

Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit der Substanzmerkmale (Oberfläche)

FA 4.275

Forschungsstelle: Heller Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt

Bearbeiter: Skakuj, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Dezember 2017

- 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).

1 Aufgabenstellung

Das Ziel der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) auf Bundesfernstraßen ist die Bereitstellung von qualitätsgesicherten Daten für das Erhaltungsmanagement. Die Erfassungs- und Auswerteregeln für die messtechnische ZEB sind in den zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung (ZTV ZEB-StB) 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 Griffigkeit 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 der Fahrbahn wichtiges Merkmal sind die Risse an der Fahrbahnoberfläche. Innerhalb dieses Forschungsprojekts wurden die Zustandsmerkmale Netzrisse, Risshäufungen und Einzelrisse für Asphaltbauweisen sowie Längs- und Querrisse für Betonbauweisen unter dem Begriff "Risse" zusammengefasst. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchte die Sichtbarkeit von Rissen (Asphalt und Beton) beeinflussen. Abkühlungsvorgänge können zur Entstehung neuer oder zur Aufweitung vorhandener Risse führen, während eine Erwärmung zur Verschmälerung von Rissen führen kann.

In den ZTV ZEB-StB gibt es aktuell keine Einschränkung bezüglich der zulässigen Temperaturbereiche für die messtechnische Zustandserfassung. Vorgeschrieben wird jedoch, dass Ebenheitsmessungen im Rahmen der ZEB auf trockener und sauberer Fahrbahnoberfläche stattfinden sollen. Aus bisher realisierten Projekten ist bekannt, dass Restfeuchte auf der Fahrbahnoberfläche die Sichtbarkeit feiner Risse, welche bei trockener Oberfläche nicht erkannt werden können, verbessern kann. Diesen und den Einfluss der Fahrbahnoberflächentemperatur galt es im Rahmen dieses Forschungsprojekts zu untersuchen und zu quantifizieren.

2 Forschungsziele

Mit dem Forschungsprojekt wurden drei Ziele verfolgt:

- Präzisierung des Erfassungsverfahrens zur schnellfahrenden Aufnahme von Substanzmerkmalen (Oberfläche) anhand geeigneter Vergleichsdaten und statistischer Auswertungen.

Dazu wurden die im Zuge des Projekts 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.

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

3 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Einflussfaktoren Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchte untersucht. Dazu wurden Messkampagnen zu unterschiedlichen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Temperaturen und Witterungsbedingungen durchgeführt. Die Bauweisen Asphalt und Beton wurden 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. Für die Auswertung des untersuchten Zustandsmerkmals Risse 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 Datenauswertung erfolgte durch erfahrenes und für die Besonderheiten des Forschungsprojekts geschultes Personal. Da im vorliegenden Projekt das Schadensmerkmal Risse und mögliche Zusammenhänge zwischen der Fahrbahntemperatur und der Oberflächenfeuchte auf die Erkennbarkeit von Rissen untersucht wurden, wurden die Auswerteregeln der ZTV ZEB-StB für die Erfassung von Substanzmerkmalen (Oberfläche) entsprechend der Projektziele folgendermaßen präzisiert:

- Differenzierung zwischen offenen und verfüllten Rissen
- Schätzung der Risslänge in einem Segment (für Asphaltbauweisen)

- Registrierung von Rasterfeldern und Betonplatten mit Reparaturstellen
- Feststellung des Feuchtegrads (trockene Oberfläche, abtrocknende Oberfläche und nasse Oberfläche)

Die vom Erfasser zu jeder Messkampagne bereitgestellten Messdaten wurden zunächst auf Vollständigkeit und Korrektheit geprüft und anschließend den standardisierten Datenprüfungen der ZEB unterzogen.

Die Datenvergleichbarkeit der einzelnen Messungen war hier von hoher Bedeutung. Da eine Synchronisierung anhand des GPS-Signals und unter Verwendung von Projektionsmethoden der klassischen ZEB nicht die geforderte Genauigkeit von 1 m lieferte, wurden die Datenströme der Geo-Rohdaten anhand des laufenden Meters, der Front- und Sekundärkamerabilder sowie geeigneter eindeutiger Merkmale (zum Beispiel Sprünge beim Längsprofil des TP1a) feinsynchronisiert. Hierfür wurde ein von dem Forschungsnehmer in anderen Projekten entwickeltes und praxiserprobtes Verfahren verwendet, bei welchem der Auswerter sogenannte Synchronisierungsmarker einsetzt, um dieselbe Position in zwei Kampagnen darzustellen. Mithilfe der Synchronisierungsmarker konnten die Geo-Rohdaten der zu synchronisierenden Messung auf das Raster der Master-Kampagne projiziert und anschließend die synchronisierten Raster-Rohdaten erstellt werden.

Die Auswertung der Oberflächenmerkmale wurde mithilfe der Software TP3Editor (Standardsoftware des Forschungsnehmers) durchgeführt, in welche im Vorfeld notwendige Erweiterungen, wie etwa die Anpassung der Synchronisierungsfunktion und Bereitstellung der Funktion zum Messen von Risslängen, implementiert wurden. Die Sichtbarkeit der Risse wurde unter Anwendung des Verfahrens gemäß den ZTV ZEB-StB untersucht. Während der regulären ZEB-Erfassung werden die Daten anhand des sogenannten Einzelbetrachtungsverfahrens ausgewertet. Das heißt, der Auswerter sieht zum Zeitpunkt der Auswertung lediglich die Bilder der aktuellen Messkampagne, ohne von den Ergebnissen vorheriger Auswertungen beeinflusst werden zu können. Für die Auswertung der Messdaten dieses Projekts wurde dasselbe Verfahren ausgewählt und umgesetzt. Um die Qualität der Auswertung sicherzustellen, wurden alle Daten/Messfahrten parallel durch eine zweite, unabhängige Person ausgewertet.

Nachdem die zweite Auswertung abgeschlossen war, wurden beide Auswertungen miteinander verglichen, indem zunächst die Versuchsstrecken in immer 2 km lange Vergleichsabschnitte aufgeteilt und anschließend die Ergebnisse der beiden Messungen für jeden Abschnitt verglichen wurden – diese Vorgehensweise erfolgte in Anlehnung an die aus der ZEB bekannten Eigenüberwachung.

Nach erfolgter Auswertung der Oberflächenschäden wurden die Daten gemäß den festgelegten Regeln synchronisiert. Als Nächstes wurde die Netzuordnung der georeferenzierten Rohdaten realisiert. Im Anschluss erfolgte die Berechnung der relevanten Zustandsgrößen und der dazugehörigen Zustandswerte. Abweichend von den Regelungen der ZTV ZEB-StB wurde festgelegt, dass ein Auswerteabschnitt immer 100 m betragen sollte.

Zu jedem 100-m-Auswerteabschnitt wurden die mittlere Fahr- bahn oberflächentemperatur berechnet, der Feuchtegrad abgeschätzt sowie, sofern vorhanden, die Art und das Baujahr der Deckschicht bestimmt. Alle Daten wurden in einer Projektdatenbank zusammengefasst, die als Grundlage für weitere Visualisierungen und Analysen diente. Die ausgewerteten Daten wurden auf verschiedene Weisen mithilfe von OnKo2 visualisiert, sodass eine ingenieurmäßige Betrachtung und Analyse möglich waren. Basierend auf den Visualisierungen konnten Zusammenhänge zwischen den Auswertedaten und der Temperatur beziehungsweise Feuchte festgestellt werden.

4 Untersuchungsergebnisse

Die statistische und wissenschaftliche Auswertung beruht auf den Rohdaten, die in Anlehnung an die Vorgaben der ZTV ZEB-StB ausgewertet worden sind. Diese liegen zu jeder Messkampagne digital in einem Tabellendateiformat vor und wurden mit einem Tabellenkalkulationsprogramm analysiert und ausgewertet. Hierzu wurden die nachfolgenden Vergleichsszenarien iterativ entwickelt:

- Szenario 1: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse aller sieben Jahreszeitenmessungen
- Szenario 2: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse der Messungen auf trockener Fahrbahn
- Szenario 3: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf abtrocknender Fahrbahn
- Szenario 4: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn bei unterschiedlichen Fahrbahn oberflächentemperaturen
- Szenario 5: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn zur Untersuchung der Tagesganglinie im Frühjahr
- Szenario 6: Statistische Auswertung und Vergleich der Ergebnisse auf trockener Fahrbahn zur Untersuchung der Tagesganglinie im Sommer

Zu jedem Vergleichsszenario wurden folgende Analysen durchgeführt und grafisch dargestellt:

- Übersicht des Datenbestands und Anzahl der gemeinsamen vergleichbaren 100-m-Auswerteabschnitte einer Bauweise
- Angaben zum Feuchtegrad der Fahrbahn oberfläche (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)

Mit den verschiedenen Vergleichsszenarien sollten die Einflüsse von Fahrbahnoberflächentemperatur und -feuchtegrad 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 Feuchtegrads an der Fahrbahnoberfläche, erkennen. Daher ist aufgrund der in diesem Forschungsprojekt erhobenen Daten keine abschließende Quantifizierung der Einflüsse und Klassifizierung von Messbedingungen möglich.

Die Auswertungen haben aber gezeigt, dass durchaus Einflüsse der Temperatur und des Feuchtegrads der Fahrbahnoberfläche existieren. In den Winterkampagnen, bei denen jeweils die im Durchschnitt tiefsten Temperaturen herrschten und die Anzahl der abtrocknenden Abschnitte am höchsten war, war die Sichtbarkeit der Risse grundsätzlich höher als in allen anderen Kampagnen. Durch verschiedene Vergleichsszenarien wurde untersucht, ob diese Einflüsse nach Fahrbahnoberflächentemperatur- oder Restfeuchteeinflüssen differenziert werden können.

Zur Ermittlung des Einflusses der Restfeuchte wurden in Szenario 3 nur abtrocknende 100-m-Auswerteabschnitte aus den beiden Winterkampagnen untersucht. Die Ergebnisse zeigen sehr eindeutig, dass auf diesen abtrocknenden 100-m-Auswerteabschnitten im Durchschnitt mehr Risse sichtbar waren als bei Szenarien, bei denen nicht nur abtrocknende Abschnitte betrachtet worden sind. Allerdings kann aus diesen Daten kein Zusammenhang zwischen dem Feuchtegrad und der Sichtbarkeit von Rissen hergestellt werden, da der Feuchtegrad einer Fahrbahnoberfläche nur schwierig quantifiziert werden kann. Dies ist bei der Analyse der erfassten Daten und insbesondere auch bei der Auswertung der Rohdaten deutlich geworden. Eine Bewertung des Feuchtegrads 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 trockenen 100-m-Auswerteabschnitte der Messkampagnen Herbst, Frühjahr und Sommer miteinander verglichen. Es wurde deutlich, dass mittlere und hohe Fahrbahnoberflächentemperaturen keinen direkten Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen haben. Ein solcher Einfluss wurde jedoch bei einer hohen Fahrbahnoberflächentemperaturdifferenz, zumindest bei der Asphaltbauweise, erkennbar (Vergleich einer Wintermesskampagne und einer Sommermesskampagne). 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. Obwohl die 100-m-Auswerteabschnitte bei der Messkampagne im Winter als trocken eingestuft wurden, konnte 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 im Winter im Vergleich zur Messkampagne im Sommer geringfügig zurück. Eine mögliche Erklärung für dieses unerwartete Verhalten 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 beide Messkampagnen im Winter auf 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 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 tieferen Fahrbahnoberflächentemperaturen, wodurch Restfeuchte in den Rissen länger vorhanden bleibt.

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 Temperatur und des Feuchtegrads auf die Sichtbarkeit von Rissen zu modellieren. Innerhalb der statistischen Analyse konnte ein Einfluss der Faktoren Fahrbahntemperatur und Fahrbahnfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen erkannt werden. Allerdings ließen sich diese beiden Faktoren aufgrund der geringen Anzahl an vergleichbaren Abschnitten nur schwer differenzieren oder führten zu keinem einheitlichen Ergebnis. Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, den Feuchtegrad an der Fahrbahnoberfläche genau zu definieren. Aus diesen Gründen konnte im Rahmen dieses Forschungsprojekts kein statistisches Modell entwickelt werden, um die Einflüsse der Fahrbahntemperatur und der Fahrbahnfeuchte auf die Sichtbarkeit von Rissen zu quantifizieren.

5 Schlussfolgerung

Die Auswertungen haben bestätigt, dass der Feuchtegrad der Fahrbahnoberfläche einen Einfluss auf die Erkennbarkeit von Rissen hat, dieser aber innerhalb des Forschungsprojekts 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 quantifiziert werden kann, 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.

Im Rahmen des Forschungsprojekts 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.

Bei der Versuchsstrecke in Betonbauweise wurde bei höheren Fahrbahnoberflächentemperaturen eine bessere und bei niedrigen eine verschlechterte Sichtbarkeit von Rissen festgestellt. Da im Rahmen dieses Forschungsprojekts lediglich eine Versuchsstrecke in Betonbauweise untersucht wurde, können hieraus keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Die Bewertungen (Codierung von Substanzmerkmalen (Oberfläche)) 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 Forschungsprojekts 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 dokumen-

tieren. Diese können bei der Interpretation der Auswertungsergebnisse 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 bestimmt werden kann.