

# **Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 134**

**bast**

# Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

von

Marek Skakuj  
Henning Balck

HELLER Ingenieurgesellschaft mbH  
Darmstadt

Hartmut Johannes Beckedahl  
Tim Schrödter  
Stefan Koppers  
Eiad Ramadan

Bergische Universität Wuppertal  
Lehr- und Forschungsgebiet Straßenentwurf und Straßenbau

unter der Mitwirkung von

Paulina Brzezińska

Heller Consult sp. z o.o.  
Warschau

Wojciech Smęt

Heller Consult sp. z o.o.  
Biała Podlaska

Martin Worpenberg

IFI Consult GmbH  
Hannover

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 134**

**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 Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 – 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und 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 FE04.0275/2013/FGB:**

Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

### **Fachbetreuung**

Börge Wasser

### **Herausgeber**

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

### **Redaktion**

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### **Druck und Verlag**

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

ISSN 0943-9323

ISBN 978-3-95606-452-1

Bergisch Gladbach, Juni 2019

## Kurzfassung – Abstract

### Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

Das Ziel der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen ist die Bereitstellung qualitätsgesicherter Daten für das Erhaltungsmanagement. Ein für die Beurteilung des Zustands wichtiges Merkmal sind Risse an der Fahrbahnoberfläche (Netzrisse, Risshäufungen, Einzelrisse bei Asphaltbauweise; Längs-, Querrisse bei Betonbauweise). Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchte die Sichtbarkeit von Rissen beeinflussen. Diese Einflussfaktoren waren in diesem Forschungsprojekt zu untersuchen und zu quantifizieren.

Auf vier Versuchsstrecken wurden zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten mit einem schnellfahrenden Messsystem Oberflächenbilder zur Erfassung von Substanzmerkmalen der Fahrbahnoberfläche gemäß ZTV ZEB-StB aufgenommen, ausgewertet und analysiert.

Die Auswertungen der erhobenen Messdaten haben einen Einfluss der Fahrbahnoberflächenfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen gezeigt. Im Vergleich zu trockenen Fahrbahnen nimmt die Erkennbarkeit bei abtrocknender Fahrbahnoberfläche zu, wenn Restfeuchte in den Rissen verbleibt. Da die Restfeuchte auf der Fahrbahn praktisch kaum gesteuert beeinflusst und nur schwierig quantifiziert werden kann, sind Erfassungen auf Abschnitten mit Restfeuchte nicht zu empfehlen. Auch ist von Messungen bei Regen sowie bei geschlossenen und größeren Wasserfilmdecken abzusehen, da die Erkennbarkeit von Rissen hierdurch stark eingeschränkt wird.

Der Einfluss der Temperatur auf die Erkennbarkeit von Rissen konnte im Rahmen des Forschungsprojektes nicht eindeutig nachgewiesen werden. Innerhalb der Wintermessungen wurden vermehrt Risse auf Fahrbahnen in Asphaltbauweise erkannt. Jedoch konnte nicht genau differenziert werden, ob dieser Einfluss allein auf die niedrigen Temperaturen zurückzuführen ist oder ob infolge der niedrigen Lufttemperaturen im Winter eine geringe Restfeuchte in augenscheinlich trockenen Abschnitten zu einer Verbesserung der Risserkennung geführt hat. Ein signifikanter Einfluss mittlerer und hoher Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkenn-

barkeit von Rissen konnte auf Fahrbahnen in Asphaltbauweise nicht nachgewiesen werden. Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise wurde bei höheren Fahrbahnoberflächentemperaturen eine bessere und bei niedrigen eine verschlechterte Sichtbarkeit von Rissen festgestellt.

### Influence of temperature on the visibility of substance characteristics (surface)

The aim of the pavement condition survey and assessment (ZEB) on federal highways is to provide quality-assured data for maintenance management. Cracks on the road surface (crazing, accumulation of cracks, individual cracks in asphalt constructions; longitudinal and transverse cracks in concrete constructions) are an important characteristic for assessing the condition. Experience has shown that the road surface temperature and humidity influence the visibility of cracks. These influencing factors were investigated and quantified in this research project.

On four test sections, surface images were recorded, evaluated and analyzed at different times of the year and day using a high-speed measuring system for recording substance characteristics of the road surface in accordance with ZTV ZEB-StB.

Evaluations of the measured data have shown that the road surface humidity has an effect on the visibility of cracks. Compared to dry road surfaces, the detectability increases with drying road surfaces when residual humidity remains in the cracks. Since the residual humidity on the road surface can hardly be controlled and is difficult to quantify, it is not advisable to collect data on sections with residual humidity. Measurements in rain as well as in case of closed and larger water films are also not advisable, as this greatly reduces the detectability of cracks.

The influence of temperature on the visibility of cracks could not be clearly proven in this project. During the winter measurements, cracks in asphalt pavements were increasingly detected. However, it could not be precisely differentiated whether this influence is due solely to the low temperatures or whether a low residual humidity in apparently dry ar-

was led to an improvement of the detection of cracks as a result of the low air temperatures in winter. A significant influence of medium and high road surface temperatures on the visibility of cracks could not be detected on asphalt pavements. The test section in concrete construction was found to have a better visibility of cracks at higher road surface temperatures and a worse visibility of cracks at lower temperatures.

## Summary

### Influence of temperature on the visibility of substance characteristics (surface)

investigated and quantified within the scope of this research project.

## 1. Research assignment

The aim of the pavement condition survey and assessment (ZEB) on federal highways is to provide quality-assured data for maintenance management. The acquisition and evaluation rules for the metrological ZEB are described in the Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Condition Survey and Assessment (ZTV ZEB-StB[1]).

The ZEB is divided into five sub-projects (TP). The task of TP 0 is to prepare the network for the survey and document it in the form of standardized survey documents. While the TP 1 measures the evenness in longitudinal and transverse direction, the TP 2 determines the skid resistance of the road surface. The substance characteristics of the road surface are acquired in the TP 3. The TP 4 is dedicated to the assessment and standardized evaluation of condition data.

Cracks on the road surface are an important characteristic for assessing the condition of the road surface. Within this research project, the condition characteristics of crazing, accumulation of cracks and individual cracks for asphalt constructions as well as longitudinal and transverse cracks for concrete constructions were summarized under the term cracks. Experience has shown that the road surface temperature and humidity influence the visibility of cracks (asphalt and concrete). Cooling processes can lead to the formation of new cracks or the expansion of existing ones, while heating can lead to narrowing of cracks.

In the ZTV ZEB-StB there are currently no restrictions regarding the permissible temperature ranges for the metrological condition survey. However, it is prescribed that measurements of evenness within the framework of the ZEB should be carried out on a dry and clean road surface. It is known from previous projects that residual humidity on the road surface can improve the visibility of fine cracks which cannot be detected when the surface is dry. This and the influence of the road surface temperature were

## 2. Research objectives

The research project pursued three objectives:

- Specification of the acquisition procedure for the high-speed recording of substance characteristics (surface) based on suitable comparison data and statistical evaluations.
- Determination and quantification of the influence of temperature and humidity on the evaluation results (raw data) as well as on the calculated condition variables and values.
- Formulation of technical, contractual requirements for the acquisition procedure to be included in the rules and regulations: Additional Technical Contract Conditions (ZTV) and Technical Test Regulations (TP).

To this end, the results generated during the project were statistically and professionally processed and scientifically interpreted. Subsequently, recommendations were made based on this, within which temperature ranges and at which degrees of humidity of the road surface, a reliable and reproducible detection of surface damage is possible.

These objectives are to be considered with regard to the specifications of the ZTV ZEB-StB[1] regulations (pictures of the road surface and evaluation of the cracks on the screen). Therefore, all evaluations were based on the specifications of ZTV ZEB-StB[1]. In addition, further evaluations were carried out with regard to filled cracks and the quantification of the degree of humidity of the road surface.

## 3. Research methodology

Within the research project, the influencing factors of road surface temperature and humidity were investigated. For this purpose, measuring campaigns were carried out at different seasons and at different temperatures and weather conditions. The con-

struction methods of asphalt and concrete were considered separately.

The survey was carried out in several campaigns on four test sections (three of them in asphalt and one in concrete construction) with approx. 25 km length each. Surface images of a fast-moving measuring system were used for evaluating the investigated condition characteristic cracks. The vehicle used had a time-limited operating license (ZbBz) issued by the Federal Highway Research Institute (BASt), which proves the suitability of the technical acquisition equipment and must be available before carrying out ZEB measurements.

The evaluation of the data was carried out by experienced personnel trained for the specifics of the research project. Since in the present project the damage characteristic cracks and possible correlations between the visibility of these cracks and the surface temperature and humidity were investigated, the evaluation rules of ZTV ZEB-StB[1] for the acquisition of substance characteristics (surface) were specified in accordance with the project objectives as follows:

- Differentiation between open and filled cracks
- Estimation of the crack length in one segment (for asphalt constructions)
- Registration of grid fields and concrete slabs with repair points
- Determination of the degree of humidity (dry surface, drying surface and wet surface)

The measurement data provided for each measurement campaign by the person responsible for the acquisition was first checked for completeness and correctness and then subjected to the standardized ZEB data checks.

It was of great importance that the data of the individual measurements were comparable. Since a synchronization based on the GPS signal and using projection methods of the conventional ZEB did not deliver the required accuracy of 1 m, the data streams of the geo-raw data were finely synchronized based on the running meter, the front and secondary camera images as well as suitable unambiguous characteristics (e. g. variations in the longitudinal profile of the TP1a). For this purpose, a

procedure developed by the researcher in other projects and tested in practice was used, in which the person carrying out the analysis uses so-called synchronization markers to represent the same position in two campaigns. With the help of the synchronization markers, it was possible to project the geo-raw data of the measurement to be synchronized onto the grid of the master campaign and then create the synchronized grid raw data.

The evaluation of the surface characteristics was carried out using the TP3Editor software (standard software of the researcher), in which necessary additional features were implemented beforehand, such as the adaptation of the synchronization function and the provision of the function for measuring crack lengths. The visibility of the cracks was investigated using the ZTV ZEB-StB[1] procedure. During the regular acquisition of the ZEB, the data is evaluated using the so-called single observation method. This means that at the time of the evaluation, the evaluator only sees the images of the current measurement campaign, without being influenced by the results of previous evaluations. The same procedure was selected and implemented for the evaluation of the measurement data of this project. In order to ensure the quality of the evaluation, all data/measurement runs were evaluated simultaneously by a second, independent person.

After the second evaluation had been completed, both evaluations were compared with each other by first dividing the test sections into comparative sections of 2 km length each and then comparing the results of the two measurements for each section – this procedure was carried out in accordance with the self-monitoring procedure known from ZEB.

After the evaluation of the surface damage, the data was synchronized according to the defined rules. Next, the network allocation of the georeferenced raw data was realized. The relevant condition variables and the corresponding condition values were calculated subsequently. Deviating from the ZTV ZEB-StB[1] regulations, it was determined that an evaluation section should always have a length of 100 m.

For each evaluation section of 100 m, the mean road surface temperature was calculated, the degree of humidity was estimated and, if available, the type and year of construction of the surface course was determined. All data was compiled in a project data-

base, which served as the basis for further visualizations and analyses. The evaluated data was visualized in different ways using OnKo2, so that an engineering examination and analysis was possible. Based on the visualizations, correlations between the evaluation data and the temperature or humidity could be determined.

## 4. Results

The statistical and scientific evaluation is based on the raw data, which has been evaluated in accordance with the specifications of ZTV ZEB-StB [1]. This data is available digitally in a table file format for each measurement campaign and has been analyzed and evaluated using a spreadsheet program. The following comparison scenarios were developed iteratively for this purpose:

- Scenario 1: Statistical evaluation and comparison of the results of all seven seasonal measurements.
- Scenario 2: Statistical evaluation and comparison of the results of measurements on dry roads.
- Scenario 3: Statistical evaluation and comparison of the results on drying roads.
- Scenario 4: Statistical evaluation and comparison of the results on dry roads with different road surface temperatures.
- Scenario 5: Statistical evaluation and comparison of the results on dry road surfaces for the examination of the diurnal course in spring.
- Scenario 6: Statistical evaluation and comparison of the results on dry road surfaces for the examination of the diurnal course in summer.

For each comparison scenario, the following analyses were carried out and displayed graphically:

- Overview of the data stock and number of common comparable 100 m evaluation sections of a construction method
- Information on the degree of humidity of the road surface (if several degrees of humidity are relevant)

- ZGRISS and ZGLQRP (calculated for the sum of all common comparable 100 m evaluation sections of a construction method)
- Sum of the crack lengths (calculated for all common comparable 100 m evaluation sections of the test sections in asphalt construction)
- Mean crack length and proportion of the concrete slabs affected by longitudinal and transverse cracks (calculated for all common comparable slabs of the test section in concrete construction)
- Mean value ZWRISS and ZWLQRP (calculated from the condition values of the common comparable 100 m evaluation sections of a construction method)
- Migration diagrams ZWRISS and ZWLQRP (condition values of the common comparable 100 m evaluation sections of a construction method)

The different comparison scenarios were used to quantify and classify the effects of road surface temperature and degree of humidity on the visibility of cracks. However, the measurement results did not provide a uniform picture, neither with regard to the influence of the road surface temperature nor with regard to the influence of the degree of humidity on the road surface. Therefore, no ultimate quantification of the influences and classification of measurement conditions is possible based on the data collected in this research project.

However, the evaluations have shown that the temperature and humidity of the road surface certainly are influencing factors. In the winter campaigns, where the average temperatures were the lowest and the number of drying sections was the highest, the visibility of cracks was higher than in all other campaigns. Different comparison scenarios were used to determine whether these influences can be differentiated according to road surface temperature or residual humidity influences.

In Scenario 3, only drying evaluation sections from the two winter campaigns were investigated in order to determine the influence of residual humidity. The results clearly show that on average more cracks were visible on these drying sections than in scenarios which did not only include drying sections. Nevertheless, this data cannot be used to establish a general correlation between the degree of humidity



and the visibility of cracks, since the degree of humidity of a road surface cannot be easily quantified. This is clearly evident in the analysis of the acquired data and especially in the evaluation of the raw data. An evaluation of the degree of humidity would add an additional factor based on purely subjective assessments to the process.

In order to analyze the effects of different road surface temperatures on the visibility of cracks, the dry evaluation sections of the measurement campaigns fall, spring and summer were compared with each other. It became obvious that medium and high road surface temperatures do not have a direct influence on the visibility of cracks. However, such an influence was evident with a high difference in road surface temperature, especially in asphalt construction (comparison of a winter and a summer measurement campaign). In this scenario, the results of the test sections in asphalt construction and the test section in concrete construction showed a contradictory behavior. Cracks in asphalt roads became more visible at lower road surface temperatures. Although the evaluation sections were classified as dry during the measurement campaign in winter, a certain percentage of residual humidity in the crack areas could not be excluded, which improves crack detection. Indirectly, a temperature influence can thus be justified, as the retention of residual humidity in the cracks is favored by low temperatures.

The visibility of cracks on concrete roads decreased slightly during the measurement campaign in winter compared to the one in summer. A possible explanation for this unexpected behavior can be the different temperatures at the top and bottom of the concrete slabs at different seasons. At high air temperatures and direct sunlight, the road surface of a concrete road heats up faster than the underside of the concrete slab. As a result of this temperature gradient, there is a positive elongation on the upper side of the road surface and a negative elongation (compression) on the underside. This causes the concrete slab to curve upwards; the concrete slab has a convex shape. Cracks in the concrete slab can thus be better visible, for example in summer. The concrete slab can behave contrary at cold temperatures. If the temperature of the road surface is lower than the temperature at the underside of the concrete slab due to low air temperatures, the upper surface has a negative (compression) and the underside has a positive elongation, which causes the concrete slab

to curve downwards; the concrete slab has a concave shape.

Since both measurement campaigns were carried out in winter on road surfaces that were apparently dry at the beginning of the measurement run and yet evaluation sections of 100 m with residual humidity were detected, it has become clear that a survey in the winter months at lower road surface temperatures is not possible without evaluation sections with residual humidity. Possible explanations for evaluation sections with residual humidity under apparently dry conditions are the higher air humidity and the lower road surface temperatures, which generally occur in winter, whereby residual humidity remains in the cracks for a longer period of time.

Based on the results of the statistical analysis of the data collected specifically for this project, a model should be created that allows the influence of temperature and humidity on the visibility of cracks to be modelled. Within the statistical analysis, an influence of the factors road surface temperature and humidity on the visibility of cracks was detected. However, the small number of comparable sections made it difficult to differentiate between the two factors or did not produce a uniform result. Another difficulty was the precise definition of the degree of humidity on the road surface. For these reasons, no statistical model could be developed within this research project in order to quantify the effects of road temperature and humidity on the visibility of cracks.

## 5. Conclusion

The evaluations have confirmed that the degree of humidity of the road surface has an influence on the visibility of cracks, which unfortunately could not be quantified within the research project. In comparison to dry road surfaces, the visibility increases with drying road surface when residual humidity remains in the cracks. Since the residual humidity on the road surface can hardly be influenced in a controlled manner and is difficult to quantify, it is not advisable to carry out measurements on sections with residual humidity. Furthermore, measurements in rain as well as in case of closed and larger water films on the road surface are to be avoided, as the visibility of cracks is greatly limited.

Within the scope of the research project, the influence of temperature on the visibility of cracks could

not be proven unequivocally. Although cracks were more frequently detected during the winter measurements (road surface temperatures  $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; air temperatures  $< 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), it was not possible to differentiate precisely whether the visibility of the cracks could be attributed solely to the influence of low road surface temperatures. Due to the low air temperatures in winter, there is a high probability that sections identified as dry still contain residual humidity that cannot be visually recognized (primarily in the crack area). This can lead to non-comparable results. At higher air and road surface temperatures, areas with residual humidity quickly dry off and thus there are more often comparable conditions (actual degree of humidity = dry). Therefore, measurements to determine the substance characteristics (surface) should not be carried out in winter.

The test section in concrete construction was found to have a better visibility of cracks at higher road surface temperatures and worse at lower surface temperatures. Since in this research project only one test section in concrete construction was investigated, no general conclusions can be drawn from this.

The evaluations (coding of substance characteristics (surface)) based on individual visual assessments harbor the risk that the results are dependent on the evaluation personnel and can therefore be classified as subjective to a certain extent. Therefore, it is recommended to subject the test sections to further measurement campaigns, but at the same time carry out digital, software-controlled evaluations in addition to the visual assessments. Even if the software-controlled crack detection may not be able to detect cracks with a width of 1 mm, it would be interesting to find out whether this digital evaluation enables a more objective crack detection. In this context, it would make sense to compare different measuring systems with digital evaluation techniques.

The aim of determining and quantifying the influence of road surface temperature and humidity on the evaluation results was not finally achieved within this research project. Nevertheless, the following results can be presented in a nutshell:

- In order to define the measurement method more precisely, it is recommended to document the road surface temperatures and, if necessary, the degree of road humidity. These can be usefully used to interpret the evaluation results.

- To ensure comparability and reproducibility, measurements should always be carried out on dry roads. Measurements in winter should be avoided. It is recommended to include these requirements for the acquisition procedure in the regulations.

Measurements on drying surfaces can be used in individual cases and at the object level. Often more cracks can be identified, but the comparability and reproducibility are not guaranteed, as the degree of humidity can currently only be determined subjectively



## Inhalt

1.	Einleitung . . . . .	13	4.	Substanzmerkmale (Oberfläche) . . . . .	25
1.1	Projektziele . . . . .	13	4.1	Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse (RISS) . . . . .	25
1.2	Einschränkungen und Vorgehen . . . . .	13	4.2	Flickstellen (FLI) . . . . .	25
1.3	Gewinnung geeigneter Vergleichsdaten . . . . .	14	4.3	Ausbrüche (AUS) . . . . .	25
1.4	Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Feuchte . . . . .	14	4.4	Offene Arbeitsnähte (ONA) . . . . .	25
1.4.1	Einfluss von Temperaturveränderungen . . . . .	14	4.5	Bindemittelanreicherung (BIN) . . . . .	26
1.4.2	Einfluss von Fahrbahnoberflächenfeuchte . . . . .	15	4.6	Längs- und Querrisse (LQR) . . . . .	26
1.5	Alterungsbedingte Zustandsverschlechterung der Fahrbahn . . . . .	15	4.7	Eckabbrüche und Kantenschäden (EAB, KAS) . . . . .	26
1.6	Dokumentation einzelner Risse . . . . .	15	4.8	Nester und Abplatzungen (NTR) . . . . .	26
2.	Literaturstudie . . . . .	15	4.9	Flickstellen und Teilersatz Asphalt (BTE) . . . . .	26
2.1	ZTV ZEB-StB 06 . . . . .	15	4.10	Rissarten . . . . .	26
2.2	Neue Bewertungsmethodik der ZEB ab 2015 . . . . .	16	5.	Vorgehensweise . . . . .	27
2.3	Witterungsbedingungen . . . . .	17	5.1	Auswahl der Versuchsstrecken . . . . .	27
2.3.1	Temperatureinfluss . . . . .	17	5.1.1	Versuchsstrecke 1: B 217 . . . . .	30
2.3.2	Feuchtigkeit . . . . .	17	5.1.2	Versuchsstrecke 2: B 6 . . . . .	31
2.3.3	Lichtverhältnisse . . . . .	19	5.1.3	Versuchsstrecke 3: B 6 und L 382 . . . . .	32
3.	Erfassung und Auswertung von Substanzmerkmalen (Oberfläche) . . . . .	21	5.1.4	Versuchsstrecke 4: A 7 . . . . .	33
3.1	Verfahren für die Oberflächen(bild) aufnahmen . . . . .	21	5.2	Untersuchungsprogramm . . . . .	34
3.1.1	Flächenkamerasystem . . . . .	21	5.3	Verwendetes Messsystem . . . . .	36
3.1.2	Zeilenkamerasysteme . . . . .	21	5.4	Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) . . . . .	37
3.1.3	Laser Crack Measurement System . . . . .	22	5.4.1	Vorbereitung der Erfassung . . . . .	37
3.2	Auswertung der Oberflächenschäden . . . . .	22	5.4.2	Umsetzung des Messprogrammes . . . . .	37
3.2.1	Auswertung von Oberflächenschäden im Rahmen der visuellen Zustandserfassung . . . . .	22	5.5	Regeln für die Auswertung der Messkampagnen . . . . .	40
3.2.2	Auswertung der Oberflächenschäden im Rahmen der ZEB . . . . .	23	5.5.1	Differenzierung zwischen offenen und verfüllten Rissen . . . . .	40
3.2.3	Auswertung von Oberflächenschäden durch Bildverarbeitung . . . . .	24	5.5.2	Schätzung der Risslänge in einem Segment (für Asphaltbauweisen) . . . . .	42
			5.5.3	Registrierung von Reparaturstellen . . . . .	42
			5.5.4	Feststellung des Feuchtegrades . . . . .	42
			5.6	Auswertung der Messdaten . . . . .	43
			5.6.1	Schulung des Auswertepersonals . . . . .	43
			5.6.2	Qualitätskontrolle der Messdaten . . . . .	43
			5.6.3	Synchronisierung in Längsrichtung . . . . .	43

5.6.4	Streckenbilder der sekundären Frontkamera . . . . .	44
5.6.5	Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) . . . . .	44
5.6.6	Qualitätskontrolle der Auswertungsergebnisse . . . . .	45
5.7	Erstellung der Projektdatenbank . . . . .	47
5.8	Visualisierungen . . . . .	47
5.8.1	Vergleichsstreckenbänder mit den Rohdaten (Risse) . . . . .	48
5.8.2	Vergleichsstreckenbänder mit den aggregierten Zustandsdaten (Risse) . .	48
5.8.3	Ingenieurmäßige Analyse der Daten . .	51
5.8.4	Darstellung der Entwicklung ausgewählter Risse . . . . .	55
6.	Statistische und wissenschaftliche Auswertung . . . . .	56
6.1	Szenario 1: Gesamtübersicht . . . . .	60
6.2	Szenario 2: Trockene Fahrbahn . . . . .	65
6.3	Szenario 3: Abtrocknende Fahrbahn . .	70
6.4	Szenario 4: Temperaturunterschied . . .	72
6.5	Szenario 5 und 6: Tagesganglinien. . . .	76
6.6	Abschließende Bewertung . . . . .	80
6.7	Modellbildung . . . . .	83
7.	Zusammenfassung und Empfehlungen . . . . .	84
	Literatur . . . . .	86
	Bilder . . . . .	87
	Tabellen . . . . .	91

Der Anhang zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

## 1. Einleitung

Das Ziel der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen ist die Bereitstellung von qualitätsgesicherten Daten für das Erhaltungsmanagement. Die Ergebnisse der ZEB werden vielseitig eingesetzt, u. a. für die Abschätzung des aktuellen Bedarfes, die Planung der notwendigen Erhaltungsmaßnahmen, die Verteilung der Mittel und für die Ermittlung der voraussichtlichen Zustandsentwicklung, die beispielsweise für die Erhaltungsbedarfsprognosen des Bundes benötigt wird.

Die Erfassungs- und Auswerteregeln für die messtechnische ZEB sind in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung (ZTV ZEB-StB) [1] beschrieben. Die ZEB gliedert sich in fünf Teilprojekte (TP). Das TP 0 hat die Aufgabe, das Erfassungsnetz aufzubereiten und in Form von standardisierten Erfassungsunterlagen zu dokumentieren. Das TP 1 enthält die Zustandserfassung der Ebenheit in Längs- und Querrichtung, im TP 2 wird die Griffbarkeit der Fahrbahnoberfläche ermittelt und die Substanzmerkmale der Fahrbahnoberfläche werden im TP 3 aufgenommen. Das TP 4 widmet sich der Bewertung und der standardisierten Auswertung der Zustandsdaten.

Ein für die Beurteilung des Zustands wichtiges Merkmal sind die Risse an der Fahrbahnoberfläche. Die Erfahrung hat hier gezeigt, dass die Temperatur und Feuchte der Fahrbahn die Sichtbarkeit der Risse beeinflussen, dies gilt sowohl für Asphalt- als auch für Betonbauweisen. Diesen Einfluss galt es im Rahmen dieses Forschungsprojekts zu untersuchen und zu quantifizieren.

Die Qualität der ZEB-Daten ist direkt von der Qualität der zu Grunde liegenden Oberflächenbilder abhängig. Ungünstige Lichtverhältnisse, wie sie z. B. durch eine unregelmäßige Ausleuchtung der Fahrbahnoberfläche oder bei widrigen Witterungsbedingungen entstehen können, können die Auswertungsqualität entscheidend negativ beeinflussen. Unterschiedliche Fahrbahnoberflächentemperaturen und Restfeuchte auf der Fahrbahnoberfläche können ebenfalls die Erkennbarkeit von Rissen beeinflussen und sich somit auf die Qualität der Ergebnisse auswirken.

### 1.1 Projektziele

Mit dem Forschungsprojekt wurden drei Ziele verfolgt:

- Präzisierung des Erfassungsverfahrens zur schnellfahrenden Aufnahme von Substanzmerkmalen (Oberfläche) anhand geeigneter Vergleichsdaten und statistischer Auswertungen.
- Bestimmung und Quantifizierung des Einflusses von Temperatur und Feuchte auf die Auswertungsergebnisse (Rohdaten) sowie auf die daraus berechneten Zustandsgrößen und Zustandswerte.
- Formulierung technischer, vertragssicherer Anforderungen an das Erfassungsverfahren zur Aufnahme in die Regelwerke: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) und Technische Prüfvorschriften (TP).

Dazu wurden die im Zuge des Projektes erzeugten Ergebnisse statistisch sowie fachlich aufgearbeitet und wissenschaftlich interpretiert. Im Anschluss wurden hieraus Empfehlungen abgeleitet, innerhalb welcher Temperaturbereiche und bei welchen Feuchtegraden der Fahrbahnoberfläche eine belastbare und reproduzierbare Erfassung von Oberflächenschäden möglich ist. Zudem wurden Bewertungen und Aussagen über mögliche Korrekturen bzw. Korrekturfaktoren für Erfassungen außerhalb des empfohlenen Temperaturbereichs getroffen.

### 1.2 Einschränkungen und Vorgehen

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf Risse (Asphalt) sowie Längs- und Querrisse (Beton). Ob und inwiefern auch andere Substanzmerkmale (Oberfläche), wie etwa Flickstellen, Bindemittelanreicherung, Kantenschäden etc., durch die Temperatur und Feuchte der Fahrbahn beeinflusst werden, wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht untersucht.

Im weiteren Verlauf dieses Berichtes werden die Zustandsmerkmale Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse für Asphaltbauweisen sowie Längs- und Querrisse für Betonbauweisen unter dem Begriff Risse zusammengefasst.

Weitere Einflussfaktoren, wie die Qualität der Kamera am Messfahrzeug und mögliche Auswirkungen durch unterschiedlich ausgebildetes bzw. qualifizier-

tes Personal für die Auswertung der Untersuchungsdaten, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes nicht untersucht. Es wurden jedoch Maßnahmen getroffen, um diese Einflüsse zu minimieren.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde untersucht, inwieweit verschiedene Temperaturen und Feuchtegrade der Fahrbahnoberflächen einen Einfluss auf die Erkennbarkeit von Oberflächenschäden haben. Hierzu wurden mehrere Messungen bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und Temperaturen durchgeführt und detailliert ausgewertet.

Die in Kapitel 1.1 genannten Ziele sind unter Berücksichtigung der Vorgaben des Regelwerks ZTV ZEB-StB [1] (Fotoaufnahmen der Fahrbahnoberfläche und Auswertung der Risse am Bildschirm) zu betrachten. Daher erfolgten alle Auswertungen in Anlehnung an die Vorgaben der ZTV ZEB-StB [1]. Darüber hinaus wurden weitere Auswertungen hinsichtlich verfüllter Risse und der Quantifizierung des Feuchtegrades der Fahrbahnoberfläche vorgenommen.

### 1.3 Gewinnung geeigneter Vergleichsdaten

Zur Gewinnung geeigneter Vergleichsdaten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes Messungen auf ausgewählten Strecken in Asphalt- und Betonbauweise (siehe Kapitel 5.1) unter Vergleichsbedingungen (siehe Kapitel 5.2) durchgeführt. Der Erfassungsumfang wurde auf die Ziele des Projektes abgestimmt.

Für die Auswertung der in diesem Forschungsprojekt untersuchten Zustandsmerkmale wurden Oberflächenbilder eines schnellfahrenden Messsystems herangezogen. Das eingesetzte Fahrzeug verfügte über eine zeitbefristete Betriebszulassung (ZbBz) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), welche die Eignung der technischen Erfassungseinrichtungen nachweist und vor der Durchführung von ZEB-Messungen vorliegen muss.

Die Auswertung der Daten erfolgte durch erfahrenes und für die Besonderheiten des Forschungsprojektes geschultes Personal. Hiermit wurden die Einflüsse des Auswerters auf die Auswertergebnisse minimiert. Um die für das Forschungsprojekt notwendige hohe Qualität der Auswertungsergebnisse zu erzielen, wurden Auswerteregeln festgelegt, die das Erreichen der Projektziele unterstützten (siehe

Kapitel 5.5). Weiterhin wurden Maßnahmen getroffen, um die Subjektivität des Auswerters und eine eventuell daraus resultierende Beeinflussung der Auswertergebnisse zu minimieren (siehe Kapitel 5.6).

## 1.4 Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Feuchte

### 1.4.1 Einfluss von Temperaturveränderungen

Abkühlungsvorgänge können zur Entstehung neuer oder zur Aufweitung vorhandener Risse führen, während Erwärmung zur Verschmälerung von Rissen führen kann. Die Lufttemperatur kann in Abhängigkeit der aktuellen Witterung in kurzer Zeit große Schwankungen erfahren. Fahrbahnoberflächentemperaturen korrelieren zwar mit den Veränderungen der Lufttemperatur, ändern sich jedoch deutlich langsamer. Daher wird erwartet, dass die Lufttemperatur einen geringeren Einfluss auf die Sichtbarkeit der Risse hat als die Fahrbahnoberflächentemperaturen. Im Projekt wurden sowohl die Luft- als auch Fahrbahnoberflächentemperaturen erfasst, jedoch wurde bei der Datenauswertung insbesondere die Fahrbahnoberflächentemperatur berücksichtigt.

Asphalt kann Temperaturschwankungen durch Relaxation ausgleichen, weshalb es weder bei hohen Temperaturen zu Verlängerungen noch bei niedrigen Temperaturen zu Verkürzungen des Linienbauwerks Asphaltstraße kommt. Aufgrund dessen ist zu erwarten, dass sich die Rissweiten im Asphaltoberbau bei ansteigender Temperatur verringern, da die Möglichkeit der Ausdehnung besteht. Abfallende Temperaturen können hingegen zu einer Gefügetrennung führen, welche größere Rissweiten zur Folge hat.

Ein Temperaturgradient innerhalb einer Betonplatte kann eine Wärmeausdehnung an der Ober- bzw. Unterseite der Betonplatte mit sich bringen. Es ist zu erwarten, dass eine positive Dehnung an der Plattenoberseite zu einer größeren Rissweite und somit zu einer besseren Erkennbarkeit von Rissen führt. Bei einer positiven Dehnung an der Plattenunterseite nimmt die Rissweite an der Fahrbahnoberfläche entsprechend ab und Risse sind schlechter erkennbar.

In den ZTV ZEB-StB [1] gibt es derzeit keine Einschränkung bezüglich der zulässigen Temperaturbereiche für die messtechnische Zustandserfassung.

### 1.4.2 Einfluss von Fahrbahnoberflächenfeuchte

Anhang 6 der ZTV ZEB-StB [1] schreibt vor, dass Ebenheitsmessungen im TP 1 im Rahmen der ZEB auf trockener und sauberer Fahrbahnoberfläche stattfinden sollen. Einsatzbedingungen für die Aufnahme der Oberflächenbilder, wie sie für das TP 3 benötigt werden, sind nicht formuliert. In der Regel werden die Messungen zum TP 1 und TP 3 zeitgleich mit nur einem Messfahrzeug durchgeführt, sodass diese Regelung indirekt für beide Teilprojekte gilt.

Eventuell vorhandene Feuchte auf der Fahrbahnoberfläche kann die Sichtbarkeit der Oberflächenmerkmale, vor allem die der Risse, beeinflussen. Gegebenenfalls können feine Risse bei trockener Oberfläche nicht erkannt werden. Aus bisher realisierten Projekten [2 bis 4] ist bekannt, dass Restfeuchte auf der Asphaltoberfläche die Sichtbarkeit feiner Risse verbessern kann. Feuchte bedeutet dabei jedoch nicht Nässe. Auf nassen Fahrbahnoberflächen können Risse nicht oder nur sehr eingeschränkt identifiziert werden. Bezüglich des Einflusses der Fahrbahnfeuchte auf die Erkennbarkeit von Rissen bei Betonfahrbahnen liegen dem Forschungsnehmer keine Erkenntnisse vor.

Da bisher keine geeignete Methode bekannt ist, mit welcher der Feuchtegrad hinsichtlich der Projektziele sicher quantifiziert werden kann, wird mit einer groben Klassifizierung gearbeitet: trockene Oberfläche, abtrocknende Feuchte (die Restfeuchte ist nur noch im Bereich von Mulden/Rissen erkennbar) und nasse Oberfläche (die Fahrbahn ist durchgehend nass). Eine mögliche Lösung für die Vereinheitlichung des Feuchtegrades könnte eine künstliche Anfeuchtung der Fahrbahnoberfläche sein [3]. Dieses Vorgehen war jedoch im Projektkonzept nicht vorgesehen und wäre unverhältnismäßig aufwändig gewesen. Darüber hinaus ist eine solche Art der Anfeuchtung für die ZEB nicht praktikabel.

### 1.5 Alterungsbedingte Zustandsverschlechterung der Fahrbahn

Die innerhalb des Forschungsprojektes realisierten Messkampagnen erstreckten sich über einen Zeitraum von 15 Monaten (Oktober 2015 bis Januar 2017). Es ist unklar, ob die Verkehrsbeanspruchung während dieses Zeitraumes dazu geführt hat, eine signifikante Zustandsverschlechterung zu bewirken. Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte

dieser Einfluss jedoch nicht ausgeschlossen werden. Streckenabschnitte mit sichtbaren Reparaturstellen (wie z. B. verfüllte Risse, neue Flickstellen oder Austausch einer Betonplatte) wurden von der Datenauswertung ausgeschlossen.

### 1.6 Dokumentation einzelner Risse

Ein Ziel des Forschungsprojektes war es, den Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen und deren Zustandsgrößen gemäß ZTV ZEB-StB [1] zu bestimmen und zu quantifizieren. Das Verfahren nach ZTV ZEB-StB [1] sieht kein in situ Monitoring von Rissen vor. Im Rahmen dieses Forschungsvorhaben wurde, abweichend von der ZTV ZEB-StB [1], anhand des aufgenommenen Bildmaterials eine Dokumentation zur Entwicklung von Beispielrissen durchgeführt.

## 2. Literaturstudie

Vor über 25 Jahren wurde durch eine Initiative des Bundes die messtechnische Zustandserfassung und deren Bewertung (ZEB) ins Leben gerufen. Seit 1997 liefert sie turnusmäßig netzweite Zustandsdaten, welche regelmäßig für Straßenbilanzierungen, Erhaltungsbedarfsprognosen, strategische und operative Erhaltungsplanungen, diverse Aufgaben im Bereich des Maßnahmencontrollings sowie zur Information der Öffentlichkeit zu wichtigen Themen der Straßeninfrastruktur verwendet werden. Die Zustandsdaten werden zu einem Gebrauchswert (bezüglich der Angebotsqualität für den Straßennutzer) und zu einem Substanzwert zusammengefasst. Innerhalb der ZEB werden im sogenannten Teilprojekt 3 (TP 3) die Substanzmerkmale (Oberfläche) der Fahrbahnoberfläche mit bildgebenden Verfahren durch Messfahrzeuge erfasst und anschließend manuell am Bildschirm ausgewertet (Stand der Technik). Regeln für die Bildaufnahme sowie die Auswertung der Oberflächenschäden sind in den ZTV ZEB-StB [1] definiert und werden in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert.

### 2.1 ZTV ZEB-StB 06

Die zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen der ZEB (ZTV ZEB-StB, Ausgabe 2006) stellen hohe qualitative Anforderungen an die Erfassung und Auswertung des Bildmaterials. So müssen z. B. Risse ab 1,0 mm „sicher festgestellt“ werden. Auch weitere Oberflächenmerkmale müssen sicher identifiziert werden. Bei Straßen in Asphaltbauweise sind dies neben den Rissen auch eingelegte und aufge-



legte Flickstellen, Ausbrüche, offene Arbeitsnähte und Bindemittelanreicherungen. Bei Betonbauweisen müssen Längs- und Querrisse, Kantenschäden, Eckabbrüche, Nester und bituminöser Teilersatz sicher anhand von messtechnisch erfassten Bildern der Fahrbahnoberfläche erkannt werden.

Grundsätzlich muss die Eignung der technischen Erfassungseinrichtungen vor der Durchführung von ZEB-Messungen nachgewiesen werden, insbesondere für die Bildaufnahme und die Auswertung im TP 3. Hierzu wurde durch die BAST das Verfahren der zeitbefristeten Betriebszulassungen eingeführt, bei der die Aufnahmetechnik und der Auswerteprozess anhand von Testbildern und der Auswertung von Zulassungsstrecken geprüft werden. Bei erfolgreicher Prüfung erfolgt eine einjährige Zulassung des eingesetzten Messsystems für ZEB-Messungen.

Weitere Elemente der Qualitätssicherung der ZEB sind die während der Erfassung durchzuführenden Eigenüberwachungen der Messsystembetreiber sowie zeitnahe Kontrollprüfungen durch eine unabhängige zweite Erfassung, welche in der Regel durch die BAST durchgeführt wird. Die Kontrollprüfung im TP 3 wurde mit der ZEB 2017 eingeführt und ist seitdem vertragsrelevant für die ZEB des Bundesfernstraßennetzes. Darüber hinaus hat sich die sogenannte Online-Kontrolle [5] als ein wichtiges Element der Qualitätssicherung etabliert. Diese Form der Qualitätssicherung erfolgt bereits während

des Erfassungsprojektes einer ZEB-Kampagne durch ein unabhängiges Unternehmen im Rahmen des TP 4. Sie wird anhand eines Teilbestandes der Daten realisiert und zu den sogenannten Zwischenterminen durchgeführt. Sofern möglich, beteiligen sich auch einzelne Bundesländer an dieser Qualitätssicherung. In der Online-Kontrolle lassen sich sämtliche Zustandsdaten in Form von Karten und Rohdatenprofilen, zusammen mit den Front- und Oberflächenbildern, synchronisiert darstellen. Unplausibilitäten und Fehler können auf diese Weise sehr gut erkannt und dem Erfasser gemeldet werden. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Online-Kontrolle (Bild 2–1).

Die Qualitätssicherung im TP 3 umfasst die Kontrolle der durch den Erfasser kodierten Oberflächenmerkmale.

## 2.2 Neue Bewertungsmethodik der ZEB ab 2015

Im Zuge der Zustandserfassung und -bewertung 2015/2016 wurde auf Basis der Ergebnisse des FE 04.0212/2007/MRB „Aktualisierung der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB)“ [7] eine neue Zustandsbewertung eingeführt. Im Bereich der Substanzmerkmale (Oberfläche) wird dabei nur noch zwischen Rissen und schadhafter Fläche, die jedoch keine Risse aufweist – der sogenannten Restschadensfläche (RSF) – unterschieden. Anhand der Merkmale Risse und Restschadensfläche wird ein

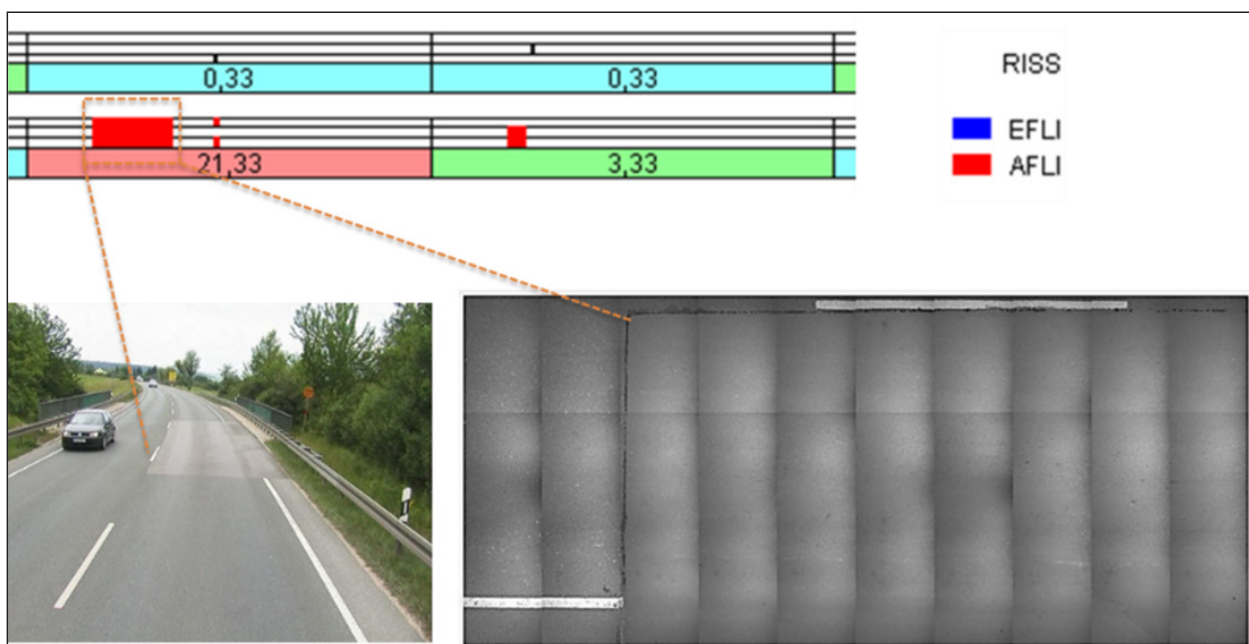


Bild 2–1: Frontbild, Oberflächenbild und Rohdatenvisualisierung [6]

neuer Zustandswert RIO (Risse und Oberflächenschäden) berechnet. Da das Merkmal Risse deutlich stärker in den Zustandswert RIO eingeht als die Restschadensfläche, sind die Ergebnisse des gegenständlichen Projektes von großer Bedeutung für die Zustandsbewertung mit dem Zustandswert RIO.

## 2.3 Witterungsbedingungen

Die Auswerteregeln für die Erfassung von Substanzmerkmalen (Oberfläche) sind in Anhang 7 der ZTV ZEB-StB [1] aufgeführt. Regeln bzw. Einschränkungen bezüglich der Witterungsbedingungen gibt es an dieser Stelle nicht. Grundsätzlich wird bei der ZEB das TP 3 zeitgleich und mit demselben Fahrzeug wie das TP 1 (Ebenheit) durchgeführt. Somit gelten auch für das TP 3 indirekt die Vorgaben des TP 1 (Anhang 6 der ZTV ZEB-StB [1]). Hier heißt es, dass Ebenheitsmessungen auf „sauberen und trockenen Fahrbahnoberflächen“ durchzuführen sind.

In der Regel werden ZEB-Messungen von Mai bis Oktober realisiert. Zu dieser Zeit liegen die Temperaturen normalerweise bei über 5 °C, so dass Griffigkeitsmessungen zulässig sind, die im Rahmen des TP 2 durchgeführt werden. Die zumeist trockenen Fahrbahnen begünstigen zudem die Zustandserfassungen.

Jahreszeit und Witterungsbedingungen (indirekt Temperatur und Feuchtigkeit) können die Ausprägung und Sichtbarkeit von bestimmten Schäden beeinflussen. Daher empfiehlt die US-amerikanische, gemeinnützige Northwest Pavement Management Association, die Zustandserfassung und -bewertung von Straßen stets zu denselben Jahreszeitpunkten und bei trockener Fahrbahn durchzuführen [8].

### 2.3.1 Temperatureinfluss

Aktuell werden im Arbeitskreis 4.3.1 Oberflächenbild [9] der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) die technischen Prüfvorschriften für die Erfassung von Bildern der Fahrbahnoberfläche durch schnellfahrende Aufnahmesysteme erarbeitet. Hierin wird nach aktuellem Stand gefordert, dass Messungen nur auf trockenen und augenscheinlich sauberen, nicht verunreinigten Oberflächen erfolgen dürfen. Eine Anforderung hinsichtlich zu berücksichtigender Temperaturbereiche existiert in diesem Entwurf nicht.

Zum Einfluss der Temperatur auf die Erkennbarkeit von Rissen wurde in den Jahren 2012 bis 2014

von der HELLER Ingenieurgesellschaft mbH ein Forschungsprojekt durchgeführt, in dem die Oberflächenschäden in großem Umfang und detailliert ausgewertet wurden. In dem Schlussbericht des Projekts [2] wurde festgehalten, dass die Sichtbarkeit der Risse temperatur- und feuchteabhängig sein kann. Die Risse, die in den kalten Jahresperioden (Messung November/Dezember) sichtbar waren, konnten in den warmen Jahresperioden (Messung März/April) zum Teil nicht mehr erkannt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch SKAKUJ bei der Beobachtung der Entwicklung von Fahrbahnschäden im Winter anhand von Feldversuchen in den Jahren 2012 und 2013 [4].

### 2.3.2 Feuchtigkeit

Sollen für bestimmte Auswertungszwecke Risse besonders gut erkennbar sein, kann eine Messung auf abtrocknender Fahrbahn bzw. trockener Fahrbahn mit noch feuchten Rissen sinnvoll sein. Der Effekt konnte bereits des Öfteren, u. a. im Forschungsprojekt durch SKAKUJ [4] und im Rahmen der ZEB, beobachtet werden und wird in der Schadensanalyse sogar gezielt eingesetzt.

Ein Projekt der HELLER Ingenieurgesellschaft mbH, das im Jahr 2013 für das Land Baden-Württemberg realisiert wurde, hat gezeigt, dass zwei unabhängig durchgeführte ZEB-Erfassungen einer Landesstraße ein sehr unterschiedliches Schadensbild feststellen können. Insbesondere abtrocknende Nässe führte zur vermehrten Identifikation von feinen Rissen, die bei trockener Fahrbahn nicht sichtbar waren.

Zur Bewertung und Sanierung der Straßenoberfläche in der Schweiz wurde durch die Böhlinger AG Ingenieure und Planer eine systematische Zustandserfassung durchgeführt. Hierbei wurden etwaige Schäden und Mängel beim Abtrocknen der Fahrbahn aufgenommen. Dadurch konnten Risse, Kornausbrüche etc. besser erkannt werden [10].

Das Schweizer Bundesamt für Straßen (ASTRA) empfiehlt im Leitfaden für den Aufbau und den Betrieb eines Straßeninformationssystems für das Straßenmanagement (STRADA), die messtechnische Zustandserfassung (Griffigkeit, Tragfähigkeit und Ebenheit) bei Temperaturen oberhalb des Gefrierpunktes und bei trockener Fahrbahn, unabhängig von der Jahreszeit, durchzuführen. Die visuelle Zustandserfassung mittels technischer Hilfsmittel (z. B. Video) soll danach am besten bei trockener

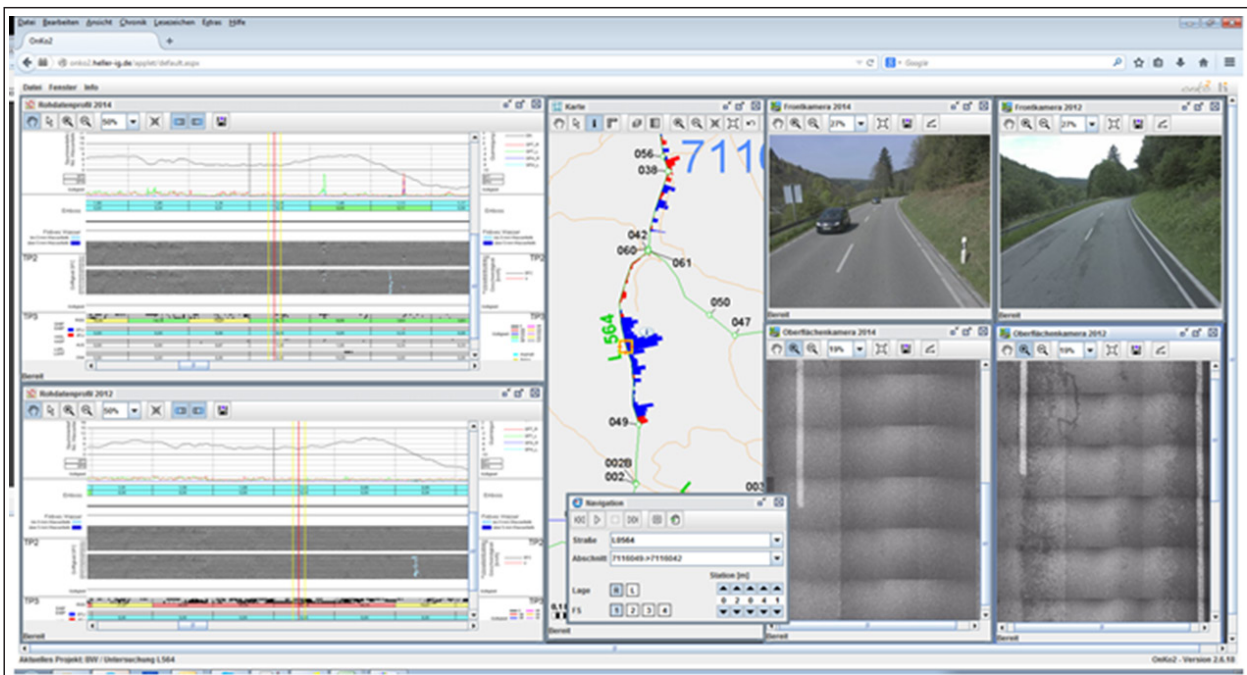


Bild 2–2: Vergleich zweier unabhängiger ZEB-Messungen, davon eine mit Feuchtigkeit [14]

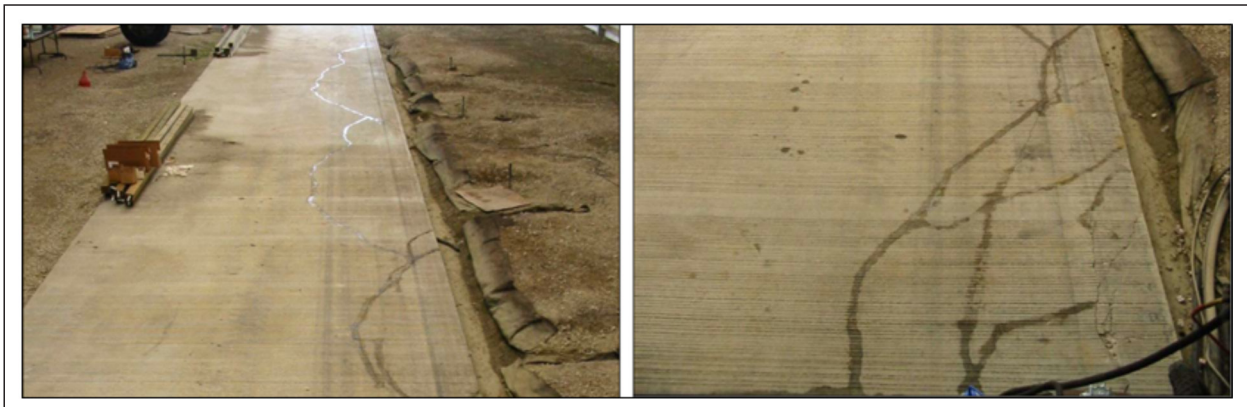


Bild 2–3: Besprühen der Einbaustrecke mit Wasser zur besseren Sichtbarkeit der sichelförmigen Risse [15]

oder abtrocknender Fahrbahn im Frühling durchgeführt werden [11].

Die Erkennbarkeit von Rissen auf sehr nasser Fahrbahnoberfläche, also während oder kurz nach einem Regenereignis, ist mit Ausnahme schwerwiegender Risse stark eingeschränkt. Die Erfassung der Risse sollte bei starkem Regen und stehendem bzw. abfließendem Wasser unterbrochen werden. Der ideale, leicht feuchte Oberflächenzustand entsteht, wenn die Fahrbahnoberfläche außer in den Rissbereichen trocken ist. In diesem Fall wird das im Riss gespeicherte Regenwasser den Rissbereich länger nass halten, während die unbeschädigten Bereiche schneller abtrocknen, und somit einen höheren Kontrast zu Bereichen ohne Risse aufweisen. Dar-

aus resultiert, dass die Risserkennung nach einem Regenereignis zum Zeitpunkt des Abtrocknens der Fahrbahnoberfläche optimal ist [12].

Die Feuchtigkeit der Fahrbahn beeinflusst die Risserkennung deutlich (siehe Bild 2–2). Die wasserbedeckte Fahrbahn verschlechtert die Erkennbarkeit von vielen Oberflächenschäden. Jedoch sollten Risse nach einem leichten Regenereignis und dem Abtrocknen der Fahrbahn deutlich sichtbar werden [13].

Der Umstand einer längeren Verweildauer von Wasser in Rissbereichen wird bei der Schadensanalyse von kleinräumigen Untersuchungsstrecken gezielt genutzt, um Rissbereiche besser zu erkennen.

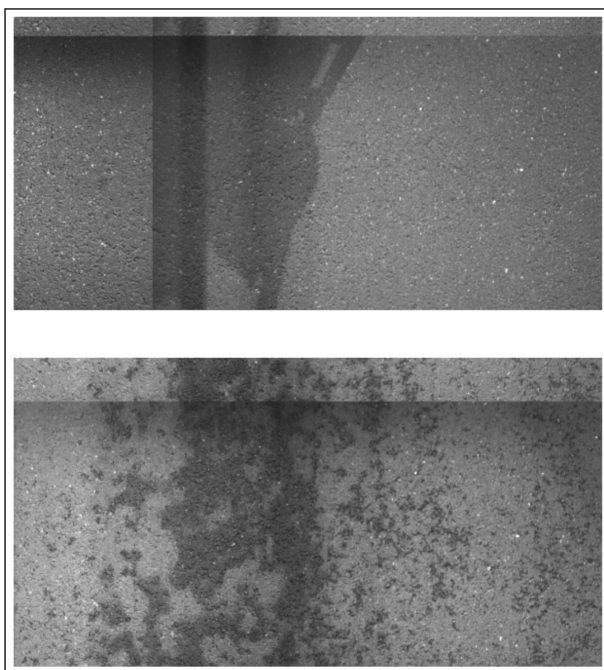


Bild 2–4: Vergleich der hochauflösenden Oberflächenbilder im trockenen Zustand (oben, mit Schatten vom Fahrzeug) und bei angefeuchteter Fahrbahn (unten) [3]

Dazu wird die entsprechende Straße nach einem Regenereignis zum Zeitpunkt des Abtrocknens der Straßenoberfläche betrachtet. Während die unbeschädigten Bereiche schneller abtrocknen, bleiben die Rissbereiche durch die länger verbleibende Feuchtigkeit deutlich länger sichtbar.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden mehrere Einbaustrecken aus Beton Belastungsversuchen unterzogen und im Anschluss auf entstandene Risse untersucht. Hierbei wurde die Sichtbarkeit der entstandenen sichelförmigen Risse am Fahrbahnrand für die Schadensaufnahme durch Besprühen der Rissbereiche mit Wasser verbessert (Bild 2–3) [15].

Im Rahmen der Qualitätsmessung einer Deckschicht vor Ablauf der Gewährleistungsfrist wurden von LEHMANN + PARTNER [3] Messfahrten mit hochauflösenden Oberflächenkameras auf trockener und abtrocknender Fahrbahn (nach künstlicher Anfeuchtung) durchgeführt und verglichen. Die Anfeuchtung wurde dabei fahstreifenweise vorgenommen, um ein zu schnelles Abtrocknen der Fahrbahnen zu verhindern. Während feine Rissstrukturen im trockenen Zustand nicht erkannt werden konnten, wurden diese durch Anfeuchten sichtbar (vgl. Bild 2–4). Trotz unmittelbarer Messung nach Anfeuchten konnte jedoch eine unterschiedlich schnelle Abtrocknung der Fahrbahnoberfläche aufgrund von

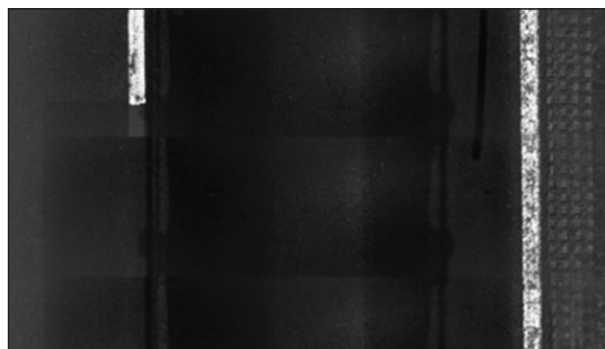


Bild 2–5: Beispiel eines schlecht ausgeleuchteten Oberflächenbildes (Auszug aus einem Prüfbericht der BAST) [17]

Witterungseinflüssen, wie Sonneneinstrahlung und Wind, beobachtet werden.

In Rissen können sich Verschmutzungen ansammeln, so dass die entsprechenden Schadstellen mehr Zeit zum Abtrocknen benötigen, respektive das Wasser eine längere Verweildauer im Riss hat und entsprechend länger schädigend wirken kann.

### 2.3.3 Lichtverhältnisse

Obwohl die Lichtverhältnisse bei der Erfassung nicht Gegenstand der hier durchgeführten Untersuchungen waren (das eingesetzte Messsystem war in Besitz einer ZbBz und verfügte somit über eine dem ZEB-Standard entsprechende Beleuchtungseinrichtung), haben sie, neben der Temperatur und der Feuchtigkeit, einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Erfassung.

Wie VOS UND BOUMAN [16] berichten, spielt die Beleuchtung der Fahrbahnoberfläche bzw. der Beobachtungswinkel für die korrekte Feststellung der Beschädigungsart und des Umfangs der Beschädigung eine maßgebliche Rolle. Es kann konstatiert werden, dass die Qualität der erhobenen Daten direkt von der Qualität der zugrundeliegenden Oberflächenbilder abhängig ist. Wird die Fahrbahn etwa durch unregelmäßige Ausleuchtung oder widrige Witterungsbedingungen ungünstig beleuchtet, kann die Auswertequalität deutlich beeinträchtigt werden.

Bild 2–5 zeigt ein Praxisbeispiel eines schlecht ausgeleuchteten Oberflächenbildes, in dem Risse oder andere Oberflächenschäden praktisch nicht erkennbar sind.

Eine von der Böhlinger AG Ingenieure und Planer durchgeführte Zustandserfassung für das nordwest-

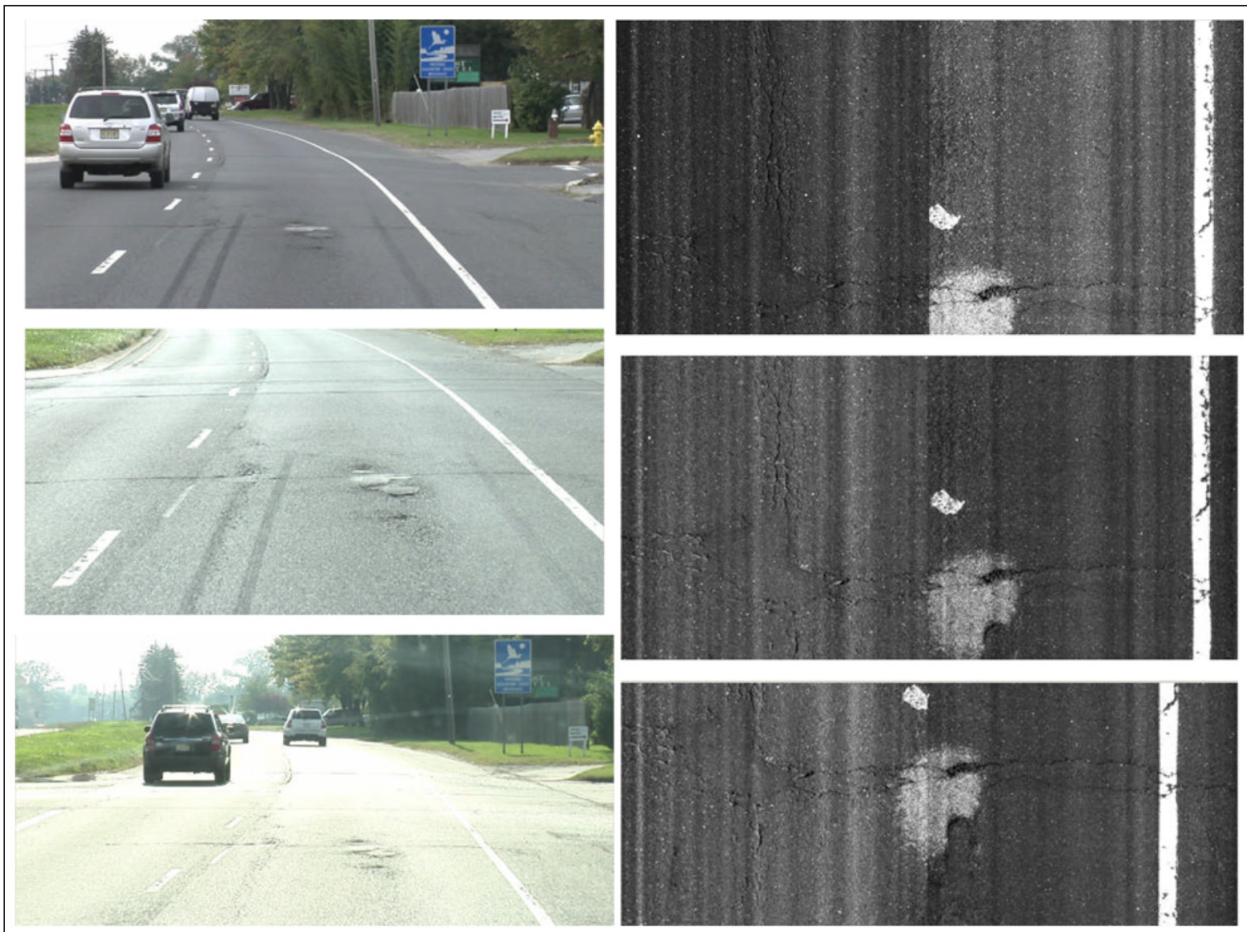


Bild 2–6: Streckenbilder (links) und Oberflächenbilder (rechts) zu unterschiedlichen Tageszeiten (morgens, mittags, abends) [18]

schweizerische Straßennetz hat gezeigt, dass sich die Schadenserkennung gegen das Sonnenlicht aufgrund des Schattenwurfs vorteilhaft auf die Erkennbarkeit von Oberflächenschäden auswirkt [10].

Die Wetterbedingungen können die Bildqualität und die Ausgabedaten bei ungünstiger Beleuchtung deutlich beeinflussen [18,19]. Unterschiedliche Beleuchtungsstärken des natürlichen Tageslichtes können sich auf die Qualität der Kamerabilder (Kontrast, Sättigung, Farbverlauf) für die manuelle oder automatische Auswertung der Oberflächenbilder auswirken. Bild 2–6 zeigt die unterschiedliche Bildqualität zwischen den zeitgleich aufgenommenen Streckenbildern (links) und den Oberflächenbildern (rechts). Während die Streckenbilder durch das natürliche Tageslicht stark beeinflusst werden, zeigen die Oberflächenbilder aufgrund einer künstlichen Beleuchtung kaum Unterschiede im Tagesverlauf.

Es wurde eine messtechnische Zustandserfassung [17] mit Tageslicht ohne zusätzliche Beleuchtung an drei Tagen durchgeführt, zu denen unterschiedliche Wetterbedingungen vorlagen (sonnig, bewölkt und

stark bewölkt). Der bewölkte Tag hatte ein ausreichendes Tageslicht für die Aufnahme der Oberflächenbilder und erzeugte keine Schatten im Bild. Am stark bewölkten Tag erschienen die Bilder dunkel und der Kontrast war gering. Dabei ist die Risserkennung problematisch geworden. Am sonnigen Tag wurden die Bilder durch Fahrzeugschatten beeinträchtigt.

XU [19 bis 21] hat eine künstliche Beleuchtung bei der Durchführung der messtechnischen Zustandserfassung verwendet, um alle Schatten in einem Bild zu beseitigen und somit die Einheitlichkeit der Daten unabhängig von den Wetterbedingungen zu verbessern. Unter Verwendung einer künstlichen Beleuchtung konnten konsistente Ergebnisse bei der Risserkennung unter verschiedenen Lichtverhältnissen (nachts, tagsüber mit Schatten und tagsüber ohne Schatten) erreicht werden. Darüber hinaus konnten Risse mit geringerem Intensitätskontrast erkannt werden. Bei der ZEB wird ebenfalls eine künstliche Beleuchtung eingesetzt, um den Fremdlichteinfluss aus Sonnenlicht und Schattenwurf möglichst gering zu halten.

### 3. Erfassung und Auswertung von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

Die Zustandserfassung erfolgt mit schnellfahrenden Messsystemen durch Aufnahme von Fahrbahnoberflächenbildern. Im Rahmen der ZEB-Projekte in Deutschland werden vorwiegend Flächenkamarasysteme für die Aufnahme der Oberflächenbilder verwendet. Die Auswertung der Oberflächenmerkmale erfolgt visuell (am Bildschirm) durch geschultes Personal. Zu den üblicherweise in den ZEB-Projekten angewendeten Aufnahme- und Auswerteverfahren existieren national und international alternative Möglichkeiten, die in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben werden.

#### 3.1 Verfahren für die Oberflächen(bild)aufnahmen

Grundlage für die Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) sind die sogenannten Oberflächenbilder und die Bilder einer Frontkamera. Für die Aufnahme der Oberflächenbilder werden überwiegend zwei Technologien angewendet: Flächen- oder Zeilenkameras.

Neben Flächen- und Zeilenkameras sind darüber hinaus Verfahren verfügbar, die mittels Rotations-Laser-Scanner mit anschließender Auswertung der reflektierten Intensität oder Lichtschnittverfahren eine dreidimensionale Abtastung der Oberfläche mit anschließender Auswertung der rissartigen Vertiefungen ermöglichen. Das Lichtschnittverfahren ist auch unter dem Namen Laser Crack Measurement System bekannt.

##### 3.1.1 Flächenkamarasystem

Bei Flächenkamarasystemen wird die Fahrbahnoberfläche mit Digitalkameras fotografiert. Je nach Betreiber werden zwei oder drei Kameras verwendet, um die komplette Breite des Fahrstreifens (in der Regel 4,5 bis 4,6 m) zu erfassen. Die einzelnen Bilder werden zu längeren Bildern (10 m) zusammengesetzt. Um ein schattenfreies Bild zu erhalten, wird die Fahrbahnoberfläche mit Stroboskoplampen beleuchtet. Ein Bildpixel des im Projekt eingesetzten Messsystems bildet derzeit ca. 1,5 mm x 1,5 mm der Straßenoberfläche ab (siehe Bild 3–1).

Für dieses Forschungsprojekt wurde das Flächenkamarasystem für die Aufnahme der Oberflächenbilder eingesetzt.

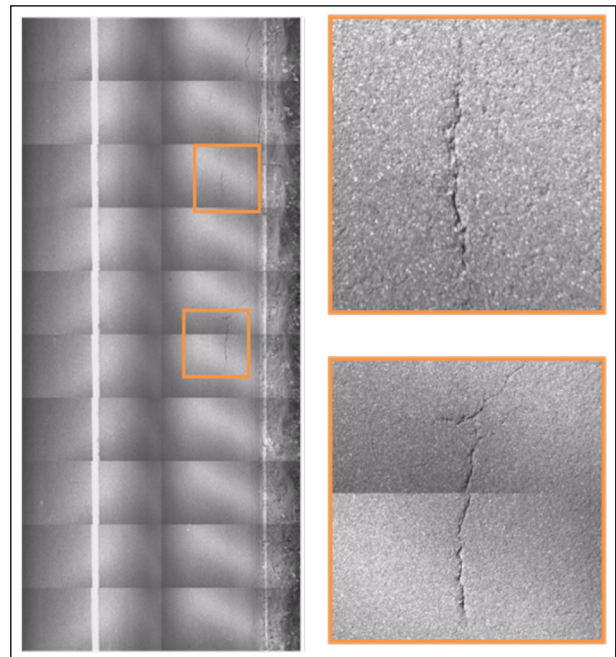


Bild 3–1: Oberflächenbild mit Rissen (IFI Consult GmbH) [22]

##### 3.1.2 Zeilenkamarasysteme

Als Zeilenkamera bezeichnet man einen Kamertyp, der nur eine lichtempfindliche Zeile (Zeilensensor) aufweist – im Gegensatz zu dem zweidimensionalen Sensor einer Flächenkamera, der über eine Vielzahl von Zeilen verfügt. Durch das Bewegen der Kamera in Fahrtrichtung entsteht ein theoretisch unendlich langes Bild der Fahrbahnoberfläche.

Das Line-Scan-Verfahren von Greenwood Engineering A/S verwendet für die Aufnahme der Oberflächenbilder ein Zeilenkamarasystem und liefert damit ein ununterbrochenes Bild der Straßenoberfläche. Ein sehr helles und auf das Tageslichtspektrum abgestimmtes LED-Licht sorgt dafür, dass ein negativer Einfluss des Schattens oder sonstiger Artefakte auf die Bildqualität minimiert wird. Die mit den Zeilenkameras aufgenommenen Oberflächenbilder sind somit gleichmäßig ausgeleuchtet, verzerrungsarm, sehr scharf und bieten eine sehr gute Grundlage für die Auswertung der Substanzmerkmale.

Die BASt setzt für das Erfassen und Bewerten von Oberflächeneigenschaften ein Multifunktionales Erfassungssystem zur Fahrbahnoberflächenanalyse (MEFA) ein (siehe Bild 3–2). Dieses Messsystem kann gleichzeitig die Längs- und Querneigung sowie das Oberflächenbild von Fahrbahnen erfassen.

Für die Erfassung der Oberflächenbilder werden dabei zwei Zeilenkameras mit einer Auflösung von



Bild 3–2: Messsystem MEFA [23]

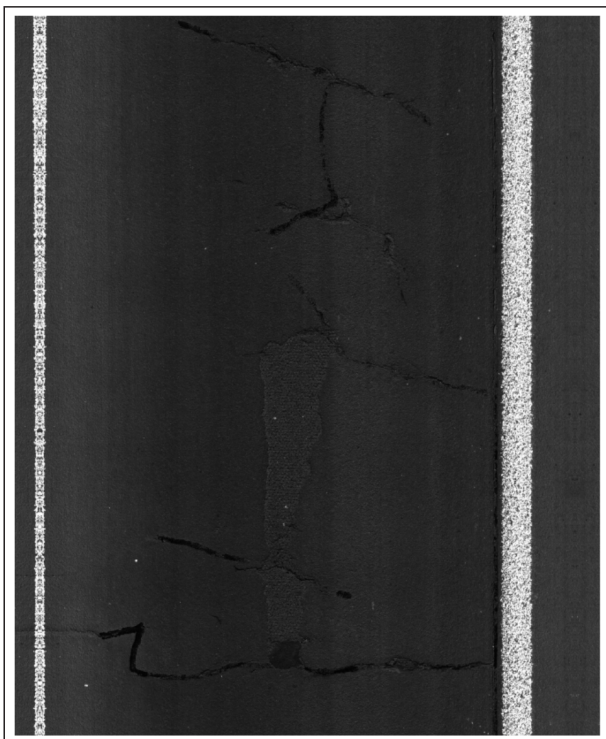


Bild 3–3: Beispiel eines Oberflächenbildes einer Zeilenkamera [24]

jeweils 2.048 Pixeln verwendet, welche am Fahrzeugheck in einer Höhe von ca. 2,5 m montiert sind und die Fahrbahnoberfläche in Zeilen von 1,26 mm x 4,6 m aufnehmen [23]. In Fahrtrichtung entsteht eine unendlich lange, 4,6 m breite Abbildung der Fahrbahn in 256 Graustufen.

Für die weitere Verarbeitung im ZEB-Prozess werden Zeilenkameraaufnahmen analog zu dem Vorgehen bei den Flächenkameras in 10 m lange Intervalle geschnitten und komprimiert abgespeichert.

Das MEFA-System wird bei der Zulassung von externen Messsystemen durch die BASt als Referenzsystem eingesetzt.

### 3.1.3 Laser Crack Measurement System

Das Laser Crack Measurement System (LCMS) der kanadischen Firma Pavemetrics Systems Inc. verwendet hochauflösende Laserdaten eines Messsystems der Firma INO, um die Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche, wie Risse, vergossene Risse, Schlaglöcher, Kornausbrüche und Arbeitsnähte, automatisch zu identifizieren [25].

Das LCMS besteht aus zwei nach unten gerichteten Flächenkameras und einem Laser. Das LCMS erfasst zunächst in dichter Folge Querprofile, indem der Abstand zwischen dem Kamerasensor und der Fahrbahnoberfläche für jeden abgetasteten Punkt ermittelt wird. Die Sensoren erfassen gleichzeitig für jeden Pixel sowohl die Höhe und die laterale Position als auch die Intensität des reflektierten Lichts der gescannten Oberfläche. Mit dem LCMS kann somit ein kontinuierliches (geometrisches und optisches) Bild der Fahrbahnoberfläche mit einer Auflösung von 1 x 1 mm erfasst werden. Jedes aus zwei Einzelprofilen zusammengesetzte Querprofil besteht aus bis zu 4.160 Datenpunkten, welche die 4-Meter-Breite des Fahrstreifens wiedergeben. Das LCMS kann mit Geschwindigkeiten von bis zu 120 km/h betrieben werden, wird typischerweise aber mit 70 bis 80 km/h gefahren [26].

Durch die Integration eines Inertialsystems kann aus den Querprofilen ein zusammenhängendes 3D-Abbild der Fahrbahn erzeugt werden. Die erfassten Daten (3D-Höhen und Intensität) werden in einem automatisierten Bild- und Datenverarbeitungsalgorithmus verarbeitet. Das Verfahren analysiert jedes Querprofil, um das Ausmaß und die Schwere der Oberflächenbeschädigung zu bestimmen. Dabei werden folgende Merkmale ermittelt: Risse, Flickstellen, Kornausbrüche und Spurrinnen. Die Analyse erfolgt mithilfe der Software LcmsRoadInspect von Pavemetrics.

## 3.2 Auswertung der Oberflächenschäden

### 3.2.1 Auswertung von Oberflächenschäden im Rahmen der visuellen Zustandserfassung

Die visuelle Erfassung von Oberflächenschäden vor Ort hat den Vorteil, dass sich die Straßenoberfläche aus mehreren Blickwinkeln und Abständen dreidimensional betrachten lässt. Die Substanzmerkmale werden hierbei im Zuge einer Straßenbegehung optisch durch geschultes Personal identifiziert und

handschriftlich in Formularen oder mittels mobiler Geräte erfasst. Die visuellen Erfassungsmethoden unterscheiden sich dabei erheblich. Grob können diese wie folgt kategorisiert werden:

- **Abschnittsorientierte Schadenserfassung:** Für definierte Abschnitte wird je Zustandsmerkmal die betroffene Fläche und gegebenenfalls auch die Schadensschwere abgeschätzt und vermerkt. Die Abschnittslängen können sich dabei je nach Methode erheblich unterscheiden und von wenigen Metern bis hin zu ganzen Netzknottenabschnitten reichen.
- **Lagegetreue Schadenserfassung:** Hier wird jeder Schaden lagegetreu erfasst und gegebenenfalls auch die Schadensschwere vermerkt.

Die visuelle Erfassung von Oberflächenschäden wird bei netzweiten Zustandserfassungen nur sehr selten und ausnahmslos im kommunalen Bereich und für Kreisstraßen eingesetzt. Die Anwendung der visuellen Erfassung auf den Bundesfernstraßen findet nicht statt.

Alle Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. So weist eine lagegetreue Schadenserfassung den höchsten Detaillierungsgrad auf und die Ergebnisse sind gut reproduzier- und prüfbar. Zudem sind Schadensanalysen (z.B. die Rissentwicklung) auf Objektebene möglich. Allerdings ist der Erfassungsaufwand vergleichsweise hoch. Abschnittsorientierte Methoden können hingegen, insbesondere bei sehr langen Abschnitten, kosteneffizient realisiert werden. Die Qualität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist jedoch nur für bestimmte Zielsetzungen der Straßenerhaltung geeignet und Schadensanalysen auf Objektebene

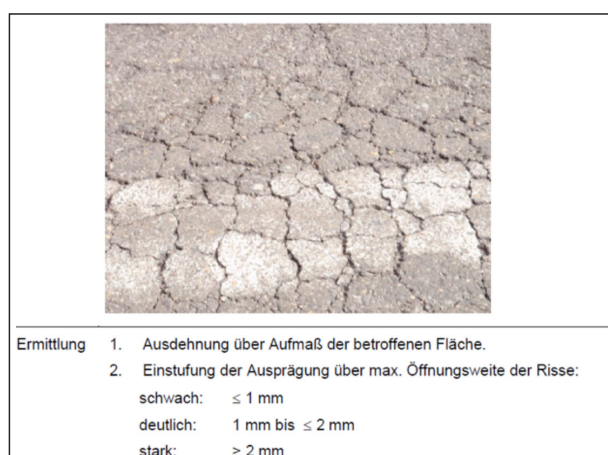


Bild 3–4: Auszug aus dem Arbeitspapier 9 K 2.3 [27]

sind nur bedingt und bei sehr kurzen Abschnitten möglich.

Im Rahmen der Vervollständigung der Arbeitspapiere der Reihe AP 9/K [27] wird derzeit der Versuch unternommen, die visuellen Erfassungsmethoden zu standardisieren. Das Problem hierbei ist jedoch die große Bandbreite bereits existierender und konkurrierender Systeme sowie die unterschiedlichen Anforderungen der Kommunen hinsichtlich Detaillierungsgrad und Kosteneffizienz.

In dem Arbeitspapier 9 K 2.3 [27] wurde der Schadenskatalog für die messtechnische und visuelle Zustandserfassung von Innerortsstraßen festgelegt. Hier werden die Oberflächenschäden nach Ausprägung und Ausdehnung klassifiziert (siehe Bild 3–4).

### 3.2.2 Auswertung der Oberflächenschäden im Rahmen der ZEB

Die Auswertung der Oberflächenschäden im Rahmen der ZEB auf Bundesfernstraßen erfolgt visuell anhand der Oberflächenbilder durch firmenintern geschultes Personal und wird durch spezielle Software unterstützt. Die Software zeigt die Oberflächenbilder mit einer markierten Aufteilung auf die Rasterfelder (bei Anwendung der ZTV ZEB-StB [1] für Asphaltstrecken ist ein Rasterfeld 1 m lang und 1/3 Fahrstreifen breit) sowie das Frontbild und ermöglicht das Navigieren in und entgegen der Stationierungsrichtung. Wird das Rasterfeld mit der Maus angeklickt oder bestimmte Tasten betätigt, kann der Auswerter den beobachteten Schaden je Rasterfeld in den Rohdatendateien codieren. Je nach Software kann das Rasterfeld und die zu erfassenden Merkmale (Ausprägung und Ausdehnung) in Abhängigkeit von der Erfassungsrichtlinie oder des

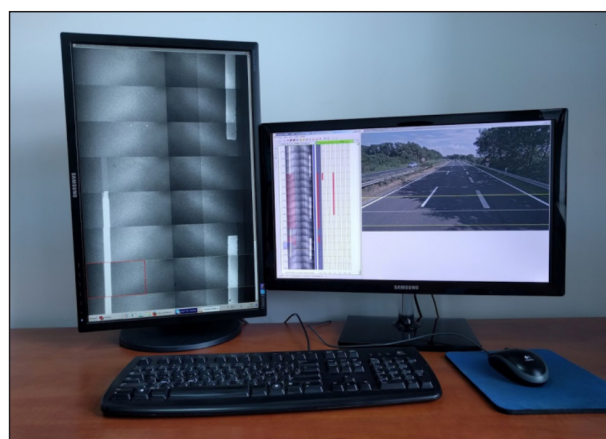


Bild 3–5: Auswertearbeitsplatz für Oberflächenschäden [6]



Schadenskatalogs entsprechend konfiguriert werden. Bild 3–5 zeigt einen typischen Auswertearbeitsplatz.

Der Anhang 7 der ZTV ZEB-StB [1] definiert die Anforderungen an die Zustandsmerkmale, die anhand der Oberflächenbilder ausgewertet werden sollen. Die Definitionen sind jedoch nur anhand von einfachen Beispielen erfolgt und einige grundlegende Regeln sind nicht hinreichend spezifiziert. Aus diesem Grund wurde im Rahmen eines BASt-Projektes durch den Forschungsnehmer ein Leitfaden zur Auswertung der Oberflächenmerkmale entwickelt [28], der sich an Anhang 7 der ZTV ZEB-StB [1] orientiert und die dort aufgeführten Regeln präzisiert bzw. ergänzt. Ziel des Leitfadens zur Auswertung der Oberflächenmerkmale ist es, praxisnahe Handlungsempfehlungen und bebilderte Beispiele zur Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) im Rahmen der ZEB bereitzustellen. Er richtet sich an alle Erfasser und Nutzer der ZEB. Der Leitfaden ist über das Auskunftssystem IT-ZEB Server der BASt [24] abrufbar.

Als Ergänzung dieses Leitfadens wurde der TP 3 Schadenskatalog entwickelt. Dieser beinhaltet typische Schadensbilder, welche nach Schadensart klassifiziert sind und mit fachlichen Beschreibungen versehen sind. Die im TP 3 Schadenskatalog aufgeführten Beispiele wurden der umfangreichen Datenbank des IT-ZEB Servers der BASt [24] entnommen, auf dem die Ergebnisse sowie die Bilddaten (seit 2009 Front- und Oberflächenbilder) sämtlicher ZEB-Kampagnen auf Bundesfernstraßen archiviert sind. Die fachlichen Beschreibungen und Empfehlungen basieren im Wesentlichen auf den Erfahrungen und Erkenntnissen der Unternehmen, die mit der Erfassung beauftragt wurden, und auf den Anforderungen der Nutzer der Zustandsdaten – allen voran die Referate der Straßenbauverwaltungen des Bundes und der Länder, die mit der Straßenerhaltung betraut sind. Der Schadenskatalog TP 3 versteht sich nicht als Erweiterung der ZTV ZEB-StB [1]. Er ist vielmehr eine Zusammenfassung der über fast 20 Jahre gesammelten Erfahrungen und liefert Handlungsempfehlungen zur Auslegung und Anwendung der Auswerteregeln. Darüber hinaus soll der Schadenkatalog die Ausbildung der Auswerter unterstützen, damit diese die einzelnen Schäden sicher, korrekt und reproduzierbar kodieren können.

Die Auswertung von Zustandsmerkmalen anhand der Oberflächenbilder wird standardmäßig in vielen

Ländern für die Bewertung der Fahrbahnoberfläche benutzt. Je nach Land und Anwendung wurden spezifische Schadenskataloge und Richtlinien ausgearbeitet. Nachfolgend werden zwei Beispiele der Schadenskataloge vorgestellt.

Seit 2012 wird z. B. auf den Nationalstraßen in Polen im Bereich der Straßenzustandserfassung das Regelwerk Diagnostyka Stanu Nawierzchni (DSN) [29] verwendet. Hiernach werden die Oberflächenschäden in Anlehnung an das deutsche Regelwerk ZTV ZEB-StB [1] ausgewertet. In 2015 wurde die Auswertung der Risse mit dem LCMS-Verfahren (siehe Kapitel 3.1.3) in das Regelwerk DSN integriert.

In Frankreich wurden durch BONNIÈRE und VILOTTE [30] die Oberflächenschäden auf den Departement-Straßen ebenfalls auf Basis eines bildgebenden Verfahrens ausgewertet. Das französische Zentrallabor für Brücken- und Straßenbau (LCPC, heute IFSTTAR) definiert die Regeln zur Auswertung in Méthode d'essai n° 38-2 [31] und den Auswertekatalog in Méthode d'essai n° 52 [32]. Je nach Straßenklassifizierung, die typischerweise von der Verkehrsbelastung abhängig ist, werden unterschiedliche Schadenskataloge verwendet. Die Kodierung der Schäden erfolgt zweidimensional: Einerseits wird die Schwere des Schadens (z. B. Rissbreite) und andererseits der Schadensumfang (Ausdehnung) stufenweise definiert.

### 3.2.3 Auswertung von Oberflächenschäden durch Bildverarbeitung

Neben der visuellen Auswertung werden zunehmend auch Verfahren zur automatischen Risserkennung eingesetzt. So werden u. a. in Schweden, Kanada und einigen Bundesstaaten der USA Risse anhand von DV-basierten Verfahren aus messtechnisch erfassten Oberflächenbildern identifiziert. Für die Detektion von Rissen werden Bildanalysealgorithmen verwendet. Diese Algorithmen basieren auf der Erkennung von Kontrastunterschieden zwischen der Fahrbahnoberfläche und dem Riss.

Die bisherigen Projekte zeigen, dass sich breite Risse mit hoher Wahrscheinlichkeit korrekt erkennen lassen. Schmalere Risse und Risse, die einen geringen Kontrast zur Asphaltkörnung an der Fahrbahnoberfläche aufweisen, können jedoch weniger sicher erkannt werden. In vielen Fällen identifizieren automatisierte Verfahren auch Risse an Stellen, an denen keine Risse sind, wie etwa an Rändern von Flickstellen, bei Restfeuchte usw.

Die Firma Fugro setzt seit mehreren Jahren das Programm WiseCrax für die automatische Risserkennung ein. Nach Angaben der Firma können damit Risse ab 1 mm Breite mit guter Wiederholgenauigkeit erkannt werden [33].

Im Rahmen des Forschungsprojektes FE 89.0210/2008/AP [34], das im Auftrag der BAST von der Firma CanControls durchgeführt wurde, sind die wesentlichen Grundlagen und Voraussetzungen für ein Verfahren zur automatischen Risserkennung erforscht und ein Risserkennungssystem für die deutsche ZEB entwickelt worden. Die Ergebnisse des Projektes zeigen jedoch, dass die Anforderungen der ZTV ZEB-StB [1] (z. B. Erkennung von Rissen ab 1 mm Rissbreite) mit den in dem Projekt eingesetzten Bildverarbeitungsalgorithmen nicht erfüllt werden können.

In einem Kooperationsprojekt zwischen der HELLER Ingenieurgesellschaft mbH und der israelischen Firma DVision wurden erstmals Verfahren erforscht, die anhand redundant, d. h. überlappend erfasster Bilddaten eine verbesserte Risserkennung ermöglichen sollten. Das Projektziel konnte jedoch nicht erreicht werden, da die Fehlerquote zu hoch war.

Außerdem werden derzeit Ansätze mit neuronalen Netzen verfolgt, wie etwa im BMBF-Projekt ASIN-VOS [35], in dem ein Videoinspektionssystem entwickelt wird, welches intakte Streckenbereiche eigenständig erkennt. Front- und Oberflächenbilder der ZEB des Bundesfernstraßennetzes werden hierbei als Grundlage für die Entwicklung verwendet.

## 4. Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die ZTV ZEB-StB [1] unterscheiden in der Merkmalsgruppe Substanzmerkmale (Oberfläche) die Zustandsgrößen RISS (Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse), FLI (Flickstellen), AUS (Ausbrüche), ONA (offene Arbeitsnähe) und BIN (Bindemittelanreicherungen) bei Asphaltbauweise sowie LQR (Längs- und Querrisse), EAB (Eckabbrüche), KAS (Kantenschäden), NTR (Nester, Abplatzungen) und BTE (Flickstellen, Teilersatz Asphalt) bei Betonbauweise.

Die Substanzmerkmale (Oberfläche) von Asphaltfahrbahnen werden fahrstreifenweise über die gesamte Fahrstreifenbreite, d. h. vom inneren Rand der Fahrbahnrandmarkierungen bis zur Mitte der

Markierungen zu den Nachbarfahrstreifen, erfasst. Für die Ermittlung der Zustandsgrößen ist der Fahrstreifen in drei gleich breite Teilstreifen mit einer Länge von 1 m zu unterteilen. Ein 100-m-Auswertabschnitt besteht somit typischerweise aus 300 Rasterfeldern. Für Zementbetonfahrbahnen wird je Fahrstreifen die jeweilige Platte in der gesamten Breite berücksichtigt.

Die Substanzmerkmale gemäß ZTV ZEB-StB [1] werden nachfolgend beschrieben. Um die Projektziele zu erreichen, wurden die Auswerteregeln nach ZTV ZEB-StB [1] entsprechend ergänzt. Diese Ergänzungen sind im Kapitel 5.5 näher dokumentiert.

### 4.1 Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse (RISS)

Das Substanzmerkmal umfasst sowohl einzelne Risse als auch Häufungen von Rissen, die auch netzartig miteinander verbunden sein können. Vergossene Risse werden ebenfalls erfasst. Die Erfassung erfolgt für alle Risse jeglicher Rissbreite. Offene Arbeitsnähte sowie Riefen, Schleifspuren und oberflächliche Kratzer werden hier nicht berücksichtigt.

### 4.2 Flickstellen (FLI)

Begrenzte Flächen, auf denen die Fahrbahnoberfläche ausgebessert wurde, werden als Flickstellen bezeichnet. Es wird zwischen aufgelegten Flickstellen und eingelegten Flickstellen, etwa zum Verschließen von Aufgrabungen, unterschieden. Die Sichtbarkeit von Flickstellen wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

### 4.3 Ausbrüche (AUS)

Das Substanzmerkmal Ausbrüche beschreibt das Herauslösen von Teilen der Fahrbahnoberfläche infolge von Verkehr, Verwitterung oder Witterungseinfluss. Das Zustandsmerkmal Ausbrüche wird auf Asphaltfahrbahnen erfasst. Die Sichtbarkeit von Ausbrüchen wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

### 4.4 Offene Arbeitsnähte (ONA)

Arbeitsnähte verlaufen in der Regel völlig geradlinig. Aufgrund der beschränkten Breite des Fertigers beim Einbau treten sie in Längsrichtung und häufig in der Fahrbahnmitte auf. In Querrichtung treten Arbeitsnähte bei Deckschichtwechsellern und infolge von Einbauunterbrechungen auf. Die Sichtbarkeit

von offenen Arbeitsnähten wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

#### 4.5 Bindemittelanreicherung (BIN)

Das Substanzmerkmal Bindemittelanreicherung beschreibt das Austreten von bitumenhaltigem Bindemittel an der Fahrbahnoberfläche. Die Sichtbarkeit von Bindemittelanreicherung wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

#### 4.6 Längs- und Querrisse (LQR)

Als Längs- und Querrisse werden feine bis klaffende Brüche in den Betonplatten bezeichnet, die nicht ausschließlich im unmittelbaren Bereich der Plattenecken oder -ränder auftreten. Es wird nicht zwischen offenen und vergossenen Rissen unterschieden.

#### 4.7 Eckabbrüche und Kantenschäden (EAB, KAS)

Treten feine bis klaffende Brüche oder Zerstörungen ausschließlich im Bereich der Ecken bzw. Kanten von Betonfahrbahnplatten auf, so sind diese dem Zustandsmerkmal Eckabbrüche bzw. Kantenschäden zuzuordnen. Bei der Erfassung wird nicht zwischen reparierten und nicht reparierten Eckabbrüchen bzw. Kantenschäden unterschieden. Die Temperatur bzw. Feuchte hat keinen Einfluss auf ihre Sichtbarkeit.

#### 4.8 Nester und Abplatzungen (NTR)

Das Substanzmerkmal Nester und Abplatzungen beschreibt das Herauslösen von Teilen der Fahrbahnoberfläche infolge von Verkehr, Verwitterung oder Witterungseinfluss. Das Zustandsmerkmal Nester und Abplatzungen wird auf den Betonfahrbahnen erfasst. Die Sichtbarkeit von Ausbrüchen wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

#### 4.9 Flickstellen und Teilersatz Asphalt (BTE)

Das Substanzmerkmal Flickstellen und Teilersatz Asphalt beschreibt Teilbereiche einer Betonfahrbahn, die mit Asphalt an der Plattenoberfläche ausgebessert oder aufgefüllt werden. Auch der vollständige Ersatz der Zementbetonplatte durch Asphalt wird als Substanzmerkmal erfasst. Die Sichtbarkeit von Flickstellen und Teilersatz Asphalt wird nicht durch die Temperatur bzw. Feuchte beeinflusst.

#### 4.10 Rissarten

Aus bautechnischer Sicht lassen sich je nach Ursache und Erscheinungsbild verschiedene Rissarten unterscheiden.

Ermüdungsrisse können bei Fahrbahndecken aus Beton und Asphalt aufgrund wiederholter Zugbeanspruchung entstehen. Sie treten bei Asphaltkonstruktionen zumeist in den Rollspuren an der Unterseite und neben den Rollspuren an der Oberseite auf und verlaufen in Längsrichtung. Risse längs zur Fahrbahn können auch durch das Abreißen von unsachgemäß ausgeführten Verbreiterungen der Fahrbahn auftreten. Davon zu unterscheiden sind offene Arbeitsnähte, die ebenfalls quer oder längs zur Fahrbahn orientiert sein können und aus herstellungsbedingten Fehlstellen resultieren.

Bei zu geringer Tragfähigkeit der Unterlage, Mängeln bei der Frostsicherheit oder bei hohen Verkehrsbelastungen und gleichzeitig zu geringen Schichtdicken können bei Asphaltstraßen Netzrisse auftreten. An der Fahrbahnoberfläche weisen diese ein verbundenes unregelmäßiges Rissmuster auf.

Reflexionsrisse können entstehen, wenn eine hydraulisch gebundene Tragschicht unter einer Asphaltbefestigung nicht in Schollen zerbrochen und nicht eingekerbt wurde. Unter Betondecken treten sie auf, wenn die Lage von Kerben der hydraulischen Tragschicht nicht mit der Lage der Fugen in der Betondecke übereinstimmt. Auch bei Erneuerungen im Hocheinbau können Reflexionsrisse auftreten, wenn bei der zu überbauenden Straßenbefestigung klaffende Risse nicht behoben wurden oder die alte Betondecke nicht ausreichend entspannt wurde.

Tiefemperaturrisse, deren visuelles Erscheinungsbild den Reflexionsrissen sehr ähnelt, entstehen bei Asphaltstraßen in der Regel aus der Überlagerung von abkühlungs- und verkehrsbedingten Zugspannungen im Asphalt. Üblicherweise handelt es sich um einzelne Querrisse, die in mehr oder weniger gleichmäßigen Abständen auftreten. Für den Schaden kann die mit sinkender Temperatur zunehmende Relaxationszeit des Asphalts ursächlich sein. Die Zugspannungen, die aus Abkühlungsvorgängen behinderten temperaturinduzierten Längenänderungen des Asphalts (Verkürzungen) entstehen, können nicht schnell genug durch Relaxation abgebaut werden. Darüber hinaus bewirkt der Winterdienst durch das Salzstreuen, dass dem bereits kalten As-

phalt sehr schnell Energie für das Schmelzen von Eis und/oder Schnee entzogen wird, was mit einer schnellen Abkühlung des Asphalts einhergeht. Diese abkühlungsbedingte „Grundspannung“ im Asphalt kann sich mit Zugspannungen aus der Verkehrsbeanspruchung überlagern. Überschreitet die Gesamtzugspannung die Zugfestigkeit des jeweiligen Asphaltes, entstehen Tieftemperaturrisse.

Auch Betonfahrbahnen reagieren auf Temperaturveränderung mit Volumenänderung. Auftretende Biegezugspannungen infolge des Temperaturgradienten und der Verkehrsbelastung werden jedoch durch den Fugenschnitt stark reduziert. Bei dem Regelfugenabstand von fünf Metern und einer sachgemäßen Ausführung bieten die heute verwendeten Deckendicken und Betonfestigkeiten eine ausreichende Sicherheit vor temperaturbedingten Rissen.

Darüber hinaus können sich verändernde Auflagerbedingungen der Betonplatten zu Rissen bei Betonstraßen führen. Diese können infolge von Frostschäden und Erosionen der Auflage oder Mängeln bei der Verdichtung des Untergrundes auftreten. Auch eintretendes Wasser, z. B. durch schadhafte Fugen, und das durch die Verkehrsbelastung verursachte so genannte „Pumpen“ können zum Herauslösen von Feinanteilen aus der Unterlage und somit zu Hohlräumen führen. Durch die Überbelastung, die aus den ungünstigen Auflagerbedingungen der Betonplatte entsteht, kann es zu einem Bruch dieser kommen.

Neben den Beanspruchungen der Fahrbahnen durch Verkehrslasten und extreme Temperaturen können Risse auch herstellungsbedingt auftreten. Die Unterlagen für den Oberbau müssen geeignet sein oder gegebenenfalls behandelt werden. Bei der Verdichtung von Asphaltschichten ist u. a. auf geeignete Mischgutzusammensetzungen, entsprechende Temperaturen zu Beginn des Walzvorganges und geeignete Walzen zu achten, um Walzrisse zu vermeiden. Walzrisse treten in geringen Abständen quer zur Fahrbahn als gleichmäßig wiederkehrende Risse mit tendenziell geringen Rissbreiten auf.

Bei der Herstellung von Betonstraßen können Risse infolge mangelhafter Fugenherstellung auftreten, wenn diese zu spät oder nicht tief genug geschnitten bzw. gekerbt wurden. Hierdurch kann es während des Aushärtens zur Bildung von Schwindrissen, sogenannten wilden Rissen, kommen. Es muss au-

ßerdem darauf geachtet werden, dass die Betonfestigkeit den Verkehrsbelastungen entspricht und die Plattendicke ausreichend ist.

Es ist zu erwarten, dass Risse während der kalten Jahreszeit durch relativ große Rissweiten auffallen, während sie in der warmen Jahreszeit entweder nur noch kleine Rissweiten aufweisen oder überhaupt nicht mehr mit bloßem Auge festzustellen sind. Dieses Phänomen ist im Wesentlichen auf die Wärmeausdehnung der Baustoffe Beton und Asphalt bei hohen Temperaturen im Sommer zurückzuführen.

Die zuvor erwähnte Wärmeausdehnung kann eine Verringerung der Rissweiten bewirken. Die entsprechende Stelle bleibt jedoch als (nicht sichtbare) Fehlstelle erhalten, da sich die im Winter geweiteten Risse aufgrund des zwischenzeitlichen Schmutzeintrages im folgenden Sommer nicht wieder vollständig oder nur oberflächlich schließen. Auch wenn ein solcher Riss zu diesem Zeitpunkt als vollständig verschlossen erscheint, bleibt der Mangel nach wie vor bestehen und wird in der darauffolgenden Kälteperiode wieder sichtbar werden.

## 5. Vorgehensweise

Obwohl die ZEB über einen hohen Standardisierungsgrad bezüglich der Auswertung verfügt, ist die Erfassung von Versuchsstrecken mit einem beträchtlichen Kosten- und Zeitfaktor verbunden. Das gilt insbesondere für das gegenständliche Forschungsprojekt, in dem der Auswertumfang der Oberflächenbilder über die Standards der ZTV ZEB-StB (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2011) hinausgeht und zusätzlich Risslängen, eine Unterscheidung von offenen und verfüllten Rissen sowie der Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche einbezogen wurden. Diese o.g. Rahmenbedingungen wurden bei der Festlegung des Untersuchungsprogramms (Länge, Anzahl der Messkampagnen, zeitliche Ausdehnung) berücksichtigt.

### 5.1 Auswahl der Versuchsstrecken

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Bauweisen Asphalt und Beton differenziert betrachtet. Die Erfassung erfolgte in mehreren Kampagnen auf vier Versuchsstrecken (davon drei in Asphalt- und eine in Betonbauweise) mit je ca. 25 km Länge. Dabei wurde jeweils der erste Fahrstreifen erfasst; die Messrichtung wurde bei der Festlegung der Versuchsstrecke definiert.

Die Streckenauswahl erfolgte anhand vorhandener Zustandsdaten der ZEB und in Abstimmung mit dem Land Niedersachsen durch eine virtuelle Befahrung in der Online-Visualisierung des Auskunftssystems IT-ZEB Server der BAST [24] (Bild 5–1 und Bild 5–2). Diese Anwendung ermöglicht es, nach vorheriger Filterung geeigneter Bereiche, eine virtuelle Befahrung und eine Auswertung der Strecken- und Oberflächenbilder der zurückliegenden ZEB vorzunehmen.

Bei der Festlegung der Versuchsstrecken wurden folgende Auswahlkriterien berücksichtigt:

- Straßenzustand: Die Oberfläche der Versuchsstrecken musste Risse aufweisen. Die Strecken sollten dabei jedoch nicht so stark von Rissen durchsetzt sein, dass der Vergleich der Ausprägungen nicht mehr zielführend möglich gewesen wäre. Es wurden die Zustandsdaten der ZEB BAB 2013, BSTR 2012 und LSTR 2014 berücksichtigt.
- Verkehr: Da auch der mögliche Einfluss des Verkehrs in die Beurteilung einzubeziehen ist, sollten auf den Versuchsstrecken ungefähr vergleichbare Verkehrsdichten ohne Verkehrsbehinderungen vorherrschen. Nach Möglichkeit sollten die Strecken entsprechend der erforderlichen Belastungsklasse dimensioniert sein. Die Verkehrsdaten wurden vom Land Niedersachsen bereitgestellt.
- Aufbau: Im Rahmen des Projektes wurde der Temperatur- und Feuchteinfluss auf die Sicht-

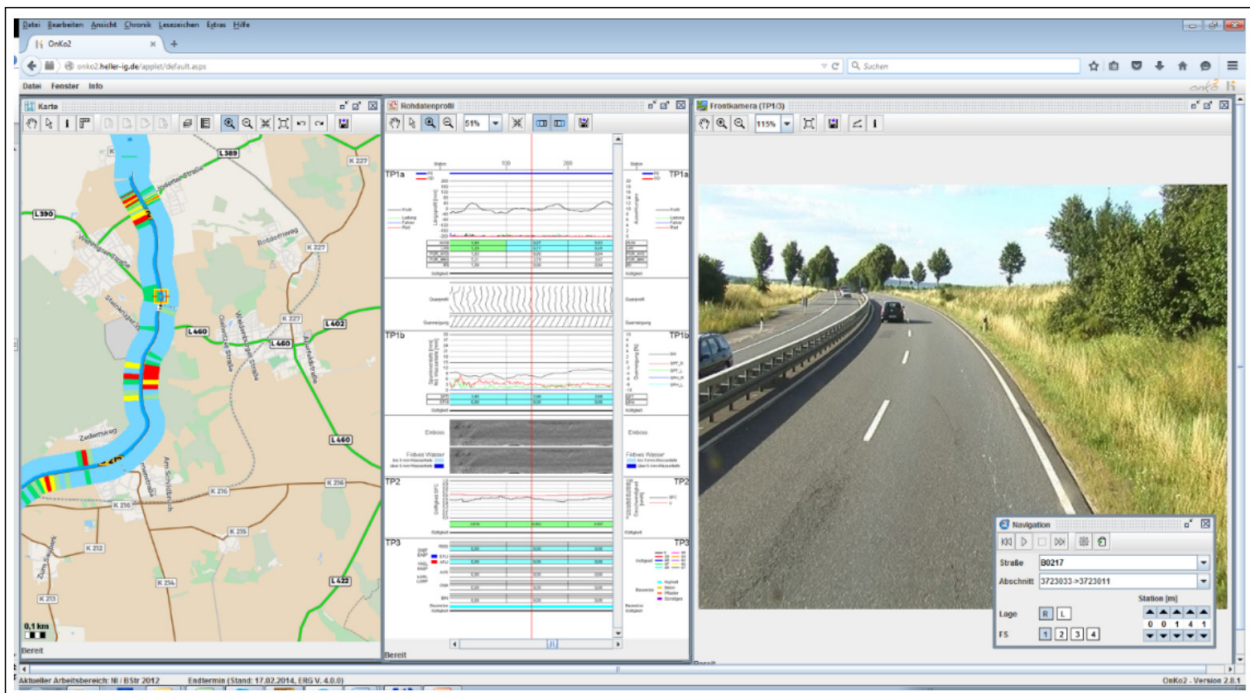


Bild 5–1: Versuchsstrecke 1 in der Online-Visualisierung des Auskunftssystems IT-ZEB Server der BAST [24]

barkeit der Oberflächenmerkmale untersucht. Das bedeutet, dass der Einfluss von anderen Faktoren auf die Untersuchungsergebnisse minimiert werden musste. Aus diesem Grund sollten die Aufbaudaten bei der Auswahl der Versuchsstrecken ingenieurmäßig analysiert werden, um auszuschließen, dass die Verschlechterung bzw. Veränderung der Oberflächenmerkmale aus einer ungeeigneten Konstruktion der Straße resultierte (z. B. mangelnde Entwässerung oder Unterdimensionierung). Die Aufbaudaten wurden vom Land Niedersachsen bereitgestellt.

- Geplante Erhaltungsmaßnahmen: Auf den ausgewählten Strecken sollte während des Forschungsprojektes keine Erhaltungsmaßnahme durchgeführt werden. Es erfolgte eine entsprechende Rücksprache mit der Niedersächsischen Behörde für Straßenbau und Verkehr.

Nachfolgend werden die ausgewählten Versuchsstrecken hinsichtlich ihrer Bezeichnung, dem Anfang und Ende, der Länge sowie der Bauweise charakterisiert und die Lage anhand eines Auszuges der Straßenkarte sowie der Streckenbilder verdeutlicht.

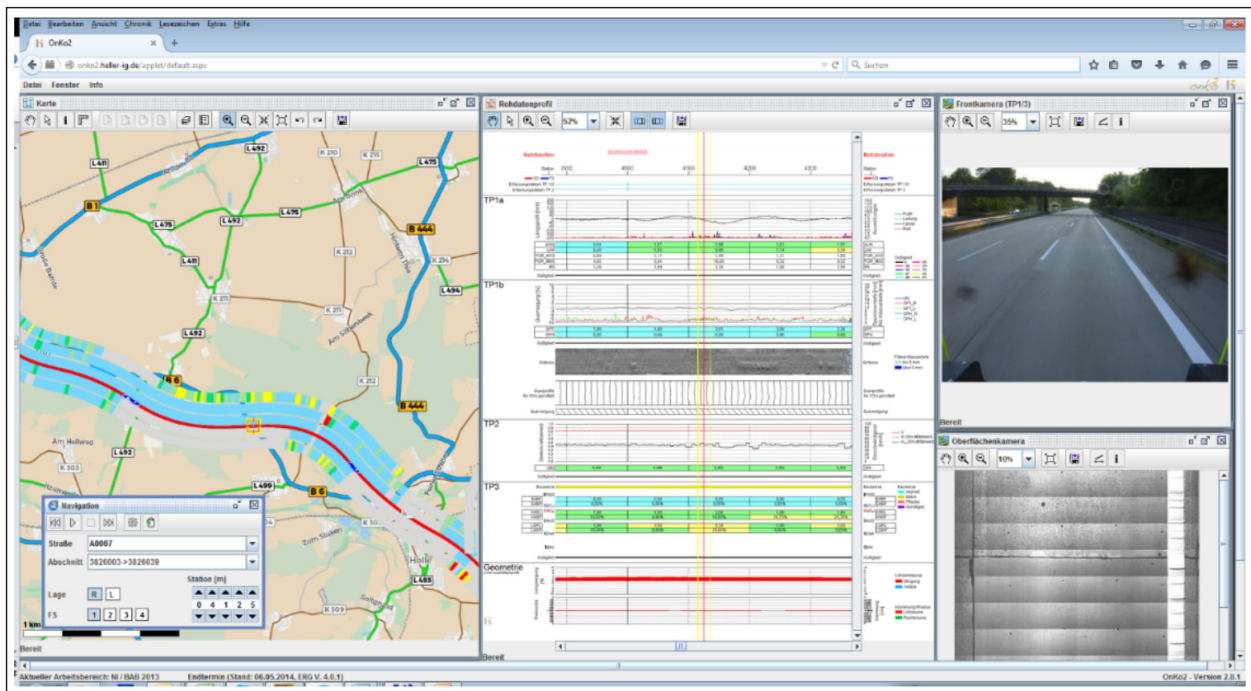


Bild 5–2: Versuchsstrecke 4 in der Online-Visualisierung des Auskunftssystems IT-ZEB Server der BAST [24]

## 5.1.1 Versuchsstrecke 1: B 217

Charakteristika der Versuchsstrecke 1	
Straße	B 217
Anfang	Gelbbach, Kreuzung mit B 442
Ende	Hannover, Kreuzung mit B 65
Länge	Ca. 27 km
Bauweise	Asphalt
Zustand (2012)	MW ZGRISS = 2,97 %, $\sigma$ ZGRISS = 6,35 % MW ZWRISS = 1,70, $\sigma$ ZWRISS = 1,35

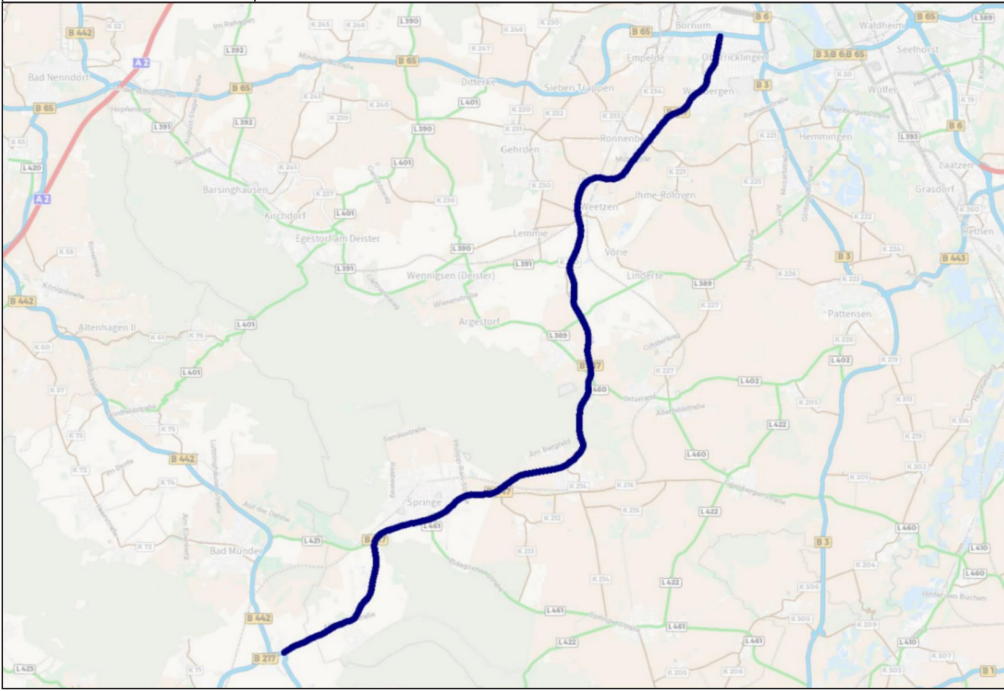


Bild 5–3: Lage der Versuchsstrecke 1 (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 5–4: Streckenbilder zu Versuchsstrecke 1

## 5.1.2 Versuchsstrecke 2: B 6

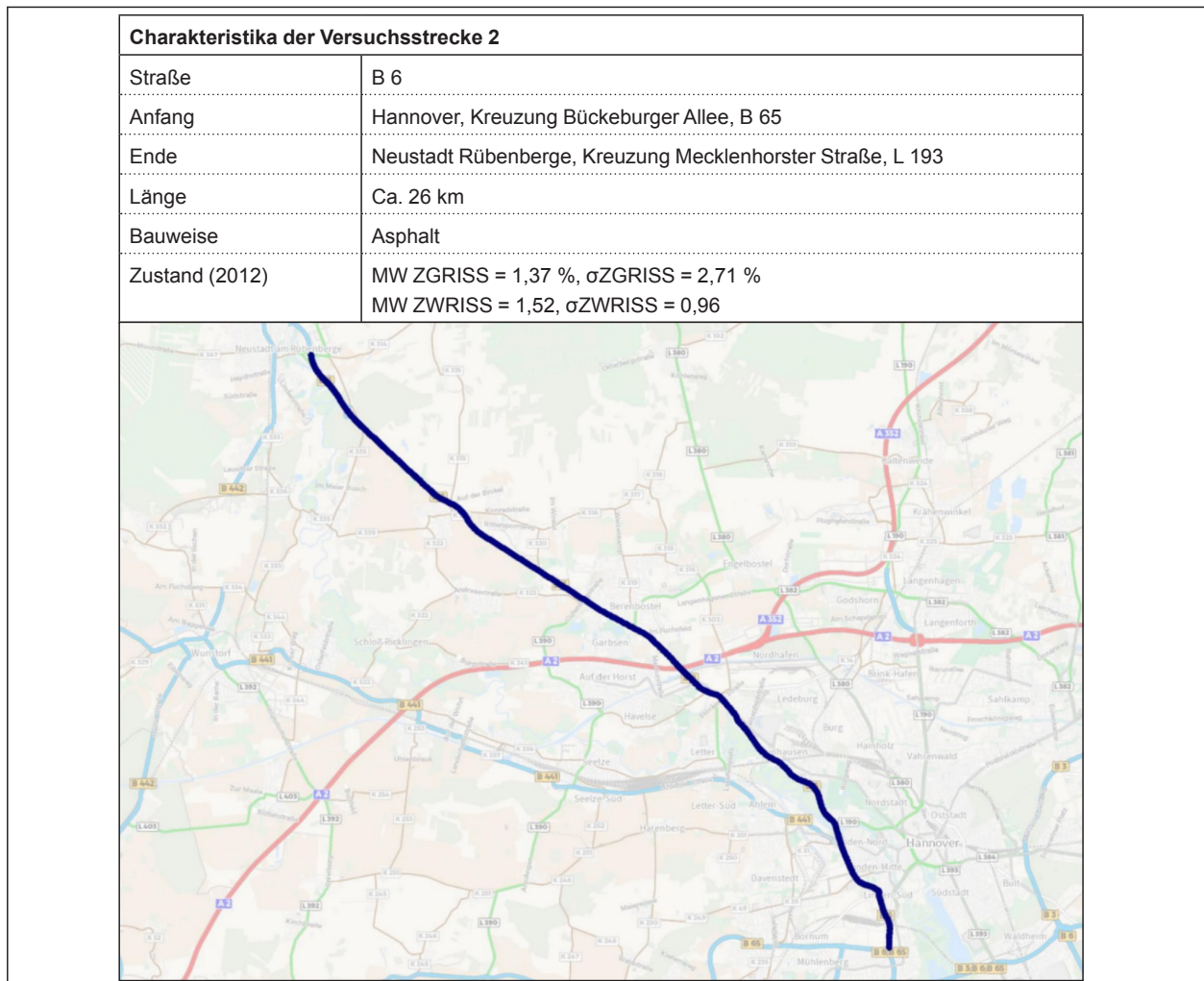


Bild 5–5: Lage der Versuchsstrecke 2 (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 5–6: Streckenbilder zu Versuchsstrecke 2



## 5.1.3 Versuchsstrecke 3: B 6 und L 382

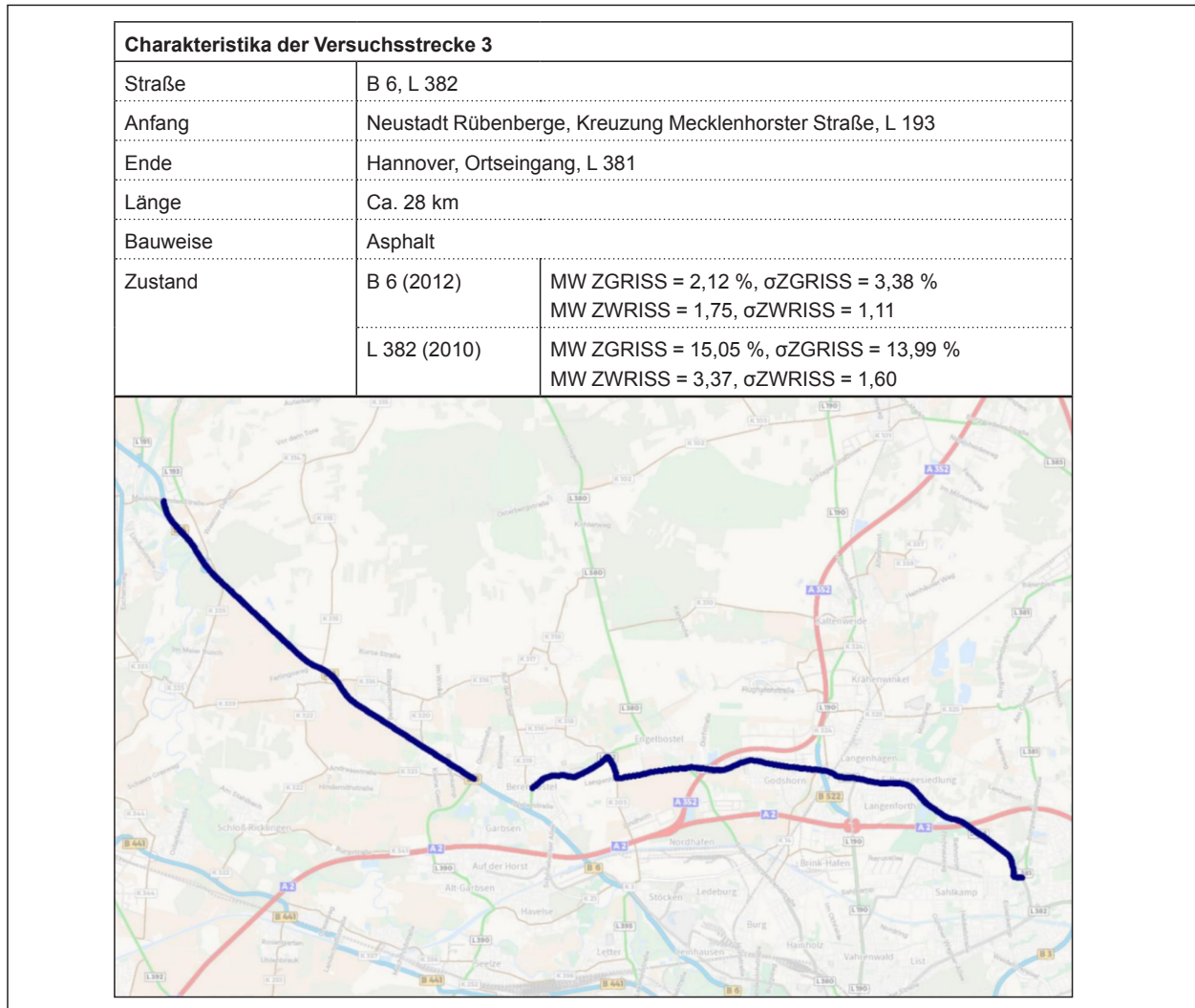


Bild 5–7: Lage der Versuchsstrecke 3 (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 5–8: Streckenbilder der Versuchsstrecke 3

## 5.1.4 Versuchsstrecke 4: A 7

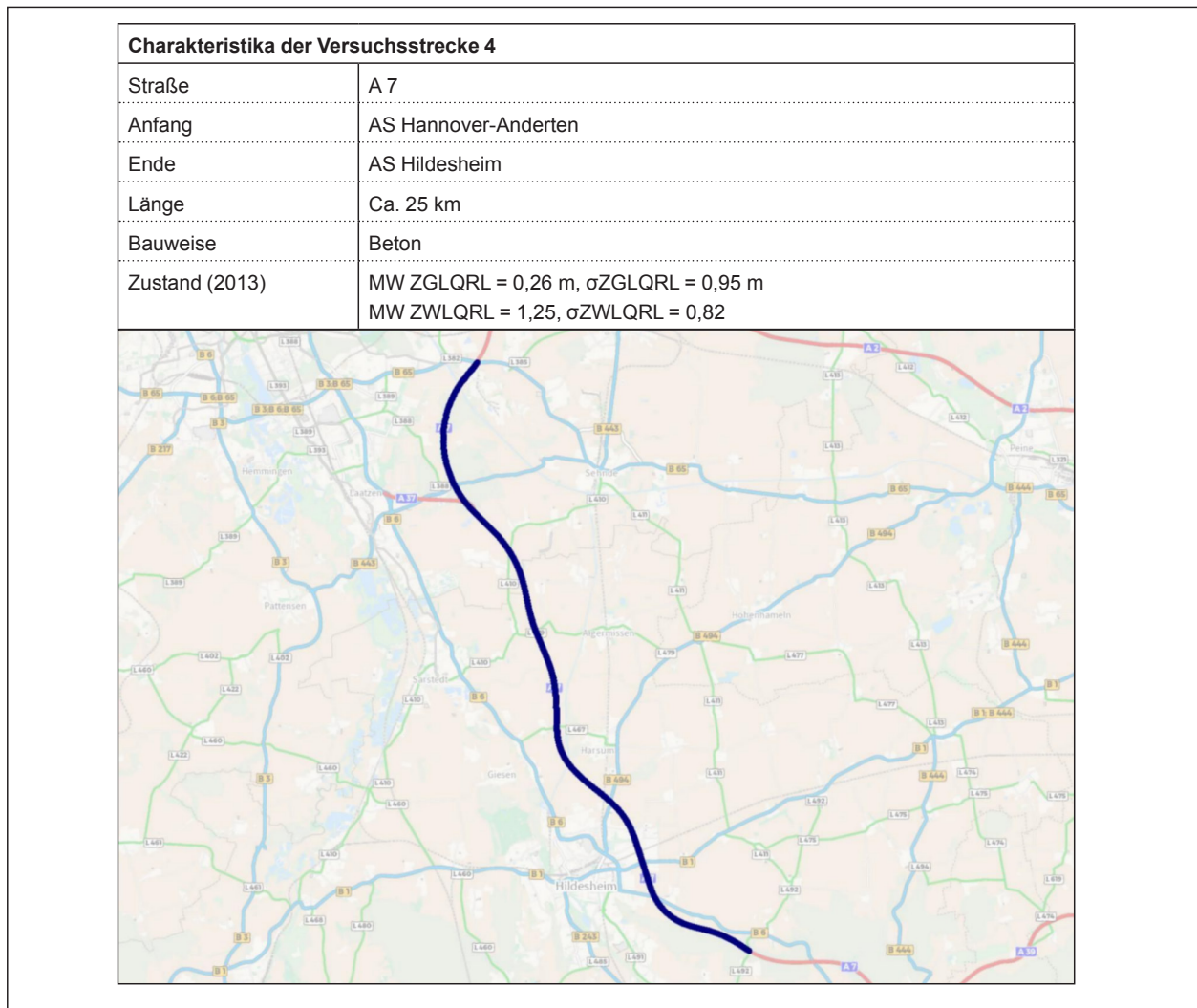


Bild 5–9: Lage der Versuchsstrecke 4 (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)



Bild 5–10: Streckenbilder der Versuchsstrecke 4

## 5.2 Untersuchungsprogramm

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Einfluss der Fahrbahnoberflächentemperatur und der Fahrbahnoberflächenfeuchte auf die Sichtbarkeit der Risse untersucht. Dazu wurden Messkampagnen unter den nachfolgend dargestellten Vergleichsbedingungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichen Feuchtgraden der Fahrbahnoberfläche durchgeführt.

Mit dem folgenden Untersuchungsprogramm wurde die Sichtbarkeit von Rissen auf allen ausgewählten Versuchsstrecken sowohl in Asphalt- als auch in Betonbauweise bei verschiedenen Fahrbahn- bzw. Lufttemperaturen und vergleichbaren Feuchtgraden sowie bei vergleichbaren Fahrbahnoberflächentemperaturen und unterschiedlichen Feuchtgraden untersucht:

- Kampagne 1 – Herbst 2015 [H15] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
- Kampagne 2 – Winter 2016 [W16] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen < 0 °C.
- Kampagne 3 – Frühjahr 2016 [F16] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
- Kampagne 4 – Sommer 2016 [S16] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 30 bis 40 °C.
- Kampagne 5 – Herbst 2016 (Wiederholungsmessung) [H16] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
- Kampagne 6 – Winter 2017 (Wiederholungsmessung) [W17] Erfassung von vier Strecken (drei Asphalt, ein Beton), trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von < 0 °C.
- Kampagne 7 – nasse Fahrbahn [N16] Erfassung von vier durchgehend nassen Strecken (3 As-

phalt, 1 Beton), bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.

- Kampagne 8 – Tagesganglinie I (Frühjahr 2016) [TGL1] Mehrfache (je mind. 4-fache) Erfassung von zwei Strecken (1 Asphalt, 1 Beton) über den Tag verteilt, trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen von ca. 10 bis 30 °C.
- Kampagne 9 – Tagesganglinie II (Sommer 2016) [TGL2] Mehrfache (je mind. 4-fache) Erfassung von zwei Strecken (1 Asphalt, 1 Beton) über den Tag verteilt, trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen von ca. 20 bis 40 °C.

Bereiche, in denen Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt wurden (Erneuerung der Oberfläche, Flickstellen, Verfüllung der Risse), wurden bei der Datenauswertung gekennzeichnet und von den Datenanalysen ausgeschlossen.

Die Kampagnen 1 bis 6 wurden durchgeführt, um Messdaten zur Sichtbarkeit von Rissen bei unterschiedlichen Fahrbahnoberflächentemperaturen zu erhalten. Grundsätzlich war vorgesehen, diese Messungen bei durchgehend trockener Fahrbahn durchzuführen. Aufgrund der Temperaturbedingungen und der Unterschiede beim Lichteinfall gab es auf den Versuchsstrecken jedoch auch Bereiche, die eine Restfeuchte in den Rissen bzw. an der Fahrbahnoberfläche aufwiesen. Diese wurden bei der Auswertung markiert (siehe 5.5.4) und bei der statistischen Auswertung getrennt berücksichtigt.

Mit den gemessenen Tagesganglinien (Kampagne 8 und Kampagne 9) wurde der Einfluss der im Laufe des Tages schwankenden Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkennbarkeit von Rissen untersucht. Ebenso wurde der Grad der Restfeuchte (sofern vorhanden) im Tagesverlauf ausgewertet.

Ursprünglich war vorgesehen, eine Messung bei abtrocknender Fahrbahn durchzuführen, um den Einfluss der Restfeuchte in den Rissen auf die Erkennbarkeit dieser genauer zu untersuchen. Aufgrund des kurzen Zeitfensters zwischen einem Regeneignis und dem Abtrocknen der Fahrbahn konnte diese Kampagne jedoch nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde die Kampagne 6 Winter 2017 (Wiederholungsmessung) durchgeführt. Grund hierfür waren die vergleichsweise milden Temperaturen bei der Kampagne 2 Winter 2016.

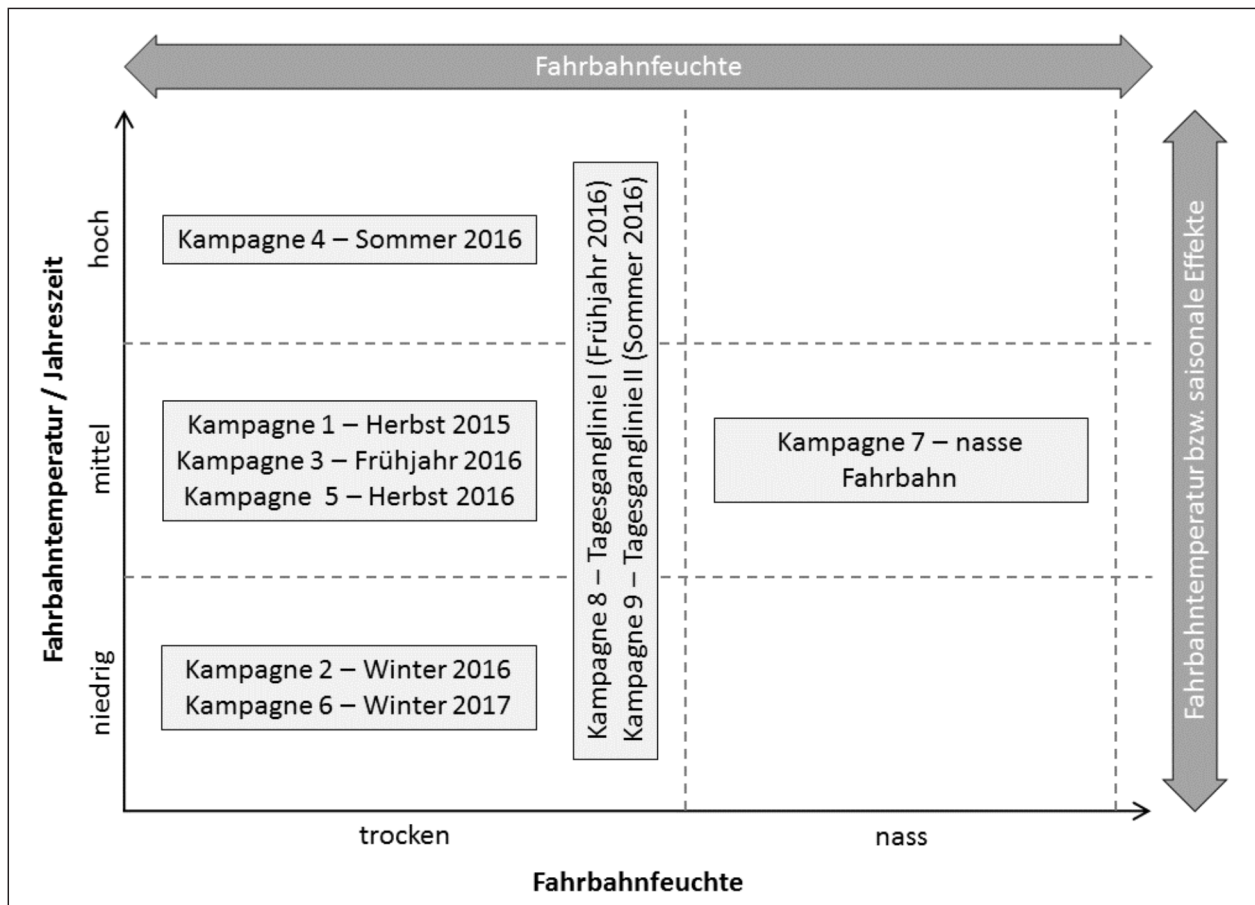


Bild 5–11: Schematische Darstellung des Untersuchungsprogrammes und der Dimensionen

Bild 5–11 zeigt die Einordnung der Kampagnen und der Untersuchungsschwerpunkte in das Untersuchungsprogramm.

### 5.3 Verwendetes Messsystem

Die Erfassung wurde mit dem schnellfahrenden Messsystem IDS des Nachunternehmers IFI Consult GmbH durchgeführt. Das Messsystem IDS verfügt über eine zeitbefristete Betriebszulassung der BAST und hat sich in vielen Projekten für Bund, Länder, Kreise und Kommunen bewährt. Es zeichnet sich u. a. durch ein gut abgestimmtes Bildaufnahmesystem aus, welches zu jeder Zeit die Oberflächenbilder aufnimmt, deren Bildqualität den aktuellen ZEB-Anforderungen genügt.

Die verwendeten Kamerasysteme sind in Bild 5–12 abgebildet und durchnummeriert. Die Aufnahme der Substanzmerkmale erfolgt anhand der aufgenommenen Front- (1) und Oberflächenbilder. Das Oberflächenkamarasystem (2.1) ist für die Erfassung einer Gesamtbreite von bis zu 4,50 m ausgelegt und nutzt Stroboskope für die Beleuchtung der

Fahrbahnoberfläche. Die Messgeschwindigkeit des Messfahrzeuges beträgt 80 km/h.

Aufgrund der höheren Anforderungen bei der Auswertung der Oberflächenbilder gelten auch für die Erfassung des Bildmaterials (Strecken- und Oberflächenbilder) höhere Anforderungen als die der ZTV ZEB-StB [1]. Um diese zu erfüllen und die projektspezifischen Erweiterungen umzusetzen, wurden bei der Erfassung im Rahmen dieses Forschungsprojektes folgende zusätzliche Leistungen erbracht:

- Sekundäre Frontkamera  
Mit einer zweiten Frontkamera („sekundäre Frontkamera“) wurden zusätzliche Streckenbilder erfasst. Die Kamera wurde auf dem Balken zur Erfassung der Querebene angebracht und hat somit einen deutlich flacheren Winkel (vgl. (3) in Bild 5–12). Durch das Projekt von Skakuj [4] konnte gezeigt werden, dass diese Bilder für die erweiterte Oberflächenbildauswertung sehr hilfreich sind. Während der Bildauswertung im vorliegenden Projekt wurde jedoch festgestellt, dass

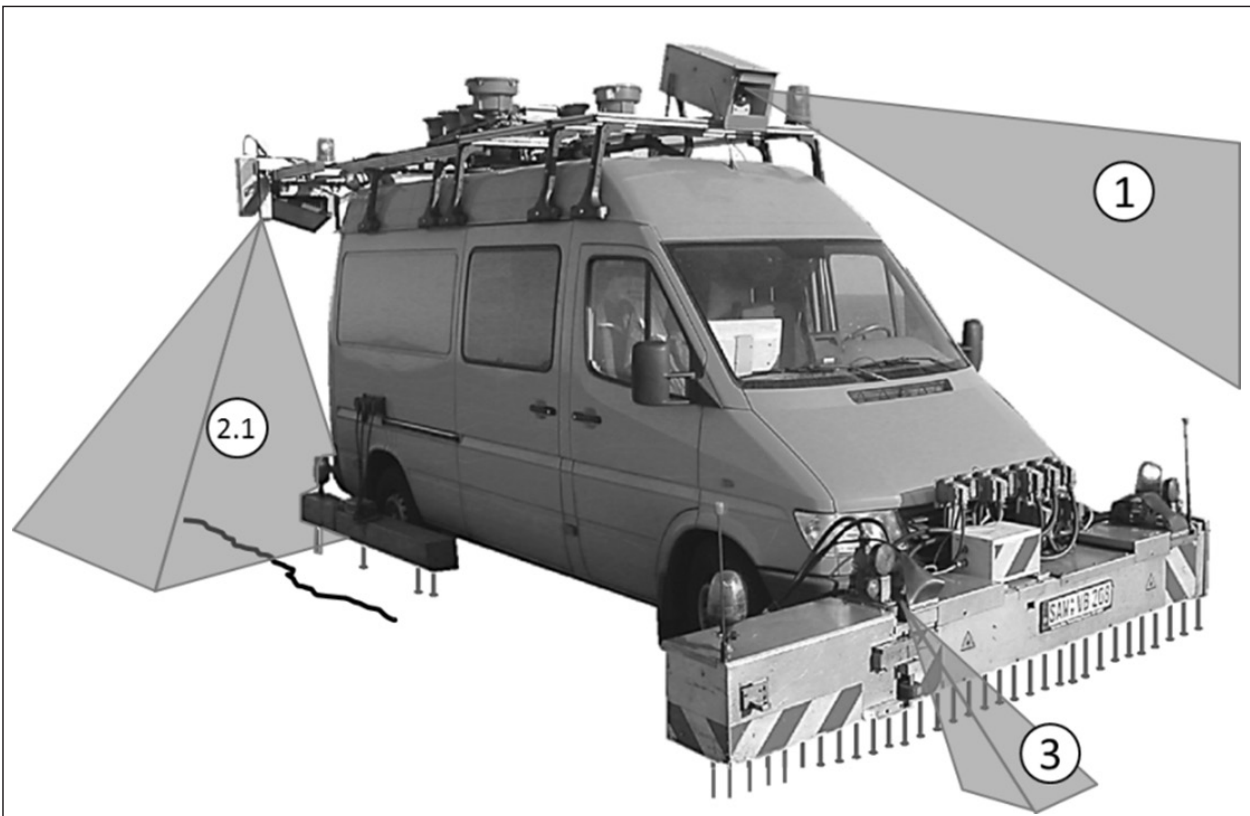


Bild 5– 12: Messsystem IDS, Bildqualität (IFI Consult GmbH)

die zusätzlichen Streckenbilder nicht die erwartete Unterstützung bei der Detektion der Risse liefern konnten. Im Vergleich zu den Kornausbrüchen, welche auf den Bildern der Sekundärkamera sehr deutlich sichtbar waren (wie in [4] dokumentiert), war die bessere Sichtbarkeit der Risse nicht gegeben. Die Bilder der Sekundärkamera wurden demnach nur für die Synchronisierung der Messdaten in Längsrichtung verwendet.

- **Kameras in HD-Qualität**  
Sämtliche Bilder der Frontkamera wurden in FullHDAuflösung (1920 x 1080 Pixel) aufgenommen. Die ZTV ZEBStB [1] fordert hierzu eine Auflösung von 720 x 576 Pixel. Seit 2016 wird für die ZEB auf Bundesfernstraßen eine Auflösung von 1920 x 1080 Pixel gefordert.
- **Bilderfassung im Abstand von einem Meter**  
Die Frontbilder werden in einem Abstand von einem Meter angefertigt. Somit können die Frontbilder für die Synchronisierung in Längsrichtung mit einer Genauigkeit von einem Meter verwendet werden. In den ZTV ZEB-StB [1] wird diesbezüglich ein Einzelbild pro Sekunde gefordert, d.h. bei einer Erfassungsgeschwindigkeit von

80 km/h alle 22,2 m. Für die turnusmäßige ZEB auf Bundesfernstraßen wird davon abweichend jedoch ein Einzelbild pro 10 m Erfassungslänge gefordert (einzelvertragliche Regelung).

- **Temperatursensoren**  
Gegenstand der Untersuchung ist u. a. die Analyse des Einflusses der Fahrbahnoberflächentemperatur auf die Erkennbarkeit der Oberflächenschäden. Aus diesem Grund wurde das IDS um einen Temperatursensor für die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur erweitert. Es wurde ein Infrarot-Industrie-Fernthermometer mit einem Messbereich von - 40 bis + 600 °C und einer Genauigkeit von +/- 1 °C verwendet. Das Thermometer wurde im Querprofil-Messbalken mittig vor dem rechten Vorderrad zwischen zwei Querebenenlasern montiert und misst die Fahrbahnoberflächentemperatur senkrecht aus ca. 40 cm Höhe. Die Fahrbahnoberflächentemperatur wurde kontinuierlich erfasst und für jeden gemessenen Meter abgespeichert. Zusätzlich wurde die Lufttemperatur per Außenthermometer des Messfahrzeuges (montiert im abgeschatteten Bereich unter dem rechten Außenspiegel) aufgezeichnet.

## 5.4 Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche)

### 5.4.1 Vorbereitung der Erfassung

Im Vorfeld der Erfassung wurde die Straßenbauverwaltung des Landes Niedersachsen kontaktiert, in deren Zuständigkeitsbereich die Messungen stattfinden sollten. Analog zu einer regulären ZEB wurde die Straßenbauverwaltung gebeten, die relevanten Grunddaten (Abschnittsfolge, Fahrstreifentabelle, Bahnigkeit, Netzgeometrie) zu liefern.

Die Daten wurden auf Übereinstimmung mit den Vorgaben der ZTV ZEB-StB [1] geprüft. Dabei wurden die Inhalte aller Tabellen auf Fehler und gegenseitige Widerspruchsfreiheit untersucht. Bei auftretenden Fehlern in den Grunddaten wurde versucht, diese selbständig bzw. in enger Abstimmung mit der Straßenbauverwaltung zu klären.

Im Anschluss an die erfolgreiche Prüfung wurden auf Basis der ZEB-Grunddaten die sogenannten TP 0-Unterlagen für den Erfasser erstellt, welche den Erfassungsauftrag fahrstreifengenau wiedergeben.

Für die Durchführung einer Zustandserfassung sind, je nach Bundesland, verkehrsrechtliche Genehmigungen erforderlich. Die Befahrung der Straßen erfordert darüber hinaus eine Sicherheitsausstattung des Messfahrzeuges. Gemäß § 45 Abs. 2 StVO sind hierbei die Straßenbaubehörden für die verkehrsrechtliche Anordnung zuständig. Die Genehmigungen wurden durch den Erfasser gemäß ZTV ZEB-StB [1] eingeholt.

Gemäß ARS 20/2000 müssen die Erfassungsfahrzeuge nach HSM mit Sicherheitsausstattungen versehen sein. Hierzu gehören z. B. weiß-rot-weiße Kennzeichnungen an Front- und Heckecken sowie Kennleuchten für gelbes Blinklicht, ein gelber Blinkpfeil und das Zeichen 222 des Verkehrszeichenkatalogs an der Rückfront des Fahrzeugs. Das zum Einsatz vorgesehene Messfahrzeug verfügte über diese notwendige Ausstattung.

### 5.4.2 Umsetzung des Messprogrammes

#### Kampagne 1 – Herbst 2015

Die Kampagne 1 konnte zu den im Untersuchungsprogramm festgelegten Messbedingungen (trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C) durchgeführt werden. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der

Datum:	23.10.2015
Zeitraum der Messung:	12:10 Uhr bis 17:30 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	13,0 °C
Bedeckungsgrad:	Wolkig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	15,0 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	16,3 °C
Bemerkung:	Messung nach trockener Periode, Fahrbahn sauber und trocken

Tab. 5–1: Messbedingungen Kampagne 1 – Herbst 2015

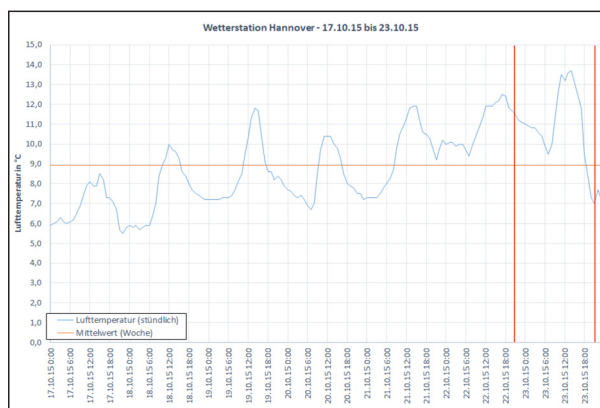


Bild 5–13: Lufttemperaturverlauf Hannover 17.10.2015 bis 23.10.2015 [37]

Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–13 dargestellt.

#### Kampagne 2 – Winter 2016

Im Winter 2016 herrschten allgemein sehr milde Witterungsbedingungen, dabei gab es kaum Tage mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes. Selbst die nächtlichen Tiefsttemperaturen reichten nicht aus, dass die Fahrbahnoberfläche bzw. der Straßenaufbau auf das gewünschte und geplante Niveau abkühlte. Zur Vermeidung unerwünschter zeitlicher Verzögerungen im Projektablauf wurde die Wintermessung abweichend zu den festgelegten Messbedingungen (trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen < 0 °C, Frosttiefe > 10 cm) im Hinblick auf die ursprüngliche

Datum:	13.02.2016
Zeitraum der Messung:	13:30 Uhr bis 16:15 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen < 0 °C
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	5,6 °C
Bedeckungsgrad:	Wolkenlos, sonnig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	8,1 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	7,4 °C
Bemerkung:	Messung nach leichtem Frost in der vorherigen Nacht, Frosttiefe < 10 cm, Fahrbahn sauber und zum Teil mit Restfeuchte

Tab. 5–2: Messbedingungen Kampagne 2 – Winter 2016

Datum:	10.05.2016
Zeitraum der Messung:	11:05 Uhr bis 15:05 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
Lufttemperatur (Ø Messung):	15,7 °C
Bedeckungsgrad:	Sonnig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	36,2 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	29,3 °C
Bemerkung:	Messung nach trockener und warmer Periode, Fahrbahn sauber und trocken, Fahrbahnoberflächentemperaturen höher als geplant

Tab. 5–3: Messbedingungen Kampagne 3 – Frühjahr 2016

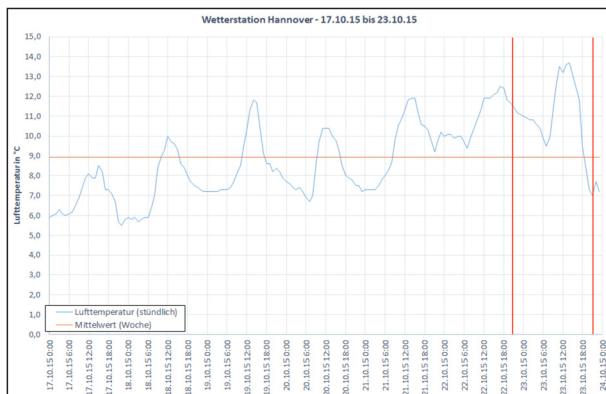


Bild 5–14: Lufttemperaturverlauf Hannover 07.02.2016 bis 13.02.2016 [37]

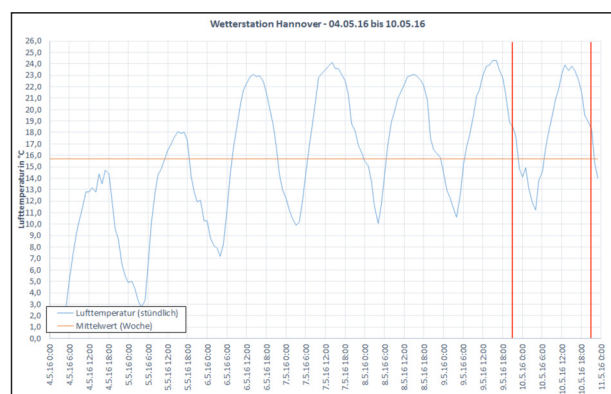


Bild 5–15: Lufttemperaturverlauf Hannover 04.05.2016 bis 10.05.2016 [37]

Planung durchgeführt. Obwohl eine augenscheinlich trockene Fahrbahnoberfläche vorlag, wurden im Nachhinein Abschnitte mit Restfeuchte ermittelt. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für die Kampagne 2 ist in Bild 5–14 dargestellt.

**Kampagne 3 – Frühjahr 2016**

Aufgrund der langanhaltenden Wärmeperiode konnte die Kampagne 3 nicht zu den geplanten Fahrbahnoberflächentemperaturen der Frühjahrsmessung durchgeführt werden. Die mittleren Fahrbahnoberflächentemperaturen lagen während der Messung deutlich über dem geplanten Bereich von 10 bis 20 °C. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–15 dargestellt.

**Kampagne 4 – Sommer 2016**

Die Kampagne 4 konnte zu den geplanten Fahrbahnoberflächentemperaturen zwischen 30 und 40 °C durchgeführt werden. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–16 dargestellt.

**Kampagne 5 – Herbst 2016**

Die Kampagne 5 konnte zu den geplanten Messbedingungen durchgeführt werden. Die Fahrbahnoberflächentemperaturen lagen zwischen 10 und 20 °C und die Fahrbahn war durchgehend sauber und trocken. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–17 dargestellt.

Datum:	24.07.2016
Zeitraum:	14:15 Uhr bis 17:50 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 30 bis 40 °C.
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	21,8 °C
Bedeckungsgrad:	Sonnig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	39,8 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	36,7 °C
Bemerkung:	Messung nach trockener und warmer Periode, Fahrbahn sauber und trocken

Tab. 5–4: Messbedingungen Kampagne 4 – Sommer 2016

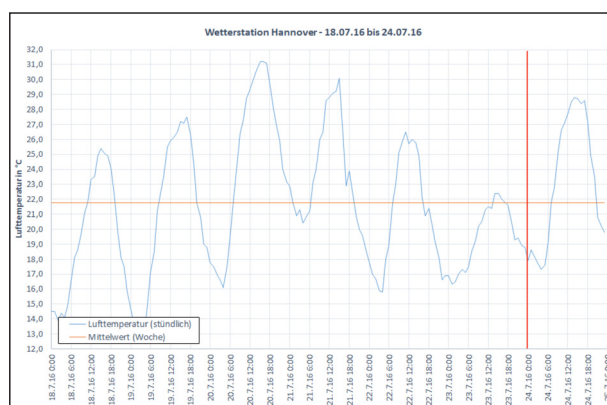


Bild 5–16: Lufttemperaturverlauf Hannover 18.07.2016 bis 24.07.2016 [37]

Datum:	16.10.2016
Zeitraum der Messung:	13:55 bis 17:25 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C.
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	7,1 °C
Bedeckungsgrad:	Sonnig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	18,3 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	19,5 °C
Bemerkung:	Messung nach trockener Periode, Fahrbahn sauber und trocken

Tab. 5–5: Messbedingungen Kampagne 5 – Herbst 2016

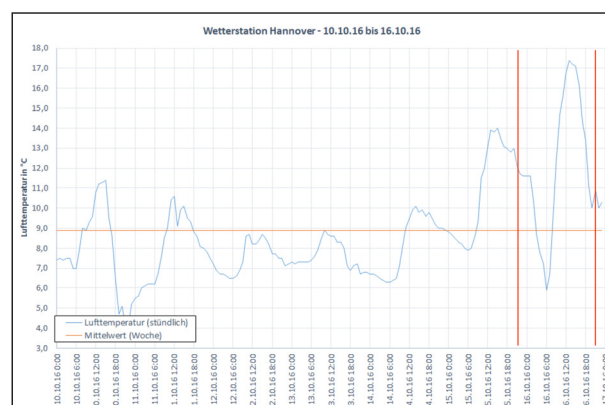


Bild 5–17: Lufttemperaturverlauf Hannover 10.10.2016 bis 16.10.2016 [35]

### Kampagne 6 – Winter 2017

Obwohl im Vorfeld der Kampagne 6 und am Mess-tag selbst recht kalte und trockene Wetterbedingungen vorlagen, konnte diese Messung nicht zu den geplanten Fahrbahnoberflächentemperaturen von unter 0 °C und Frosteindringtiefen von über 10 cm durchgeführt werden. Zudem ist bei der späteren Auswertung aufgefallen, dass die augenscheinlich trockene Fahrbahn eine Vielzahl von Abschnitten mit Restfeuchte enthielt. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–18 dargestellt.

### Kampagne 7 – Nasse Fahrbahn

Die Kampagne 7 konnte zu den geplanten Messbedingungen hinsichtlich des Feuchtegrades der Fahrbahnoberfläche durchgeführt werden. Die Fahrbahnoberflächentemperaturen lagen jedoch

unterhalb des geplanten Bereiches zwischen 10 und 20 °C. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–19 dargestellt.

### Kampagne 8 – Tagesganglinie I (Frühjahr 2016)

Obwohl die Fahrbahn augenscheinlich durchgehend trocken war, wurden bei der späteren Auswertung während der ersten Messfahrt einige wenige Abschnitte mit Restfeuchte festgestellt. Bezüglich der geplanten Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 30 °C gab es während der Kampagne 8 keine Abweichungen. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–20 dargestellt.



Datum:	15.01.2017
Zeitraum der Messung:	14:25 Uhr bis 17:45 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von < 0 °C.
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	-0,6 °C
Bedeckungsgrad:	Wolkig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	3,2 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	4,2 °C
Bemerkung:	Frosttiefe < 10 cm, Fahrbahn sauber und zum Teil mit Restfeuchte, Fahrbahnoberflächentemperaturen höher als geplant

Tab. 5–6: Messbedingungen Kampagne 6 – Winter 2017

Datum:	06.11.2016
Zeitraum der Messung:	15:20 Uhr bis 18:35 Uhr
Soll-Messbedingungen	Erfassung von durchgehend nassen Strecken bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 10 bis 20 °C
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	7,1 °C
Bedeckungsgrad:	Wolkig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	7,0 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	7,3 °C
Bemerkung:	Fahrbahn durchgehend nass, teilweise Nieselregen während der Messung; Fahrbahnoberflächentemperaturen niedriger als geplant

Tab. 5–7: Messbedingungen Kampagne 7 – Nasse Fahrbahn

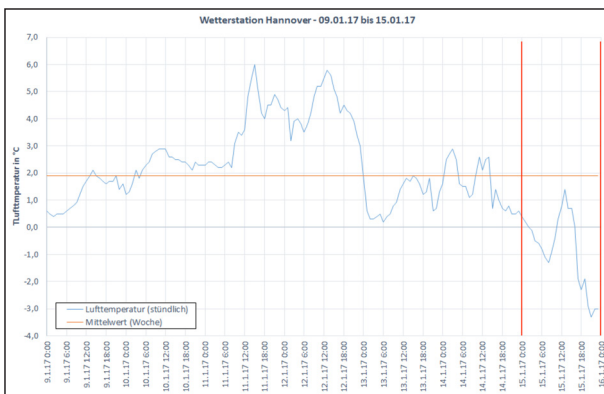


Bild 5–18: Lufttemperaturverlauf Hannover 09.01.2017 bis 15.01.2017 [35]

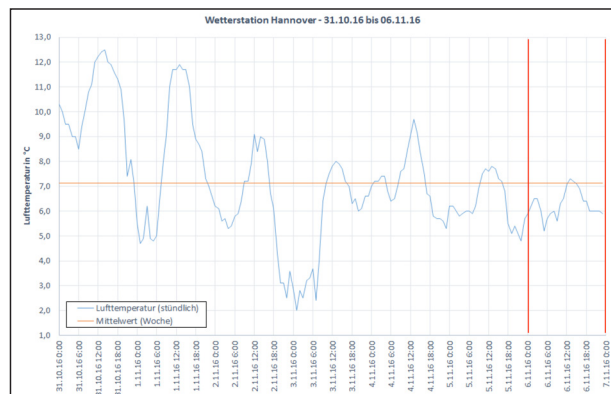


Bild 5–19: Lufttemperaturverlauf Hannover 31.10.2016 bis 06.11.2016 [35]

**Kampagne 9 – Tagesganglinie II (Sommer 2016)**  
 Die Messfahrten zur Kampagne 9 konnten wie geplant auf trockener und sauberer Fahrbahn und bei Fahrbahnoberflächentemperaturen zwischen 20 und 40 °C durchgeführt werden. Der einwöchige Lufttemperaturverlauf der Wetterstation Hannover für diese Messung ist in Bild 5–21 dargestellt.

### 5.5 Regeln für die Auswertung der Messkampagnen

In den ZTV ZEB-StB [1] sind in Anhang 7 Auswerteregeln für die Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) definiert. Diese Auswerteregeln wurden im „Leitfaden zur Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche)“ [28] konkretisiert, der auf dem Portal der IT-ZEB verfügbar ist.

Da in diesem Forschungsprojekt das Schadensmerkmal Risse und mögliche Zusammenhänge zwischen der Fahrbahnoberflächentemperatur und der Oberflächenfeuchte auf die Erkennbarkeit von Rissen zu untersuchen waren, wurden die Auswerteregeln an die Projektziele angepasst.

#### 5.5.1 Differenzierung zwischen offenen und verfüllten Rissen

Im Rahmen des durchgeführten Projektes wurde die Sichtbarkeit von Rissen in Abhängigkeit der Temperatur und des Feuchtgrades untersucht. Es war zu erwarten, dass verfüllte Risse stets gut sichtbar sind, Temperatur und Feuchte demnach keinen Einfluss auf ihre Sichtbarkeit haben. Hieraus ergab sich der Beschluss, die verfüllten Risse bei der Auswer-

<b>Datum:</b>	<b>21.05.2016</b>
Zeitraum der Messung:	7:30 Uhr bis 19:30 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen von ca. 10 bis 30 °C
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	12,3 °C
Bedeckungsgrad:	Wolkig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Messung):	25,6 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Messung):	26,8 °C
Bemerkung:	Fahrbahn sauber und weitestgehend trocken, teilweise Restfeuchte während der ersten Messfahrt

Tab. 5–8: Messbedingungen Kampagne 8 – Tagesganglinie I (Frühjahr 2016)

<b>Datum:</b>	<b>28.08.2016</b>
Zeitraum der Messung:	7:45 Uhr bis 19:10 Uhr
Soll-Messbedingungen	Trockene und saubere Fahrbahn, Fahrbahnoberflächentemperaturen von ca. 20 bis 40 °C
Lufttemperatur Wetterstation (Ø Messung):	22,7 °C
Bedeckungsgrad:	Sonnig
Fahrbahnoberflächentemperatur Asphalt (Ø Zeitraum):	28,3 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur Beton (Ø Zeitraum):	30,0 °C
Bemerkung:	Messung nach längerer Hitzeperiode, durchgehend saubere und trockene Fahrbahn

Tab. 5–9: Messbedingungen Kampagne 9 – Tagesganglinie II (Sommer 2016)

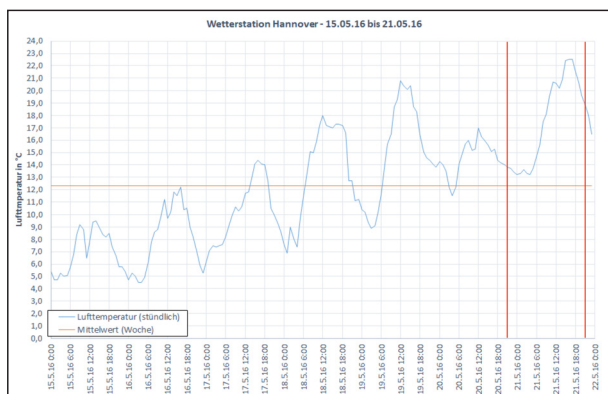


Bild 5–20: Lufttemperaturverlauf Hannover 15.05.2016 bis 21.05.2016 [37]

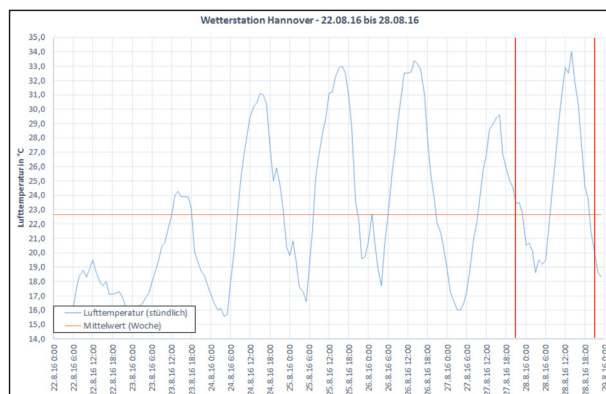


Bild 5–21: Lufttemperaturverlauf Hannover 22.08.2016 bis 28.08.2016 [37]

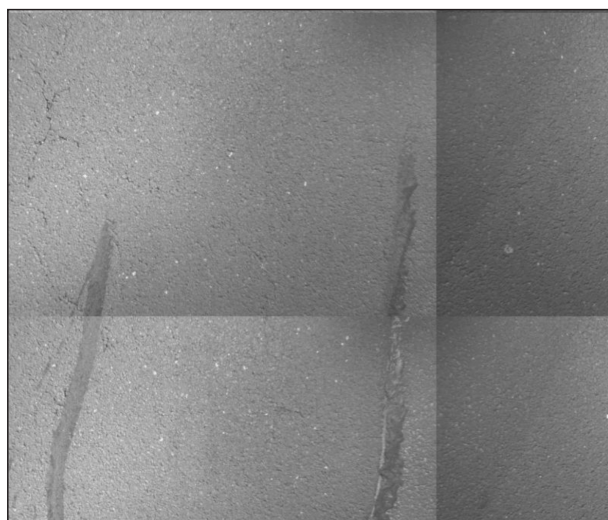


Bild 5–22: Beispiel verfüllter Risse

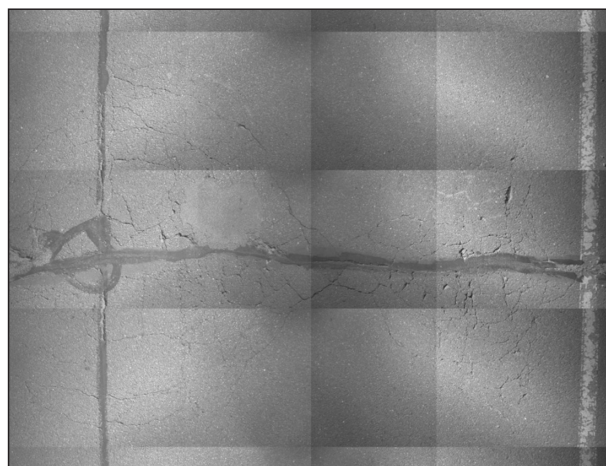


Bild 5–23: Beispiel Netzrisse

tung nicht zu berücksichtigen. In Bild 5–22 ist ein Beispiel verfüllter Risse dargestellt. Darüber hinaus sind in dieser Abbildung auch die neuentstandenen Netzrisse zu sehen.

### 5.5.2 Schätzung der Risslänge in einem Segment (für Asphaltbauweisen)

Gemäß ZTV ZEB-StB [1] erfolgt die Auswertung des Merkmals Risse für Asphalt rasterweise, d. h. der Auswerter entscheidet, ob sich in einem Rasterfeld Risse befinden oder nicht (siehe Kapitel 3.2.2). Diese binäre Auswertung ist unter Umständen jedoch nicht ausreichend, um den Zuwachs oder die Reduktion von Rissen beurteilen zu können. Aus dem Grund wurde entschieden, zusätzlich die Risslänge innerhalb eines Rasterfeldes abzuschätzen. Da das Rissabbild in einigen Fällen sehr kompliziert werden kann, war eine exakte Messung der Risslänge jedoch nicht immer möglich (siehe Bild 5–23).

Basierend auf Erfahrungswerten wurde festgelegt, die Länge der Risse in einem Rasterfeld auf neun Meter zu begrenzen, sofern diese Grenze innerhalb eines Rasterfeldes überschritten wurde. Die nachträgliche Auswertung der Daten hat gezeigt, dass diese Annahme plausibel ist. Bei der Auswertung der Risse bei Asphaltbauweise wurden nur 0,05 % der Rasterfelder (1.257 von 2.491.866) detektiert, auf denen die festgelegte maximale Länge der Risse erreicht ist. Bei der Betonstraße wurden lediglich sechs von 98.264 Betonplatten mit einer Risslänge von über neun Metern registriert.

### 5.5.3 Registrierung von Reparaturstellen

Während der Projektlaufzeit wurden einige Streckenbereiche instandgesetzt (Verfüllung von Rissen, Auftragen von Flickstellen, Austausch von Betonplatten, Teilersatz mit Asphalt, großflächige Reparaturen). Anhand des Vergleiches der ersten Messkampagne H15 und der letzten Messkampagne W17 wurden diejenigen Rasterfelder für Asphalt und Betonplatten markiert, auf welchen Reparaturstellen beobachtet wurden. Die betroffenen Auswerteabschnitte wurden von den weiteren Analysen ausgeschlossen (siehe Kapitel 6).

### 5.5.4 Feststellung des Feuchtegrades

Neben der Temperatur sollte außerdem die Fahrbahnfeuchte als Einflussfaktor auf die Sichtbarkeit von Rissen untersucht werden. Da bisher keine geeignete Methode bekannt ist, mit welcher der

Feuchtegrad sicher quantifiziert werden kann, wurde für dieses Forschungsvorhaben folgende Klassifizierung des Feuchtegrades festgelegt:

1. Trockene Oberfläche
2. Abtrocknende Feuchte (die Restfeuchte ist nur noch im Bereich von Mulden/Rissen erkennbar)
3. Nasse Oberfläche (die Fahrbahn ist durchgehend nass)

In den nachfolgenden Abbildungen sind die verschiedenen Feuchtegrade beispielhaft dargestellt.

Zur Feststellung des Feuchtegrades wurden 100 Meter lange Fahrbahnabschnitte durch den Auswerter visuell untersucht. Diese Untersuchung fand unabhängig von der Auswertung der Oberflächenmerkmale statt. Der Auswerter hat, basierend auf den Strecken- und Oberflächenbildern, den 100-m-Auswerteabschnitten jeweils einen repräsentativen Feuchtigkeitsgrad zugewiesen. Wurden auf einem

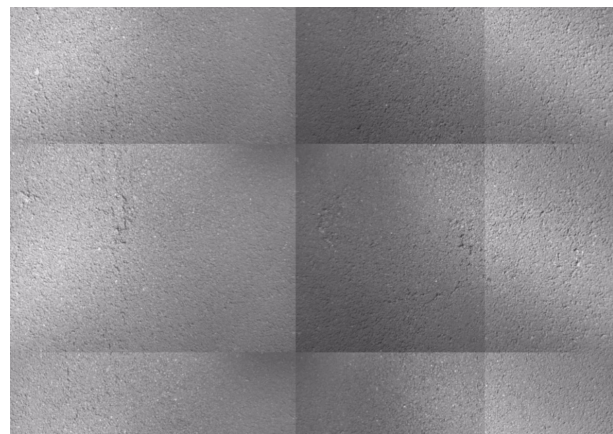


Bild 5–24: Beispiel trockene Fahrbahnoberfläche

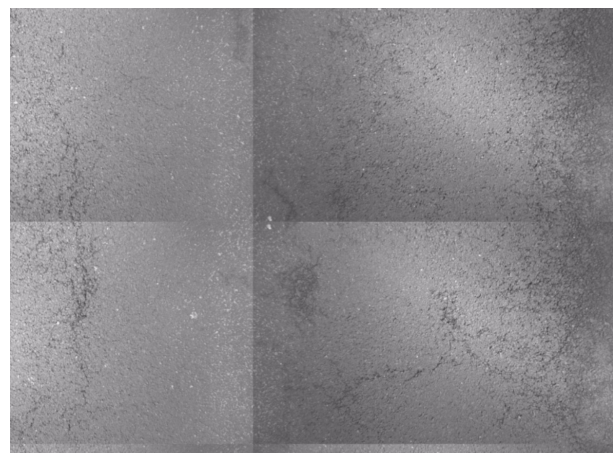


Bild 5–25: Beispiel abtrocknende Fahrbahnoberfläche

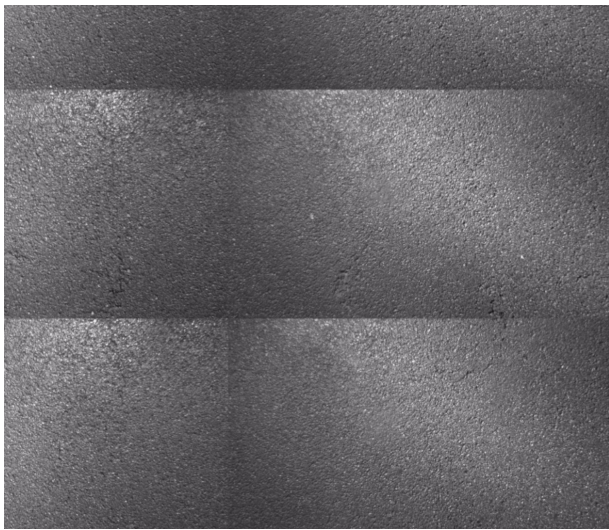


Bild 5–26: Beispiel nasse Fahrbahnoberfläche

100-m-Auswerteabschnitt mehrere Feuchtegrade festgestellt, wurde stets der höhere Feuchtegrad für den gesamten 100-m-Auswerteabschnitt festgelegt, d. h. nasse Oberfläche vor abtrockender Feuchte, abtrockende Feuchte vor trockener Oberfläche.

## 5.6 Auswertung der Messdaten

### 5.6.1 Schulung des Auswertepersonals

Vor der Auswertung der Oberflächenbilder wurde das Auswertepersonal entsprechend geschult. Der Fokus der Schulung lag darauf, den Auswertern die projektspezifischen Erweiterungen zu erläutern und nahezubringen. Die Anpassungen der Auswerteregeln (siehe Kapitel 5.5) wurden vorgestellt und im Einzelnen erklärt. Das für das Projekt vorgesehene Auswertepersonal verfügte bereits über umfangreiche praktische Kenntnisse in der Auswertung von Oberflächenbildern nach ZTV ZEB-StB [1], musste jedoch anders als bei der turnusmäßigen ZEB auf Bundesfernstraßen seine Eignung im Rahmen einer zeitbefristeten Betriebszulassung für das TP 3 bei der BASt nicht explizit nachweisen. Am Ende der Schulung fand ein Eignungstest statt, um sicherzustellen, dass jeder Auswerter die für das Projekt notwendigen fachlichen Fähigkeiten erworben hatte.

### 5.6.2 Qualitätskontrolle der Messdaten

Die vom Erfasser zu jeder Messkampagne bereitgestellten Messdaten wurden auf Vollständigkeit und Korrektheit geprüft. Die erfassten Daten wurden den standardisierten Datenprüfungen der ZEB unterzogen. Dabei wurden dieselben hohen Qualitätsmaßstäbe angesetzt wie bei der regulären ZEB.

Im Einzelnen wurden die syntaktische Korrektheit (XML Format) der GeoRohdaten, die Vollständigkeit der Strecken- und Oberflächenbilder sowie die Qualität des Bildmaterials stichprobenweise visuell überprüft, indem die Markierungen verfolgt wurden, die im Datenstrom während der Messfahrt gesetzt wurden. Diese Markierungen werden Zuordnungsflags genannt. Sie werden verwendet, um ungültige Streckenbereiche (z. B. Umleitungen) zu kodieren. Des Weiteren wurde die Zuordnung der Messdaten zum Fahrstreifen überprüft.

### 5.6.3 Synchronisierung in Längsrichtung

Für das vorliegende Projekt war die Datenvergleichbarkeit der einzelnen Messungen von hoher Bedeutung. Eine Synchronisierung anhand des GPS-Signals und unter Verwendung von Projektionsmethoden der klassischen ZEB lieferte nicht die geforderte Genauigkeit von 1 m. Damit die in mehreren Kampagnen erfassten Daten miteinander verglichen werden konnten, wurden die Datenströme der Geo-Rohdaten anhand des laufenden Meters, der Front- und Sekundärkamerabilder sowie geeigneter eindeutiger Merkmale (z. B. Sprünge beim Längsprofil des TP1a) feinsynchronisiert.

Die Messung, die zuerst durchgeführt wurde, wurde als Master-Kampagne für die Feinsynchronisierung anderer Messkampagnen genutzt. Alle weiteren Messungen wurden mithilfe der Master-Kampagne synchronisiert. Hierfür wurde ein von dem Forschungsnehmer in anderen Projekten entwickeltes und praxiserprobtes Verfahren verwendet. Ein Arbeitsplatz für die Synchronisierung der Messungen ist in Bild 5–27 zu sehen.

Ein solcher Arbeitsplatz besteht aus zwei Monitoren. Auf einen Monitor werden die Bilder der Front- und Sekundärkamera der beiden Kampagnen (Master-Kampagne und zu synchronisierende Kampagne) dargestellt. Auf dem anderen Monitor werden die Oberflächenbilder und nach Bedarf die Profile mit den Rohdaten angezeigt. Der Auswerter setzt sogenannte Synchronisierungsmarker ein, um dieselbe Position in beiden Kampagnen darzustellen.

Die Synchronisierungsmarker werden anschließend verwendet, um die Geo-Rohdaten der zu synchronisierenden Messung auf das Raster der Master-Kampagne zu projizieren und anschließend die synchronisierten Raster-Rohdaten zu erstellen.

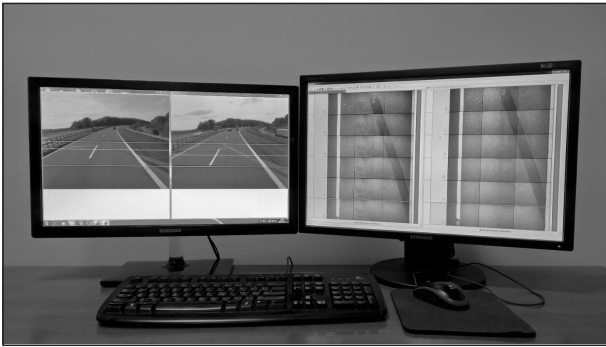


Bild 5–27: Arbeitsplatz für die Feinsynchronisierung der Messungen [6]



Bild 5–28: Beispielhaftes Bild der Frontkamera (oben) und der Sekundärkamera (unten)

#### 5.6.4 Streckenbilder der sekundären Frontkamera

Im Zuge der Planung des gegenständigen Forschungsprojektes wurde eine zusätzliche sekundäre Frontkamera als sinnvoll erachtet, die auf den Messbalken zur Querprofilsmessung montiert wurde. Die Entscheidung, diese zusätzliche Kamera zu verwenden, wurde auf Basis der Erfahrungen des Forschungsnehmers aus bereits realisierten Projekten getroffen [2, 4]. Im Vergleich zur klassischen Frontkamera zeigt die sekundäre Frontkamera die Fahrbahn aus einer anderen Perspektive. Dieser andere Blickwinkel erlaubt eine bessere Einschätzung des Ausmaßes der Substanzmerkmale, insbesondere der Kornausbrüche, Flickstellen und teilweise der Risse. Ein Vergleich von Front- und

Sekundärkamera ist in Bild 5–28 dargestellt. Die Aufnahmen der sekundären Frontkamera wurden bei der Synchronisierung der Messdaten in Längsrichtung verwendet.

#### 5.6.5 Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche)

Die Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche) aus den Front- und Oberflächenbildern erfolgte gemäß der für das Projekt festgelegten Auswerteregeln (siehe Kapitel 5.5) durch geschultes Personal auf speziell für diese Zwecke eingerichteten Arbeitsplätzen (siehe Bild 5–29).

Die Auswertung der Oberflächenmerkmale wurde mithilfe der Software TP3Editor (Standardsoftware des Forschungsnehmers, entwickelt in anderen Projekten) durchgeführt. Dieses Auswertewerkzeug wurde bereits in mehreren nationalen und internationalen Projekten eingesetzt. TP3Editor kann an die Projektbedürfnisse angepasst werden. Im Vorfeld der Auswertung wurde dieses Auswertewerkzeug entsprechend konfiguriert, um die Anforderungen des Projektes und festgelegten Auswerteregeln vollständig abzudecken. Notwendige Erweiterungen, die über die Anforderungen der ZTV ZEB-StB [1] hinausgehen, wie etwa die Anpassung der Synchronisierungsfunktion und Bereitstellung der Funktion zum Messen von Risslängen, wurden implementiert.

Für die Auswertung wurden zwei unterschiedliche Verfahren abgewogen:

- Differenzverfahren  
Der Auswerter bekommt sowohl die auszuwertende Messung als auch die Vormessung zu sehen. Die Kodierung der Merkmale erfolgt daher mit der Vorkennntnis des vorherigen Ergebnisses. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass der Auswerter die Entwicklung der Oberflächenschäden besser einschätzen und kodieren kann. Nachteilig könnte jedoch sein, dass der Auswerter mit der Kenntnis über geschädigte Bereiche genauer arbeitet als er dies ohne dieses Vorwissen tun würde bzw. dadurch Risse kodiert, die er anhand des vorliegenden Bildmaterials eigentlich nicht erkennen kann.
- Einzelbetrachtungsverfahren  
Bei dieser Vorgehensweise bekommt der Auswerter nur eine Messung zu sehen. Jede Messung wird separat kodiert, sodass der Auswerter

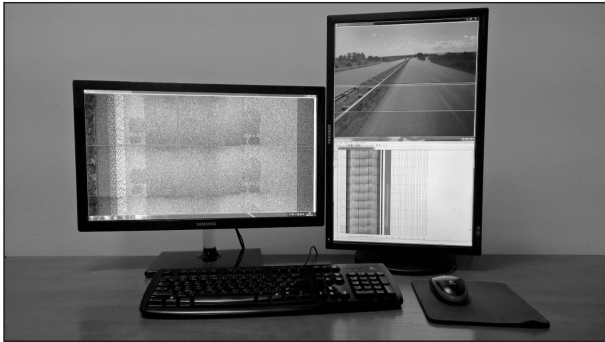


Bild 5–29: Auswertewerkzeug TP3 Editor (Heller Consult Sp)

nicht durch die Ergebnisse der vorherigen Auswertungen beeinflusst wird – somit kann kein Lerneffekt eingreifen. Um die Subjektivität der Auswertung weitgehend zu eliminieren, wird die Auswertung immer von einem anderen Auswerter durchgeführt.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde die Sichtbarkeit der Risse unter Anwendung des Verfahrens gemäß den ZTV ZEB-StB [1] untersucht. Während der regulären ZEB-Erfassung werden die Daten anhand des oben beschriebenen Einzelbetrachtungsverfahrens ausgewertet. D.h. der Auswerter sieht zum Zeitpunkt der Auswertung lediglich die Bilder der aktuellen Messkampagne, ohne von den Ergebnissen vorheriger Auswertungen beeinflusst werden zu können. Die Untersuchung des Beeinflussungseffektes durch vorkodierte Beschädigung ist jedoch nicht Bestandteil dieses Forschungsprojektes.

Nach Berücksichtigung der oben genannten Argumente wurde auch für die Auswertung dieser Messdaten das Verfahren der Einzelbetrachtung ausgewählt und umgesetzt.

In diesem Forschungsprojekt ist die Qualität der Auswertergebnisse von sehr hoher Bedeutung. Die Auswertung erfolgte ohne Zeitdruck bezüglich der Bereitstellung der Ergebnisse. Den Auswertern konnte somit die notwendige Zeit gegeben werden, um die festgelegten Auswerteregeln bestmöglich umzusetzen. Falls notwendig, wurden unklare Sachverhalte innerhalb des Auswerteteams erörtert, um optimale Lösungen zu finden. Die Entscheidungen wurden protokolliert, in der projektinternen Knowhow-Database aufbewahrt und konnten so für gleichgelagerte Fragestellungen verwendet werden.

Im Rahmen der regulären ZEB-Erfassung arbeiten die Auswerter dagegen in der Regel in einer ande-

ren Umgebung. Der Zeitfaktor und Druck, die Ergebnisse schnell bereitzustellen, ist groß und kann unter Umständen die Qualität der Auswertung beeinflussen. Dieser Einflussfaktor wurde hier nicht untersucht, ist aus Sicht des Forschungsnehmers jedoch äußerst relevant, um die Qualität der Auswertung beurteilen zu können und sollte im Zuge weiterer Forschungsarbeiten näher untersucht werden.

Im Anschluss an die Auswertung der Oberflächenmerkmale wurden die Ergebnisse als Geo-Rohdaten im XML-Format abgelegt.

### 5.6.6 Qualitätskontrolle der Auswertungsergebnisse

Neben der Erfüllung der Anforderungen zur Durchführung der Messungen zu den in Kapitel 5.2 festgelegten Messbedingungen war die Qualität der Rissauswertung für die Ergebnisse des Forschungsprojektes sehr wichtig. Um die geforderte Qualität der Rissauswertung zu erreichen, wurden mehrere qualitätssichernde Maßnahmen während des Projektes implementiert, die nachfolgend näher erläutert werden. Diese umfassenden Kontrollmechanismen dienten dazu, Qualitätsmängel aufzuspüren und diese zu beseitigen. Infolge der Qualitätsverbesserung konnte mit einer Verbesserung der Auswertungsdaten gerechnet werden.

Die Messdaten wurden im Vorfeld der Auswertung gründlich kontrolliert und festgestellte Mängel, sofern möglich, korrigiert. Fehlerhafte Stellen (z.B. ein fehlendes Bild) wurden entsprechend gekennzeichnet und aus der weiteren Datenbearbeitung ausgeschlossen. Des Weiteren wurden die Auswerteregeln festgelegt und das Auswerteteam entsprechend geschult.

Zur Sicherstellung der geforderten Auswertungsqualität wurden die in den Messfahrten erhobenen Daten durch eine zweite, unabhängige Person parallel ausgewertet. Die Auswertung nach den projektspezifischen Anforderungen (siehe Kapitel 5.5) sind im Vergleich zu den Auswerteregeln der ZTV ZEB-StB [1] komplexer und damit fehleranfälliger. Die zweite auswertende Person hatte weder Zugriff auf die Ergebnisse der ersten Auswertung noch wusste sie, von wem diese durchgeführt worden war.

Nachdem die zweite Auswertung abgeschlossen war, wurden beide Auswertungen wie folgt miteinander verglichen. Zunächst wurden die Versuchs-

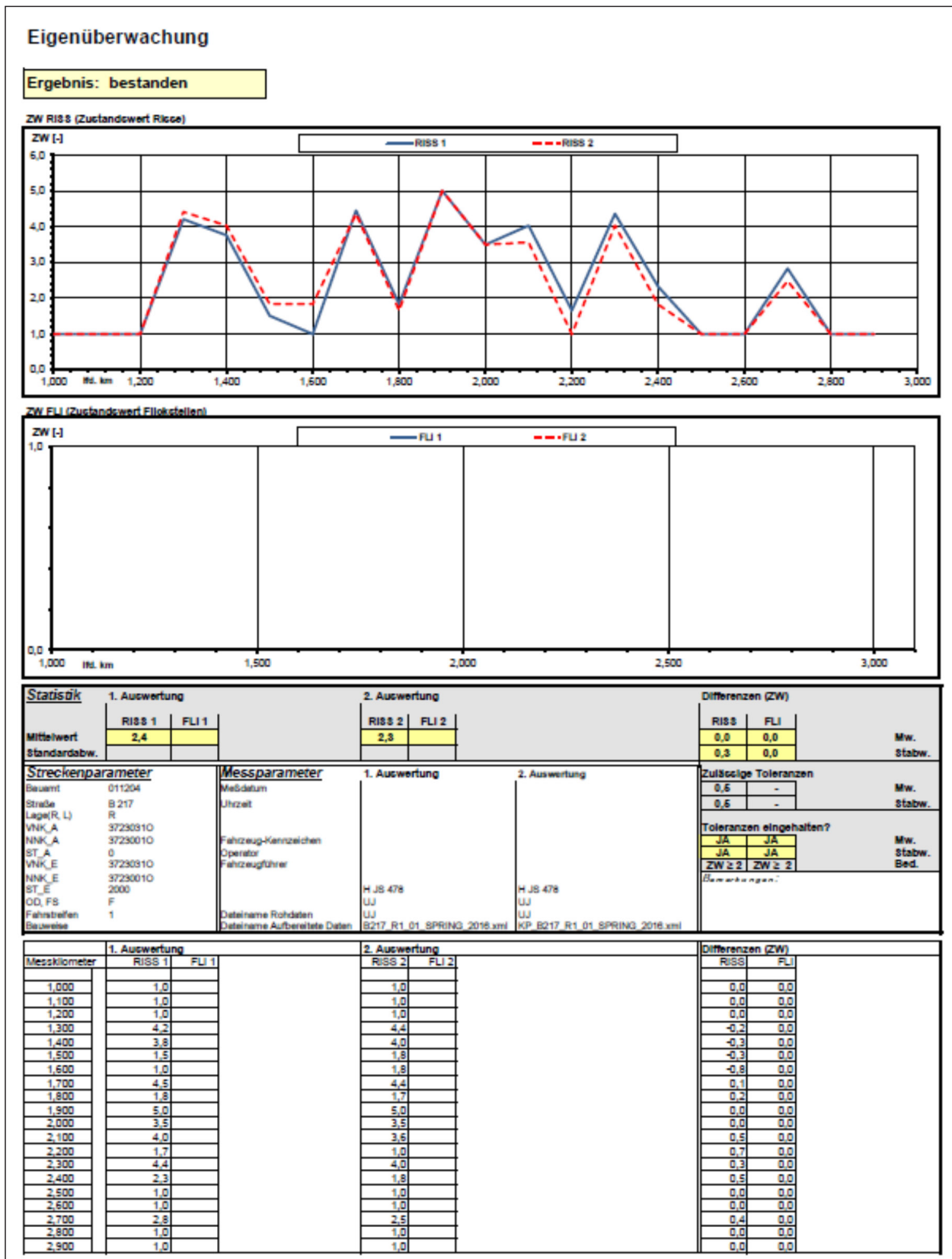


Bild 5–30: Beispiel einer Eigenüberwachung

strecken in immer zwei Kilometer lange Vergleichsabschnitte aufgeteilt. Anschließend wurden die Ergebnisse der beiden Messungen für jeden Ab-

schnitt verglichen – diese Vorgehensweise erfolgte in Anlehnung an die aus der ZEB bekannte Eigenüberwachung. Für die Asphaltbauweisen wurde

das Merkmal Risse und für die Betonbauweisen das Merkmal Längs- und Querrisse zwischen zwei Auswertungen verglichen. Zusätzlich wurde für die erste und letzte Kampagne das Zustandsmerkmal Flickstellen bei Asphaltbauweise und das Zustandsmerkmal Flickstellen und Teilersatz Asphalt bei Betonbauweise überprüft. Die Daten zu den beiden Merkmalen wurden verwendet, um die Reparaturstellen zu identifizieren. Die Vergleichsergebnisse wurden in Form von Prüfberichten dokumentiert (Bild 5–30).

Falls im Zuge des Vergleichs Unterschiede festgestellt wurden, die außerhalb der in den ZTV ZEB-StB [1] festgelegten Toleranzen ( $\Delta ZWRIS$  = 0,5;  $\sigma ZWRIS$  = 0,5;  $\Delta ZWLQR$  = 0,5;  $\sigma ZWLQR$  = 0,5) für die Eigenüberwachung lagen, wurde die Auswertung wie folgt korrigiert. Beide Vergleichsstrecken wurden zusammen mit einem Fachexperten analysiert, um die Ursache für die Abweichungen festzustellen. Bei grundsätzlichen Problemen bezüglich der Interpretation der Auswerteregeln wurden die problematischen Fälle im Auswerteteam entsprechend geklärt. Der Fachexperte, welcher das Auswerteteam bei der Analyse unterstützt hat, verfügt über Kenntnisse aus dem Bereich Straßenbautechnik und war mit den Zielen dieses Forschungsprojektes vertraut.

Für die Datenanalysen wurden immer die Daten (nach eventuellen Korrekturen) des ersten Auswerters übernommen. Die Daten des zweiten Auswerters wurden ausschließlich für die Qualitätssicherung verwendet.

## 5.7 Erstellung der Projektdatenbank

Nach erfolgter Auswertung der Oberflächenschäden wurden die Daten gemäß den festgelegten Regeln synchronisiert. Als Nächstes wurde die Netzzuordnung der georeferenzierten Rohdaten realisiert. Die Netzzuordnung erfolgte mit der BAST-Standardsoftware GeoRohRaster4 (Version 4.20.6) für die Master-Kampagne bzw. mit einem speziell für das Projekt entwickelten Werkzeug für die weiteren Kampagnen. Die Ergebnisse wurden als Raster-Rohdaten ebenfalls im XML-Format abgelegt.

Im Anschluss erfolgte die Berechnung der relevanten Zustandsgrößen und der dazugehörigen Zustandswerte. Hierzu wurde die BAST-Software RohZGZW (Version 5.19) verwendet. Die Ergebnisse wurden als ERG-Tabelle abgelegt und das

ERG-Raster gemäß ZTV ZEB-StB erstellt. Abweichend von den Regelungen der ZTV ZEB-StB [1] wurde festgelegt, dass ein Auswerteabschnitt immer 100 m betragen sollte – auch für die Ortsdurchfahrten. Dadurch wurde die Gesamtmenge der Daten erhöht und eine bessere Vergleichbarkeit der Daten erzielt.

Als Bewertungshintergrund wurde die im Rahmen des Forschungsprojektes FE 04.0212/2007/MRB „Aktualisierung der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB)“ [7] ausgearbeitete Zustandsbewertung (Normierung und Wertesynthese) für Freie Strecken verwendet.

Die 100-m-Auswerteabschnitte, auf denen zwischen den Messkampagnen Herbst 2015 und Winter 2017 Maßnahmen durchgeführt worden sind, wurden entsprechend gekennzeichnet und aus der weiteren Analyse ausgeschlossen (siehe Kapitel 6).

Zu jedem 100-m-Auswerteabschnitt wurde die mittlere Fahrbahnoberflächentemperatur berechnet sowie, sofern vorhanden, die Art und das Baujahr der Deckschicht bestimmt. Die Analyse der Aufbaudaten, die durch die niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr bereitgestellt wurden, hat gezeigt, dass die Daten lückenhaft und teilweise fehlerhaft sind. Aufgrund der niedrigen Datenverfügbarkeit und der nicht ausreichenden Qualität wurden die Aufbaudaten bei den statistischen und wissenschaftlichen Auswertungen nicht berücksichtigt.

Alle Daten wurden in einer Projektdatenbank zusammengefasst, welche die Grundlage für weitere Visualisierungen und Analysen darstellte.

## 5.8 Visualisierungen

Die ausgewerteten Daten wurden auf verschiedene Weisen visualisiert, so dass eine ingenieurmäßige Betrachtung und Analyse möglich war. Basierend auf den Visualisierungen können Zusammenhänge zwischen den Auswertedaten und der Fahrbahnoberflächentemperatur bzw. -feuchte festgestellt werden. Die Sicherstellung von gleichen Gegebenheiten beim Vergleich zweier Stellen ist zwingend notwendig, um die Ergebnisse übertragen zu können.

Folgende Visualisierungsformen wurden verwendet:



1. Vergleichsstreckenbänder mit visualisierten Rohdaten (Risse)
2. Vergleichsstreckenbänder mit den aggregierten Zustandsdaten (Risse)
3. Visualisierung der Ergebnisse in OnKo2
4. Darstellung der Entwicklung der ausgewählten Risse

**5.8.1 Vergleichsstreckenbänder mit den Rohdaten (Risse)**

Das Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten kann verwendet werden, um die Veränderungen des Schadensmerkmals Risse auf der Rohdatenebene objektscharf zu analysieren.

Wie in der Untersuchungssystematik festgelegt, wurden die Risse bezogen auf Rasterfelder von 1 m x 1/3 Fahrstreifenbreite bei Asphalt bzw. pro Betonplatte kodiert. Die Ergebnisse der Rissauswertung wurden auf den Vergleichsstreckenbändern mit den Rohdaten (Risse) dargestellt (siehe Bild 5–33). Die Rasterfelder mit den beobachteten Schäden sind auf dem Vergleichsstreckenband entsprechend gekennzeichnet. Darüber hinaus werden die Zustandsgrößen RISS für Asphaltbauweisen und LQRL und LQRP für Betonbauweisen ausgewiesen und die zugehörige Farbe hinterlegt (siehe Bild 5–31 und Bild 5–33). Gemäß dem Vorschlag aus dem Forschungsprojekt FE 04.0212/2007/MRB [7] wurden folgende farbliche Kennzeichnungen verwendet:

- blau: Zustandswert besser als 1,5
- dunkelgrün: Zustandswert zwischen 1,5 und 2,5
- grün: Zustandswert zwischen 2,5 und Warnwert (3,5)
- gelb: Zustandswert zwischen Warn- und Schwellenwert (4,5)
- rot: Überschreitung des Schwellenwertes

Neben den Rohdaten zu den Rissen enthalten die Vergleichsstreckenbänder weitere Angaben, wie die Beschreibung des Straßennetzes, Angaben zur Art und zum Baujahr der Fahrbahnoberfläche sowie die Kennzeichnung des Feuchtegrades (siehe Bild 5–35). Die 100-m-Auswerteabschnitte, auf denen Reparaturstellen festgestellt wurden, sind grün hinterlegt. In der Legende auf der linken Seite befinden sich die Angaben zu der entsprechenden Messung:

Datum und Uhrzeit sowie Lufttemperatur (siehe Bild 5–36).

Folgende Vergleichsstreckenbänder wurden mit den Rohdaten erstellt:

1. Vergleich der Messungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten: Kampagnen H15, W16, F16, S16, H16, W17
2. Vergleich der Messungen zur Tagesganglinie I (Kampagne TGL1)
3. Vergleich der Messungen zur Tagesganglinie II (Kampagne TGL2)
4. Messung auf nasser Fahrbahn (Kampagne N16)

Die Vergleichsstreckenbänder mit den Rohdaten sind dem Bericht digital in Anhang A.1 beigefügt.

**5.8.2 Vergleichsstreckenbänder mit den aggregierten Zustandsdaten (Risse)**

Vergleichsstreckenbänder mit den aggregierten Zustandsdaten ermöglichen es, die Veränderungen der relevanten Zustandsgrößen und Zustandswerte darzustellen (siehe Bild 5–37).

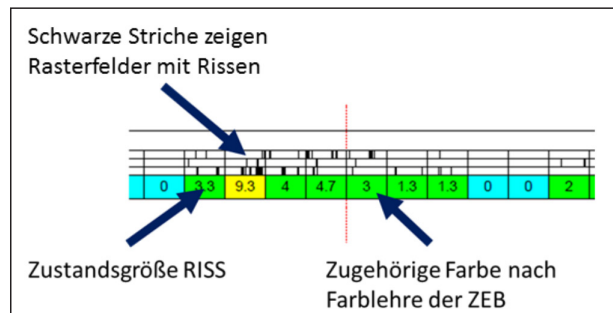


Bild 5–31: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten (Asphaltbauweise)

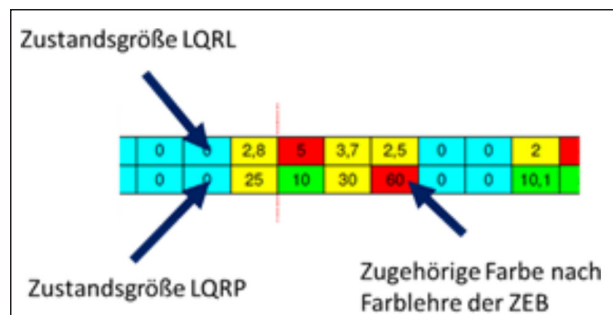


Bild 5–32: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten (Betonbauweise)



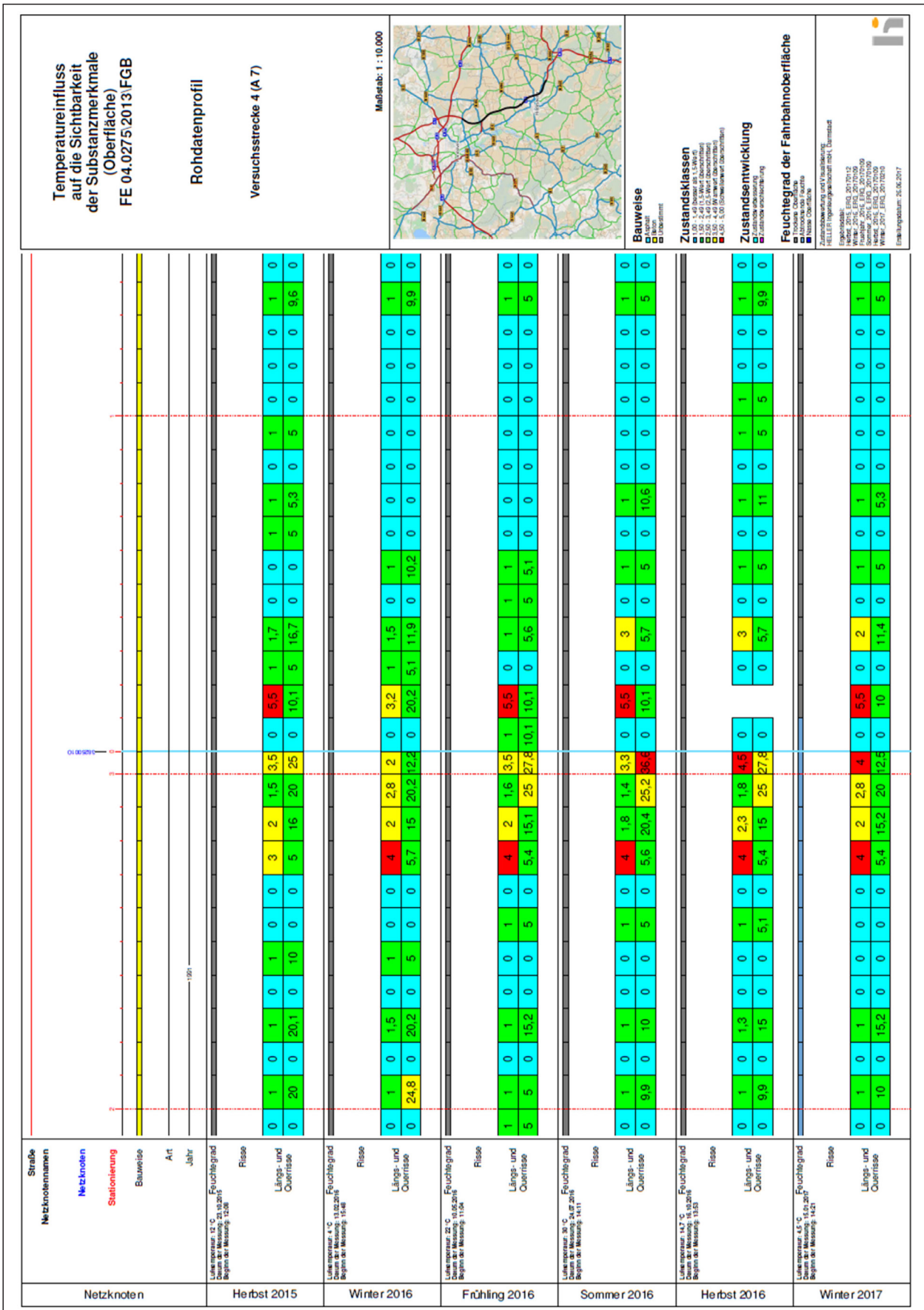


Bild 5–34: Beispiel eines Vergleichsstreckenbandes mit den Rohdaten (Längs- und Querrisse) für eine Strecke in Betonbauweise (verkleinerte Darstellung)

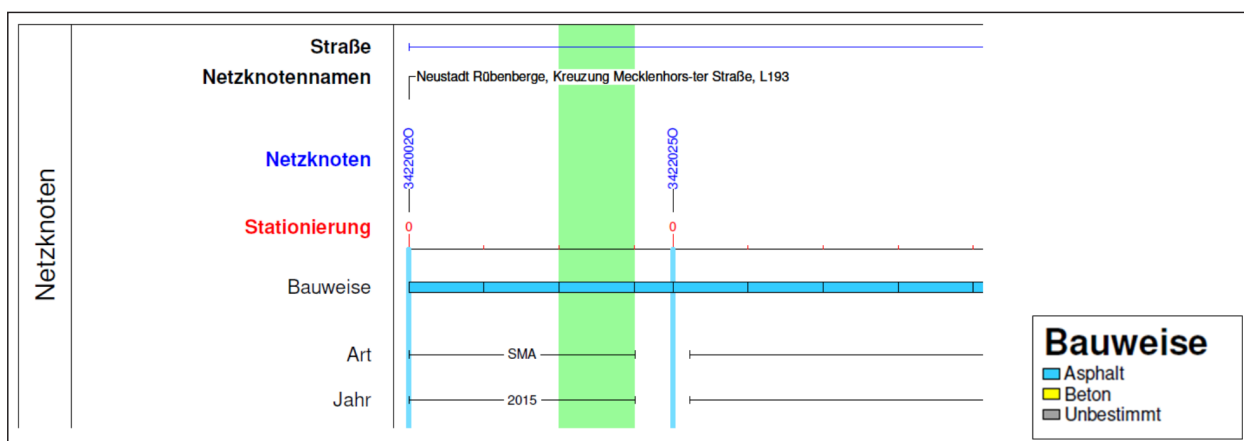


Bild 5–35: Teil der Vergleichsstreckenbänder mit den Angaben zum Straßennetz (Netzknotennummern, Netzknotenamen, Stationierung) und zur Bauweise (Art, Baujahr)

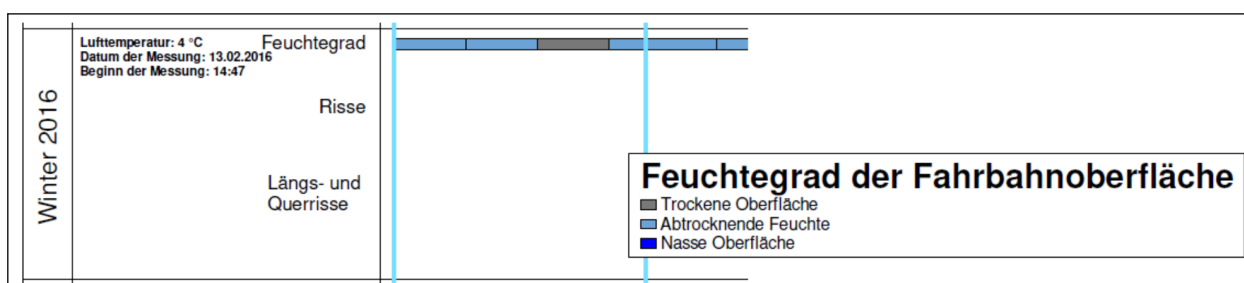


Bild 5–36: Rechte Legende der Vergleichsstreckenbänder mit den Angaben zu der Messung (Beginn, Lufttemperatur) sowie der Darstellung des Feuchtgrades der Fahrbahnoberfläche

Der Flächenanteil (Rasterfelder bzw. Betonplatten) des 100-m-Auswerteabschnittes mit Rissen ist durch einen blauen Balken markiert; die Höhe des Balkens entspricht dabei der Größe des Flächenanteils. Unterhalb des Diagramms wurden die Zustandswerte in die fünf Zustandsbereiche (siehe Bild 5–37) unterteilt und farblich dargestellt. Ein weiterer Block zeigt die Veränderung des Flächenanteiles mit Rissen zwischen der jeweiligen Kampagne und der ersten dargestellten Kampagne. Verbesserungen wurden mit der Farbe Cyan und Verschlechterungen mit der Farbe Magenta markiert. Neben den Angaben zu den Zustandsgrößen und -werten kann zusätzlich die Risslänge im 100-m-Auswerteabschnitt (Summe der Risslängen der einzelnen Rasterfelder bzw. Betonplatten) abgelesen werden.

Wie bereits das Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten, enthält auch das Vergleichsstreckenband mit den aggregierten Zustandsdaten weitere Angaben, wie die Beschreibung des Straßennetzes, Angaben zur Art und zum Baujahr der Fahrbahnoberfläche sowie die Kennzeichnung des Feuchtgrades. Auch hier sind die Bereiche mit zwischenzeitlich durchgeführten Maßnahmen grün hinterlegt. In der linken Legende befinden sich wieder

die Angaben zu der entsprechenden Messung: Datum und Uhrzeit sowie Lufttemperatur.

Folgende Vergleichsstreckenbänder wurden erstellt, welche die aggregierten Zustandsdaten darstellen:

1. Vergleich der Messungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten: Kampagnen H15, W16, F16, S16, H16, W17,
2. Vergleich der Messungen zur Tagesganglinie I (Kampagne TGL1),
3. Vergleich der Messungen zur Tagesganglinie II (Kampagne TGL2),
4. Messung auf nasser Fahrbahn (Kampagne N16).

Die Vergleichsstreckenbänder mit den aggregierten Zustandsdaten sind dem Bericht digital in Anhang A.2 beigefügt.

### 5.8.3 Ingenieurmäßige Analyse der Daten

Die Auswertungsdaten dieses Forschungsprojektes wurden auf dem Auskunftssystem OnKo2 bereitgestellt (siehe Bild 5–39). OnKo2 ist ein einfach zu bedienendes Software-System zur Visualisie-

rung komplexer straßenbezogener Informationen in Form von anschaulichen Karten, Streckenbändern, Strecken- und Oberflächenbildern sowie anderen relevanten Grafiken. Die Fensterinhalte sind miteinander synchronisiert, so dass die Auswahl einer Lokalisierung in einem der Fenster eine unmittelbare Aktualisierung der anderen Fenster bewirkt.

Diese Art der Visualisierung erlaubt den Projektbeteiligten den Einblick in die Daten und das Durchführen der ingenieurmäßigen Analysen. Das Auskunftssystem wurde u. a. dafür verwendet, die Entwicklung von ausgewählten Rissen zu dokumentieren und zu analysieren. Nachfolgend sind einige Beispiele dieser Analyse dokumentiert.

**Fall 1: Änderung der Sichtbarkeit von Rissen – Kampagne 8**

Bei der Datenanalyse der Messung zur Tagesganglinie I (Kampagne 8) wurden zwei Bereiche festgestellt (B217, Abschnitt 3623057O – 3623003O, in Stationierungsrichtung), auf denen während der ersten Messung des Tages deutlich mehr Risse erkennbar waren als während der darauffolgenden. Eine Analyse ergab, dass auf die betroffenen Strecken Schatten fiel und die Restfeuchte aus den Rissen nicht vollständig abgetrocknet war. Dies führte dazu, dass die Risse bei der ersten Messung deutlich besser zu erkennen waren.

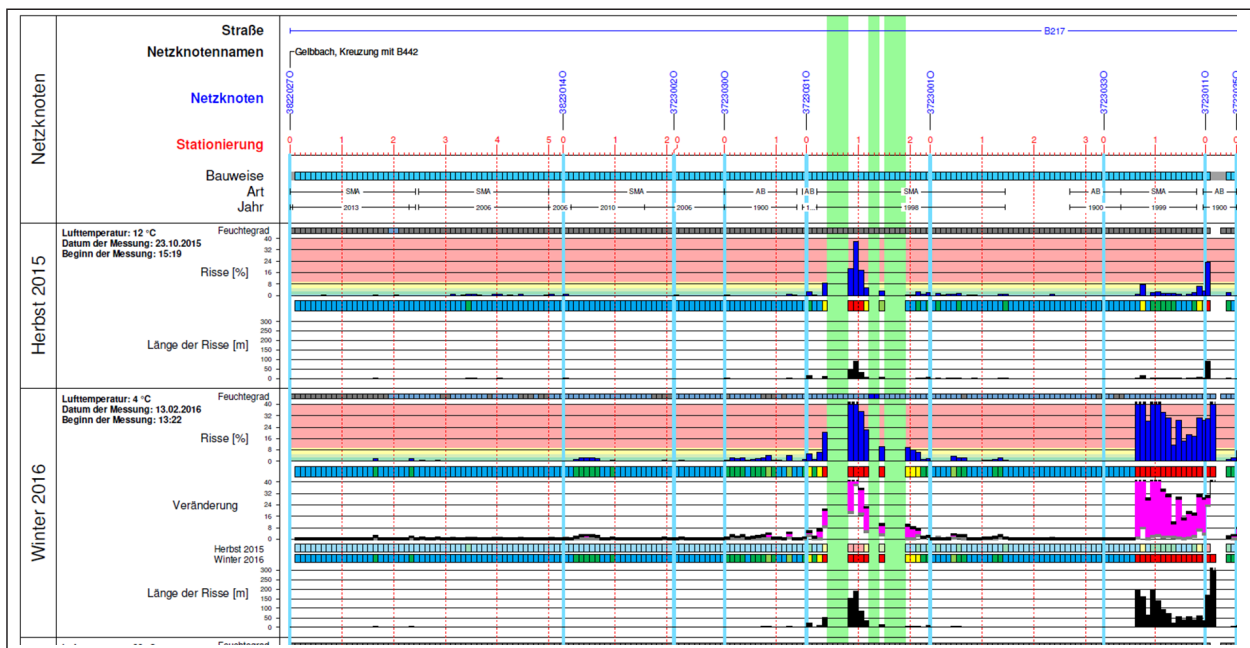


Bild 5–37: Beispiel eines Vergleichsstreckenbandes mit den aggregierten Zustandsdaten (Risse) (verkleinerte Darstellung, Ausschnitt)

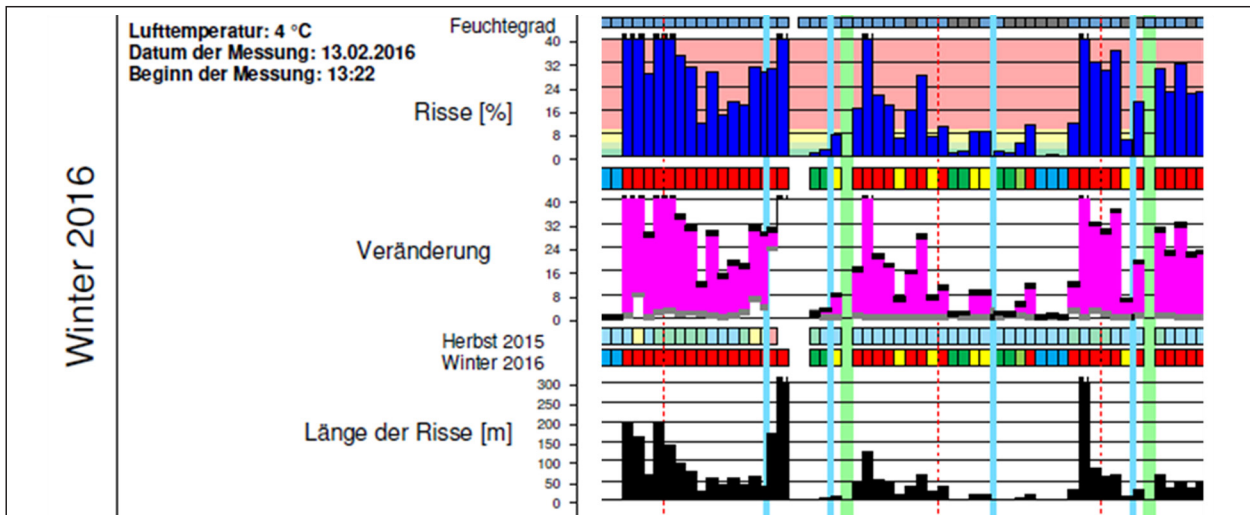


Bild 5–38: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den aggregierten Zustandsdaten

Einer der beiden Bereiche ist in Bild 5–40 dargestellt. Das erste Oberflächenbild zeigt die erste Messung des Tages. Im Bereich der rechten durchgezogenen Linie sind die Risse aufgrund der Restfeuchte sehr gut zu erkennen. Bei den weiteren Messungen (Oberflächenbilder 2, 3 und 4) sind die Risse wiederum nicht sichtbar.

## Fall 2: Reparatur von Netzrissen

Bei der Auswertung der Daten wurden die Rastelemente mit sichtbaren Reparaturmaßnahmen gesondert gekennzeichnet und aus den Auswertun-

gen ausgeschlossen. In Bild 5–41 ist eine Reparaturstelle beispielhaft dargestellt (L382, Abschnitt 35240200 – 35240490, Station 248).

Auf dem linken Oberflächenbild (Messkampagne W16) sind die Netzrisse deutlich zu sehen (die abtrocknende Fahrbahn begünstigt die Sichtbarkeit der Risse). Diese Netzrisse wurden mit einer Flickstelle repariert (rechtes Bild, Messkampagne H16).

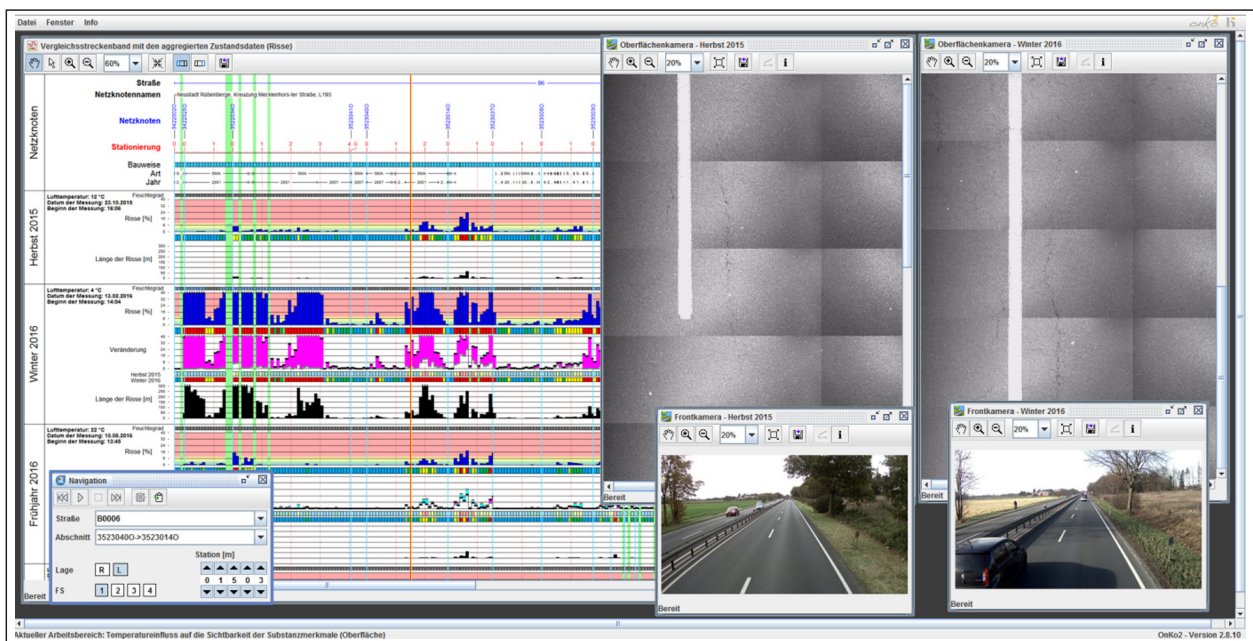


Bild 5–39: Beispielhafte Darstellung der Zustandsdaten in der Auskunftssystem OnKo2

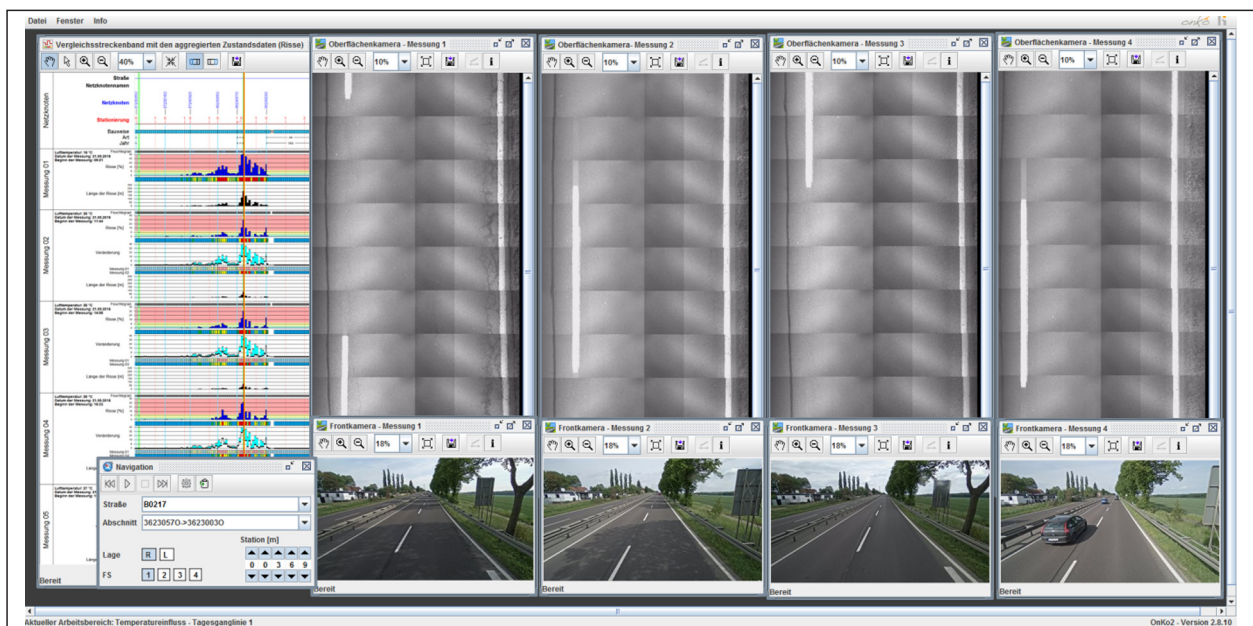


Bild 5–40: Deutliche Verbesserung der Erkennbarkeit von Rissen während der Messung zur Tagesganglinie I

**Fall 3: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen in Abhängigkeit des Feuchtegrades**

Im gegenständigen Projekt wurde der Einfluss von Feuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen untersucht. In Bild 5–42 ist die Sichtbarkeit von Rissen in Abhängigkeit des Feuchtegrades beispielhaft dargestellt (B6, Abschnitt: 35230140 – 35230370, Station 473).

Auf dem linken Oberflächenbild (Messkampagne W16) sind im Randbereich deutliche Netzrisse zu sehen. Die Sichtbarkeit ist durch die Restfeuchte be-

günstigt. Das mittlere Oberflächenbild zeigt die trockene und saubere Fahrbahnoberfläche der Messkampagne S16. Die Netzrisse sind nicht sichtbar. Das rechte Oberflächenbild zeigt die Fahrbahn während der Messung auf der nassen Fahrbahn (Messkampagne N16). Die Netzrisse sind nicht sichtbar. Die Nässe hat die Sichtbarkeit negativ beeinflusst.

**Fall 4: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen auf einer Betonstraße**

In Bild 5–43 (A7, Abschnitt 38250010 – 36250260, Station 14.489) ist die Sichtbarkeit von Rissen zu

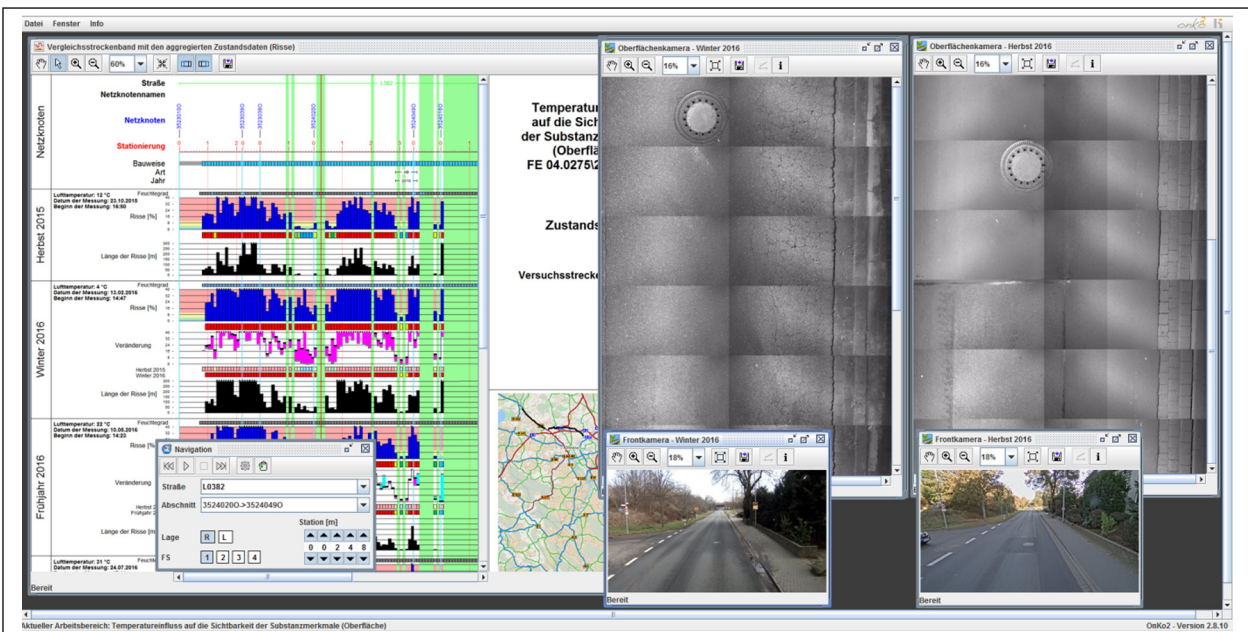


Bild 5–41: Beispiel einer Reparaturstelle auf einer Asphaltstraße

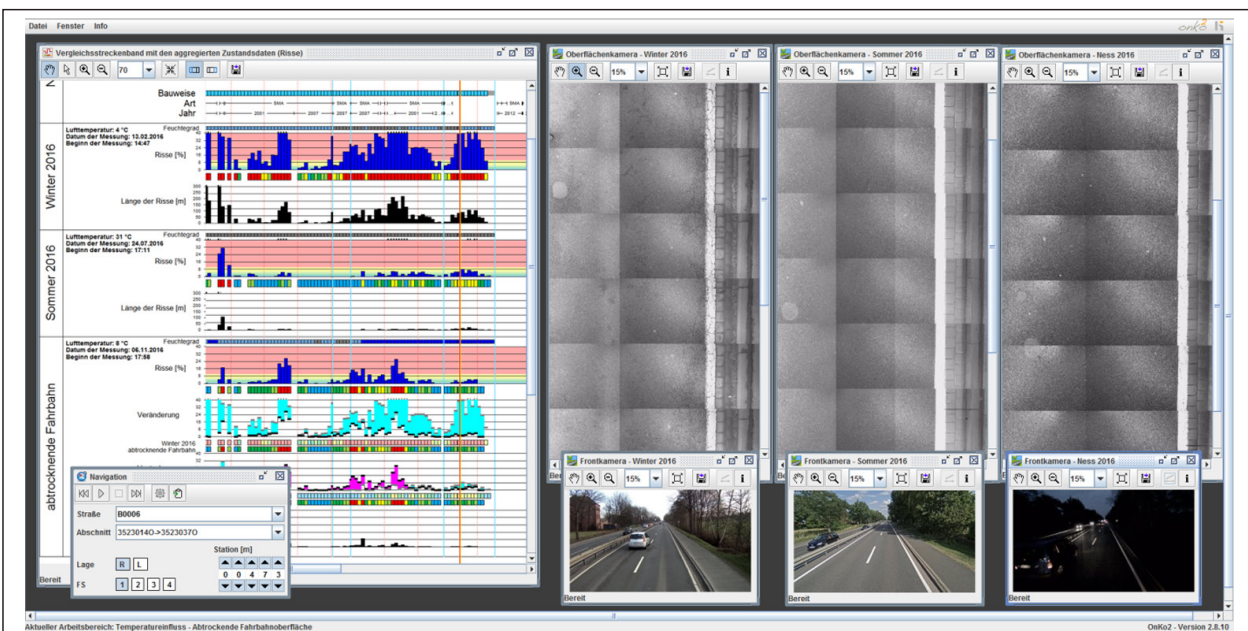


Bild 5–42: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen auf abtrocknender (W16), trockener (S16) und nasser Fahrbahnoberfläche (N16)

unterschiedlichen Jahreszeiten dargestellt. Auffällig ist, dass im Fall der Messung F16 die Längs- und Querrisse sehr gut sichtbar sind. Im Vergleich dazu sind die Längs- und Querrisse bei der Messung W17 weniger gut sichtbar. Bei der Messung H15 sind keine Längs- und Querrisse feststellbar. Bei allen drei Kampagnen wurde der Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche in diesem Abschnitt als „trocken“ eingestuft.

#### 5.8.4 Darstellung der Entwicklung ausgewählter Risse

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden mehrere ZEB-Messungen in einem relativ kurzen Zeitraum realisiert. Während der 15 Monate wurden sechs ZEB-Messungen (H15, W16, F16, S16, H16, W17) auf denselben Strecken durchgeführt und anschließend ausgewertet. Die regelmäßige ZEB findet alle vier Jahre statt. Durch die Häufigkeit der Messungen ergibt sich die Möglichkeit, die Entwicklung von bestimmten Oberflächenschäden (z.B. Risse) anhand der Strecken- und Oberflächenbilder zu beobachten und zu dokumentieren. Dieses auf Bildern basierende Verfahren ist jedoch mit dem in situ durchführbaren Rissmonitoring nicht gleichzustellen. Vor Ort besteht die Möglichkeit, den Schaden aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten und genauer zu überprüfen bzw. die Umgebung nach möglichen Ursachen zu untersuchen. Bei der Analyse des Bildmaterials sind diese Möglichkeiten nicht gegeben. Trotzdem kann die Betrachtung der Schadensentwicklung anhand des Bildmaterials

diesbezüglich relevante objektbezogene Informationen liefern.

Für dieses Forschungsprojekt wurde festgelegt, die Entwicklung von ausgewählten Rissen anhand der Strecken- und Oberflächenbilder zu dokumentieren. Für diese Aufgabe wurde das Auskunftssystem OnKo2 eingesetzt. In dem Datenbestand wurde nach relevanten Beispielen von Rissen gesucht und die ausgewählten Fälle entsprechend dokumentiert. Zu den Fällen wurden weitere Informationen wie Messdatum und -uhrzeit, Lufttemperatur und Temperatur der Fahrbahnoberfläche angegeben.

Bild 5–44 und Bild 5–45 zeigen exemplarisch die Entwicklung eines Risses über sechs Kampagnen hinweg. Die Dokumentation weiterer Beispiele befindet sich in Anhang A.3.

Zusammengefasst lassen sich in den umfangreichen Ergebnissen aus allen sechs ZEB-Messungen verschiedene Beispiele über die Beobachtung und Entwicklung der Risse finden. Das Beispiel auf den Seiten 2 und 3 bzw. auf den Seiten 14 und 15 des Anhangs A.3 zeigt die Entwicklung eines Risses auf trockener Fahrbahnoberfläche. Bei niedrigen Temperaturen von 4 °C (Kampagnen W16 und W17) ist der Riss breiter und besser erkennbar als bei höheren Temperaturen.

Das Beispiel auf den Seiten 20 und 21 des Anhangs A.3 dokumentiert die Sichtbarkeit der Risse in Abhängigkeit des Feuchtegrades der Fahrbahnober-

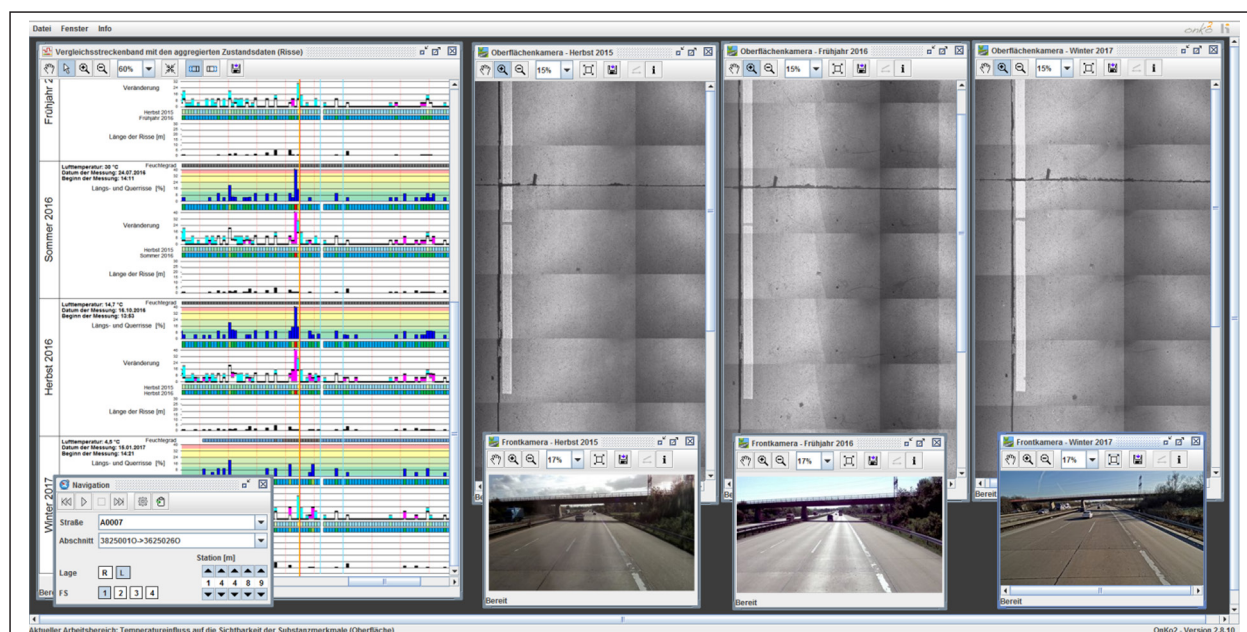


Bild 5–43: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen auf einer Betonstraße (von links: H15, F16, W17)



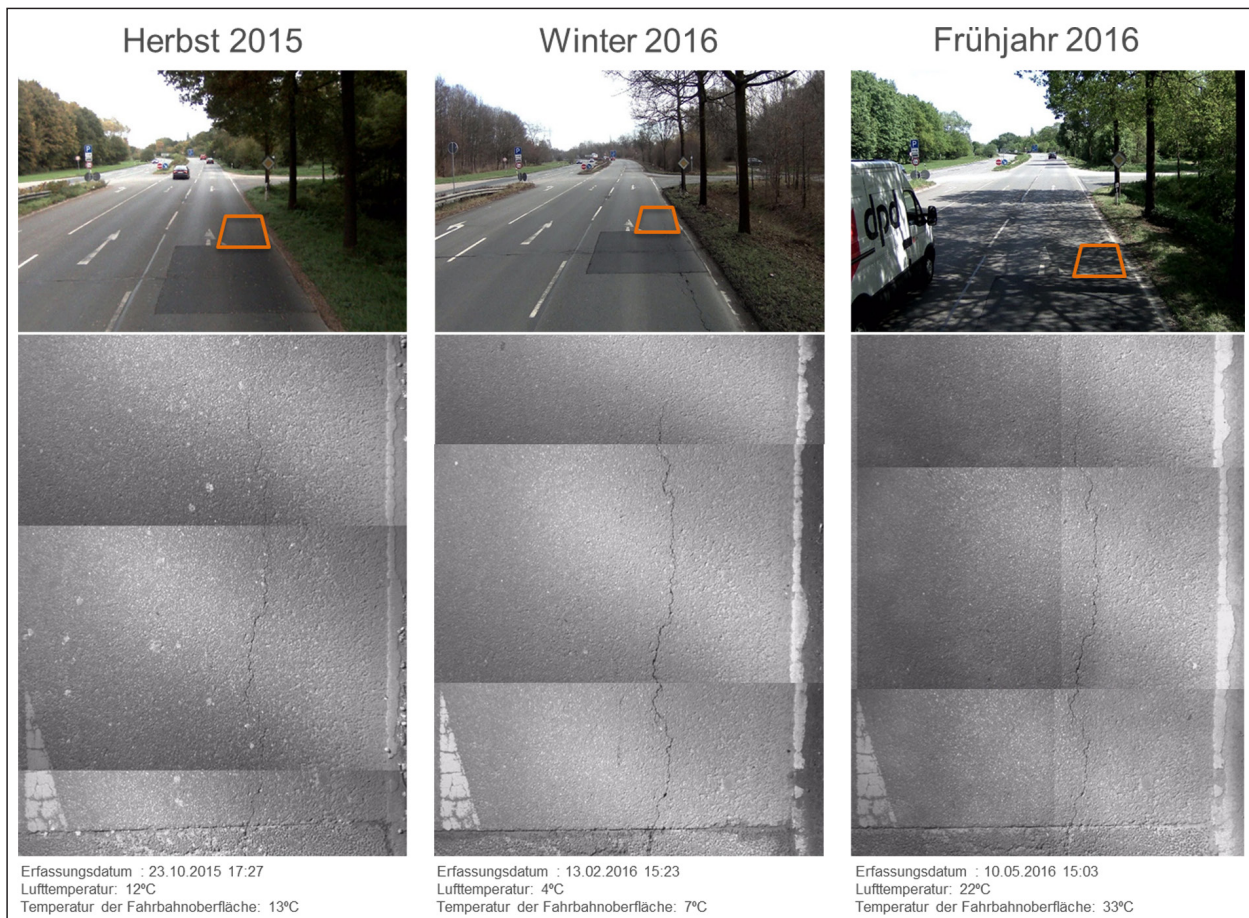


Bild 5-44: Entwicklung eines Längsrisses auf Asphalt, Kampagnen Herbst 2015, Winter 2016, Frühjahr 2016 (weitere Kampagnen sind auf dem Folgebild dargestellt)

fläche. Auf abtrocknender Fahrbahnoberfläche (Messung W16) sind Netzkrisse zu sehen, die bei den Messungen auf trockener Fahrbahnoberflächen nicht bzw. nur eingeschränkt sichtbar sind.

In dem Beispiel auf den Seiten 29 und 30 des Anhangs A.3 ist ein Riss auf der Betonstraße dokumentiert. Der Riss ist auf den Aufnahmen zu allen Messkampagnen gut sichtbar. Auf der Aufnahme aus der Kampagne W15 (Temperatur der Fahrbahnoberfläche beträgt 4 °C) ist der Riss etwas schmaler. In der Aufnahme aus der Kampagne W16 (vergleichbare Temperatur der Fahrbahnoberfläche) ist der Riss allerdings genauso breit wie bei den Aufnahmen bei höheren Temperaturen.

Auf den Seiten 35 und 36 des Anhangs A.3 ist ein weiteres Beispiel der Entwicklung eines Risses auf der Betonfahrbahn dokumentiert. Auf allen Aufnahmen ist der Riss sichtbar, allerdings unterschiedlich gut. Die Aufnahmen aus den Kampagnen H15, W16 und teilweise F16 zeigen jedoch vereinzelt Restfeuchte in der Rissfläche. In diesem Beispiel wird

die Erkennbarkeit des Risses nicht durch die Temperatur beeinflusst, sondern insbesondere durch die Restfeuchte an der Fahrbahnoberfläche.

Die Dokumentation der Entwicklung einzelner Risse kann nur objektscharf und unter vergleichbaren Messbedingungen betrachtet werden. Die Ergebnisse können nicht auf das gesamte Forschungsvorhaben übertragen werden. Bei der Analyse der Sichtbarkeit und der Entwicklung der Risse sind immer weitere lokale Einflussfaktoren (wie Sonnenstand, Schatten auf der Fahrbahn, klimatische Gegebenheiten) zu berücksichtigen. Diese Einflussfaktoren können die Sichtbarkeit und Entwicklung des Risses lokal beeinflussen.

## 6 Statistische und wissenschaftliche Auswertung

Die statistische und wissenschaftliche Auswertung beruht auf den Rohdaten, die in Anlehnung an die Vorgaben der ZTV ZEB-StB [1] (siehe Kapitel 5.5 und 5.6) ausgewertet wurden. Diese ausgewerteten

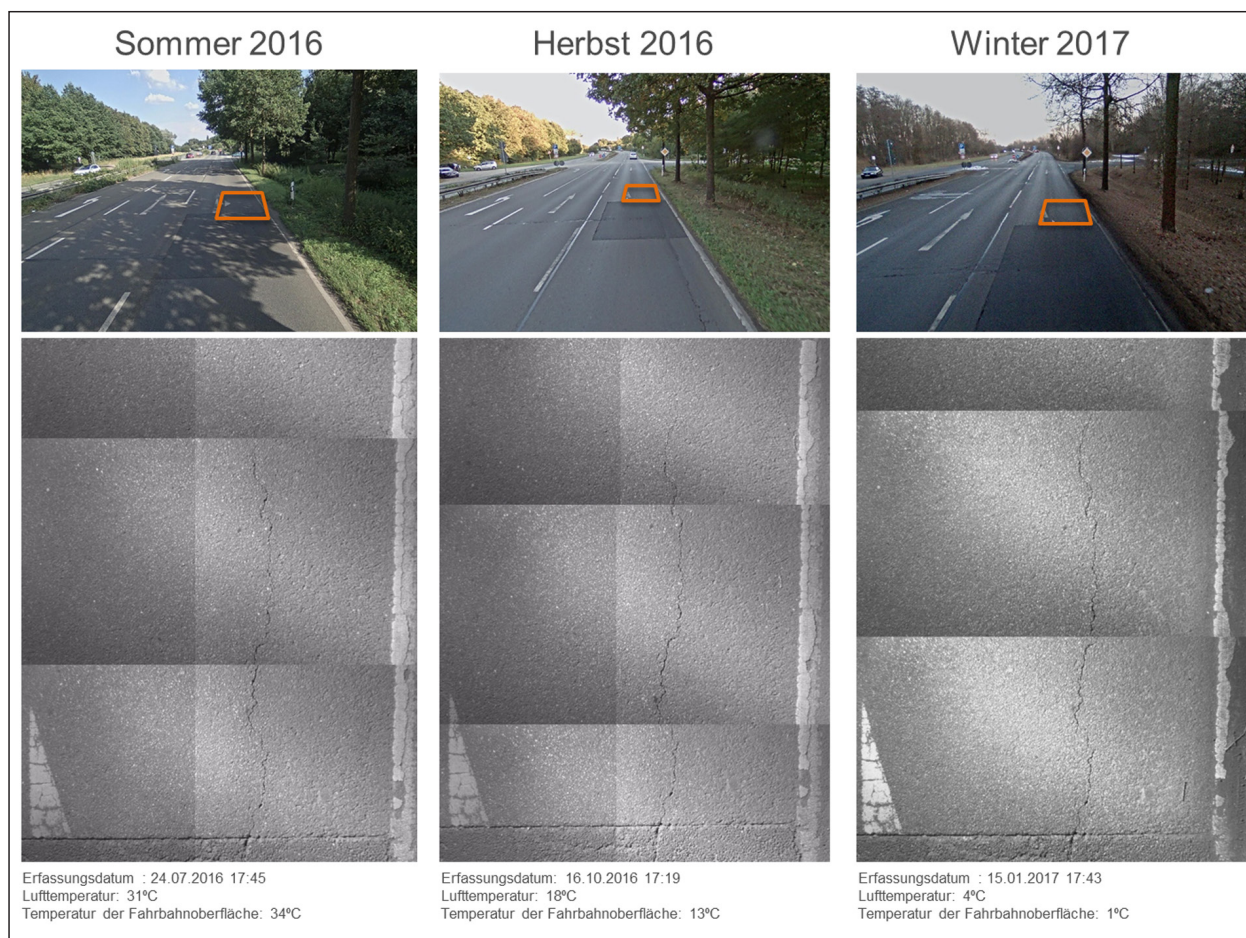


Bild 5–45: Entwicklung eines Längsrisses auf Asphalt, Kampagnen Sommer 2016, Herbst 2016 und Winter 2017 (Fortsetzung des vorherigen Bildes)

Messdaten liegen zu jeder Messkampagne digital in einem Tabellendateiformat vor und wurden mit einem Tabellenkalkulationsprogramm analysiert und ausgewertet.

Die aus der Datenbank exportierten xls-Dateien beinhalten Messwerte und Auswertegrößen zu sämtlichen 100-m-Auswerteabschnitten einer Messkampagne. Zu jedem 100-m-Auswerteabschnitt liegen unter anderem folgende Informationen vor:

- Ort (eindeutige Netzzuordnung)
- Messdatum und -uhrzeit
- Bauweise (Asphalt oder Beton)
- Hilfs- und Zustandsgrößen/Zustandswerte
- Reparaturstellen und verfüllte Risse
- Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur
- Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche

Um die Einflüsse von Fahrbahnoberflächentemperatur und –feuchtegrad differenzieren zu können,

wurden für die statistische Analyse der Ergebnisse die nachfolgenden Vergleichsszenarien iterativ entwickelt:

- Szenario 1: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse aller sieben Jahreszeitenmessungen. Dieses Szenario umfasst die Messungen H15, W16, F16, S16, H16, N16 und W17.
- Szenario 2: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse der Messungen auf trockener Fahrbahn. Dieses Szenario umfasst die Messungen H15, F16, S16 und H16.
- Szenario 3: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf abtrocknender Fahrbahn. Dieses Szenario umfasst die Messungen W16 und W17.
- Szenario 4: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn bei unterschiedlichen Fahrbahnoberflächentemperaturen. Dieses Szenario umfasst die Messungen W16 und S16.

- Szenario 5: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn zur Untersuchung der Tagesganglinie im Frühjahr. Dieses Szenario umfasst die Messung TGL1.
- Szenario 6: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn zur Untersuchung der Tagesganglinie im Sommer. Dieses Szenario umfasst die Messung TGL2.

Damit die Auswertergebnisse untereinander vergleichbar sind, mussten für jedes Vergleichsszenario gemeinsame vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte ermittelt werden. Die Ermittlung dieser 100-m-Auswerteabschnitte erfolgte nach dem Ausschlussprinzip aus der Grundgesamtheit aller 100-m-Auswerteabschnitte der Messkampagnen unter Anwendung verschiedener Auswahlbedingungen. Die verbliebenen gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte bilden die Schnittmenge aller 100-m-Auswerteabschnitte, welche die Auswahlbedingungen des Vergleichsszenarios erfüllen. Eine Auswahlbedingung war z. B., dass keine Reparaturstelle (REP) vorlag. Wurde eine Reparaturstelle für einen 100-m-Auswerteabschnitt einer Messkampagne festgestellt, wurde dieser im Vergleichsszenario aus allen Messkampagnen entfernt und damit nicht berücksichtigt. Nach demselben Prinzip wurden 100-m-Auswerteabschnitte eliminiert, welche verfüllte Risse (RIS\_S\_U und LQRL\_U) oder keine Angabe zur Bauweise (BAUW) enthielten. Über das Ausschlussprinzip konnte auch der Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche (trocken, abtrocknend, nass) in der Analyse be-

rücksichtigt werden. Für die Auswertungen wurden die Versuchsstrecken 1 bis 3 (Asphaltbauweise) zusammengefasst und als eine zusammenhängende Strecke betrachtet.

Tab. 6–1 gibt eine Übersicht über die Auswahlbedingungen je Szenario. Hierbei bedeutet der Tabelleneintrag X, dass alle 100-m-Auswerteabschnitte, welche diese Auswahlbedingung erfüllen, im jeweiligen Szenario nicht berücksichtigt wurden. So ist beispielsweise zu erkennen, dass im Szenario 1 100-m-Auswerteabschnitte mit fehlender Angabe zur Bauweise und/oder vorhandenen Reparaturstellen und/oder vorhandenen verfüllten Rissen nicht berücksichtigt wurden, während dagegen sämtliche vorhandene Feuchtegrade der Fahrbahnoberfläche mit in die Untersuchung eingeflossen sind.

Mit dieser Methode wurde sichergestellt, dass jeder 100-m-Auswerteabschnitt, der in ein Vergleichsszenario einfließt, in allen Messkampagnen einen Messwert besaß und damit vergleichbar war. 100-m-Auswerteabschnitte, bei denen mindestens eine Bedingung zum Ausschluss führte, wurden als ausgeschlossen markiert. Durch diese Methodik wurde die Grundgesamtheit der zur Auswertung verfügbaren Daten auf Basis der 100-m-Auswerteabschnitte zum Teil erheblich reduziert.

Zur Ermittlung des Einflusses der Fahrbahnoberflächentemperatur und des -feuchtegrades auf die Sichtbarkeit von Rissen in Asphalt- und Betonstraßen wurden die Zustandsgrößen RISS und LQRP als Vergleichsgrößen herangezogen. Im Gegensatz zu den Auswerteregeln der ZTV ZEB-StB [1] wur-

Auswahlbedingung	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5	Szenario 6
Bauweise nicht angegeben	X	X	X	X	X	X
Reparaturstelle vorhanden	X	X	X	X	X	X
Verfüllte Risse vorhanden	X	X	X	X	X	X
Nasse Fahrbahnoberfläche		X	X	X	X	X
Abtrocknende Fahrbahnoberfläche		X		X	X	X
Trockene Fahrbahnoberfläche			X			

Tab. 6–1: Auswahlbedingungen je Szenario (X bedeutet, dass alle 100-m-Auswerteabschnitte, welche die Auswahlbedingung erfüllen, im jeweiligen Szenario nicht berücksichtigt wurden)

den die betroffenen Flächenanteile nicht für jeden 100-m-Auswerteabschnitt sondern für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise berechnet. Es wurden alle geschädigten Rasterfelder/Platten aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise summiert und durch die Anzahl aller zugehörigen Rasterfelder/Platten geteilt. Die daraus resultierenden Verhältniszahlen ZGRISS und ZGLQRP stellen die geschädigte Fläche in Prozent je Messkampagne zu den verschiedenen Vergleichsszenarien dar.

Darüber hinaus wurden, die in Kapitel 5.5.2 beschriebenen, Risslängen aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte für Fahrbahnen in Asphaltbauweise in Metern summiert und die Gesamtlänge je Messkampagne innerhalb der verschiedenen Vergleichsszenarien dargestellt. Anhand des Vergleiches mit der ZGRISS kann untersucht werden, ob es qualitative Unterschiede bei der Auswertung mit Hilfe von Risslängen bzw. betroffenen Rasterfeldern gibt.

Für die Betonbauweise wurde zusätzlich zu der Auswertung auf Grundlage der 100-m-Auswerteabschnitte eine Auswertung bezogen auf einzelne Betonplatten durchgeführt. Analog zu dem Ausschlussprinzip bei den 100-m-Auswerteabschnitten wurde auch hier nach gemeinsamen vergleichbaren Betonplatten je Vergleichsszenario gefiltert. Unabhängig von der Auswertung auf Grundlage der 100-m-Auswerteabschnitte wurde die Anzahl aller schadhafte Platten durch die Anzahl der im Szenario insgesamt untersuchten Platten geteilt. Auswertbare Betonplatten waren dabei alle diejenigen, die nicht aufgrund der oben näher bezeichneten Auswahlbedingungen aus den Auswertungen herausgefallen sind. Da bei der Auswertung auf Grundlage der 100-m-Auswerteabschnitte die Grundgesamtheit der auswertbaren Platten teilweise stark dezimiert wurde, war die zusätzliche Auswertung (einzelne Betonplatte) mit dem Vorteil einer Vergrößerung der Grundgesamtheit verbunden, da ein 100-m-Auswerteabschnitt in der Regel aus 20 Platten á 5 m besteht. Ist also in einem 100-m-Auswerteabschnitt z. B. eine Platte als nicht auswertbar identifiziert worden, fiel dieser 100-m-Auswerteabschnitt bei der Auswertung nach 100-m-Auswerteabschnitten mit 20 Platten heraus, während bei der Auswertung nach betroffenen Platten noch 19 Platten des 100-m-Auswerteabschnitts mit in die Auswertung einbezogen werden konnten.

Als Ergebnis der Auswertung wurden für die verschiedenen Vergleichsszenarien die mittlere Gesamtlänge von Längs- und Querrissen der im Szenario untersuchten Betonplatten (Summe der Gesamtrisslänge geteilt durch Anzahl der von Rissen betroffenen Platten der Versuchsstrecke) sowie der Anteil betroffener Platten (Summe der betroffenen Platten geteilt durch Gesamtzahl der Platten der Versuchsstrecke) in Diagrammen dargestellt.

Neben den Zustandsgrößen ZGRISS und ZGLQRP wurden auch die zu jedem 100-m-Auswerteabschnitt berechneten Zustandswerte ZWRISS und ZWLQRP ausgewertet. Zu jeder Messkampagne innerhalb des jeweiligen Vergleichsszenarios wurde ein Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP berechnet. Diese Mittelwerte ergeben sich aus den gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitten je Bauweise.

Aus den einzelnen Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte wurden abschließend ausgewählte Wanderungsdiagramme verschiedener Messkampagnen zu den Vergleichsszenarien erstellt. Die Wanderungsdiagramme sind eine Art der Visualisierung der Zustandsentwicklung (Änderung der Anteile in den fünf Zustandsbereichen). Das Wanderungsdiagramm (vgl. Bild 6–1) stellt die prozentuale Verteilung der Zustandswerte in den Zustandsbereichen für zwei Messkampagnen dar. Die Breite der Verbindungslinien repräsentiert dabei den Anteil, der zwischen den jeweiligen Zustandsbereichen wechselt [38].

Damit ein solcher Vergleich möglich wurde, mussten die einzelnen 100-m-Auswerteabschnitte räumlich

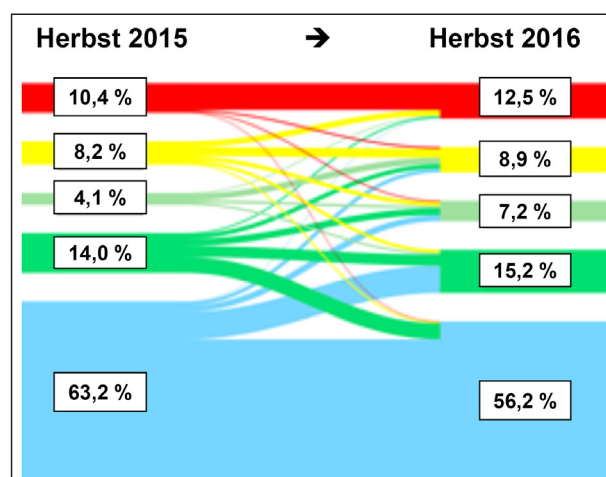


Bild 6–1: Beispiel zur Darstellung der Klassenwanderung [38]

(Abschnitt, Station, Lage) miteinander verschnitten werden. Es ist anzumerken, dass es infolge des Verschneidungsprozesses zu Ungenauigkeiten kommen kann, da die einzelnen Rasterfelder einer Kampagne nicht zwingend mit den Rasterfeldern der anderen Kampagnen räumlich übereinstimmen müssen. Daraus ergibt sich, dass die einem Rasterfeld zugehörige Schädigung (Riss) im Endeffekt eine Fehlerquelle für den Zustandswert des jeweiligen gesamten 100-m-Auswerteabschnitts darstellen kann. Infolge dessen ist ein bestimmter Prozentanteil der Klassenwanderung unvermeidbar auf diese Fehlerquelle zurückzuführen.

Zusammenfassend wurden zu jedem Vergleichsszenario folgende Analysen durchgeführt und grafisch dargestellt:

- Übersicht des Datenbestandes und Anzahl der gemeinsamen vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise
- Angaben zum Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche (falls mehrere Feuchtegrade relevant sind)
- ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise)
- Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise)

- Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise)
- Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise)
- Wanderungsdiagramme ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise)

Die Inhalte der Auswertungen sind in den nachfolgenden Kapiteln dokumentiert.

## 6.1 Szenario 1: Gesamtübersicht

Im ersten Vergleichsszenario wurden alle sieben Messkampagnen und alle Feuchtegrade der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt. Damit bildet dieses Szenario das breiteste Spektrum von Messbedingungen hinsichtlich möglicher Temperatur- und Feuchtebedingungen ab. Als Grundgesamtheit wurden 1.142 100-m-Auswerteabschnitte erfasst. Zur Ermittlung der vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte wurden folgende Auswahlbedingungen festgelegt: Die Bauweise muss bekannt sein und es dürfen keine Reparaturstellen und verfüllte Risse vorhanden sein. Diese Auswahlbedingungen erfüllten 722 von 1.142 100-m-Auswerteabschnitten und damit 63 %. Für die Versuchsstrecken in Asphalt-

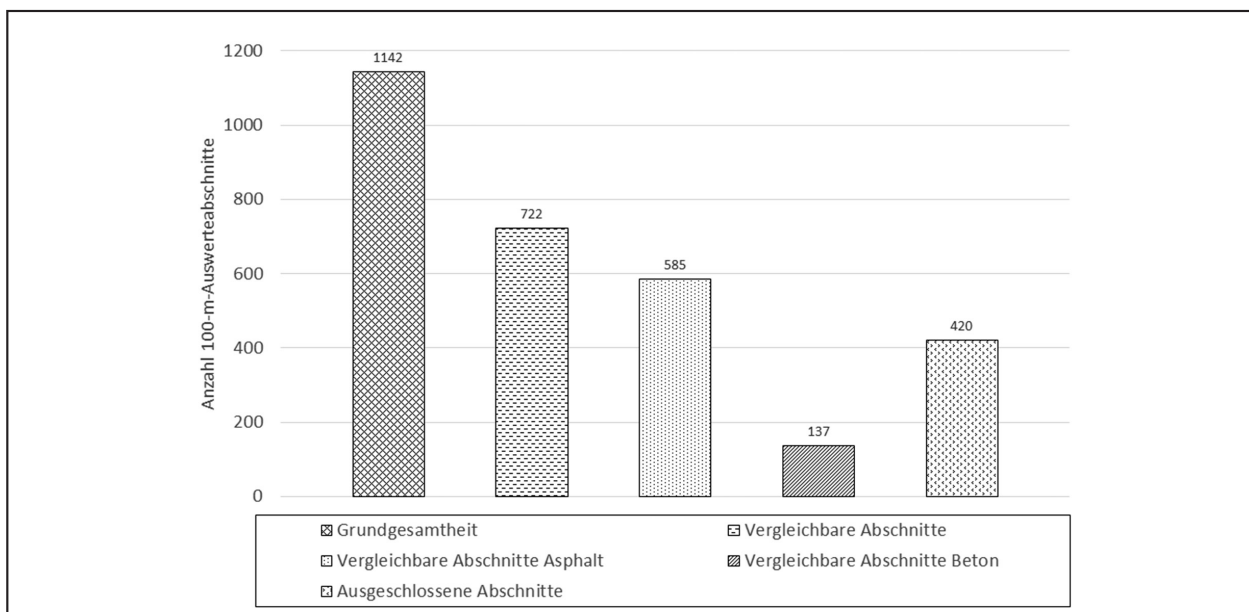


Bild 6–2: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 1

bauweise standen 585 und für die Versuchsstrecke in Betonbauweise 137 100-m-Auswerteabschnitte zur Verfügung (siehe Bild 6–2). Es ist anzumerken, dass die geplanten sehr niedrigen Fahrbahnoberflächentemperaturen während den Messkampagnen im Winter nicht erreicht wurden.

Für die statistische Analyse wurden die ZGRIS und ZGLQRP für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise berechnet. Zu den jeweiligen Messkampagnen sind in Bild 6–3 die betroffenen Flächenanteile in Prozent sowie die durchschnittlichen Fahrbahnoberflächentemperaturen  $T_{FOF, Asphalt}$  und  $T_{FOF, Beton}$  dargestellt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass in der Messkampagne W16 signifikant mehr Risse auf den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise erkannt wurden als im Vergleich zur Messkampagne H15. In der Messkampagne W17 wurden mit 8,2 % auf den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise ebenfalls deutlich mehr Risse erkannt als in allen anderen Jahreszeitenmessungen, die nicht im Winter stattgefunden haben. Derartig beträchtliche Unterschiede sind für die Versuchsstrecke in Betonbauweise, mit Ausnahme der Messkampagne F16, nicht festzustellen.

Diese anfängliche Analyse legt die Vermutung nahe, dass die tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen im Winter und die 100-m-Auswerteabschnitte mit abtrocknender Fahrbahnoberfläche ursächlich

für die höheren betroffenen Flächenanteile sind. Es ist allerdings ebenfalls zu erkennen, dass bei der Messkampagne W16, die im Gegensatz zur Messkampagne W17 höhere Fahrbahnoberflächentemperaturen und einen niedrigeren Anteil an abtrocknenden 100-m-Auswerteabschnitten (siehe Bild 6–4) aufwies, mehr Risse erkannt wurden. Eine Differenzierung der Einflüsse aus Fahrbahnoberflächentemperatur und –feuchte ist somit nicht ableitbar. In den folgenden Vergleichsszenarien wird versucht, die Einflüsse aus Fahrbahnoberflächentemperatur und –feuchte voneinander zu trennen.

Betrachtet man in diesem Szenario die Messkampagnen, die nicht im Winter stattgefunden haben (H15, F16, S16, H16, N16), ergibt sich, trotz erheblicher Unterschiede bei den Fahrbahnoberflächentemperaturen und gleichen Oberflächenfeuchtegraden (eine Ausnahme bildet die Messkampagne N16), eine Spannweite der ZGRIS von 1,1 % bei den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise und der ZGLQRP von 2,4 % bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise. Auffällig ist hierbei das Ergebnis der Messkampagne F16 auf der Versuchsstrecke in Betonbauweise mit einer ZGLQRP von 0,4 %, das hier für die mehr als doppelt so große Spannweite im Vergleich zu den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise verantwortlich ist. Des Weiteren zeigt Bild 6–3, dass die betroffenen Flächenanteile für die Versuchsstrecken in Betonbauweise der Messkampagnen im Winter nur ungefähr halb so groß sind wie die der Messkampagnen H15, S16 und H16.

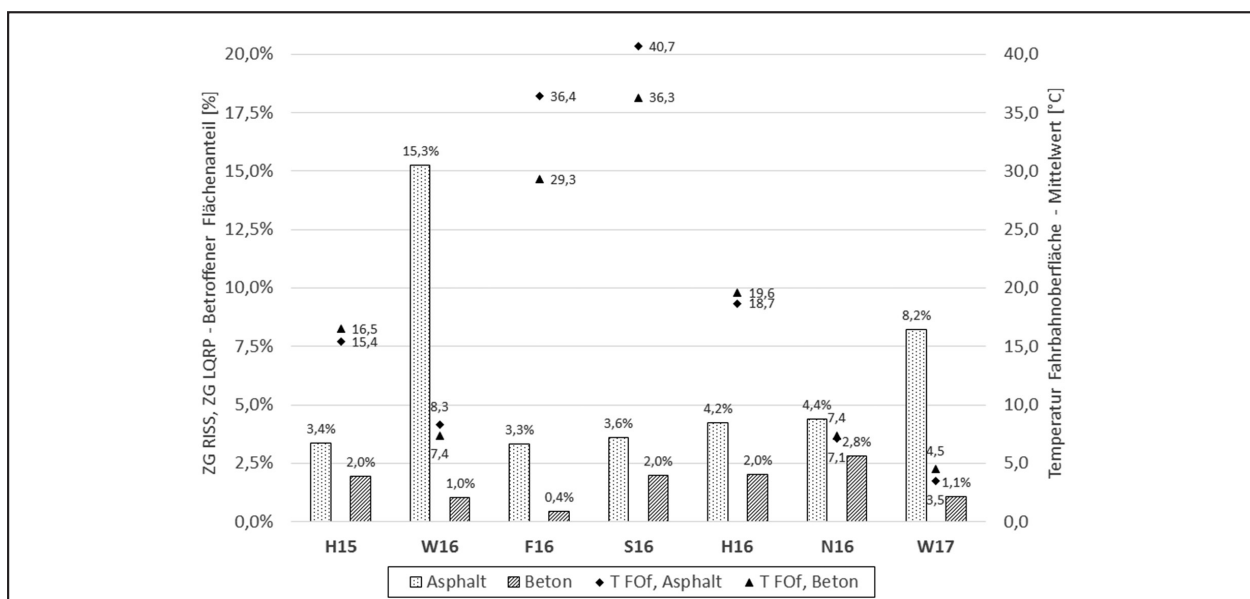


Bild 6–3: ZGRIS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1

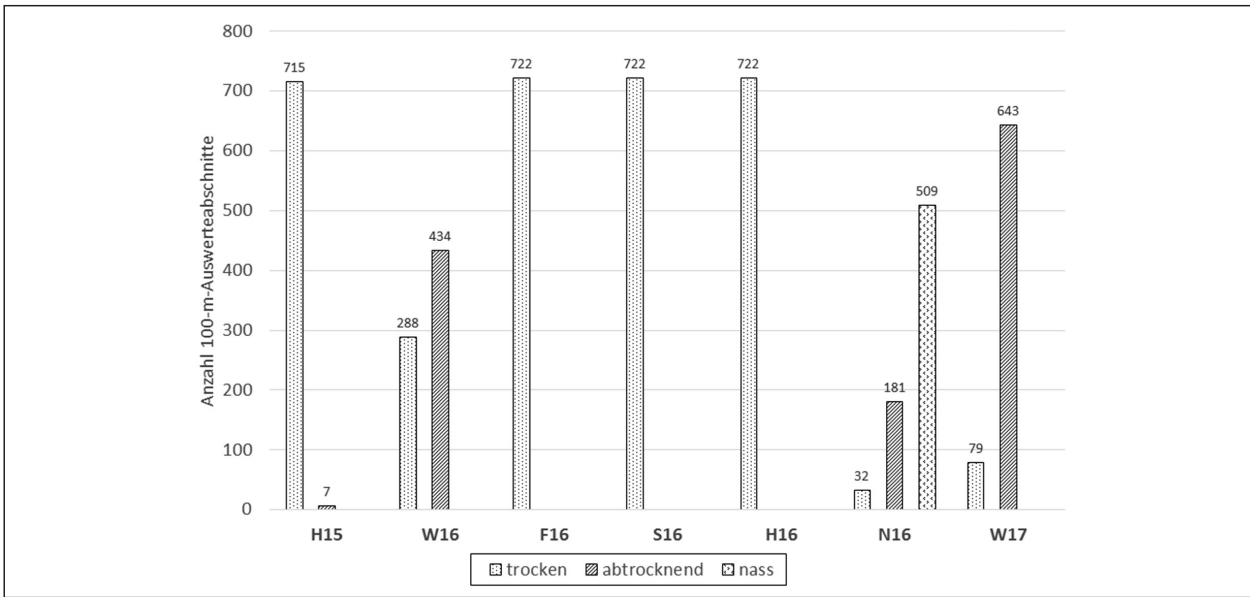


Bild 6-4: Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche in Szenario 1

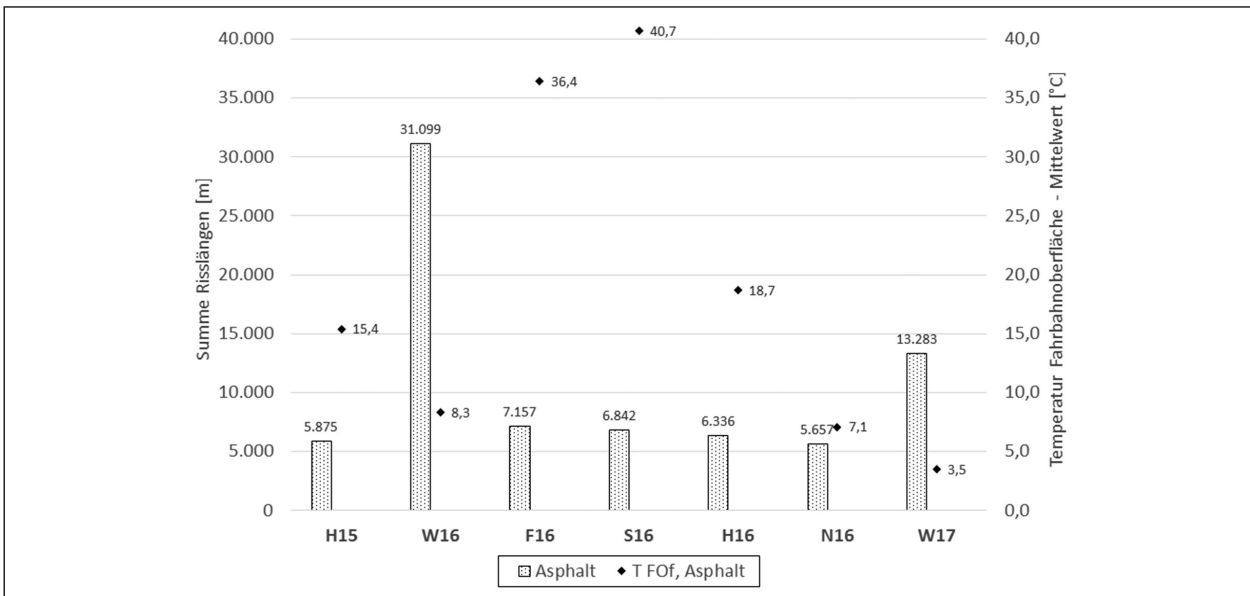


Bild 6-5: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1

Die Summe der Risslängen (Bild 6-5), berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise, ähnelt qualitativ dem prozentualen Anteil der ZGRISSE. Die Messkampagnen W16 und W17 stechen auch hier mit den größten Summen der Risslängen heraus, während die Summen der Risslängen der anderen Messkampagnen auf einem niedrigen Niveau bleiben.

Die Auswertung der Längs- und Querrisse in Betonplatten, in Bild 6-6, basiert auf einer Grundgesamtheit von 4.314 Platten. Der Anteil der von Rissen

betroffenen Platten schwankt dabei von 0,6 % bei der Messkampagne F16 bis 2,4 % bei der Messkampagne H15. Der geringe Anteil bei der Frühjahrmessung ist auch schon bei der Auswertung der ZGLQRP für die Summe aller vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecke in Betonbauweise aufgefallen. Interessant ist, dass die mittlere Gesamtlänge von Längs- und Querrissen nahezu konstant zwischen 1,1 m (W16) und 1,4 m (W17) bleibt.

Die Mittelwerte der Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte ei-

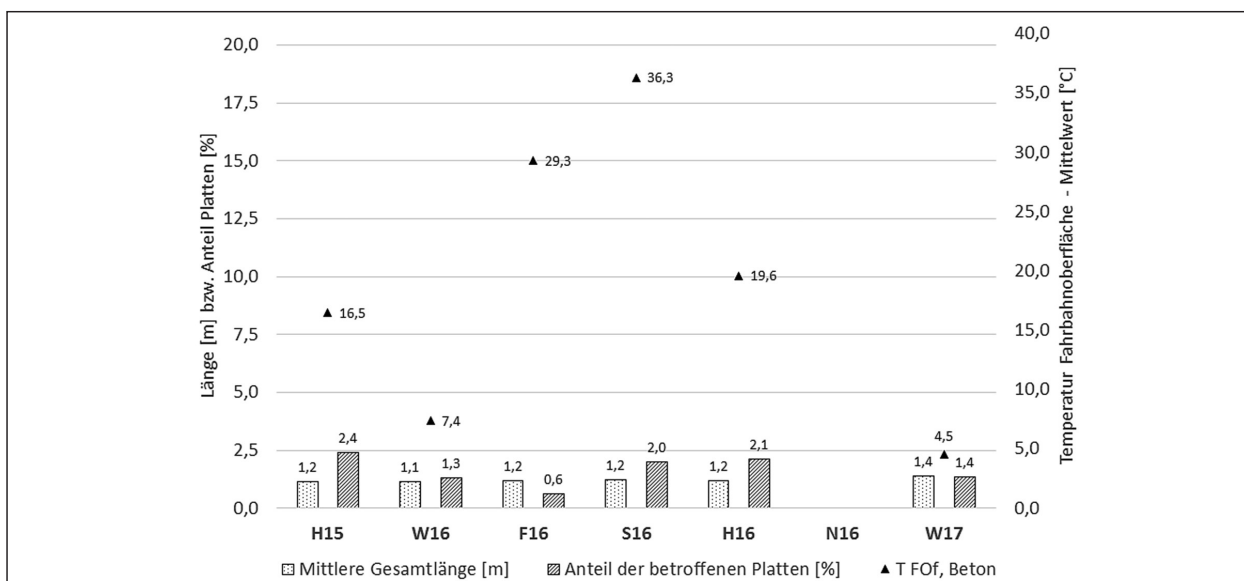


Bild 6-6: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1

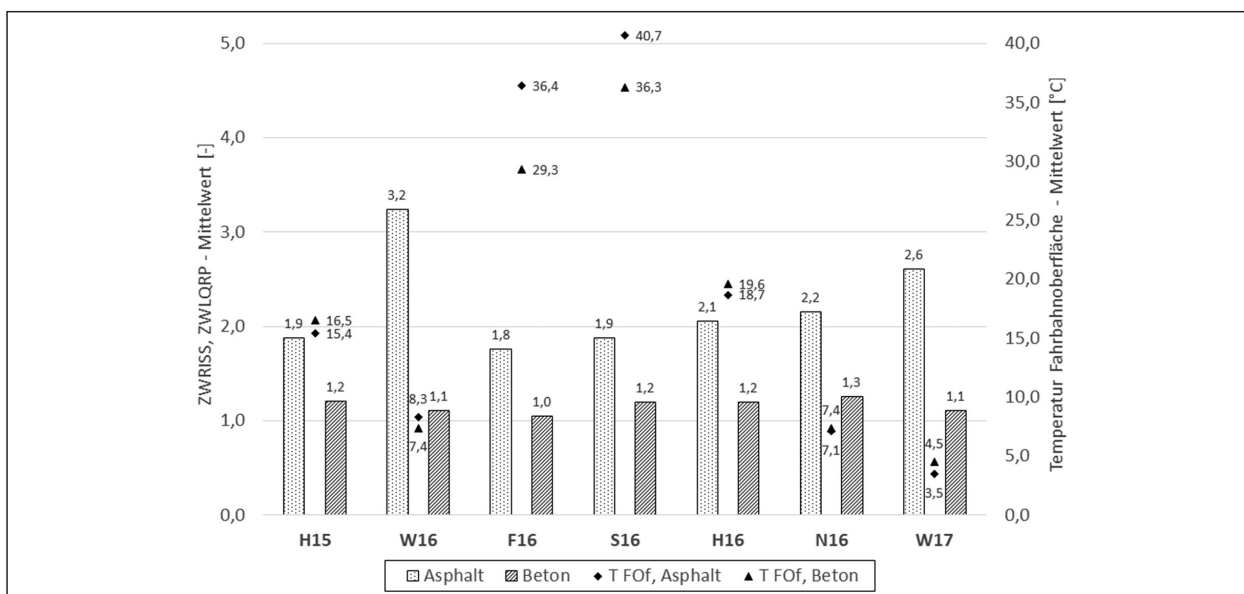


Bild 6-7: Mittelwert ZWRIS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1

ner Bauweise der einzelnen Messkampagnen sind in Bild 6-7 dargestellt. Der Mittelwert ZWRIS liegt hier zwischen 1,8 (F16) und 3,2 (W16) und ZWLQRP zwischen 1,0 (F16) und 1,3 (N16). Die Mittelwerte ZWRIS und ZWLQRP werden nicht weiter verfolgt, da sie im Gegensatz zu den nachfolgenden Auswertungen keine differenzierten Erkenntnisse liefern.

In Bild 6-8 sind ausgewählte Wanderungsdiagramme dargestellt, welche sich auf die Zustandswerte der einzelnen 100-m-Auswertabschnitte beziehen. Für die Darstellung wurde die Wanderung

von H15 zu H16 (Vergleich der Wiederholungsmessung), von W16 zu S16 (größte Differenz der Fahrbahnoberflächentemperatur) sowie von F16 zu H16 (durchgehend trockene Fahrbahn; größte Differenz der ZGRIS und ZGLQRP berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte einer Bauweise) ausgewählt. Die Wanderungsdiagramme bestätigen die vorherigen Erkenntnisse. Die Kampagne W16, die weitestgehend auf abtrocknender Fahrbahnoberfläche durchgeführt wurde, stellt den größten Anteil der 100-m-Auswertabschnitte in schlechtem Zustand (Zustandswert größer 4,5) dar. In allen nachfolgenden



den Kampagnen ist der Anteil der 100-m-Auswerteabschnitte im schlechten Zustand geringer.

Wie auf dem Wanderungsdiagramm W16 nach S16 für die Versuchsstrecken in Asphaltbauweise zu se-

hen ist, gehen die 100-m-Auswerteabschnitte fast überwiegend vom schlechten Zustand in einen besseren über. Auf dem Bild 6–9 ist exemplarisch ein Bereich mit dem Wechsel des Zustandswertes von 5,0 (Kampagne W16) zu 1,0 (Kampagne S16) dar-

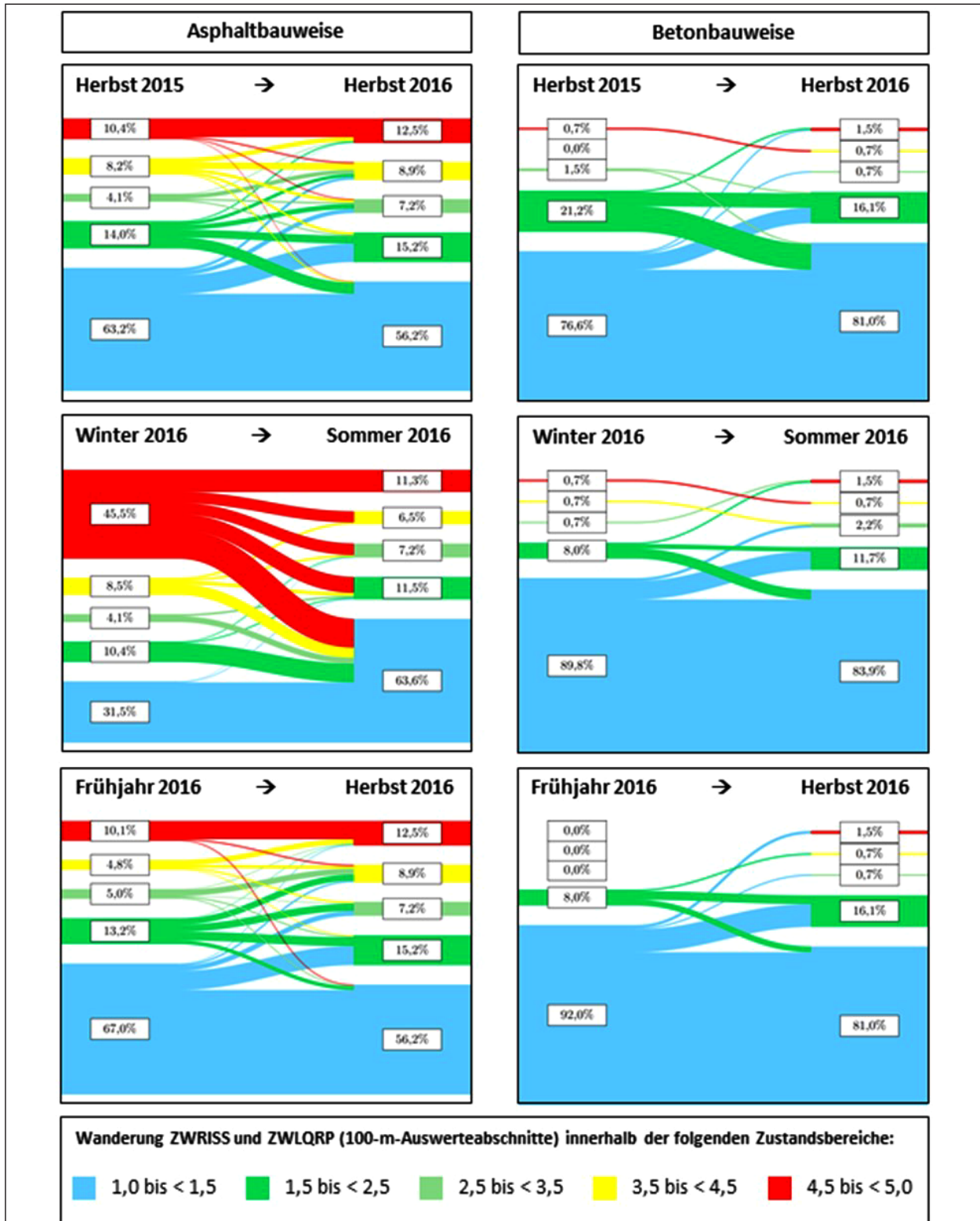


Bild 6–8: Wanderung ZWRIS und ZWLQR (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 1

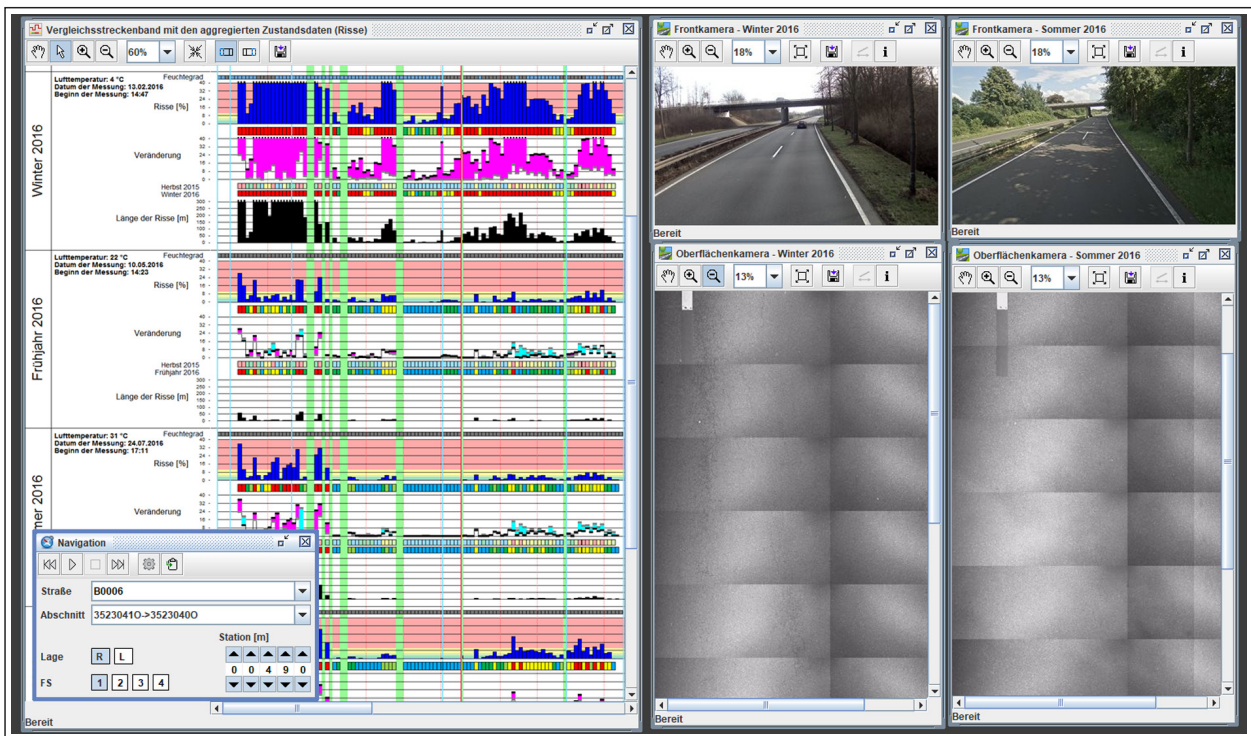


Bild 6–9: Beispiel eines Bereiches mit dem Wechsel des Zustandswertes 5,0 (Kampagne W16) auf 1,0 (Kampagne S16) (Versuchsstrecke in Asphaltbauweise)

gestellt. Die Aufnahmen der Kampagne W16 wurden bei abtrocknender Fahrbahnoberfläche gemacht. Der Einfluss der niedrigeren Fahrbahnoberflächentemperaturen kann in diesem Vergleichsszenario nicht differenziert betrachtet und quantifiziert werden. In der Abbildung ist jedoch zu erkennen, dass hier insbesondere die Restfeuchte dafür sorgt, dass die feinen Netzrisse sehr gut sichtbar sind. In der Kampagne S16 war die Fahrbahnoberfläche durchgehend trocken und die feinen Netzrisse waren nicht mehr sichtbar.

Die Wanderungsdiagramme der weiteren ausgewählten Messkampagnen der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise zeigen nur geringe Wanderungen der Zustandswerte zwischen den Zustandsbereichen. Sowohl von H15 nach H16 als auch von F16 nach H16 ist jedoch eine deutliche Abnahme von 100-m-Auswerteabschnitten mit Zustandswerten besser als 1,5 festzustellen.

An den Wanderungsdiagrammen der Versuchsstrecke in Betonbauweise ist insbesondere die Zustandsverschlechterung von W16 nach S16 gut abgebildet. Diese Entwicklung ist so nicht erwartet worden. Weiterhin ist von H15 nach H16 die Verbesserung von 100-m-Auswerteabschnitten mit einem Zustandswert zwischen 1,5 und 2,5 und eine Verschlechterung von 100-m-Auswerteabschnitten mit

einem Zustandswert besser als 1,5 in gleicher Höhe auffällig.

## 6.2 Szenario 2: Trockene Fahrbahn

Wie die Analyse des ersten Szenarios gezeigt hat, haben Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchtegrad einen Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen. Als nächstes waren diese Einflüsse daher getrennt voneinander zu untersuchen. Zur Ermittlung des Einflusses der Fahrbahnoberflächentemperatur auf die Sichtbarkeit von Rissen bei Asphalt- und Betonbauweisen wurde eine Analyse aller trockenen 100-m-Auswerteabschnitte durchgeführt. Da bei der Messkampagne N16 keine trockenen 100-m-Auswerteabschnitte vorlagen, wurde die Messkampagne N16 bei diesem Szenario nicht berücksichtigt. Die Messkampagne W17 blieb ebenfalls aufgrund der geringen Anzahl trockener 100-m-Auswerteabschnitte unberücksichtigt (siehe Bild 6–4).

Mit den verbleibenden fünf Messkampagnen stehen 342 von 1142 (30 %) vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte zur Verfügung. Auch bei diesem Vergleich ist deutlich zu erkennen, dass bei der Messkampagne W16 sehr viel mehr Risse erkannt wurden als in den anderen Messkampagnen (siehe Bild 6–10).

Zur Erhöhung der vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte wurde die Messkampagne W16, die viele nicht trockene Abschnitte enthält, in der nächsten Analyse nicht berücksichtigt. Der Vergleich beinhaltet somit alle trockenen 100-m-Auswertabschnitte der Messkampagnen H15, F16, S16 und H16, daraus ergeben sich 785 von 1142 (69%) gemeinsame vergleichbare 100-m-Auswertabschnitte in allen vier Messkampagnen (siehe Bild 6–11).

In diesem Vergleichsszenario liegen die Fahrbahnoberflächentemperaturspannen der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise bei 25,2 K und der

Versuchsstrecke in Betonbauweise bei 20,5 K. Die Spannweiten der betroffenen prozentualen Flächenanteile betragen für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise 0,9 % und der Versuchsstrecke in Betonbauweise 2,1 %. Ursächlich für die relativ große Spannweite des betroffenen prozentualen Flächenanteils bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise ist die Messkampagne F16, die mit einem Messwert von 0,7 % im Gegensatz zu den anderen drei Messkampagnen (2,8 %; 2,2 %; 2,3 %) einen sehr geringen Wert aufweist (siehe Bild 6–12).

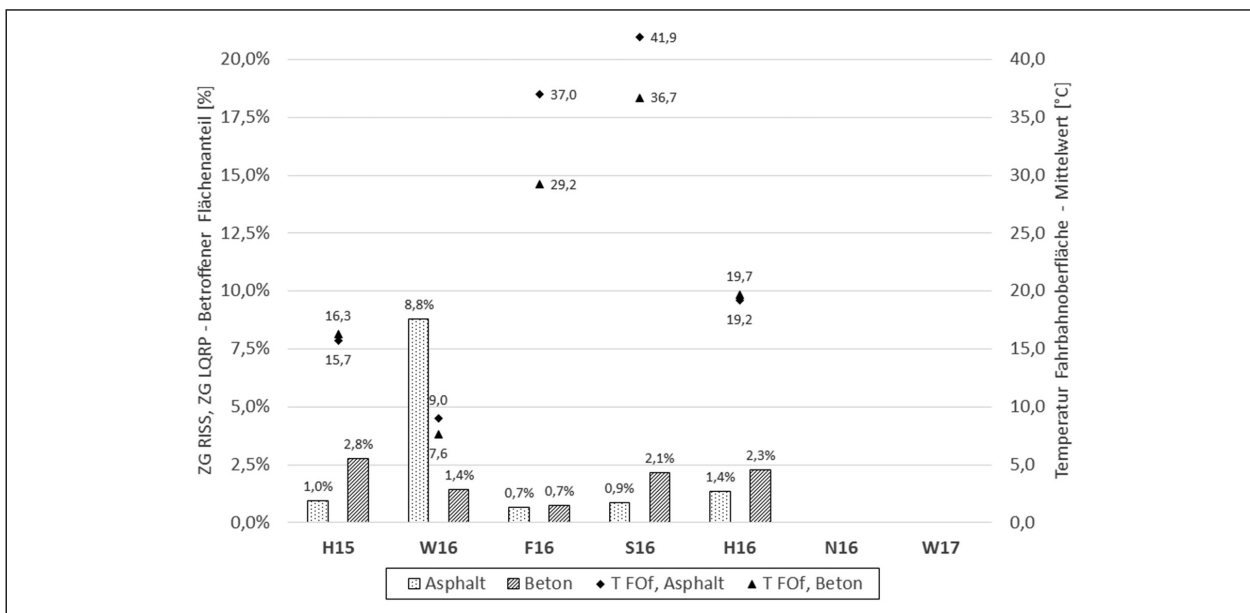


Bild 6–10: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen der Messkampagnen H15, W16, F16, S16 und H16

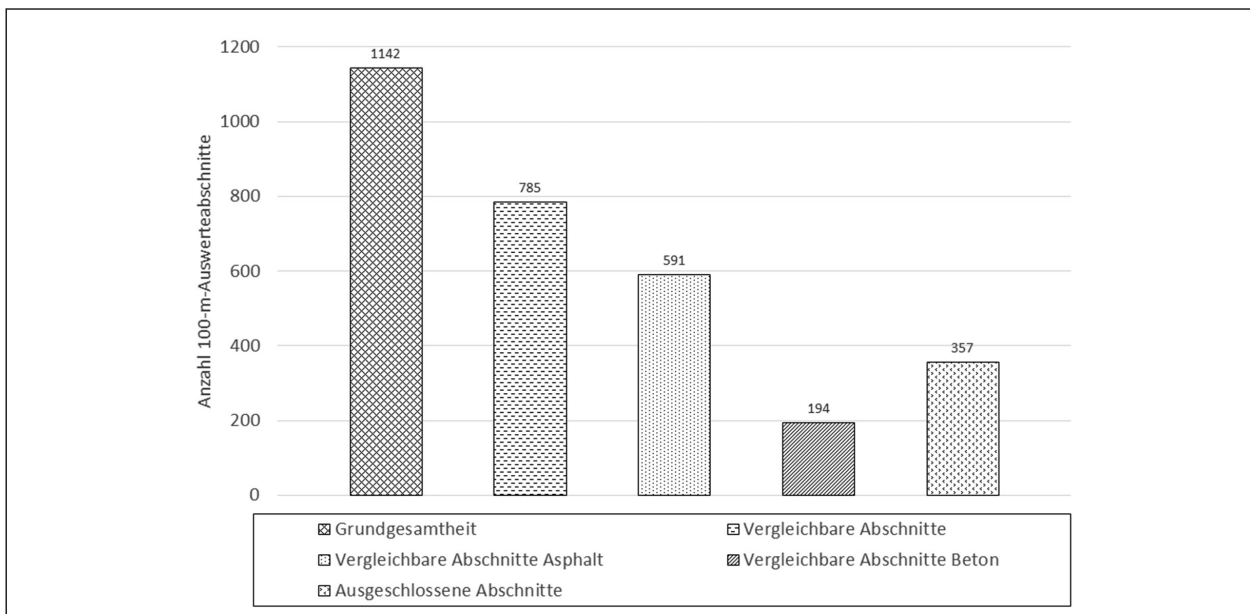


Bild 6–11: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 2

Vergleicht man in diesem Szenario die Messkampagne S16 mit den beiden Herbstmessungen H15 und H16, ist zu erkennen, dass die ZGRISSE der Messkampagne S16 mit 3,5 % zwischen den ZGRISSE der Messkampagnen H15 und H16 (3,2 % und 4,0 %) liegt. Die Spannweite ZWLQRP der Messkampagnen H15, S16 und H16 liegt bei 0,6 %, wobei die Messkampagne S16 den geringsten ZWLQRP (2,2 %) der drei Messkampagnen aufweist. Diese Auswertung legt den Schluss nahe, dass mittlere (>15,0 °C) und hohe (>35 °C) Fahrbahnoberflächentemperaturen keinen direkten Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen haben.

Die Auswertung der Risslängen aller gemeinsamer vergleichbarer 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise (Bild 6–13) liefert qualitativ ähnliche Werte wie die Auswertung der ZGRISSE. Während aller Messkampagnen ist die Summe der Risslängen auf einem konstanten Niveau.

Die Untersuchung der Längs- und Querrisse der Versuchsstrecke in Betonbauweise (Bild 6–14) basiert auf 5630 Betonplatten. Die mittlere Gesamtlänge der Risse bleibt während allen vier Messkampagnen unverändert bei 1,2 m, während der Anteil

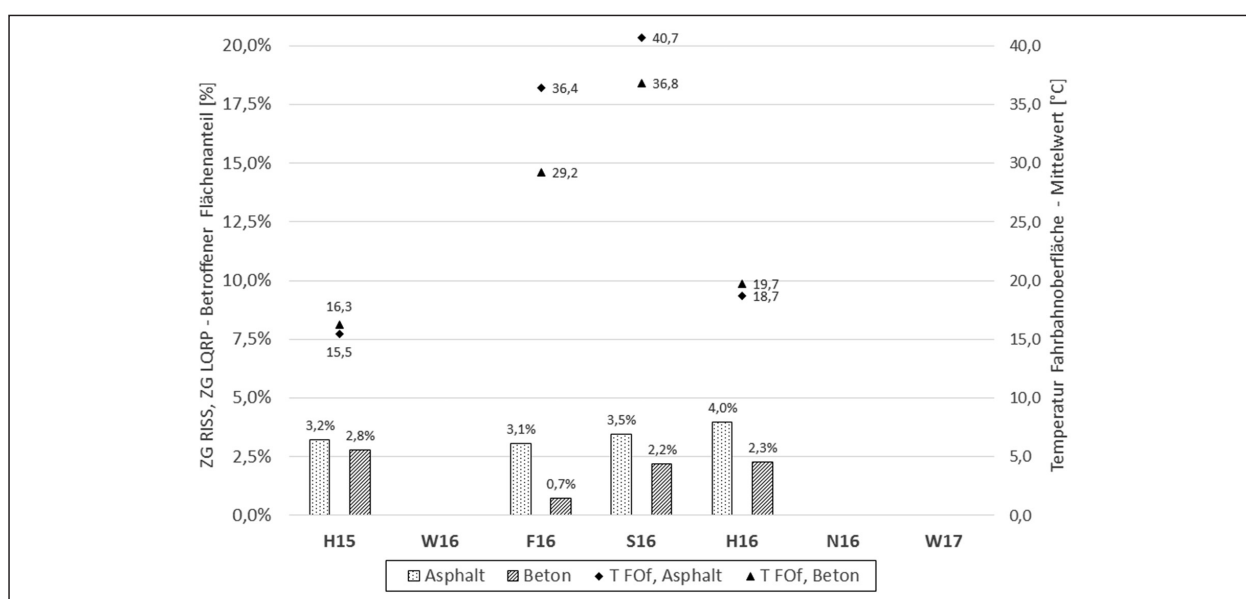


Bild 6–12: ZGRISSE und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2

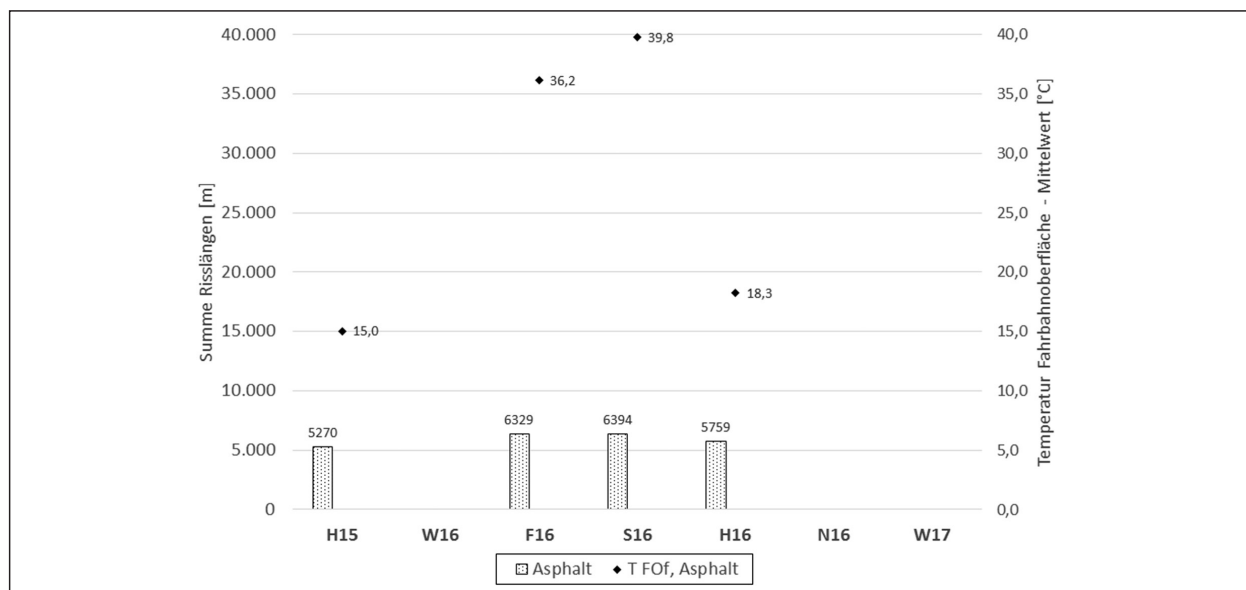


Bild 6–13: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2

betroffener Platten zwischen 0,8 % (F16) und 2,9 % (H15) variiert. Somit ist auch bei der Betrachtung der gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise kein direkter Einfluss von mittleren (>15,0 °C) und hohen (>35 °C) Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkennbarkeit von Rissen erkennbar.

Die Mittelwerte der Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise der einzelnen Messkampagnen sind in Bild 6–15 dargestellt. Sowohl die Mittelwerte

ZWRISS als auch die Mittelwerte ZWLQRP liegen während allen Messkampagnen auf einem nahezu konstanten Niveau und deuten nicht auf einen direkten Einfluss von mittleren (>15,0 °C) und hohen (>35 °C) Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkennbarkeit von Rissen.

Bild 6–16 stellt die ausgewählten Wanderungsdiagramme für das Szenario 2 dar, welche sich auf die Zustandswerte der einzelnen 100-m-Auswerteabschnitte beziehen. Für die Darstellung wurde die Messkampagne H16 als Ziel für alle Wanderungen

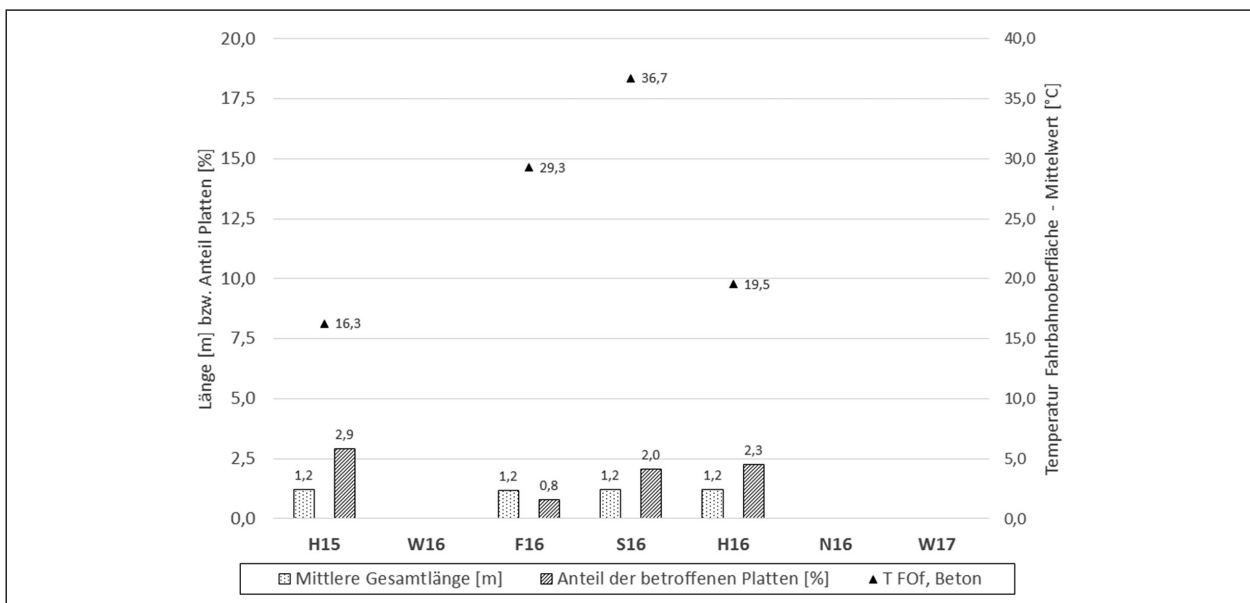


Bild 6–14: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2

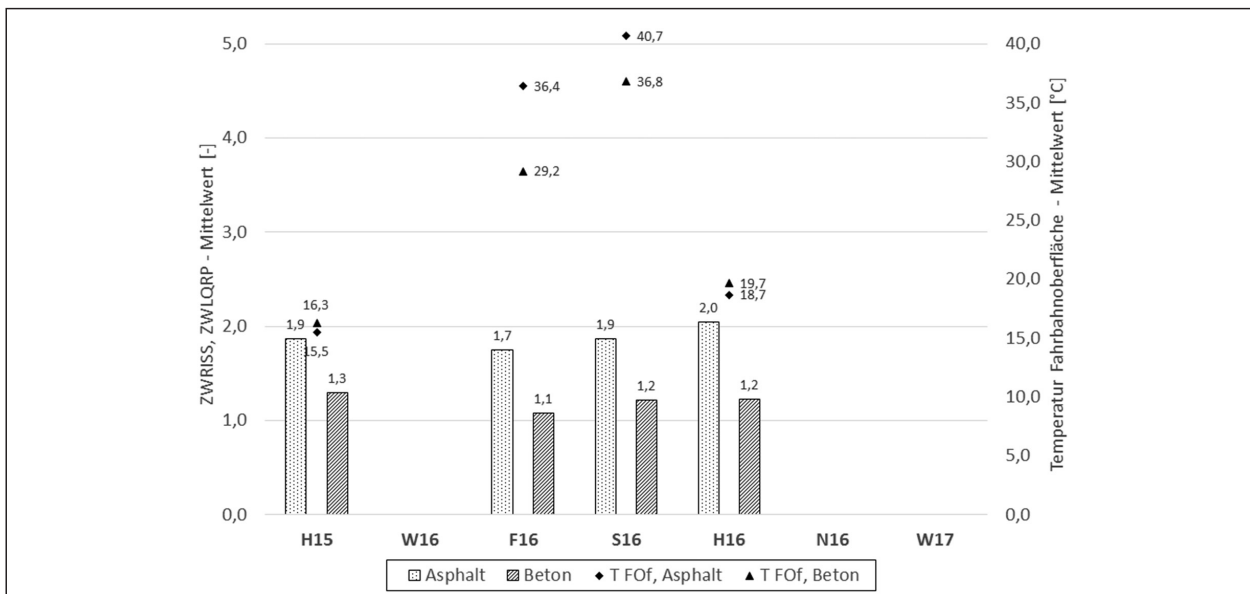


Bild 6–15: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2

festgelegt und die Messkampagnen H15, F16 und S16 dieser zugeordnet. Für die Versuchsstrecken in Asphaltbauweise kann festgestellt werden, dass von H15, S16 und F16 nach H16 jeweils Verschlech-

terungen der Zustandswerte stattgefunden haben. Die größten Änderungen finden bei den 100-m-Auswerteabschnitten mit einem Zustandswert besser als 1,5 statt.

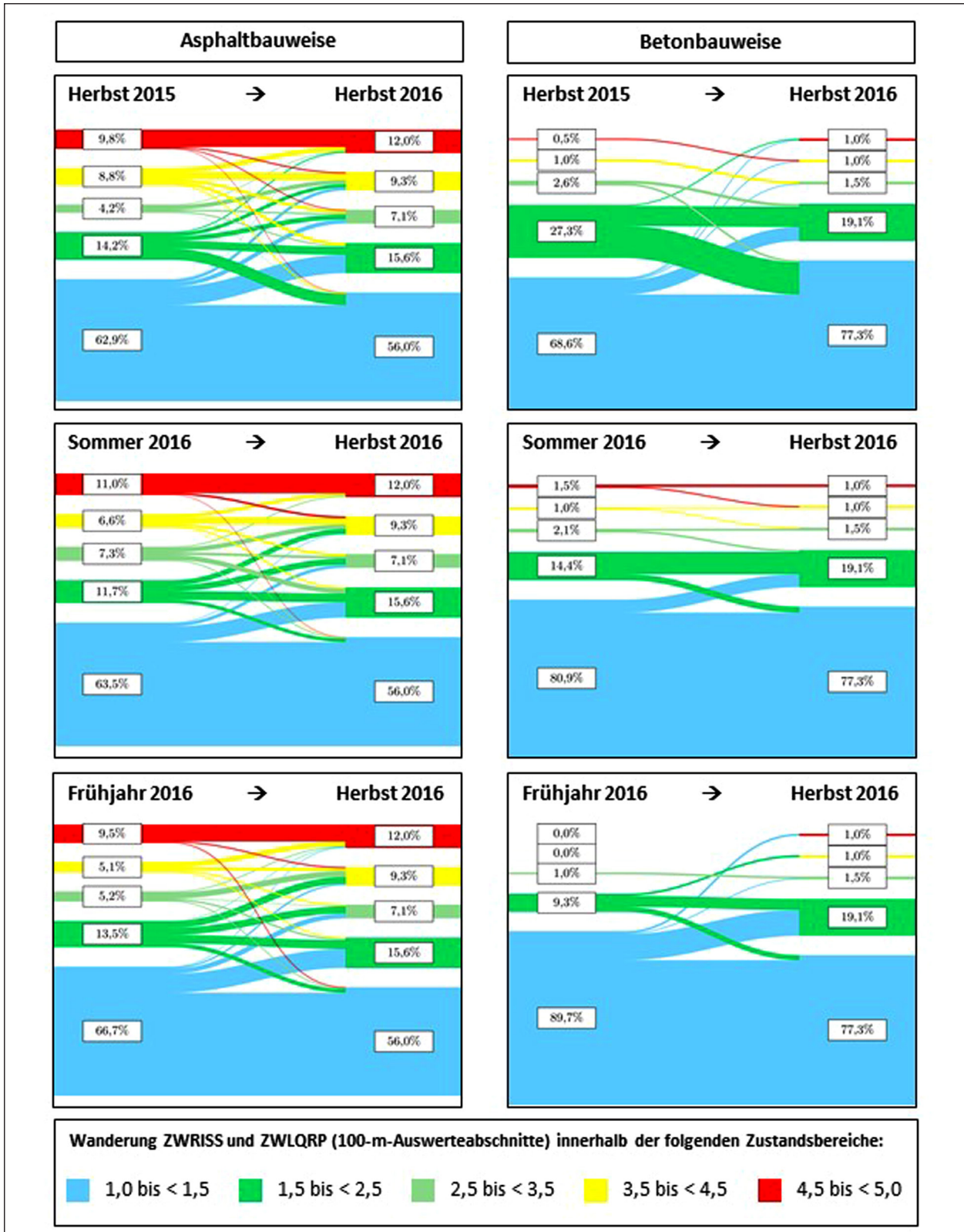


Bild 6–16: Wanderung ZWRIS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 2

Für die Versuchsstrecke in Betonbauweise sind die Wanderungen zwischen den Zustandsbereichen fast ausschließlich für die Bereiche besser als 1,5 und zwischen 1,5 und 2,5 begrenzt. Beim Vergleich der Kampagnen H15 und H16 kann festgestellt werden, dass 16,5% der 100-m-Auswerteabschnitte aus dem Bereich zwischen 1,5 und 2,5 in den Bereich besser als 1,5 übergegangen sind.

### 6.3 Szenario 3: Abtrocknende Fahrbahn

Im folgenden Szenario wurde untersucht, welche Auswirkungen eine abtrocknende Fahrbahnoberfläche auf die Ergebnisse der messtechnischen Zustandserfassung hat. Hierzu wurden ausschließlich 100-m-Auswerteabschnitte der Messkampagnen W16 und W17 ausgewertet, die mit abtrocknender Fahrbahnoberfläche gekennzeichnet waren.

Zunächst wurden wieder die gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte ermittelt. Mit den Ausschlussbedingungen ergaben sich 444 von 1142 (39 %) gemeinsame vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte für die Versuchsstrecken in Asphaltbauweise. Für die Versuchsstrecke in Betonbauweise lagen keine vergleichbaren Daten bei abtrocknender Fahrbahnoberfläche vor, da alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte mit trockener Fahrbahnoberfläche gekennzeichnet wurden (siehe Bild 6–17).

Bild 6–18 zeigt, dass die Tendenz aus Szenario 1 (höhere Werte ZGRISS bei Messkampagne W16

und W17) hier bestätigt und noch verstärkt wird. Durch den höheren prozentualen Flächenanteil von ZGRISS der Messkampagnen W16 und W17 im Vergleich zu Szenario 1, bei dem nicht nur abtrocknende 100-m-Auswerteabschnitte berücksichtigt wurden, ist anzunehmen, dass der Feuchtegrad einen erheblichen Einfluss auf die Sichtbarkeit von Rissen in Asphaltfahrbahnen hat (vgl. Bild 6–3).

Vergleicht man die in Bild 6–18 dargestellten Zustandsgrößen mit den Summen der Risslängen in Bild 6–19, zeigt sich, dass in beiden Fällen in der Messkampagne W16 die Werte etwa doppelt so groß sind wie in der Messkampagne W17. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die 100-m-Auswerteabschnitte zwar alle als „abtrocknend“ gekennzeichnet wurden, es jedoch unterschiedliche Ausprägungen des Feuchtegrades „abtrocknend“ geben kann, welche sich positiv bzw. negativ auf die Erkennbarkeit von Rissen ausüben können.

Die Auswirkungen der abtrocknenden Fahrbahn auf die Zustandswerte sind in Bild 6–20 dargestellt. Der Mittelwert ZWRISS ist, bezogen auf alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise, bei der Messkampagne W16 um 0,6 höher als bei der Messkampagne W17. Ähnlich wie im Szenario 1, rücken auch hier die beiden Messkampagnen im Winter bei der Betrachtung des Mittelwertes ZWRISS näher zusammen, was auf die Berechnung der Mittelwerte über alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise zurückzuführen ist. Die Betrachtung

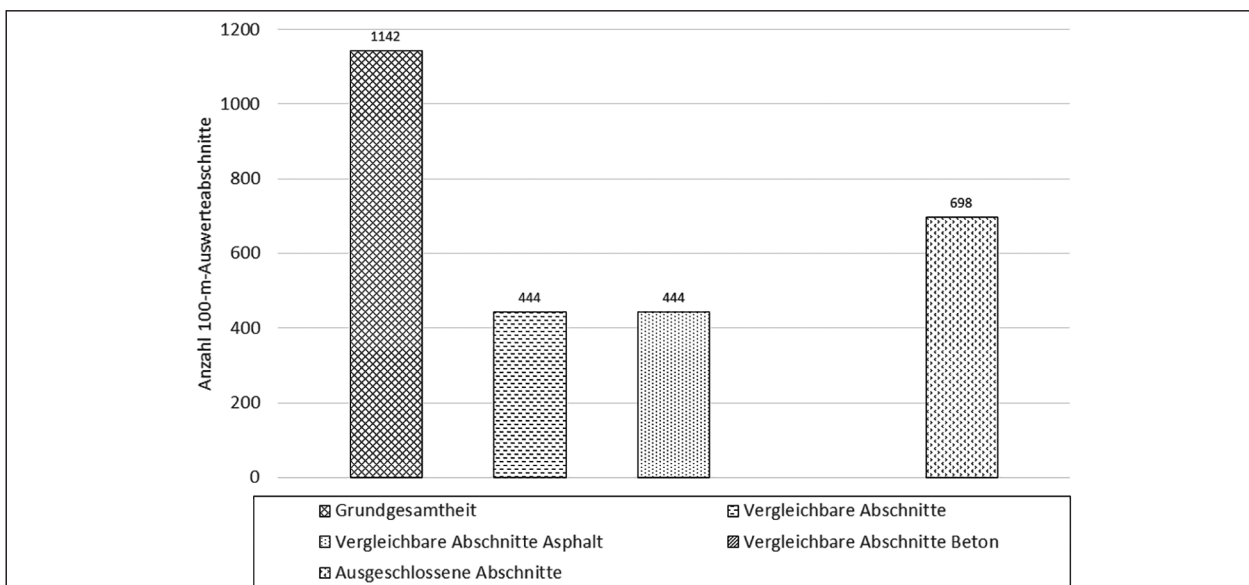


Bild 6–17: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 3

tung der einzelnen 100-m-Auswerteabschnitte, wie innerhalb der Wanderungsdiagramme, liefert hierzu ein differenzierteres Bild.

Die Wanderung der Zustandswerte für Szenario 3 ist in Bild 6–21 dargestellt. Im Unterschied zu Szenario 2 (Trockene Fahrbahn) zeigt das Wanderungsdiagramm für Szenario 3 ein anderes Bild. Fast 23 % der 100-m-Auswerteabschnitte, die in der Kampagne W16 über dem Schwellenwert waren (Zustandswert größer als 4,5), sind in der Kampagne W17 in einen besseren Zustandsbereich gewandert. Dar-

unter sind 7,4 % der 100-m-Auswerteabschnitte in den Bereich zwischen 3,5 und 4,5 gewandert, weitere 4,0 % der 100-m-Auswerteabschnitte in den Bereich zwischen 2,5 und 3,5, 6,0 % in den Bereich zwischen 1,5 und 2,5 und 5,4 % in den Bereich besser als 1,5.

Beide Messkampagnen wurden bei vergleichbaren Temperaturen der Fahrbahnoberfläche durchgeführt. Die relativ große Veränderung der Zustandswerte lässt annehmen, dass zum Teil unterschiedliche Feuchtegrade der Fahrbahnoberflächen

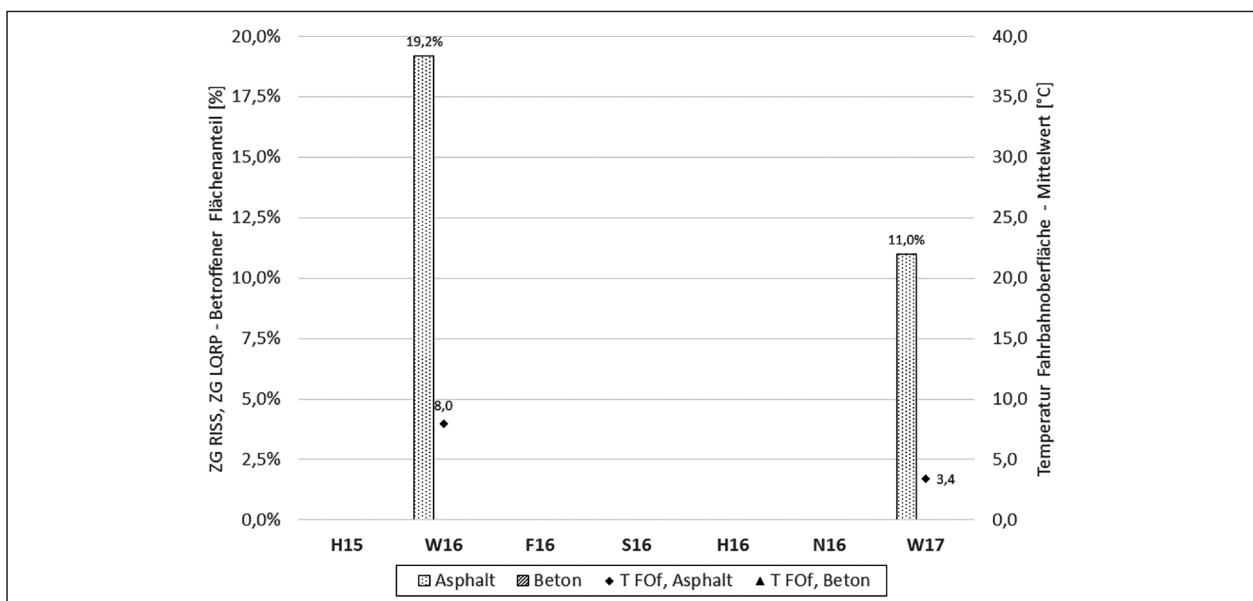


Bild 6–18: ZGRIS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3

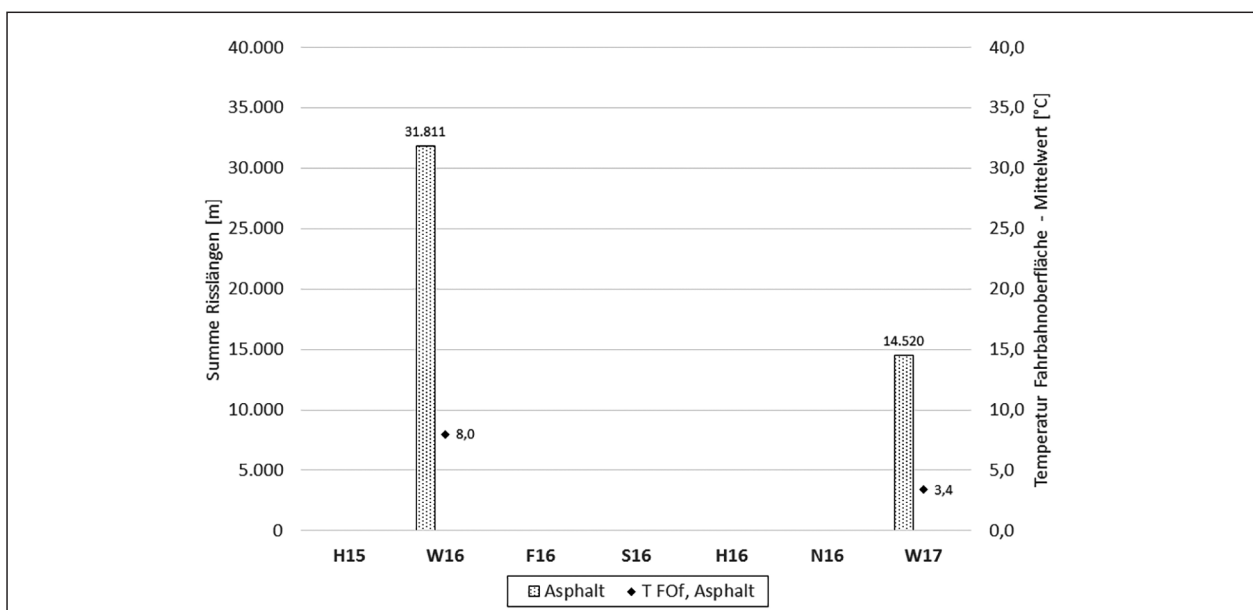


Bild 6–19: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3



vorgelegen haben, obwohl die hier untersuchten 100-m-Auswerteabschnitte als abtrocknend markiert und eingestuft wurden. Dies verdeutlicht, die Schwierigkeit bei der Quantifizierung des Feuchtegrades der Fahrbahnoberfläche.

### 6.4 Szenario 4: Temperaturunterschied

In diesem Vergleichsszenario wurden die Einflüsse unterschiedlicher Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Sichtbarkeit von Rissen bei gleichem Feuchtegrad der Fahrbahn (hier: trocken) genauer untersucht. Hierzu bietet sich grundsätzlich der Vergleich der Messkampagne S16, welche die höchsten Fahrbahnoberflächentemperaturen aufweist,

und der Messkampagnen W16 und W17 mit den niedrigsten Fahrbahnoberflächentemperaturen an.

Zunächst wurde wieder die Anzahl der vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte für diese drei Messkampagnen ermittelt. Hierbei wurde festgestellt, dass es aufgrund der geringen Anzahl trockener 100-m-Auswerteabschnitte (79) in der Messkampagne W17 nur 58 von 1142 (5 %) vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte gibt. Da diese geringe Anzahl statistisch nicht relevant ist, wurde entschieden, die Messkampagne W17 nicht in die Auswertung miteinzubeziehen. Die Messkampagnen S16 und W16 besitzen 374 von 1142 (33 %) vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte (Bild 6–22).

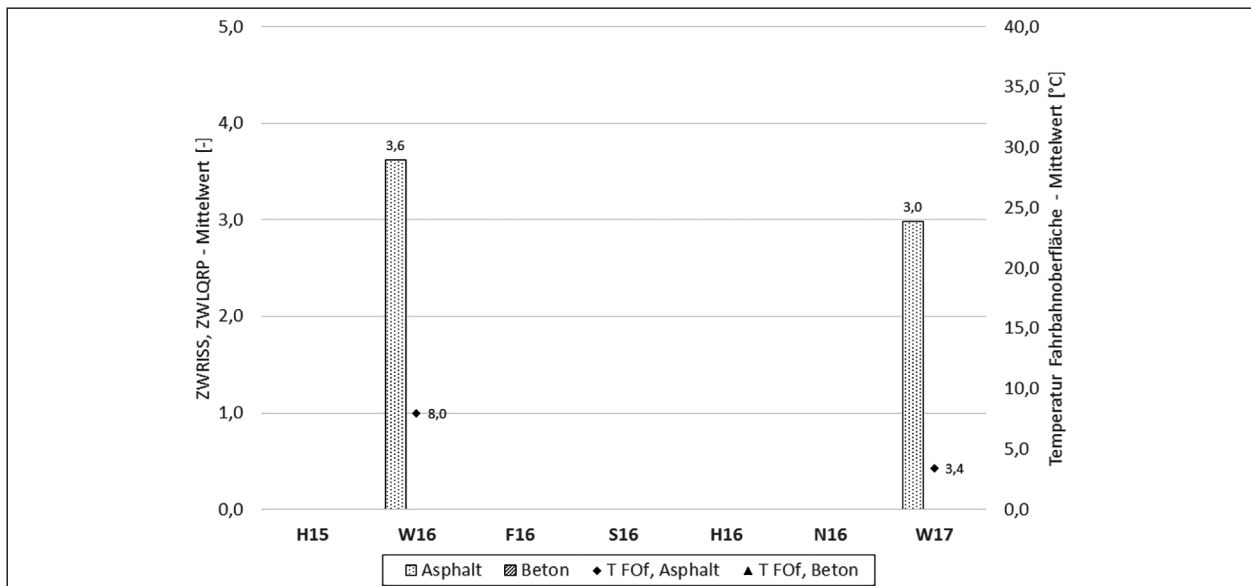


Bild 6–20: Mittelwert ZWRIS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3

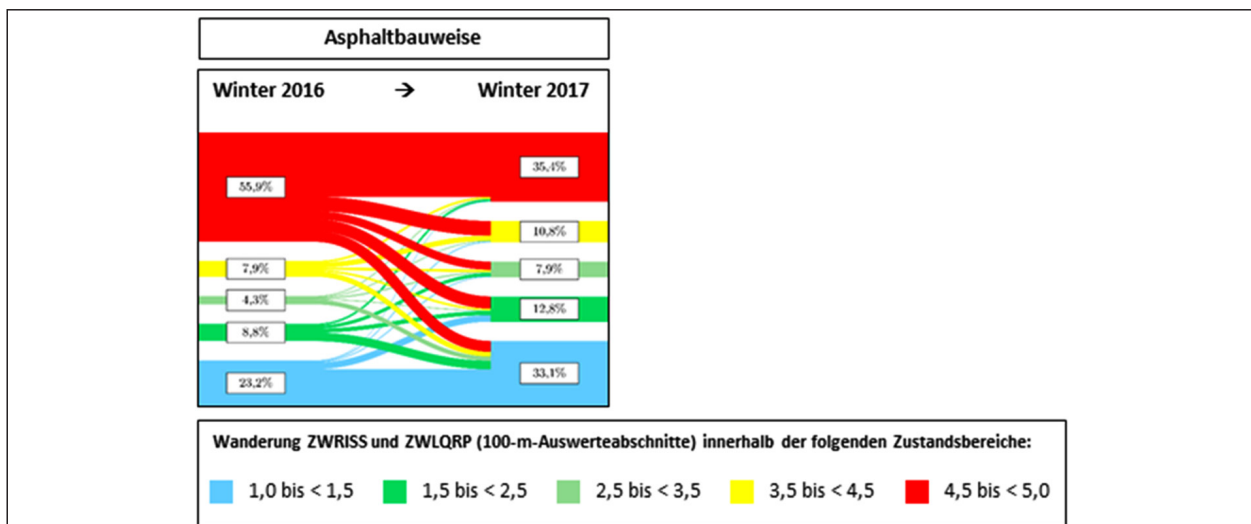


Bild 6–21: Wanderung ZWRIS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 3

Bild 6–23 zeigt, wie bereits in Szenario 1 erkennbar, deutliche Unterschiede bei der ZGRISS für die Summe der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise zwischen den Messkampagnen S16 (0,9 %) und W16 (9,3 %). Die Temperaturdifferenz zwischen beiden Messkampagnen beträgt 32,9 K.

Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise ist ein gegenläufiger Trend (höhere Werte ZGLQRP bei Messkampagne S16 im Vergleich zu W16) vorzufinden, wie bereits in Szenario 1 festgestellt wurde. Die Spannweite der ZGLQRP für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteab-

schnitte der Versuchsstrecke in Betonbauweise zwischen den Messkampagnen S16 und W16 beträgt 0,5 % und ist damit relativ gering im Gegensatz zur Spannweite der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise (8,4 %).

Die Summe der Risslängen, dargestellt in Bild 6–24, ist auch hier qualitativ nahezu identisch mit der ZGRISS für die untersuchten Vergleichsstrecken in Asphaltbauweise. Der geringe Wert in der Kampagne S16 lässt vermuten, dass bei hohen Fahrbahnoberflächentemperaturen die Risslängen abnehmen bzw. diese weniger gut sichtbar sind als bei niedrigen Fahrbahnoberflächentemperaturen.

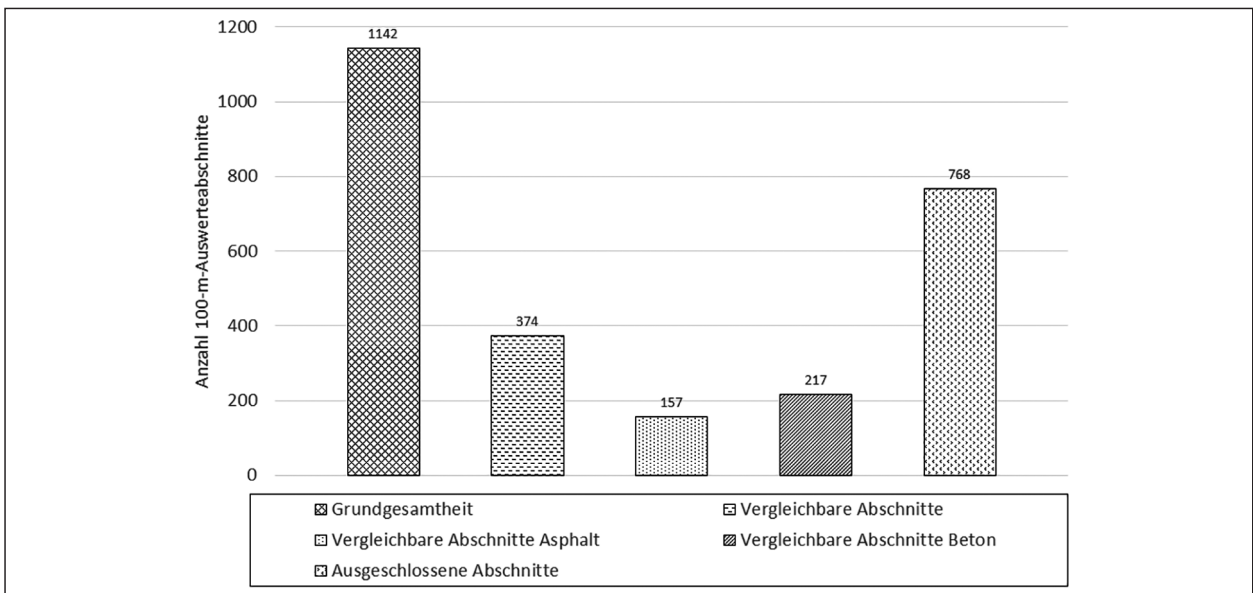


Bild 6–22: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 4

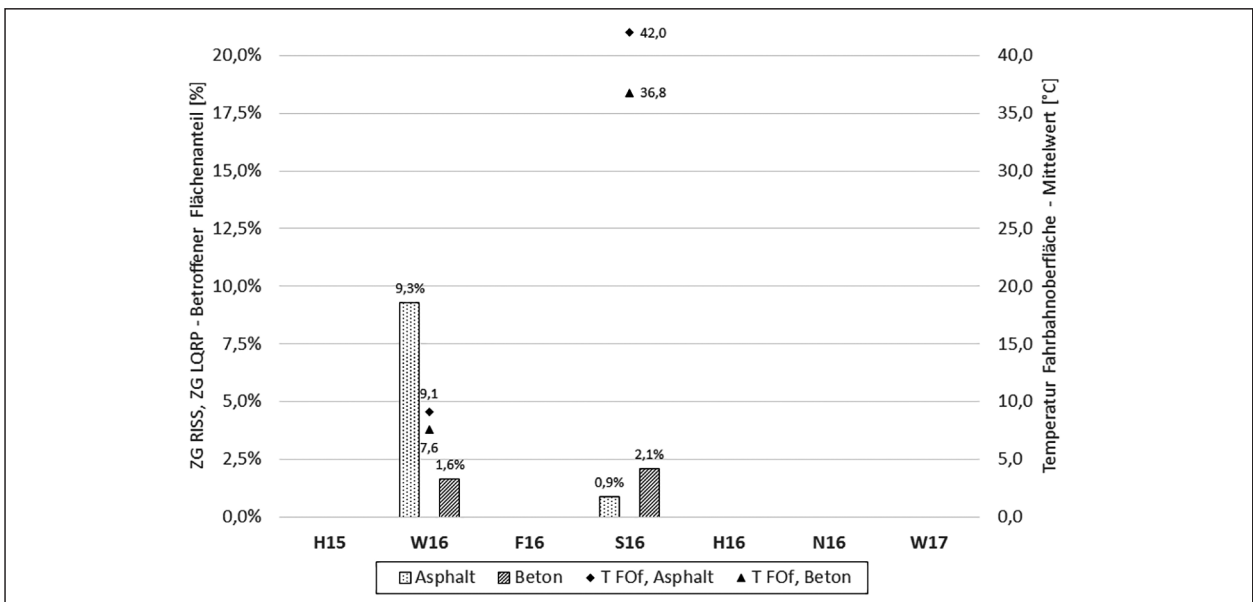


Bild 6–23: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4

In Szenario 4 wurden die Längs- und Querrisse im Beton an 5721 gemeinsamen vergleichbaren Betonplatten untersucht. Auch hier zeigt sich, dass im Sommer bei hohen Fahrbahnoberflächentemperaturen geringfügig mehr Platten betroffen waren als im Winter. Die mittlere Gesamtlänge aller Risse bleibt hingegen weitestgehend gleich.

Während im Szenario 2 für die Versuchsstrecken in Asphaltbauweise kein direkter Einfluss von mittleren (> 15 °C) und hohen (> 35 °C) Fahrbahnoberflächentemperatur auf die Erkennbarkeit von Rissen beobachtet werden konnte, ist in dem Vergleichss-

zenario 4 ein deutlicher Unterschied bei niedrigen (< 10 °C) Fahrbahnoberflächentemperaturen gegenüber hohen (> 35 °C) Fahrbahnoberflächentemperatur erkennbar. Ähnlich wie im Szenario 3 kann vermutet werden, dass die Differenz auf Unterschiede bei der Beurteilung des Fahrbahnoberflächenfeuchtegrades zurückzuführen ist und Abschnitte, die bei der Messkampagne W16 als trocken eingestuft wurden, noch einen Anteil an Restfeuchte in den Rissflächen aufgewiesen haben.

Dies verdeutlicht ebenfalls die Schwierigkeit der Quantifizierung des Feuchtegrades der Fahr-

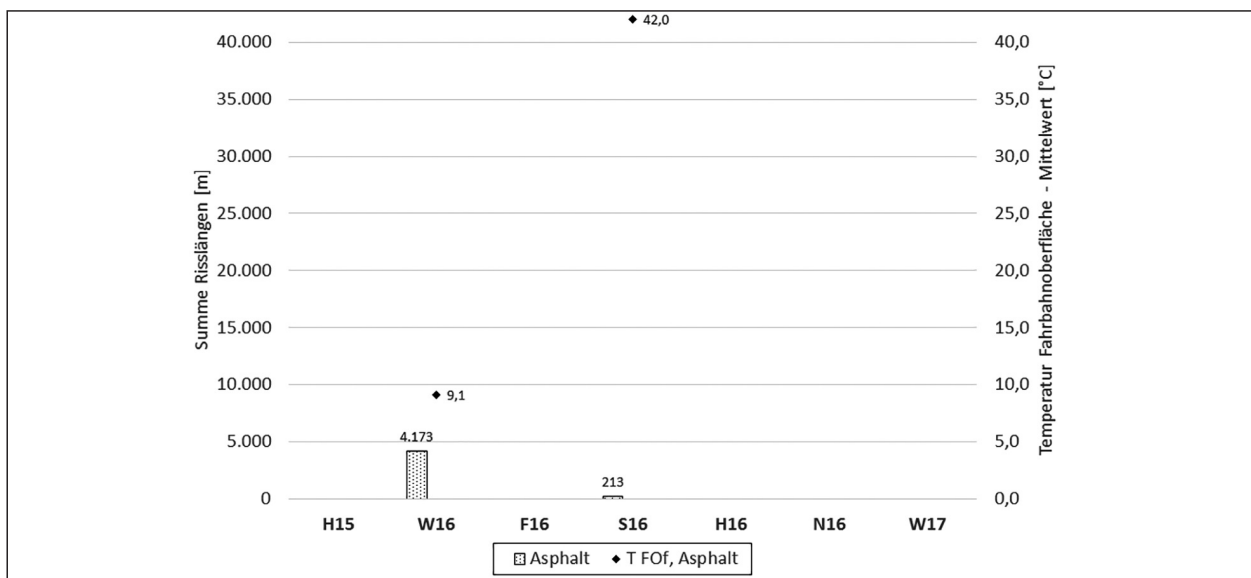


Bild 6–24: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4

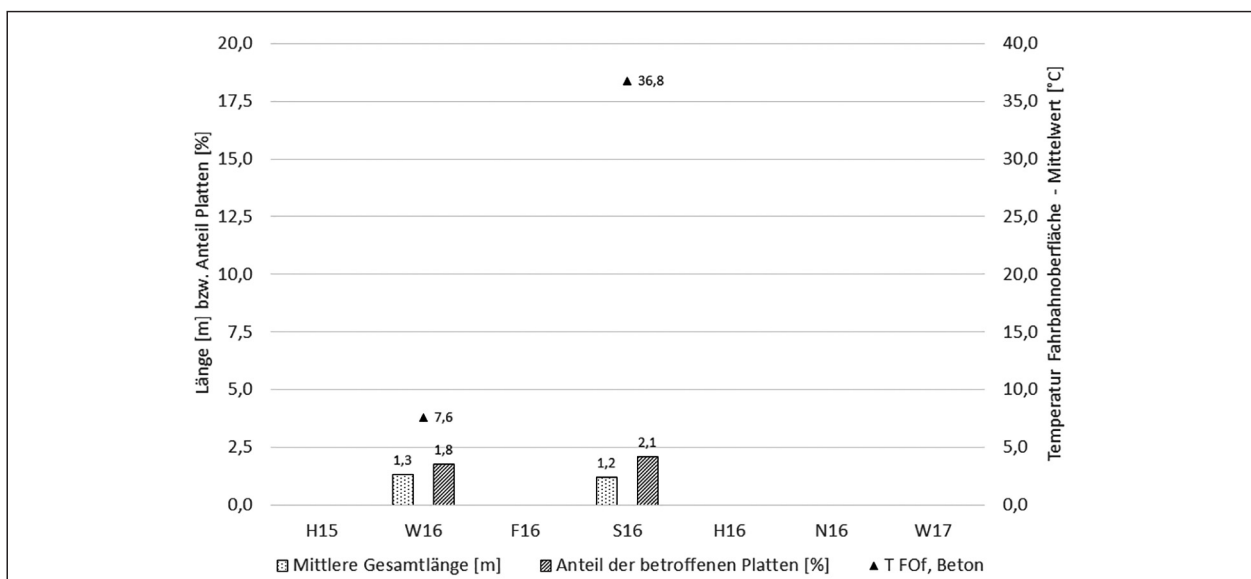


Bild 6–25: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4

bahnoberfläche und deutet einen indirekten Einfluss der Fahrbahnoberflächentemperatur auf die Erkennbarkeit von Rissen an. Aufgrund der niedrigen Fahrbahnoberflächentemperaturen im Winter kann Feuchtigkeit über einen längeren Zeitraum in den Rissflächen verweilen und die Erkennbarkeit erhöhen. Bei mittleren und hohen Fahrbahnoberflächentemperaturen trocknet die Fahrbahnoberfläche schneller vollständig ab.

Die aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitten einer Bauweise berechneten Mittelwerte ZWRISS und

ZWLQRP sind in Bild 6–26 dargestellt. Während der Mittelwert ZWLQRP in der Messkampagne W16 und S16 unverändert auf 1,2 bleibt, ist der Mittelwert ZWRISS in der Messkampagne W16 mit 2,6 fast doppelt so hoch wie in der Messkampagne S16 (1,4). Qualitativ bestätigen die Mittelwerte ZWRISS und ZWLQRP die Ergebnisse aus der Betrachtung der ZGRISS und ZGLQRP sowie der Risslängen.

Die Wanderung der Zustandswerte für Szenario 4 ist in Bild 6–27 dargestellt. Anhand des Vergleiches der Kampagne W16 (mittlere Temperatur der Fahrbahnoberfläche von 9,1 °C) und Kampagne

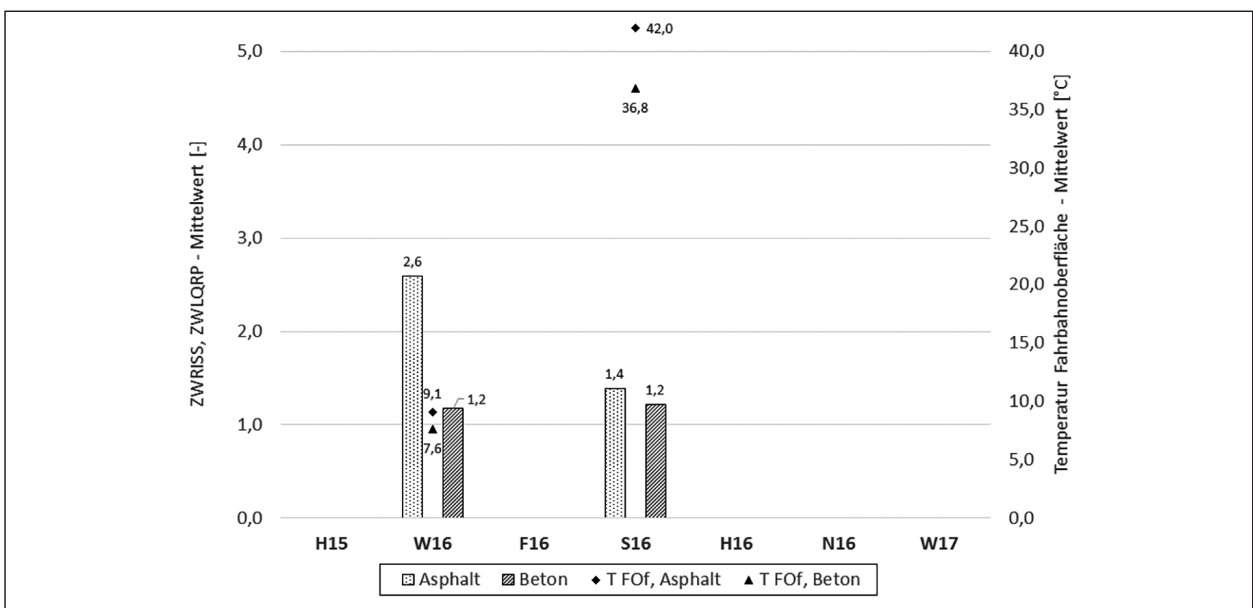


Bild 6–26: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4

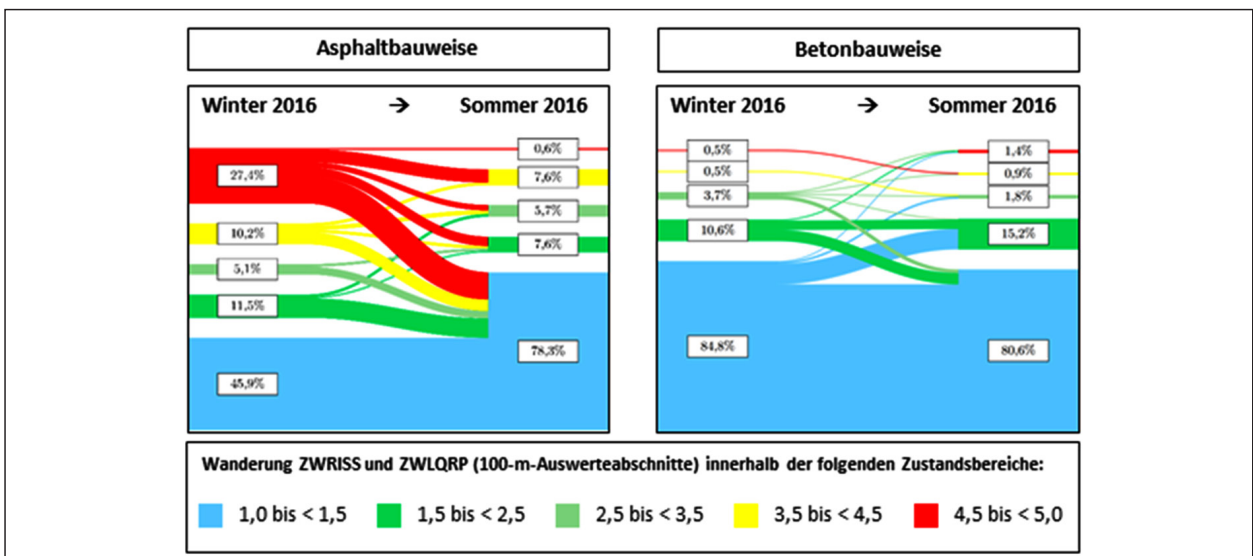


Bild 6–27: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 4

S16 (mittlere Temperatur der Fahrbahnoberfläche von 42,0 °C) kann festgestellt werden, dass bei der Messkampagne S16 im Vergleich zur Messkampagne W16 auf den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise weniger Risse registriert wurden. Der Anteil der 100-m-Auswerteabschnitte in gutem Zustand (Zustandswert größer als 1,5) hat sich von 45,9 % auf 78,3 % vergrößert. Der Anteil der 100-m-Auswerteabschnitte mit einem Zustandswert über dem Schwellenwert (Zustandswert größer als 4,5) hat sich von 27,4 % auf 0,6 % reduziert.

Auf der Versuchsstrecke in Betonbauweise sind die Wanderungen der Zustandswerte nicht so groß wie bei den Versuchsstrecken in Asphaltbauweise. Die Wanderung ist hauptsächlich für die 100-m-Auswerteabschnitte mit den Zustandswerten größer als 2,5 festzustellen. Insgesamt findet eine Reduktion des Anteils der 100-m-Auswerteabschnitte in gutem Zustand (Zustandswert besser als 1,5) von 84,8 % in der Kampagne W16 auf 80,6 % in der Kampagne S16 statt.

## 6.5 Szenario 5 und 6: Tagesganglinien

Für die Szenarien 5 und 6 wurden zwei der vier Versuchsstrecken, die A7 (Betonbauweise) und die B217 (Asphaltbauweise), im Laufe des Tages wiederholt befahren und messtechnisch erfasst. Die Messkampagne Tagesganglinie 1 (TGL1) fand im Frühjahr 2016 und die Messkampagne Tagesganglinie 2 (TGL2) im Sommer 2016 statt. Beide Messkampagnen sollten auf trockenen Fahrbahnen stattfinden. Für die TGL1 wurden 439 und für die TGL2 482 vergleichbare 100-m-Auswerteabschnitte je Messkampagne analysiert. Der Unterschied ergibt sich aus 43 100-m-Auswerteabschnitten, die während der Messung TGL1.1 eine abtrocknende Fahrbahnoberfläche aufwiesen und somit aus allen

Messungen innerhalb der Auswertung der Messkampagne TGL1 ausgeschlossen wurden. Somit wurde sichergestellt, dass ausschließlich trockene 100-m-Auswerteabschnitte untersucht wurden. Weitere 100-m-Auswerteabschnitte wurden analog zu den in Kapitel 6 beschriebenen Auswahlbedingungen ausgeschlossen.

Jede Messstrecke ist während des Tages fünfmal erfasst worden. Die genauen Uhrzeiten für den Beginn und das Ende der jeweiligen Messungen sind für die Messkampagne TGL1 in Tab. 6–2 und für die Messkampagne TGL2 in Tab. 6–3 angegeben.

ZGRISS und ZGLQRP, berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise, sowie die mittleren Temperaturen der Fahrbahnoberflächen sind in Bild 628 und Bild 629 dargestellt. Die Messkampagne TGL1 wurde bei Fahrbahnoberflächentemperaturen von 17,1 °C bis 31,7 °C durchgeführt. Die Spannweite zwischen der minimalen (17,1 °C) und maximalen (28,3 °C) Fahrbahnoberflächentemperatur beträgt 11,2 K bei der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise. Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise wurde eine minimale Fahrbahnoberflächentemperatur von 20,3 °C und eine maximale Fahrbahnoberflächentemperatur von 31,7 °C gemessen, die Spannweite beträgt damit 11,4 K.

Die Messkampagne TGL2 fand bei etwas höheren Minimal- und Maximalfahrbahnoberflächentemperaturen statt. Bei der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise wurden min. 21,9 °C und max. 31,3 °C gemessen, bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise min. 25,0 °C und max. 33,9 °C. Daraus ergeben sich Spannweiten von 9,4 K für die Versuchsstrecke in Asphaltbauweise und 8,9 K für die Versuchsstrecke in Betonbauweise. Damit liegen für beide Tagesgan-

	TGL2.1	TGL2.2	TGL2.3	TGL2.4	TGL2.5
Beginn	7:35	9:53	12:03	14:23	17:17
Ende	9:34	11:53	13:56	16:18	19:09

Tab. 6–2: Uhrzeiten für Beginn und Ende der Messungen für Messkampagne TGL1

	TGL1.1	TGL1.2	TGL1.3	TGL1.4	TGL1.5
Beginn	7:36	10:20	12:43	15:04	17:29
Ende	9:53	12:16	14:37	17:05	19:34

Tab. 6–3: Uhrzeiten für Beginn und Ende der Messungen für Messkampagne TGL2

glinien relativ ähnliche Fahrbahnoberflächentemperaturbedingungen vor.

Die betroffenen Flächenanteile ZGRISS der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise weisen Spannweiten von 0,8 % (TGL1) und 0,6 % (TGL2) auf. Die niedrigsten betroffenen Flächenanteile ZGRISS der TGL1 treten bei den drei mittleren Messungen auf (0,7 % / 0,6 % / 0,7 %). Abweichungen, die auch die Spannweite begründen, wurden am Morgen und am Abend (1,4 % / 1,1 %) festgestellt. Bei der TGL2 treten die betroffenen Flächenanteile ZGRISS mit den

Extremwerten bei der zweiten (TGL2.2 = 0,6 %) und der vierten (TGL2.4 = 1,2 %) Messung auf.

Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise wurden in der Kampagne TGL1 betroffene Flächenanteile ZGLQRP zwischen 1,5 % und 2,0 % und in der Kampagne TGL2 zwischen 1,3 % und 2,0 % berechnet. Daraus ergeben sich die Spannweiten für die TGL1 von 0,5 % und für die TGL2 von 0,7 %.

Sowohl für die Versuchsstrecke in Asphaltbauweise als auch in Betonbauweise ist anhand dieser Aus-

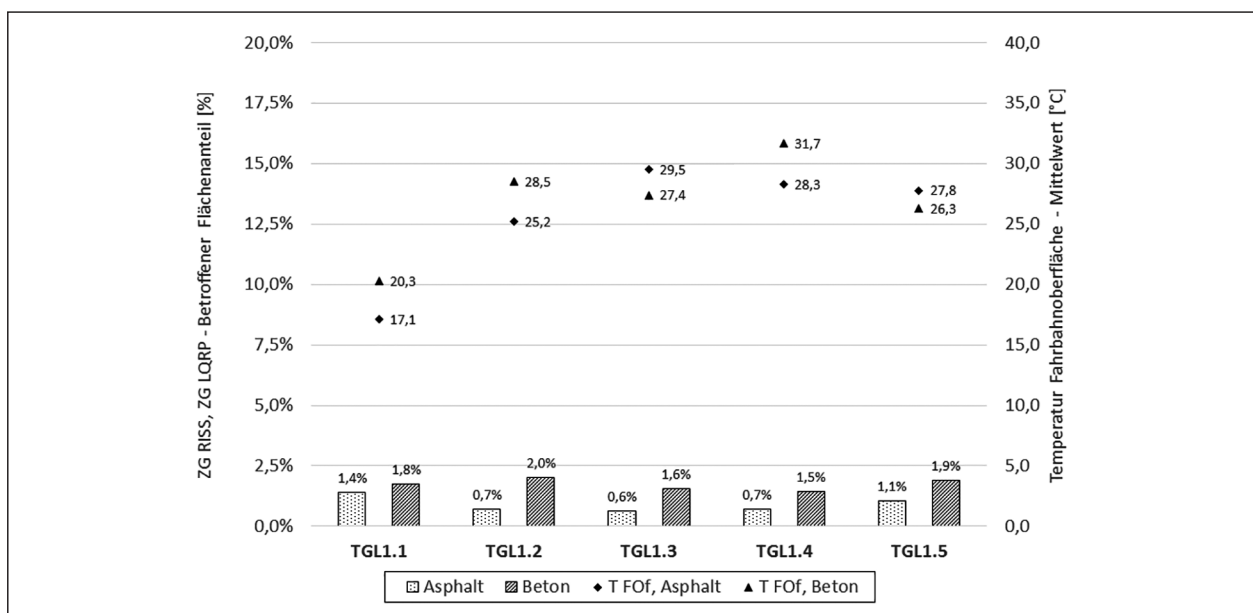


Bild 6–28: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL1

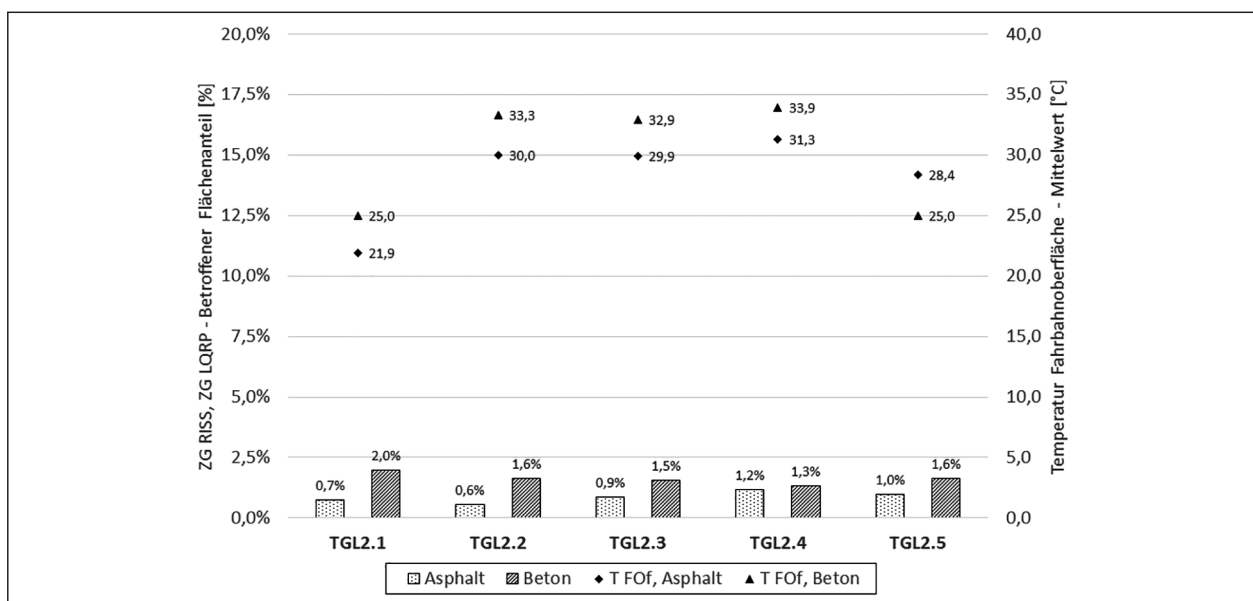


Bild 6–29: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL2

wertung im Tagesverlauf kein Zusammenhang zwischen der sich ändernden Fahrbahnoberflächentemperaturen und der Erkennbarkeit von Rissen erkennbar. Da alle 100-m-Auswerteabschnitte eine trockene Oberfläche aufwiesen, kann in diesem Szenario ein Einfluss von Restfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen ausgeschlossen werden. Es lagen mittlere bis hohe Fahrbahnoberflächentemperaturen vor und somit vergleichbare Bedingungen wie in Szenario 2.

Ähnliche Ergebnisse zeigen die Auswertungen der Summen der Risslängen in Bezug auf beide Tagesganglinien (vgl. Bild 6–30 und Bild 6–31). Quantitativ liegen die Werte der Risslängen auf gleichem Niveau wie die der Werte Zustandsgrößen RISS.

Die aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitten einer Bauweise berechneten Mittelwerte ZWRISS und ZWLQRP sind in Bild 6–32 und Bild 6–33 dargestellt.

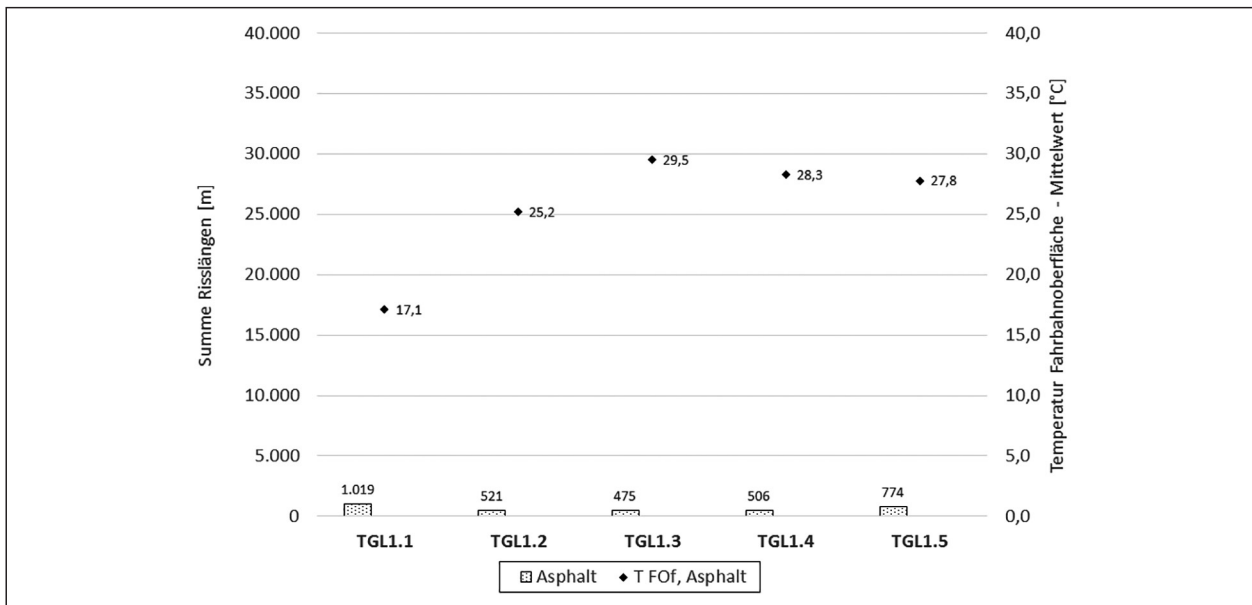


Bild 6–30: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL1

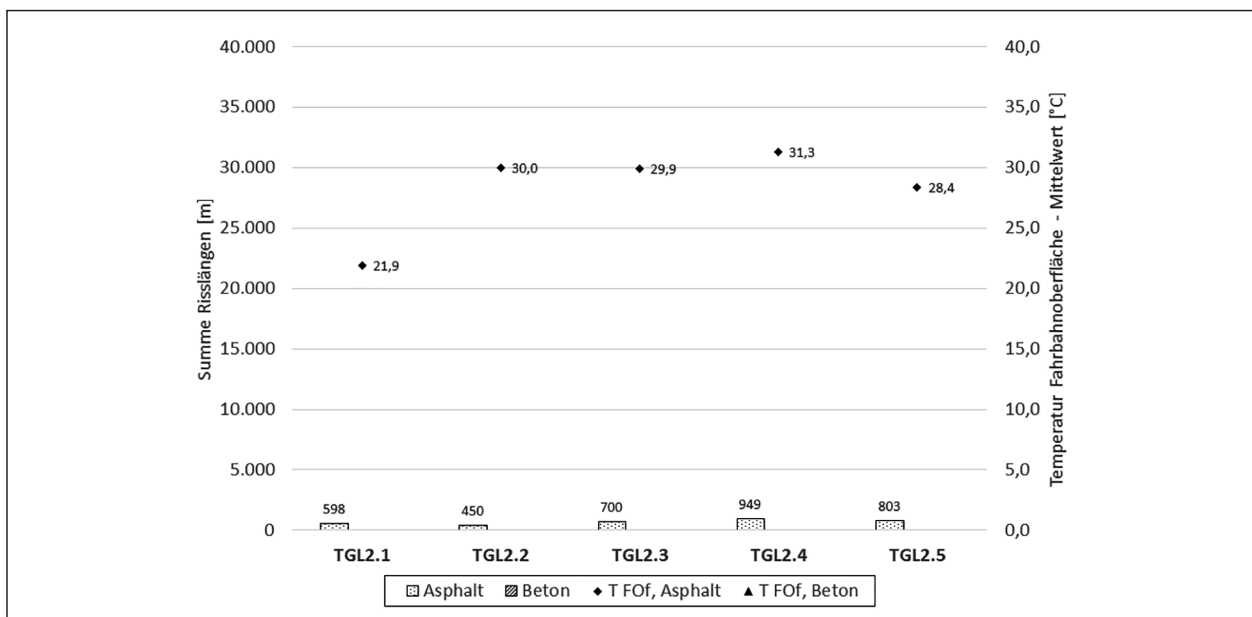


Bild 6–31: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL2

Sowohl die Mittelwerte ZWLQRP als auch ZWRISS bleiben über den Tag verteilt auf einem nahezu konstanten Niveau und zeigen keine Beeinflussung infolge der Fahrbahnoberflächentemperatur auf.

Die Wanderung der Zustandswerte für die ausgewählten Messungen der Tagesganglinien sind in Bild 6–34 bzw. Bild 6–35 dargestellt. Zunächst wurde die erste Messung des Tages (TGL1.1, TGL2.1) mit der letzten Messung des Tages

(TGL1.5, TGL2.5) verglichen. Danach folgt der Vergleich der ersten Messung des Tages (TGL1.1, TGL2.1) mit der Messung am Nachmittag, bevor ein deutlicher Temperaturrückgang stattgefunden hat (TGL1.4, TGL2.4). Diese wurde auch mit der letzten Messung eines Messtages (TGL1.5, TGL2.5) verglichen.

Auf der Versuchsstrecke in Asphaltbauweise sind die Wanderungen der Zustandswerte zwischen den

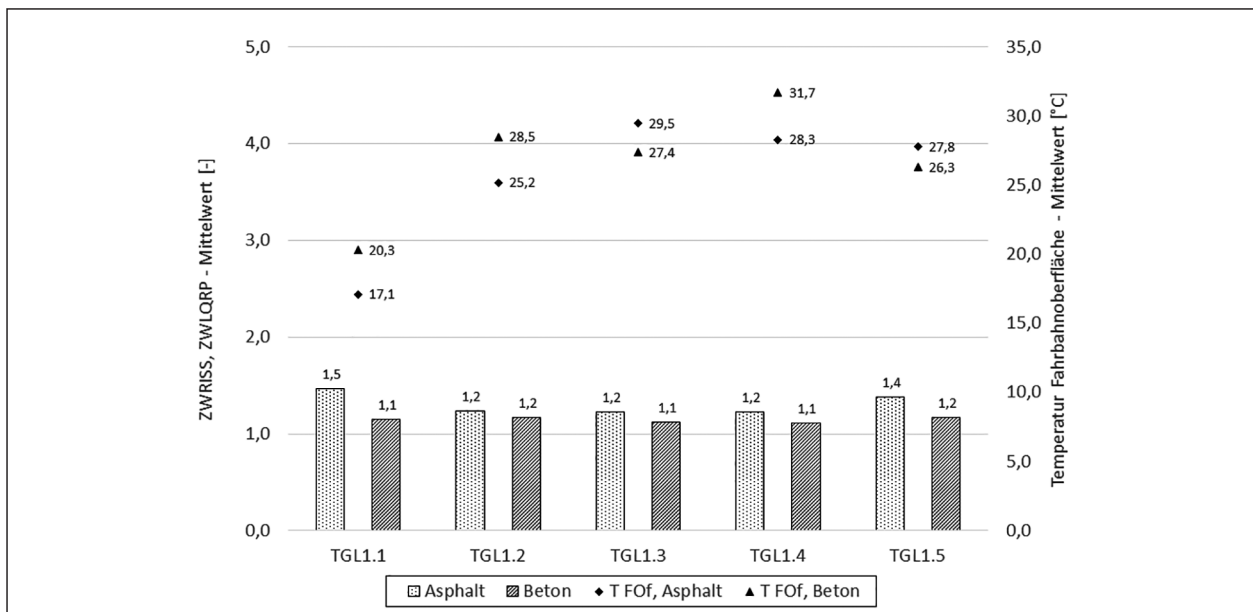


Bild 6–32: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL1

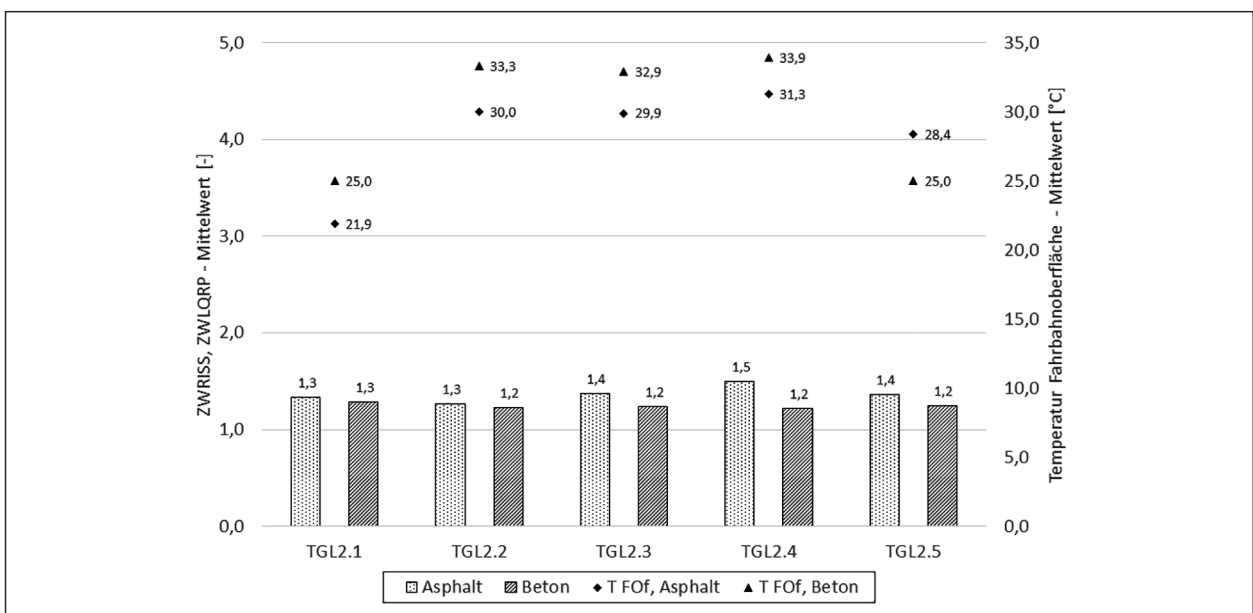


Bild 6–33: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL2



Zustandsbereichen relativ klein und konzentrieren sich im Bereich der guten Zustandsklassen (besser als 1,5 und zwischen 1,5 und 2,5). Die Wanderungen in den restlichen Zustandsbereichen sind geringfügig.

Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise finden die Wanderungen fast ausschließlich im Bereich

der guten Zustandsklassen (besser als 1,5 und zwischen 1,5 und 2,5) statt.

### 6.6 Abschließende Bewertung

Mit den verschiedenen Vergleichsszenarien sollten die Einflüsse unterschiedlicher Fahrbahnoberflächentemperaturen und verschiedener -feuchtegra-

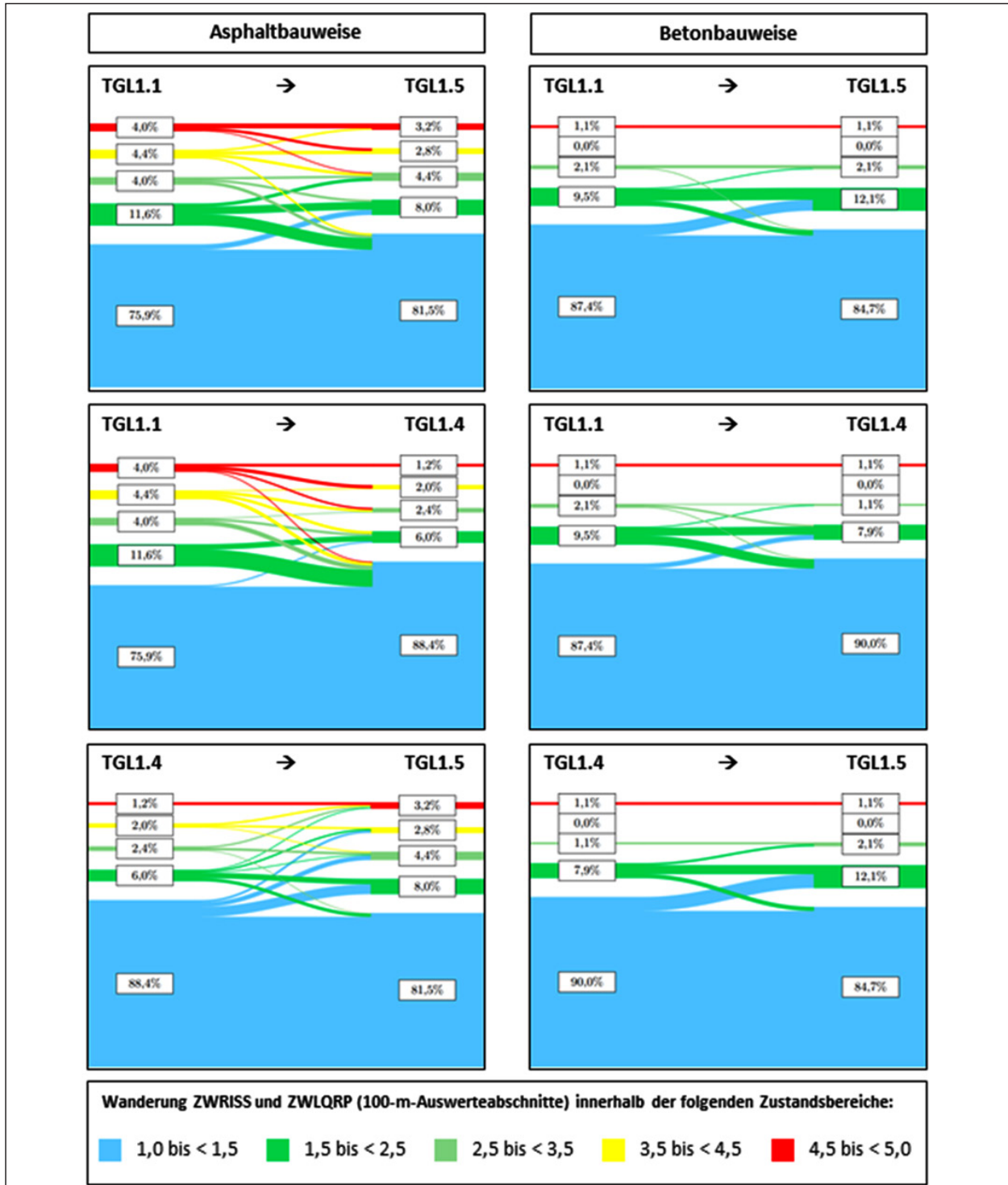


Bild 6–34: Wanderung ZWRIS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) der Messkampagne TGL1

de auf die Erkennbarkeit von Rissen quantifiziert und klassifiziert werden. Aus den Messergebnissen lässt sich allerdings kein einheitliches Bild, sowohl hinsichtlich des Einflusses der Fahrbahnoberflächentemperatur als auch hinsichtlich des Einflusses des Feuchtegrades auf der Fahrbahnoberfläche, erkennen. Daher ist aufgrund der in diesem Forschungsprojekt erhobenen Daten keine abschlie-

ßende Quantifizierung der Einflüsse und Klassifizierung von Messbedingungen möglich.

Die Auswertungen haben aber gezeigt, dass durchaus Einflüsse von Temperatur und Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche existieren. In den Kampagnen W16 und W17, bei denen jeweils die im Durchschnitt tiefsten Temperaturen geherrscht haben und die An-

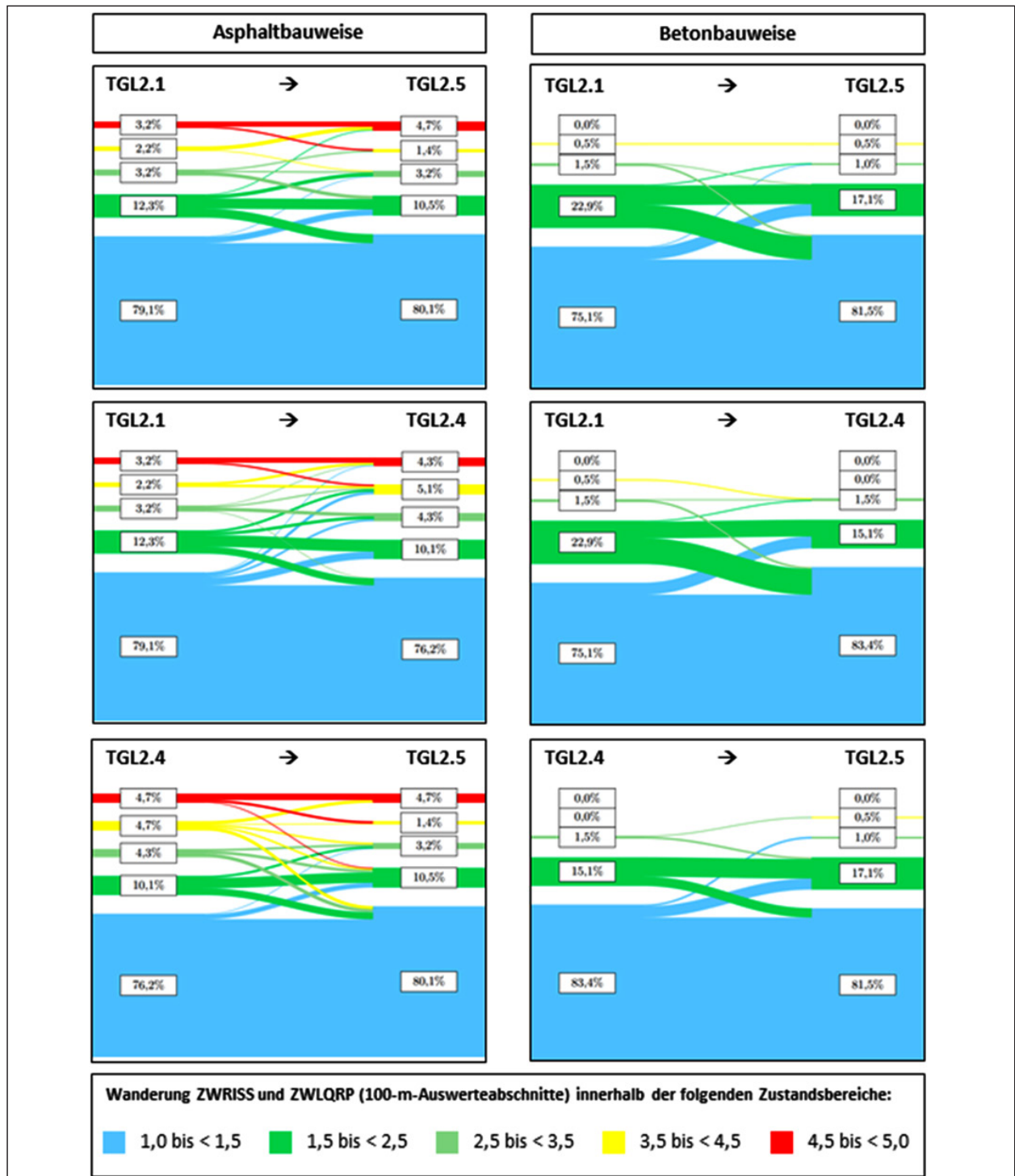


Bild 6–35: Wanderung ZWRIS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) der Messkampagne TGL2

zahl der abtrocknenden Abschnitte am höchsten gewesen ist, war die Sichtbarkeit der Risse grundsätzlich höher als in allen anderen Kampagnen. Durch verschiedene Vergleichsszenarien wurde untersucht, ob diese Einflüsse nach Fahrbahnoberflächentemperatur- oder Restfeuchteinflüssen differenziert werden können.

Zur Ermittlung des Einflusses der Restfeuchte wurden in Szenario 3 nur abtrocknende 100-m-Auswerteabschnitte aus den beiden Wintermessungen untersucht. Die Ergebnisse zeigen sehr eindeutig, dass auf diesen abtrocknenden 100-m-Auswerteabschnitten im Durchschnitt mehr Risse sichtbar waren als im Durchschnitt bei Szenarien, bei denen nicht nur abtrocknende Abschnitte betrachtet worden sind. Allerdings kann aus diesen Daten kein prinzipieller Zusammenhang zwischen dem Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche und der Sichtbarkeit hergestellt werden, da in der Messkampagne W17 auf Grundlage der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte deutlich weniger Risse erkannt wurden als in der Messkampagne W16, obwohl jeweils nur die abtrocknenden Abschnitte betrachtet worden sind. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass in den als „abtrocknend“ definierten Abschnitten unterschiedliche Feuchtegrade der Fahrbahnoberfläche vorgelegen haben, die die Sichtbarkeit unterschiedlich begünstigt haben.

Bei der Analyse der erfassten Daten und insbesondere auch bei der Auswertung der Rohdaten ist deutlich geworden, dass der Feuchtegrad einer Fahrbahnoberfläche nur sehr schwer definiert und eingeschätzt werden kann. Eine Bewertung des Feuchtegrades im Zuge der Auswertung der Oberflächenbilder würde einen zusätzlichen Faktor, der auf rein subjektiven Einschätzungen beruht, in das Verfahren einbringen.

Zur Analyse der Einflüsse von unterschiedlichen Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkennbarkeit von Rissen wurden zunächst die trockensten 100-m-Auswerteabschnitte der Messkampagnen H15, F16, S16 und H16 miteinander verglichen. Es wurde deutlich, dass mittlere ( $>15,0\text{ °C}$ ) und hohe ( $>35\text{ °C}$ ) Fahrbahnoberflächentemperaturen keinen direkten Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen haben. Ein solcher Einfluss wurde bei dem Vergleich der Messkampagne W16 und S16 mit einer Fahrbahnoberflächentemperaturdifferenz von  $31,7\text{ K}$  zumindest bei der Asphaltbauweise erkennbar. Bei diesem Szenario wiesen die Ergebnisse der

Versuchsstrecken in Asphaltbauweise und die Versuchsstrecke in Betonbauweise ein gegensätzliches Verhalten auf. Risse in Asphaltstraßen wurden bei tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen besser sichtbar. Auch hier scheinen Unterschiede bei der Beurteilung des Fahrbahnoberflächenfeuchtegrades vorzuliegen. Obwohl die 100-m-Auswerteabschnitte bei der Messkampagne W16 als trocken eingestuft wurden, kann ein Anteil an Restfeuchte in den Rissflächen nicht ausgeschlossen werden, der die Risserkennung verbessert. Indirekt kann somit ein Temperatureinfluss begründet werden, da der Verbleib von Restfeuchte in den Rissflächen durch niedrige Temperaturen begünstigt wird. Die Sichtbarkeit von Rissen bei Betonstraßen ging während der Messkampagne W16 im Vergleich zur Messkampagne S16 geringfügig zurück.

Eine mögliche Erklärung für das unerwartete Verhalten der Versuchsstrecke in Betonbauweise kann die zu den verschiedenen Jahreszeiten unterschiedliche Temperatur an der Ober- und Unterseite der Betonplatten sein. Bei hohen Lufttemperaturen und direkter Sonneneinstrahlung heizt sich die Fahrbahnoberfläche einer Betonstraße schneller auf als die Unterseite der Betonplatte. Dieser Temperaturgradient hat zur Folge, dass an der Fahrbahnoberseite eine positive Dehnung und an der Unterseite eine negative Dehnung (Stauchung) stattfindet. Hierdurch wölbt sich die Betonplatte nach oben; die Betonplatte hat eine konvexe Form. Risse in der Betonplatte können somit, etwa im Sommer, besser sichtbar sein. Gegenteilig kann sich die Betonplatte bei kalten Temperaturen verhalten. Wenn die Temperatur der Fahrbahnoberfläche aufgrund geringer Lufttemperaturen niedriger ist als die Temperatur an der Unterseite der Betonplatte, weist die Oberseite eine negative (Stauchung) und die Unterseite eine positive Dehnung auf, wodurch sich die Betonplatte nach unten wölbt; die Betonplatte hat eine konkave Form.

Da die Kampagnen W16 und W17 bei winterlichen und zu Messfahrtbeginn augenscheinlich trockenen Fahrbahnoberflächen durchgeführt wurden und dennoch 100-m-Auswerteabschnitte mit Restfeuchte erkannt wurden, ist deutlich geworden, dass eine Erfassung in den Wintermonaten bei tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen nicht ohne 100-m-Auswerteabschnitte mit Restfeuchte möglich ist. Mögliche Erklärungen für 100-m-Auswerteabschnitte mit Restfeuchte bei augenscheinlich trockenen Bedingungen sind die im Allgemeinen im Winter vorherrschende höhere Luftfeuchtigkeit und die tie-

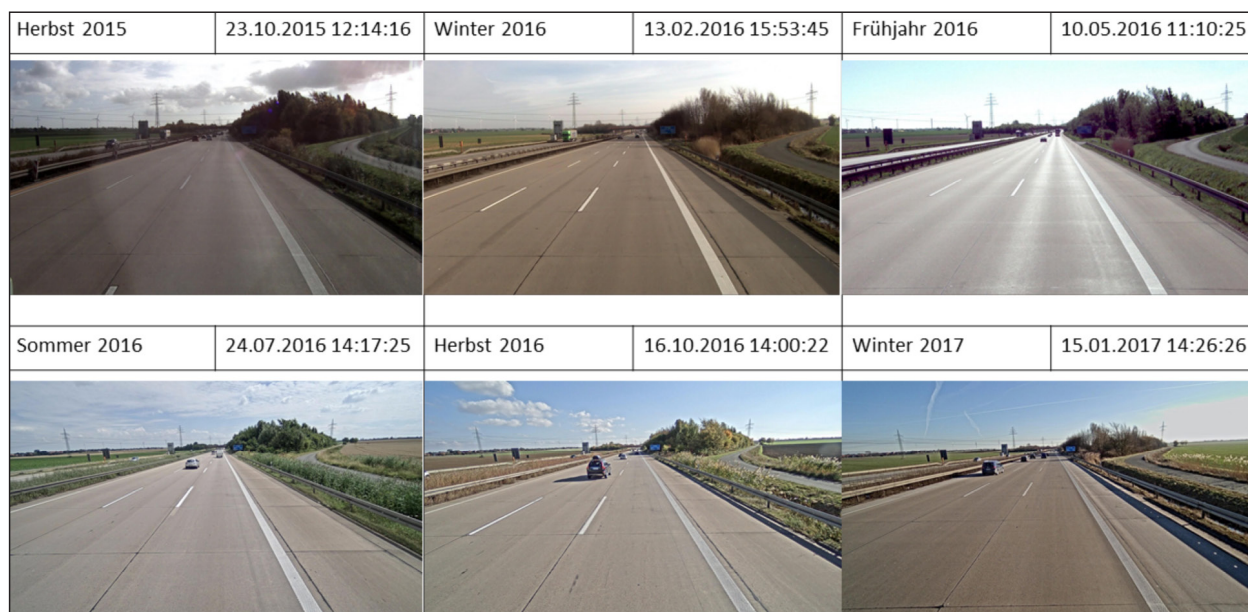


Bild 6–36: Vergleich der Frontkamerabilder

feren Asphalttemperaturen, wodurch Restfeuchte in den Rissen länger vorhanden bleibt.

Die Auswertergebnisse der Kampagne F16 waren insbesondere auf der Versuchsstrecke in Betonbauweise sehr niedrig und wichen von den anderen Messkampagnen trotz ähnlicher Randbedingungen stark ab. Grund hierfür kann eine Überbelichtung der Bilder, insbesondere auf den hellen Betonfahrbahnen, durch die Sonneneinstrahlung zum Zeitpunkt der Messung sein (siehe Frontkamerabilder in Bild 6–36).

## 6.7 Modellbildung

Anhand der Erkenntnisse aus der statistischen Analyse der speziell für dieses Vorhaben erfassten Daten sollte ein Modell erstellt werden, das es ermöglicht, den Einfluss der Fahrbahnoberflächentemperatur und des -feuchtegrades auf die Sichtbarkeit von Rissen zu modellieren.

Die bisherigen Erfahrungen des Forschungsnehmers zeigten, dass Temperatur und Feuchte einen Einfluss auf die Sichtbarkeit der Substanzmerkmale haben. Wie bereits erwähnt, stammen diese Erfahrungen aus wissenschaftlichen Untersuchungen (vgl. Kapitel 2 und Kapitel 3). Es war geplant, den Einfluss im Rahmen dieses Forschungsprojektes zu quantifizieren.

Innerhalb der statistischen Analyse konnte ein Einfluss der Faktoren Fahrbahnoberflächentemperatur

und Fahrbahnfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen erkannt werden. Allerdings ließen sich diese beiden Faktoren aufgrund der geringen Anzahl an vergleichbaren 100-m-Auswertabschnitten, wie etwa bei Szenario 4 (vgl. Kapitel 6.4), nur schwer differenzieren oder führten zu keinem einheitlichen Ergebnis, wie bei dem Vergleich von Messkampagnen mit trockenen Oberflächen (vgl. Kapitel 6.2). Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, den Feuchtegrad an der Fahrbahnoberfläche genau zu definieren, wie der Vergleich zwischen den Messungen bei abtrocknender Fahrbahn (vgl. Kapitel 6.3) zeigt.

Für die angestrebte Modellbildung wären Daten erforderlich gewesen, die hinsichtlich der Fahrbahnoberflächentemperatur und Fahrbahnfeuchte mehrere differenzierte Stützstellen bieten. Über diese Stützstellen wäre eine Modellbildung mittels Regressionsanalyse und Ermittlung eines funktionalen Verlaufes der Rissentwicklung hinsichtlich der unabhängigen Variablen möglich gewesen.

Da z. B. die vergleichbaren Daten in Szenario 2 hinsichtlich der Fahrbahnoberflächentemperatur nur bedingt differenzierte Stützstellen (15,5 °C; 18,7 °C; 36,4 °C; 40,7 °C) aufweisen und die Spannweite der Messergebnisse sehr gering ist, kann hiermit keine belastbare Beziehung zwischen den Variablen ermittelt werden.

Ursprünglich war geplant gewesen, die Messkampagnen bei durchgehend trockenen Fahrbahnober-

flächen durchzuführen. Da dies jedoch nicht möglich war, wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes drei Fahrbahnfeuchtegrade unterschieden (trocken, abtrocknend und nass). Der Feuchtegrad wurde durch eine subjektive Einschätzung des Auswertenden erfasst und kann nicht quantitativ messtechnisch erfasst werden. Für die Modellbildung wären allerdings belastbare Daten, die nicht auf subjektiven Einschätzungen beruhen und eine differenzierte Betrachtung des Zustandes „abtrocknende Fahrbahn“ nötig. Eine Regressionsanalyse über zwei (trocken, abtrocknend) oder maximal drei (trocken, abtrocknend und nass) Stützstellen liefert keine brauchbaren funktionalen Verläufe.

Aus diesen Gründen war es leider nicht möglich, im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein statistisches Modell zu entwickeln, welches die Einflüsse der Fahrbahnoberflächentemperatur und der Fahrbahnfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen quantifiziert.

## 7. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Ziele des Forschungsprojektes waren die Präzisierung des Erfassungsverfahrens, die Bestimmung und Quantifizierung des Einflusses von Temperatur und Feuchte auf die Erkennbarkeit von Rissen sowie die Formulierung technischer Anforderungen an das Erfassungsverfahren als Ergänzung der Regelwerke. Hierzu wurden auf vier Versuchsstrecken zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten mit einem schnellfahrenden Messsystem Oberflächenbilder zur Erfassung von Substanzmerkmalen der Fahrbahnoberfläche gemäß ZTV ZEB-StB [1] aufgenommen, ausgewertet und analysiert.

### Einfluss von Feuchte

Die Auswertungen haben bestätigt, dass der Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche einen Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen hat, der aber innerhalb des Forschungsprojektes leider nicht quantifiziert werden konnte. Im Vergleich zu trockenen Fahrbahnen nimmt die Erkennbarkeit bei abtrocknender Fahrbahnoberfläche zu, wenn Restfeuchte in den Rissen verbleibt. Da die Restfeuchte auf der Fahrbahn praktisch kaum gesteuert beeinflusst und nur schwierig quantifizierbar ist, sind Erfassungen auf Abschnitten mit Restfeuchte nicht zu empfehlen. Auch ist von Messungen bei Regen sowie bei geschlossenen und größeren Wasserfilmdicken auf

der Fahrbahn abzusehen, da die Erkennbarkeit von Rissen hierdurch stark eingeschränkt ist.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen mehreren Messkampagnen zu gewährleisten, sollte die Erfassung im Teilprojekt 3 Substanzmerkmale (Oberfläche) nur auf durchgehend trockener Fahrbahn durchgeführt werden.

### Einfluss der Temperatur

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte der Einfluss der Temperatur auf die Erkennbarkeit von Rissen nicht eindeutig nachgewiesen werden. Zwar wurden bei den Wintermessungen (Fahrbahnoberflächentemperaturen  $< 10\text{ °C}$ ; Lufttemperaturen  $< 6\text{ °C}$ ) vermehrt Risse erkannt, jedoch konnte nicht genau differenziert werden, ob die Sichtbarkeit der Risse allein auf den Einfluss niedriger Fahrbahnoberflächentemperaturen zurückzuführen ist. Aufgrund der niedrigen Lufttemperaturen im Winter ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass als trocken identifizierte Abschnitte trotzdem visuell nicht erkennbare Restfeuchte (vornehmlich im Rissbereich) enthalten. Das kann dazu führen, dass die Messergebnisse (trocken, Restfeuchte visuell nicht erkennbar, abtrocknend) zu nicht vergleichbaren Ergebnissen führen. Bei höheren Luft- und Fahrbahnoberflächentemperaturen trocknen Stellen mit vorhandener Restfeuchte schnell ab und es liegen somit häufiger vergleichbare Bedingungen vor (tatsächlicher Feuchtegrad = trocken). Daher sollten Messungen zur Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) nicht im Winter durchgeführt werden.

Anhand der im Forschungsprojekt untersuchten Messkampagnen konnte keine genaue Temperaturuntergrenze für Messungen ermittelt werden. Einen signifikanten Einfluss von mittleren ( $> 15\text{ °C}$ ) und hohen ( $> 35\text{ °C}$ ) Fahrbahnoberflächentemperaturen auf die Erkennbarkeit von Rissen konnte für die Versuchsstrecken in Asphaltbauweise nicht nachgewiesen werden.

Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise wurde bei höheren Fahrbahnoberflächentemperaturen eine bessere und bei niedrigen eine verschlechterte Sichtbarkeit von Rissen festgestellt. Eine mögliche Erklärung hierzu wurde in Kapitel 6.6 geliefert. Da im Rahmen dieses Forschungsprojektes lediglich eine Versuchsstrecke in Betonbauweise untersucht wurde, können hieraus keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen gezogen werden.

## Fazit

Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse bei den Versuchsstrecken in Asphalt- und Betonbauweise kann nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Erkennbarkeit von Rissen im Winter besser ist als im Sommer.

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass eine Quantifizierung des Feuchtegrades der Fahrbahnoberfläche nur subjektiv und eingeschränkt möglich ist. Zudem hat es Ansätze geliefert, dass auch Faktoren wie Beleuchtung, Bewölkungsgrad und Sonnenstand bzw. Tageszeitpunkt einen Einfluss auf die erfassten Daten haben können und die Qualität der Aufnahmen durch die Lichtverhältnisse der Fahrbahn beeinträchtigt werden kann.

Es ist zu beachten, dass die Feinsynchronisation der Fahrbahnen in Asphaltbauweise, wie sie innerhalb dieses Forschungsprojektes durchgeführt wurde, nicht ausreicht, um einzelne Rasterfelder bzw. Auswerteabschnitte gegenüber zu stellen. Bei den Fahrbahnen in Betonbauweise ist dies aufgrund der Abgrenzung und Zuordnung einzelner Betonplatten möglich und liefert detailliertere Auswertemöglichkeiten.

Die Bewertungen auf Basis individueller visueller Einschätzungen bergen die Gefahr, dass die Ergebnisse vom Auswertepersonal abhängig und somit zu einem gewissen Grad als subjektiv einzustufen sind. Daher wird empfohlen, die Versuchsstrecken weiteren Messkampagnen zu unterziehen, jedoch gleichzeitig neben den visuellen Bewertungen digitale, softwaregesteuerte Bewertungen durchzuführen. Auch wenn die softwaregesteuerte Risserkennung gegebenenfalls nicht die 1 mm Rissweitenerkennung liefern kann, wäre es interessant zu erfahren, ob diese digitale Auswertung eine objektivere Risserkennung ermöglicht. Sinnvoll wäre es in diesem Zusammenhang, verschiedene Messsysteme mit digitalen Auswertetechniken miteinander zu vergleichen.

Das Ziel, den Einfluss von Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchte auf die Auswertungsergebnisse zu bestimmen und zu quantifizieren konnte im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht abschließend erreicht werden. Zusammenfassend können dennoch die nachfolgenden Ergebnisse festgehalten werden:

- Zur Präzisierung des Erfassungsverfahrens wird empfohlen, die Fahrbahnoberflächentemperaturen und gegebenenfalls den Fahrbahnfeuchtegrad zu dokumentieren. Diese können bei der Interpretation der Auswerteergebnisse sinnvoll eingesetzt werden.
- Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit und der Reproduzierbarkeit sollen Messungen stets bei trockenen Fahrbahnen erfolgen. Zudem sind Messungen im Winter zu vermeiden. Es wird empfohlen, diese Anforderungen an das Erfassungsverfahren in die Regelwerke aufzunehmen.
- Messungen bei abtrocknender Oberfläche können im Einzelfall und auf Objektebene angewendet werden. Häufig sind dann mehr Risse zu erkennen, die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit ist jedoch nicht gegeben, da der Feuchtegrad derzeit nur subjektiv zu bestimmen ist.

## Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen : ZTV ZEB-StB. Ausg. 2006, [Korrekturen Stand Oktober 2011]. Köln: FGSV-Verlag, 2011
- [2] STÖCKNER, M. ; DE JONG, R. ; DEMMER, M.; SKAKUJ, M.; BALCK, H.; OPARA, R.: Defy Winter: A New Approach to Road Winter Damage Prevention. Washington, 2015
- [3] LEHMANN + PARTNER GmbH: Bericht - Projekt P15-154 / Maßnahme 1 – B 81: Durchführung Funktionsinspektion für den Fahrbahnoberbau gemäß ZTV Funktion – StB 01 und MtZEB – StB 01. Erfurt, 2015
- [4] SKAKUJ, M.: Observation of the Development of Pavement Damages Over the Winter. Darmstadt, 2015
- [5] HELLER Ingenieurgesellschaft mbH: Konzept zum Internetauftritt der IT-ZEB (IT-ZEB Server). FE 29.0241/2009/BASSt. Darmstadt, 2009
- [6] HELLER Ingenieurgesellschaft mbH. Darmstadt :
- [7] OERTELT, S. ; HELLER, S. ; MAERSCHALK, G.: Aktualisierung der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB). FE 04.212. 2013
- [8] Northwest Pavement Management Association: Pavement Surface Condition Field Rating Manual for Asphalt Pavements. Washington, 1999
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Schaffung und Weiterführung des Regelwerks für die Erfassung und Auswertung von Oberflächenbildern, 2013
- [10] GRAUWILER, P.: Zustandsanalyse und Bewertung des Straßennetzes : Optimierte Unterhaltsplanung, Bd. 17. In: Gruner-Gruppe (Hrsg.): mailing, 2009
- [11] STRADA: Leitfaden für den Aufbau und den Betrieb. Muttentz, 2006
- [12] Government of Alberta Ministry of Transportation: Appendix 2 – Surface Condition Rating (SCR) Manual: Contract Administration Manual. Alberta, 2010
- [13] SHARPE, G. W.; SOUTHGATE H. F.; DEEN R. C.: User's Guide for Pavement Condition Surveys : Research Report U KTRP-87-12. Kentucky, 1987
- [14] HELLER Ingenieurgesellschaft mbH: Dokumentation und bundesstatistische Analyse der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB). Darmstadt, 2008
- [15] KOHLER, E. ; ROESLER, J.: Accelerated Pavement Testing Of Extended Life Continuously Reinforced Concrete Pavement Sections. Project IHR-R32. 2006
- [16] VOS, E. ; BOUMAN, F.: Oberflächeneigenschaften in den Niederlanden – Methoden und Ziele, Heft 1 (Jhrg. 66). In: Straße und Autobahn : Kirschbaum Verlag, 2015
- [17] Bundesanstalt für Straßenwesen: Prüfbericht. Bergisch Gladbach
- [18] VITILLO, N.; GUCUNSKI, N.; RASCOE, C.; ZAGHLOUL, S.: Evaluation of the Automated Distress Survey Equipment. FHWA-NJ-2009-007. New Jersey, 2009
- [19] XU, B.: Artificial lighting for the automated pavement distress rating system: Report No. FHWA/TX-06/0-4958-1. Austin, 2005
- [20] XU, B.: Summary of implementation of an artificial lighting system for automated visual distress rating system: Report No. FHWA/TX-08/ 5-4958-01-1. Austin, 2007
- [21] XU, B.; HUANG, Y.: Development of an Automatic Pavement Surface Distress Inspection System: Report No. FHWA/TX-05/7-4975-1. Austin, 2003
- [22] IFI Consult GmbH. Hannover :
- [23] Bundesanstalt für Straßenwesen: MEFA – Multifunktionales Erfassungssystem zur Fahrbahnoberflächenanalyse. Bergisch Gladbach, 2016
- [24] Bundesanstalt für Straßenwesen: IT-ZEB Server. URL <https://itzeb.heller-ig.de/index.html> – Überprüfungsdatum 2017-06-05
- [25] Pavemetrics: Laser Crack Measurement System. URL <http://www.pavemetrics.com/>

- wp-content/uploads/2016/03/LCMS\_Flyer.pdf – Überprüfungsdatum 2016-04-14
- [26] MURLY, B.; JORDAN, M.; O'BRIEN, D.: Automated Pavement Condition Assessment Using Laser Crack Measurement System (LCMS) on Airfield Pavements in Ireland. Galway, Ireland, 2014
- [27] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Arbeitspapiere zur Systematik der Straßenerhaltung (K9): Unterabschnitt K 2.3: Schadenskatalog für die messtechnische und visuelle Zustandserfassung. 2015
- [28] BALCK, H.: Leitfaden zur Auswertung der Substanzmerkmale (Oberfläche). URL <http://itzeb.heller-ig.de/leitfaden/> – Überprüfungsdatum 2017-03-28
- [29] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Diagnostyka Stanu Nawierzchni. 2012
- [30] BONNIÈRE; VILOTTE: Analyse der Oberflächenschäden auf den Departement-Straßen in La Mayenne. 2014
- [31] Laboratoire central des ponts et chaussées: Relevé des dégradations de surface des chaussées: Méthode d'essai n° 38-2. 1997
- [32] Laboratoire central des ponts et chaussées: Catalogue des dégradations de surface des chaussées: Méthode d'essai n° 52. 1998
- [33] Fugro Roadware – Infrastructure Asset Management Solutions: WiseCrax : Crack Detection System. URL <http://www.roadware.com/products/software/wisecrax/> – Überprüfungsdatum 2016-04-14
- [34] CANZLER, U.; WINKLER, B.: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3. FE 89.210. 2011
- [35] Fachgebiet Neuroinformatik und Kognitive Robotik: ASINVOS : Assistierendes und Interaktiv lernfähiges Videoinspektionssystem für Oberflächenstrukturen am Beispiel von Straßenbelägen und Rohrleitungen. URL <https://www.tu-ilmenau.de/de/neurob/projects/asinvos/> – Überprüfungsdatum 2017-09-12
- [36] OpenStreetMap Foundation: OpenStreetMap Daten : © OpenStreetMap-Mitwirkende. URL <http://www.openstreetmap.org/>
- [37] Deutscher Wetterdienst: Klimadaten des Climate Data Centers (CDC). URL <http://www.dwd.de/DE/leistungen/cdcftp-messwerte/cdcftp-messwerte.html?nn=17626> – Überprüfungsdatum 2016-11-14
- [38] BALCK, H.: Zustandsbericht Bundesstraßen 2012 – 2016 : Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. 22.03.2017

## Bilder

- Bild 2–1: Frontbild, Oberflächenbild und Rohdatenvisualisierung [6]
- Bild 2–2: Vergleich zweier unabhängiger ZEB-Messungen, davon eine mit Feuchtigkeit [14]
- Bild 2–3: Besprühen der Einbaustrecke mit Wasser zur besseren Sichtbarkeit der sichelförmigen Risse [15]
- Bild 2–4: Vergleich der hochauflösenden Oberflächenbilder im trockenen Zustand (oben, mit Schatten vom Fahrzeug) und bei angefeuchteter Fahrbahn (unten) [3]
- Bild 2–5: Beispiel eines schlecht ausgeleuchteten Oberflächenbildes (Auszug aus einem Prüfbericht der BAST) [17]
- Bild 2–6: Streckenbilder (links) und Oberflächenbilder (rechts) zu unterschiedlichen Tageszeiten (morgens, mittags, abends) [18]
- Bild 3–1: Oberflächenbild mit Rissen (IFI Consult GmbH) [22]
- Bild 3–2: Messsystem MEFA [23]
- Bild 3–3: Beispiel eines Oberflächenbildes einer Zeilenkamera [24]
- Bild 3–4: Auszug aus dem Arbeitspapier 9 K 2.3 [27]
- Bild 3–5: Auswertearbeitsplatz für Oberflächenschäden [6]
- Bild 5–1: Versuchsstrecke 1 in der Online-Visualisierung des Auskunftssystems IT-ZEB Server der BAST [24]
- Bild 5–2: Versuchsstrecke 4 in der Online-Visualisierung des Auskunftssystems IT-ZEB Server der BAST [24]



- Bild 5–3: Lage der Versuchsstrecke 1 [36]
- Bild 5–4: Streckenbilder zu Versuchsstrecke 1
- Bild 5–5: Lage der Versuchsstrecke 2 [36]
- Bild 5–6: Streckenbilder zu Versuchsstrecke 2
- Bild 5–7: Lage der Versuchsstrecke 3 [36]
- Bild 5–8: Streckenbilder der Versuchsstrecke 3
- Bild 5–9: Lage der Versuchsstrecke 4 [36]
- Bild 5–10: Streckenbilder der Versuchsstrecke 4
- Bild 5–11: Schematische Darstellung des Untersuchungsprogrammes und der Dimensionen
- Bild 5–12: Messsystem IDS, Bildqualität (IFI Consult GmbH)
- Bild 5–13: Lufttemperaturverlauf Hannover 17.10.2016 bis 23.10.2015 [37]
- Bild 5–14: Lufttemperaturverlauf Hannover 07.02.2016 bis 13.02.2016 [37]
- Bild 5–15: Lufttemperaturverlauf Hannover 04.05.2016 bis 10.05.2016 [37]
- Bild 5–16: Lufttemperaturverlauf Hannover 18.07.2016 bis 24.07.2016 [37]
- Bild 5–17: Lufttemperaturverlauf Hannover 10.10.2016 bis 16.10.2016 [35]
- Bild 5–18: Lufttemperaturverlauf Hannover 09.01.2017 bis 15.01.2017 [35]
- Bild 5–19: Lufttemperaturverlauf Hannover 31.10.2016 bis 06.11.2016 [35]
- Bild 5–20: Lufttemperaturverlauf Hannover 15.05.2016 bis 21.05.2016 [37]
- Bild 5–21: Lufttemperaturverlauf Hannover 22.08.2016 bis 28.08.2016 [37]
- Bild 5–22: Beispiel verfüllter Risse
- Bild 5–23: Beispiel Netzrisse
- Bild 5–24: Beispiel trockene Fahrbahnoberfläche
- Bild 5–25: Beispiel abtrocknende Fahrbahnoberfläche
- Bild 5–26: Beispiel nasse Fahrbahnoberfläche
- Bild 5–27: Arbeitsplatz für die Feinsynchronisierung der Messungen [6]
- Bild 5–28: Beispielhaftes Bild der Frontkamera (oben) und der Sekundärkamera (unten)
- Bild 5–29: Auswertewerkzeug TP3 Editor (Heller Consult Sp)
- Bild 5–30: Beispiel einer Eigenüberwachung
- Bild 5–31: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten (Asphaltbauweise)
- Bild 5–32: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den Rohdaten (Betonbauweise)
- Bild 5–33: Beispiel eines Vergleichsstreckenbandes mit den Rohdaten (Risse) für eine Strecke in Asphaltbauweise (verkleinerte Darstellung)
- Bild 5–34: Beispiel eines Vergleichsstreckenbandes mit den Rohdaten (Längs- und Querrisse) für eine Strecke in Betonbauweise (verkleinerte Darstellung)
- Bild 5–35: Teil der Vergleichsstreckenbänder mit den Angaben zum Straßennetz (Netzknotennummern, Netzknotenamen, Stationierung) und zur Bauweise (Art, Baujahr)
- Bild 5–36: Rechte Legende der Vergleichsstreckenbänder mit den Angaben zu der Messung (Beginn, Lufttemperatur) sowie der Darstellung des Feuchtgrades der Fahrbahnoberfläche
- Bild 5–37: Beispiel eines Vergleichsstreckenbandes mit den aggregierten Zustandsdaten (Risse) (verkleinerte Darstellung, Ausschnitt)
- Bild 5–38: Erläuterung der Angaben zu den Rissen auf dem Vergleichsstreckenband mit den aggregierten Zustandsdaten
- Bild 5–39: Beispielhafte Darstellung der Zustandsdaten in der Auskunftssystem OnKo2
- Bild 5–40: Deutliche Verbesserung der Erkennbarkeit von Rissen während der Messung zur Tagesganglinie I
- Bild 5–41: Beispiel einer Reparaturstelle auf einer Asphaltstraße
- Bild 5–42: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen auf abtrocknender (W16), trockener

- (S16) und nasser Fahrbahnoberfläche (N16)
- Bild 5–43: Vergleich der Sichtbarkeit von Rissen auf einer Betonstraße (von links: H15, F16, W17)
- Bild 5–44: Entwicklung eines Längsrisses auf Asphalt, Kampagnen Herbst 2015, Winter 2016, Frühjahr 2016 (weitere Kampagnen sind auf dem Folgebild dargestellt)
- Bild 5–45: Entwicklung eines Längsrisses auf Asphalt, Kampagnen Sommer 2016, Herbst 2016 und Winter 2017 (Fortsetzung des vorherigen Bildes)
- Bild 6–1: Beispiel zur Darstellung der Klassenwanderung [38]
- Bild 6–2: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 1
- Bild 6–3: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1
- Bild 6–4: Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche in Szenario 1
- Bild 6–5: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1
- Bild 6–6: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1
- Bild 6–7: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 1
- Bild 6–8: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 1
- Bild 6–9: Beispiel eines Bereiches mit dem Wechsel des Zustandswertes 5,0 (Kampagne W16) auf 1,0 (Kampagne S16) (Versuchsstrecke in Asphaltbauweise)
- Bild 6–10: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen der Messkampagnen H15, W16, F16, S16 und H16
- Bild 6–11: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 2
- Bild 6–12: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2
- Bild 6–13: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2
- Bild 6–14: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2
- Bild 6–15: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der

Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 2

- Bild 6–16: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 2
- Bild 6–17: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 3
- Bild 6–18: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3
- Bild 6–19: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3
- Bild 6–20: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 3
- Bild 6–21: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 3
- Bild 6–22: Übersicht des Datenbestandes in Szenario 4
- Bild 6–23: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4
- Bild 6–24: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise)

sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4

- Bild 6–25: Mittlere Risslänge und Anteil der von Längs- und Querrissen betroffenen Betonplatten (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren Platten der Versuchsstrecke in Betonbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4
- Bild 6–26: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP (berechnet aus den Zustandswerten der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messkampagne in Szenario 4
- Bild 6–27: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP (Zustandswerte der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) in Szenario 4
- Bild 6–28: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL1
- Bild 6–29: ZGRISS und ZGLQRP (berechnet für die Summe aller gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL2
- Bild 6–30: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der Fahrbahnoberflächentemperaturen je Messung der Messkampagne TGL1
- Bild 6–31: Summe der Risslängen (berechnet für alle gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte der Versuchsstrecken in Asphaltbauweise) sowie Mittelwerte der

- Fahrbahnoberflächentemperaturen je  
Messung der Messkampagne TGL2
- Bild 6–32: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP  
(berechnet aus den Zustandswerten der  
gemeinsamen vergleichbaren  
100-m-Auswerteabschnitte einer  
Bauweise) sowie Mittelwerte der  
Fahrbahnoberflächentemperaturen je  
Messung der Messkampagne TGL1
- Bild 6–33: Mittelwert ZWRISS und ZWLQRP  
(berechnet aus den Zustandswerten der  
gemeinsamen vergleichbaren  
100-m-Auswerteabschnitte einer  
Bauweise) sowie Mittelwerte der  
Fahrbahnoberflächentemperaturen je  
Messung der Messkampagne TGL2
- Bild 6–34: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP  
(Zustandswerte der gemeinsamen  
vergleichbaren  
100-m-Auswerteabschnitte einer  
Bauweise) der Messkampagne TGL1
- Bild 6–35: Wanderung ZWRISS und ZWLQRP  
(Zustandswerte der gemeinsamen  
vergleichbaren  
100-m-Auswerteabschnitte einer  
Bauweise) der Messkampagne TGL2
- Bild 6–36: Vergleich der Frontkamerabilder
- Tab. 5–9: Messbedingungen Kampagne 9 –  
Tagesganglinie II (Sommer 2016)
- Tab. 6–1: Auswahlbedingungen je Szenario (X  
bedeutet, dass alle  
100-m-Auswerteabschnitte, welche die  
Auswahlbedingung erfüllen, im  
jeweiligen Szenario nicht berücksichtigt  
wurden)
- Tab. 6–2: Uhrzeiten für Beginn und Ende der  
Messungen für Messkampagne TGL1
- Tab. 6–3: Uhrzeiten für Beginn und Ende der  
Messungen für Messkampagne TGL2

## Tabellen

- Tab. 5–1: Messbedingungen Kampagne 1 - Herbst  
2015
- Tab. 5–2: Messbedingungen Kampagne 2 - Winter  
2016
- Tab. 5–3: Messbedingungen Kampagne 3 –  
Frühjahr 2016
- Tab. 5–4: Messbedingungen Kampagne 4 –  
Sommer 2016
- Tab. 5–5: Messbedingungen Kampagne 5 –  
Herbst 2016
- Tab. 5–6: Messbedingungen Kampagne 6 –  
Winter 2017
- Tab. 5–7: Messbedingungen Kampagne 7 –  
Nasse Fahrbahn
- Tab. 5–8: Messbedingungen Kampagne 8 –  
Tagesganglinie I (Frühjahr 2016)

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Straßenbau“

#### 2015

S 91: **Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger**  
Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 92: **Längsebenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)**

Neubeck, Wiesebrock

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

#### 2016

S 93: **Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen**

Weise, Schrang € 19,50

S 94: **Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung**

Kemper, Schacht, Klapproth, Oeser, Beyer € 16,50

S 95: **Bezugsgröße für den Verdichtungsgrad von Schichten ohne Bindemittel**

Bialucha, Merkel, Motz, Demond, Schmidt, Ritter, Haas € 14,50

S 96: **Bewertungshintergrund für den Widerstand gegen Polieren von Gesteinskörnungen nach dem PWS-Verfahren**

Dudenhöfer, Rückert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 97: **Einheitliche Bewertungskriterien für Elemente der Straßenverkehrsinfrastruktur im Hinblick auf Nachhaltigkeit – Straße und Tunnel**

Fischer, Sauer, Jungwirth, Baumgärtner, Hess, Ditter, Roth, Xalter

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 98: **Verifikation eines Europäischen Prüfverfahrens zur Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Asphalt**

Böhm, Beara

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 99: **Ansprache und Steuerung von Healing-Effekten bei Asphalt**

Wistuba, Alisov, Isailović

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 100: **Probekörperherstellung für performance-basierte Asphaltprüfungen**

R. Roos, C. Karcher, A. Wittenberg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 101: **Belastungseinrichtung Mobile Load Simulator MLS10 Sensorik zur Beanspruchungsdetektion im ersten gemeinsamen Versuchsbetrieb**

Wacker, Scherkenbach, Rabe, Golkowski

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 102: **Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Lysimeteruntersuchungen unter Laborbedingungen – Teil 1: Bodenmaterial**

Kellermann-Kinner, Bürger, Marks € 16,50

S 103: **Effizienz technischer Sicherungsmaßnahmen im Erdbau – Untersuchungen von Bauweisen in Freilandlysimetern – Teil 1: Untersuchungszeitraum 2010 – 2013**

Brand, Tiffert, Endres, Schnell, Marks, Kocher € 19,50

S 104: **Nachhaltige und effiziente Sanierung von Schlaglöchern**

Thienert, Beckedahl, Koppers, Paffrath, Nafe € 15,00

#### 2017

S 105: **Untersuchungen zur Überprüfung des Luftporenanteils als Verdichtungsanforderung bei feinkörnigen Böden und bindigen Mischböden**

Lypp, Birle, Heyer, Vogt € 20,50

S 106: **Zusammenhang zwischen Bitumenchemie und straßenbautechnischen Eigenschaften**

Radenberg, Nytus, Gehrke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 107: **Baustoffe für standfeste Bankette**

Koukoulidou, Birle, Heyer € 15,50

S 108: **Neue Wege zur Finanzierung des Straßenbaus – Entwicklungen des europäischen Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2015 in Bonn**

Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 109: **RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels**

Korn, Leupold, Mayer, Kreienkamp, Spekat € 15,50

S 110: **Vergleichbarkeit der Auslaugraten von Materialien mit und ohne Sandzumischung nach dem Säulenkurzverfahren (DIN 19528)**

Lin, Linnemann, Vollpracht € 16,50

S 111: **Bitumenextraktion aus Asphalt mit dem nachwachsenden Rohstoff Octansäuremethylester (Kokosester)**

Alisov, Wistuba

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 112: **Nachweis der flächendeckenden Verdichtungskontrolle von Asphalt**

Zander, Buch, Birbaum

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 113: **Einfluss der Temperatur auf die Probekörperherstellung bei Niedrigtemperaturgussasphalt im Rahmen der Kontrollprüfungen**

Schellenberg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 114: Studie zum Anwendungspotenzial von werksgemischtem Kaltbauweisen – Asphalt**

Mollenhauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2018

**S 115: Performance-orientierte Asphaltspezifikation – Entwicklung eines praxisingerechten Prüfverfahrens zur Ansprache des Verformungswiderstandes**

Wistuba, Isailović

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 116: Weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung des Adhäsionsverhaltens zwischen Bitumen und Gestein**

Radenberg, Nytus, Boetcher, Diedel, Miehl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 117: Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphalteinbau**

Böhm, Tielmann, Ulrich, Verges, Muschalla

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 118: Untersuchung der Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Asphaltbinderkonzepte**

Renken, Wistuba

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 119: Grundfragen des straßenrechtlichen Nutzungsregimes – Straßenrecht im Zeichen des Klimawandels**

Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 120: Temperaturuntersuchungen am und im Mobile Load Simulator MLS30 – Analyse des Temperatureinflusses während eines Dauerversuchs für weitere Versuchsprogramme**

Wacker, Scherckenbach, Jansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 121: Repräsentative Ermittlung der performance-relevanten Asphalteeigenschaften als Grundlage neuer Vertragsbedingungen**

Roos, Plachkova-Dzhurova, Grafmüller, Milch, Hase, Schindler

Schröter, Zumsande, Wörner, Kazakova, Patzak

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 122: Ermittlung neuer Zuordnungswerte zur Einteilung bindiger Böden in**

Fest- und Lockergesteine

Möller, Bundschuh, Birle, Heyer

€ 18,50

**S 123: Bindemitteldesign für Asphaltstraßen – Definition eines chemisch-rheologischen Anforderungsprofils**

Stephan, Weigel

€ 19,00

**S 124: Dauerhafte Betonfahrbahndecken unter Berücksichtigung aktueller ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte**

Müller, Schulte-Schrepping, Benra, Ludwig, Breitenbücher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 125: Potenzial innovativer Messsysteme für den Erdbau – Literaturstudie**

Radenberg, Manke, Steeb, Jänicke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 126: Bau und Messungen an einer Versuchsstrecke mit optimierter Kiestragschicht unter der Betondecke**

Freudenstein, Neudert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 127: Entwicklung eines Finite Elemente Modells für die rechnerische Dimensionierung von Straßen gemäß RDO Beton**

Villaret, Kiehne, Riwe, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 128: Reduzierung der Schwindverformungen des Straßenbetons durch den Einsatz neuartiger Schwindreduzierer**

Breitenbücher, Penttilä, Schulte-Schrepping

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2019

**S 129: Verfahren zur Prognose des Alterungsverhaltens von Asphalt**

Hase, Beyersdorf, Hase, Rademacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 130: Entwicklung einer Prüfsystematik für Porous Mastic Asphalt (PMA)**

Radenberg, Holzwarth

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 131: Einfluss viskositäts- verändernder Zusätze auf den Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe**

Radenberg, Gehrke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 132: Temperierte Straße Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBAST**

Oeser, Carreño, Renken, Kemper, Kneer, Höfler,

Al-Sibai, Hess, Gouya, zu Dohna, Steins

€ 15,50

**S 133: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung**

Wolf, Uhlig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**S 134: Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)**

Skakuj, Balck, Beckedahl, Schrödter, Koppers, Ramadan

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

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

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.