bzw. 50 Fahrzeuge auf nasser Fahrbahn ($\geq 0,1$ mm WFD) reduziert. So beschleunigen nennenswerte Längs- und Querneigungen in der Regel die Tausalzabnahme, sodass z. T. auch bei niedrigen Verkehrsmengen bereits nach kurzer Zeit nur noch sehr geringe Restsalzgehalte vorliegen.

Eine genaue Größenordnung des Einflusses von Längs- und Querneigung kann nicht genannt werden. hierfür sind weitere, zielgerichtete Untersuchungen notwendig.

Zu beachten ist zudem, dass eine nasse Fahrbahn nicht nur aufgrund von Niederschlag entstehen kann, sondern auch aufgrund von der (topografischen) Lage einer Strecke bzw. Nebel und tiefhängenden Wolken (wie bspw. die L66b_b, Gernsbach).

Auf feuchter Fahrbahn (WFD $< 0,1$ mm) konnten bei gleichen Streubedingungen mit FS 30 deutlich längere Liegezeiten von Tausalz als auf nasser Fahrbahn ermittelt werden (etwa das drei- bis vierfache). Auch hier ist ein deutlicher Einfluss der Wasserfilmdicke erkennbar. Verschiedene Restsalzgehalte in den beiden Fahrtrichtungen aufgrund des Streuvorgangs in nur einer Fahrtrichtung gleichen sich zwar nach und nach an, jedoch deutlich langsamer als auf nasser Fahrbahn. Bei relativ hohen Streudichten verbleiben auf feuchter Fahrbahn auch länger größere Restsalzmengen, bei nasser Fahrbahn gehen auch bei hohen Ausgangswerten die Restsalzmengen jedoch schnell zurück. Demgegenüber verbleiben auch geringe Streudichten in Zusammenhang mit regelmäßigen Einsätzen (bspw. in Schwäbisch Gmünd oder Gernsbach) Tausalz bei trockener bis leicht feuchter Fahrbahn ohne Niederschlag sehr lange auf der Fahrbahn.

In diesem Zusammenhang kann auch der sogenannte „Imprägnierungseffekt“ (NIEBRÜGGE, 2011) genannt werden: Wenn Salz auf nasser Fahrbahn, nachdem es in Lösung gegangen ist, aufgrund trockener Witterung auf der Fahrbahn wieder auskristallisiert, kann dieses über mehrere Tage (ohne erneute Einsätze) auf der Fahrbahn verbleiben. Hier konnten bis zu 9.000 Fahrzeugüberrollungen detektiert werden, ohne dass beim Restsalzgehalt eine Abnahme stattgefunden hat. Allerdings ist das Restsalz eines angetrockneter Salzfilms bei Anfeuchtung schneller von der Fahrbahn



Bild 150: Angetrockneter Salzfilm auf der Fahrbahn durch geschmolzenen Schneematsch, der über die Fahrbahn gelaufen ist, L66b_b, Gernsbach

verfrachtet als Restsalz, das in Kornform in den Poren der Straßenoberfläche bei Streuung auf trockener Fahrbahn erneut angefeuchtet wird.

Bei sehr niedrigen Verkehrsmengen, einer trockenen und nicht zu glatten Fahrbahn (wie bspw. auf der L66b) reicht sogar eine recht geringe Trockensalzmenge aus, die über mehrere Tage auf der Fahrbahn liegen bleiben kann.

Allgemein konnte bei den Untersuchungen festgestellt werden, dass ein gut justierter Streuer (Feuchtsalz) das Trockensalz optimal anfeuchtet (Bsp. Karlsruhe) und für eine gleichmäßige Verteilung auf der Straße sorgt; die Streuverluste ins Bankett können dadurch erheblich minimiert werden. Zudem konnte bei den begleiteten FS-30-Streuvorgängen festgestellt werden, dass selbst Streubreiten, die 1 m geringer als die Fahrbahnbreite sind, als ausreichend bezeichnet werden können, da durch die Fahr- und Ausbringgeschwindigkeiten immer ein gewisser Anteil von Salzkörnern neben der Fahrbahn erkennbar war. Selbst bei bereits geringerer eingestellter Streubreite war dies noch zu erkennen, allerdings nur in sehr geringem Maße. Bei der Solestreuung ist dies nicht der Fall. Sole sollte in jedem Fall randscharf ausgebracht werden, was keine nennenswerten Verluste ins Bankett ergibt.

Generell kann das Messgerät SOBO 20 nur Salz im (schon einmal) gelösten Zustand zuverlässig auf der Straße detektieren. Je kleiner beispielsweise die Salzkörner sind, desto genauer sind die Messergebnisse (auch bei vorheriger Anfeuchtung eines Messfeldes). D. h. insbesondere bei Messungen auf trockener Fahrbahn ist tendenziell mehr Salz auf der Fahrbahn vorhanden als gemessen wird (was bspw. auch Anstiege des Restsalzgehaltes bei

aufretender Feuchte/Nässe belegen). Das bedeutet auch, dass der Fahrbahnzustand beim bzw. nach dem Streuen einen erheblichen Einfluss auf die erhobenen Messwerte (bzw. auch die Tausalzverteilung) hat. Inhomogene Fahrbahnzustände aufgrund von Wasser, das bspw. aufgrund von Schneeschmelze über die Straße läuft, erschweren die Messbedingungen, da gelöstes Salz vom Messgerät als erhöhter Salzgehalt auf der Straße angegeben wird, was einen vermeintlichen Anstieg des Salzgehaltes zur Folge hat. Besonders gut ist dies auch in Bild 150 zu erkennen. Im Umkehrschluss kann allerdings ausgesagt werden, dass nach Streuvorgängen auf trockener Fahrbahn (und danach weiterhin trockenem Fahrbahnzustand) tendenziell mehr Salz auf der Fahrbahn zur Verfügung steht als eigentlich gemessen wird, wie im vorigen Kapitel bereits erläutert.

Folgende Beobachtungen konnten zudem während der Messungen gemacht werden:

- Fahrzeugüberrollungen begünstigen den Abtrocknungsprozess einer Straße (in den Rollspuren) erheblich.
- Ohne Verkehrseinwirkung bleibt Salz auch unter einer Schneedecke bestehen, was insbesondere bei Räumeeinsätzen helfen kann, Schnee einfacher von der Fahrbahn zu räumen, aber bei fehlenden Fahrzeugüberrollungen keinen nennenswerten Effekt auf den Tauvorgang hat (bspw. Gernsbach).

Aufgrund der Ergebnisse der einzelnen Messreihen können die in Tabelle 8 enthaltenen Anhaltspunkte gegeben werden. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Ergebnisse bei durchschnittlichen Bedingungen gelten, d. h. ohne größere Beeinträchtigungen

Fahrbahn-zustand	Anzahl möglicher Fahrzeug-überrollungen bei Erhalt wirksamer Restsalzgehalte (durchschnittliche Bedingungen)	
	FS 30, 20 g/m ²	Sole, 20 g/m ²
Trocken	5.000 Kfz	k. A.
Feucht	2.000 Kfz	k. A.
Feucht-nass	1.000 Kfz	500 Kfz
Nass	500 Kfz	200 Kfz

Tab. 8: Anzahl möglicher Fahrzeugüberrollungen bei Erhalt wirksamer Restsalzgehalte bei Temperaturen bis -2 °C

durch hohe Längs- und Querneigungen oder bspw. starke Wetterwechsel. Bei Überlagerung mit den entsprechenden Ganglinien einer Strecke kann so, insbesondere bei präventiven Einsätzen, Einfluss auf die Einsatzplanung genommen werden. Aufgrund zahlenmäßig zu geringer Untersuchungen mit Sole auf nur trockener oder feuchter Fahrbahn können hier keine Grenzen angegeben werden. Im Rahmen der Projektbetreuung eingebrachte Erfahrungen aus Bayern lassen jedoch vermuten, dass Sole auf trockener Fahrbahn erheblich länger liegen bleibt als Feuchtsalz und somit erheblich besser zu präventiven Streuung eingesetzt werden kann.

6.2 Empfehlungen

Basierend auf den einzelnen Einflussgrößen können folgende Empfehlungen für das Streuen auf Landstraßen ausgegeben werden:

- Für präventive Einsätze auf trockener oder feuchter Fahrbahn bis -7 °C Fahrbahntemperatur sind geringe Streudichten bei Feuchtsalzstreuung (zwischen 5 und 10 g/m²) ausreichend.
- Ein konsequenter und richtiger Einsatz einer Temperatursteuerung kann dabei helfen, die niedrigeren Streudichten einzuhalten.
- Streubreiten bei der Feuchtsalzstreuung ca. 1 m geringer als die Fahrbahnbreite reichen je nach Straßenkategorie und Größe der Verkehrsmengen bei regelmäßigen präventiven Einsätzen aus, auf eine entsprechende Streudichteangepassung kann in der Regel verzichtet werden.
- Sole kann insbesondere bei präventiven Einsätzen Salz und somit Kosten einsparen. Dadurch,

dass Einflussfaktoren wie Oberflächentextur oder Längs-/Querneigung auf die Liegedauer der Sole einen stärkeren negativen Einfluss haben als auf Feuchtsalz, wird das Sprühen von Sole auf nasser Fahrbahn nicht empfohlen.

- Sowohl beim Einsatz von Feuchtsalz- als auch Solestreuern ist auf eine Justierung zumindest einmal vor der Winterperiode zu achten. Dejustierte Streuer oder defekte Sprühdüsen haben einen erheblichen negativen Einfluss auf das Streubild.
- Generell haben abendliche Einsätze (bei der Feuchtsalzstreuung) keinen Nachteil im Restsalzgehalt gegenüber den morgendlichen Einsätzen gezeigt, wenn über Nacht nur ein geringes Verkehrsaufkommen vorliegt. Dies kann ggf. zu einer Strategieänderung führen. Beispielsweise können weniger befahrene Strecken abends abgestreut werden, sodass morgens, kurz vor einem evtl. eintretenden Glätteereignis, genug Zeit bleibt, die Strecken mit höherem Verkehrsaufkommen besonders zeitnah abzustreuen.

6.3 Weiterer Forschungsbedarf

Bei der Durchführung der Messungen sind einige Einflussfaktoren aufgefallen, die einen erhöhten Einfluss auf die Liegedauer von Tausalz haben, jedoch mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht quantifiziert werden konnten. Hierzu gehören unter anderem die Abhängigkeit des Salzabtrags von der Wasserfilmdicke auf der Fahrbahn und in diesem Zusammenhang auch die Abhängigkeit von der Quer- und Längsneigung einer Strecke. Dass Neigungen einen Einfluss haben können, insbesondere bei Sole bzw. gelöstem Salz, konnte eindrücklich gezeigt werden. Für die Winterdienstplanung z. B. in Mittelgebirgsregionen mit größeren Längsneigungen könnte eine Quantifizierung des Einflusses von Neigungen und Wasserfilmdicke von großer Bedeutung sein.

Ein in diesem Zusammenhang weiterer wichtiger Aspekt ist der genaue Einfluss der Oberflächentextur einer Fahrbahn. Es konnte aufgezeigt werden, dass die Textur beim Einsatz von Sole bzw. gelöstem Salz eine größere Rolle spielt als beim Einsatz von Feuchtsalz. Konkrete Unterschiede können allerdings nicht genannt werden. Zudem ist die Erfassung der mittleren Oberflächentextur

mithilfe des Sandfleckverfahrens starken Schwankungen ausgesetzt, weshalb eine genauere Methodik zur Bestimmung der Oberflächentextur (bspw. mittels Laserscan) genutzt werden sollte.

Einen weiteren wichtigen Aspekt für künftige Untersuchungen stellt die Messtechnik dar. Gerade auf trockener oder leicht feuchter Fahrbahn und Feucht- oder Trockensalzstreuung kann das SOBO 20-Gerät die realen Salzgehalte nicht immer zuverlässig erfassen, weswegen oftmals nur qualitative Einflüsse angegeben werden können. Die Entwicklung neuer Techniken zur Feststellung des Restsalzgehaltes insbesondere auch zur mobilen (idealerweise fahrzeugmontierten) Nutzung sollte vorangetrieben werden.

Das gleiche gilt für die Abgrenzung von Fahrbahnzuständen. Für den Fahrer eines Winterdienstfahrzeuges ist es äußerst schwierig, „mit bloßem Auge“ den genauen Fahrbahnzustand zu erfassen. Insbesondere die verschiedenen Feuchtgrade bzw. der Übergang von der feuchten zur nassen Fahrbahn ist, auch aufgrund unterschiedlicher Fahrbahntexturen, nicht einfach. Gerade diese Unterscheidung ist jedoch auch bei der Temperatursteuerung notwendig. Hinzu kommt, dass bei Verwendung von Calciumchlorid als Streumaterial, was stark hygroskopisch ist, die Straßenoberfläche feucht aussieht, es aber tatsächlich nicht ist. Hier sollte nach geeigneten, idealerweise fahrzeugmontierten Möglichkeiten gesucht werden, um die Fahrbahnbeschaffenheit und somit die erforderliche Streumenge besser bestimmen zu können.

7 Literatur

- BADEL, H.; MORITZ, K.: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 186, 2009
- BADEL, H.; GÖTZFRIED, F.: Wirksamkeit verschiedener Tausalze, Straßenverkehrstechnik, Heft 10, S. 527-533, 2003
- BADEL, H.; SELIGER, R.; MORITZ, K.; SCHEURL, S.; HÄUSLER, G.: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 156, 2007
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Maßnahmenkatalog Straßenbetriebsdienst (MK 6 a), Optimierung von Einsatzverfahren – Empfehlungen für die Organisation bei Autobahn- und Straßenmeistereien, Bonn, 2004
- DELLA FAILLE, G.: Methoden zur Messung von Auftausalzen auf Straßen, Straße und Autobahn, Heft 2, S. 48-52, 1981
- Deutscher Wetterdienst (DWD): Wetterlexikon; <http://www.dwd.de/lexikon>, Stand Juli 2012
- DIN EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mithilfe eines volumetrischen Verfahrens, 2010
- DIN EN 15597-1: Winterdienstausrüstung – Streumaschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Angaben für Streumaschinen, 2010
- EULER, G.; SCHRÖDER, R. C. M.; LANG, J.; PLHAK, R.; RETZLAFF, G.: Ermittlung der zeitlichen Feuchte- und Nässeverteilung auf Fahrbahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 567, 1989
- FONNESBECH, J. K.: Ice control Technology with 20 % brine on highways; Transportation Research Board, Report No. 1741, pp. 54-59, 2001
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Winterdienst auf Straßen, 2010

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Praktische Hinweise zum Räumen und Streuen für das Fahrpersonal im Winterdienst, 2011
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Praktische Hinweise für die Einsatzleitung im Winterdienst, 2011
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Streustoffe des Straßenwinterdienstes (TL-Streu), 2003
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise für Beschaffung und Einsatz von Streumaschinen, 2010
- HAUSMANN, G.: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 180, 2009
- HOFFMANN, M.; NUTZ, P.; BLAB, R.: Dynamic modeling of winter maintenance strategies and their impact on skid resistance, In: Procedia – Social and Behavioral Sciences, Vol. 48, 2012, pp. 682-691
- LYSBAKKEN, K. R.; NOREM, H.: The Amount of Salt on Road Surfaces After Salt Application – A Discussion of Mechanisms and Parameters, TRB Transportation Research Circular E-C126 „Surface Transportation Weather and Snow Removal and Ice Control Technology“, 2008
- NIEBRÜGGE, L.: Praktische Erfahrungen mit der Ausbringung von Tausalzlösungen, Kolloquium Straßenbetriebsdienst 2011 (FGSV 002/100)
- SCHMITZ, H.: Über die Verhinderung winterlicher Straßenglätte durch Salzstreuung auf Straßen außerhalb geschlossener Ortslagen, Straße und Autobahn, Heft 2, S.55-63, 1983
- SINTEF Teknologi og Samfunn, Transportsikkerhet og -informatikk: Salting av veier, en kunnskapsoversikt (Einsatz von Tausalzen auf Straßen, ein Überblick), Technologirapport nr. 2493, Vegdirektoratet Teknologivdelingen, Statens Vegvesen, Oslo/Norwegen 2009, http://www.vegvesen.no/_attachment/70107/binary/35099, Stand Juni 2010
- Straßenverkehrszentrale (SVZ) Baden-Württemberg: Bundesweite Straßenverkehrszählung 2010, http://www.svz-bw.de/bundesweite_zaehlung.html, Stand September 2011
- SVANEKIL, A.: Salt SMART, Levetid av ulike spredemetoder, Forsøk i Dalane vinteren 2008/2009 (Salt SMART, Lebensdauer verschiedener Methoden der Tausalzausbringung), Technologirapport nr. 2563, Vegdirektoratet Teknologivdelingen, Statens Vegvesen, Oslo/Norwegen 2009, http://www.vegvesen.no/_attachment/113820/binary/205479, Stand Juni 2010
- ZULAUF, R.: Über das Haftvermögen des Haftsatzes auf den Straßenoberflächen, Straße und Autobahn, Heft 1, S. 15-17, 1969

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-Systemen
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik
Lensing € 17,50

2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

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

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

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

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

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

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

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

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

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

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

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

V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

- V 250: **Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw**
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 251: **Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken**
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50
- V 252: **Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen**
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00
- V 253: **Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen**
Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 254: **Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw**
Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 255: **Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw**
Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 256: **Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements**
Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 257: **Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier Hantschel, Otto € 18,00
- V 258: **Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten**
Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00
- V 259: **Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**
Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 260: **Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst**
Hausmann € 15,50
- V 261: **Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung - Sicherheitsverbesserungen**
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50
- V 262: **Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten**
Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00
- V 263: **Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren**
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff In Vorbereitung
- V 264: **Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen**
Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00
- V 265: **Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken**
Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden
- V 266: **Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen**
Baier, Hartkopf € 14,50
- V 267: **Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen**
Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 268: **Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur**
Hegewald, Fürneisen, Tautz
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

- V 269: **Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften**
Pohle, Maier € 16,50
- V 270: **Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)**
Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50
- V 271: **Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur**
Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 272: **Einsatzkriterien für Baubetriebsformen**
Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00
- V 273: **Autobahnverzeichnis 2016**
Kühnen in Vorbereitung
- V 274: **Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen**
Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. + (0)421/3 69 03-53 · Fax + (0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de