
Netzweite Früherkennung AKR-geschädigter Beton- fahrbahndecken mit schnellfahrenden Messsys- temen

Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für
Straßenwesen

Netzweite Früherkennung AKR-geschädigter Betonfahrbahndecken mit schnellfahrenden Messsystemen

von

Dipl.-Ing. Henning Balck, Heller Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt

Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher, M.Sc. Robin Przondziono,
Ruhr Universität Bochum, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften,
Lehrstuhl Baustofftechnik, Bochum

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Volker Jakobi, Schniering GmbH, Essen

Impressum

Fachveröffentlichung zu Forschungsprojekt: 04.0335

Netzweite Früherkennung AKR-geschädigter Betonfahrbahndecken mit schnellfahrenden Messsystemen

Fachbetreuung:
Börge Wasser

Referat:
Zustandserfassung- und bewertung

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

<https://doi.org/10.60850/fv-s-04.0335>

Bergisch Gladbach, Juli 2024

Zu diesem Forschungsprojekt werden nur die Kurzfassung und der Kurzbericht veröffentlicht. Die Langfassung des Schlussberichts kann auf Anfrage an verlag@bast.de zur Verfügung gestellt werden.

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 Kommunikation.

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) ist auch heute noch eines der weltweit größten Probleme für die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken. Betroffen waren und sind auch zahlreiche Autobahnabschnitte in Deutschland. Zur Planung und Einleitung nachhaltiger Maßnahmen bedarf es einer möglichst frühzeitigen Feststellung von AKR-Schäden, welche anhand sogenannter Substanzmerkmale (Oberflächenschäden) erfolgen kann. Im Frühstadium einer AKR sind dies Verfärbungen und / oder feinste Rissbildungen. Im Prozess der netzweit und zyklisch durchgeführten messtechnischen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) ist eine Codierung von Verfärbungen bis dato nicht vorgesehen. Für eine Auswertung feinsten Risse ist nicht sichergestellt, dass die eingesetzte Messtechnik den Anforderungen entspricht. Auch eine Systematik für die Bewertung von AKR-Schädigungen an Betonfahrbahnen ist über die Regelwerke der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) nicht definiert.

Auf Grundlage der bis dato durchgeführten ZEB-Kampagnen lässt sich demnach eine belastbare Erhaltungs- und Finanzplanung in Bezug auf AKR-geschädigte Betonfahrbahnen nicht ableiten. Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) war daher zu untersuchen, wie ein praxistaugliches Verfahren zur netzweiten Erfassung und Bewertung von AKR-bedingten Schäden im Frühstadium realisiert werden kann.

Vorgehen im Projekt

Zur Erfassung von Substanzmerkmalen wurde zunächst ein schnellfahrendes Messsystem entwickelt, welches auf den in einer klassischen ZEB eingesetzten Verfahren basiert. Erweitert um zwei hochauflösende Oberflächenkameras in Kombination mit entsprechender Beleuchtungstechnik wurden statische und dynamische Testerfassungen durchgeführt. Dabei konnten sehr gute Resultate bei der Erkennung von feinsten Rissen ($\geq 0,2$ mm) erzielt werden. Andererseits zeigte sich, dass in den Oberflächenaufnahmen die AKR-spezifischen, dunkel-gräulichen Verfärbungen an Quer- und Längsfugen der einzelnen Betonplatten nur sehr bedingt bis gar nicht erkennbar sind. Für die Erfassung von Verfärbungen wurde daher in erster Linie auf die Frontkameraaufnahmen zurückgegriffen, wobei u.a. eine Abhängigkeit von den Lichtverhältnissen besteht.

Zur Validierung der Erfassungstechnik wurden sechs Strecken auf Bundesautobahnen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen befahren und die daraus codierten Schadensmerkmale mit den Ergebnissen zweier jahreszeitlich versetzten, in situ absolvierten Referenzerfassungen verglichen. Dies führte u.a. zu der Erkenntnis, dass die durch Inaugenscheinnahme erkannten Rissbreiten $\geq 0,1$ mm auch in den dynamisch erfassten Oberflächenbildern gut identifiziert werden

können, womit die ursprünglichen Anforderungen an das Bildmaterial übertroffen wurden. Ebenso konnte vor Ort das Problem der Erkennbarkeit von Verfärbungen nachvollzogen werden.

Spezielle, für die Codierung der AKR-Schädigungen notwendige, Substanzmerkmale wurden definiert und in einem Leitfaden für die Auswertung beschrieben. Die an hochauflösenden Bildschirmen durchgeführte Codierung stellte sich als vergleichsweise zeitaufwändig dar und erforderte eine hohe Konzentration und Disziplin der ausführenden Personen.

Anders als zu Projektbeginn angenommen, ergab sich keine Möglichkeit aus den codierten Substanzmerkmalen oder deren Kombination direkt auf eine AKR-Schädigung zu schließen oder diese in eine Schadenskategorie zu überführen. Vielmehr hat sich gezeigt, dass die Festlegung einer AKR-Schädigung und deren Kategorisierung weiterer Betrachtungen durch einen AKR-Experten und / oder AKR-Gutachter anhand weiterer Daten bedarf. Bei dem hierzu entwickelten Modell versucht ein Experte, auf Basis der durch Auswerter durchgeführten Codierung der definierten AKR-Substanzmerkmale, zunächst aufgrund der vorhandenen Bild- und Bestandsdaten (Baustoffe, Alter, Einbaubedingungen etc.) einen AKR-Verdacht abzuleiten oder eine Klassifizierung vorzunehmen. Ist dies nicht möglich, kann in einem weiteren Schritt ein Gutachter hinzugezogen werden.

Um netzweite oder auch objektbezogene Daten zu untersuchten Strecken zielgerichtet verwalten und nutzen zu können, erscheint der Aufbau einer zentralisierten Datenbank empfehlenswert. Auf der Ebene eines Erhaltungsmanagements ließen sich diese Daten dann mit den Daten einer ZEB verschneiden.

Folgerungen

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass das entwickelte Verfahren zur Erfassung und Auswertung von Substanzmerkmalen einer im Frühstadium befindlichen AKR als Grundlage für die Klassifizierung von betroffenen Abschnitten eingesetzt werden kann. Eine direkte Einteilung in Schadenskategorien kann hieraus jedoch nicht vorgenommen werden. Diese ist in einem nachgelagerten Prozess durch Experten und eventuell Gutachter vorzunehmen. Das Erfassungs- und Auswerteverfahren könnte in das bestehende ZEB-Verfahren integriert werden, jedoch ergäbe sich dadurch ein deutlich höherer Zeit- und Kostenaufwand bei Erfassung, Auswertung und Datenverarbeitung. Ebenso scheint aufgrund der teilweise rasch voranschreitenden Entwicklung der AKR-Schädigungen ein Erfassungs-rhythmus ≤ 2 Jahren notwendig, was ebenso für zwei getrennte Verfahren spricht.

Abstract

Network-wide early detection of ASR-damaged concrete carriageway surfaces with high-speed measuring systems

Initial situation

Alkali-silica reaction (ASR) is still one of the biggest problems for the durability of concrete structures worldwide. Numerous motorway sections in Germany have been and still are affected. In order to plan and initiate sustainable measures, ASR damage needs to be detected as early as possible, which can be done on the basis of so-called substance characteristics (surface damage). In the early stages of ASR, these are discolouration and/or very fine cracks. In the process of network-wide and cyclical metrological condition monitoring and assessment (ZEB), coding of discolouration has not yet been provided for. There is no guarantee that the measurement technology used meets the requirements for analysing the finest cracks. A system for the evaluation of ASR damage on concrete carriageways is also not defined in the regulations for condition monitoring and assessment (ZEB).

On the basis of the ZEB campaigns carried out to date, it is therefore not possible to derive a reliable maintenance and financial plan for ASR-damaged concrete carriageways. On behalf of the Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), it was therefore necessary to investigate how a practical procedure for the network-wide monitoring and assessment of ASR-related damage at an early stage could be realised.

Project procedure

To record substance characteristics, a high-speed measuring system was initially developed based on the methods used in a classic ZEB. Enhanced by two high-resolution surface cameras in combination with appropriate lighting technology, static and dynamic test fixtures were carried out. Very good results were achieved in the detection of the finest cracks (≥ 0.2 mm). On the other hand, the surface images showed that the ASR-specific, dark greyish discolouration at the transverse and longitudinal joints of the individual concrete slabs was only very partially visible or not visible at all. For the detection of discolouration, the front camera images were therefore primarily used, whereby there is a dependency on the lighting conditions, among other things.

To validate the detection technique, six stretches of German motorway were travelled under different environmental conditions and the resulting coded damage characteristics were compared with the results of two in situ reference surveys carried out at different times of the year. Among other things, this led to the realisation that the crack widths ≥ 0.1 mm detected by visual inspection can also be easily identified in the dynamically captured surface images, thus exceeding the

original requirements for the image material. The problem of recognising discolouration could also be reproduced on site.

Special substance characteristics required for the coding of ASR damage were defined and described in a guideline for the evaluation. The coding itself, which was carried out on high-resolution screens, proved to be comparatively time-consuming and required a high level of concentration and discipline on the part of the people carrying out the work.

Contrary to what was assumed at the beginning of the project, it was not possible to draw direct conclusions about ASR damage from the coded substance characteristics or their combination or to transfer them into a damage category. Rather, it has been shown that the determination of ASR damage and its categorisation requires further consideration by an ASR-expert and / or ASR-assessor on the basis of additional data. In the model developed for this purpose, an expert first attempts to derive a suspected ASR or categorise it on the basis of the coding of the defined ASR substance characteristics carried out by evaluators, using the available image and inventory data (building materials, age, installation conditions, etc.). If this is not possible, an assessor can be consulted in a further step.

In order to be able to manage and use network-wide or even object-related data on investigated routes in a targeted manner, the creation of a centralised database seems advisable. At the level of maintenance management, this data could then be merged with the data of a ZEB.

Conclusions

To summarise, it can be said that the method developed for monitoring and assessing the substance characteristics of an ASR in its early stages can be used as a basis for classifying affected sections. However, a direct categorisation into damage categories cannot be made from this. This must be carried out in a downstream process by experts and possibly assessors. The monitoring and assessment procedure could be integrated into the existing ZEB procedure, but this would result in significantly higher time and cost expenditure for survey, evaluation and data processing. Similarly, due to the sometimes rapidly advancing development of ASR damage, a recording frequency of ≤ 2 years seems necessary, which also speaks in favour of two separate procedures.

Kurzbericht

Netzweite Früherkennung AKR-geschädigter Betonfahrbahndecken mit schnellfahrenden Messsystemen

Die zuerst in den 1940er Jahren in den USA festgestellte Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) ist auch heute noch eines der weltweit größten Probleme für die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken. Bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion reagieren alkaliempfindliche SiO_2 -Bestandteile der Gesteinskörnung mit den Alkali- und Hydroxid-Ionen (K^+ , Na^+ und OH^-) der Porenlösung im Beton zu einem Alkali-Kieselgel, das bestrebt ist, Wasser aufzunehmen. Unter ungünstigen Umständen vergrößert sich dabei das Volumen des Alkali-Kieselgels mit der Zeit so stark, dass lokal Quelldrücke auftreten, welche das Betongefüge schädigen und äußerlich zu Netzrissebildung, Ausblühungen und Abplatzungen führen können. Dies führt früher oder später zu aufwendigen und kostenintensiven Instandsetzungs- bzw. Neubaumaßnahmen. Von der AKR waren und sind auch zahlreiche Autobahnabschnitte in Deutschland betroffen.

Damit nachhaltige Maßnahmen geplant und eingeleitet werden können, bedarf es einer möglichst frühzeitigen Erkennung von AKR-Schäden und geeigneter Sanierungsverfahren. In den vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (heute BMDV) zuletzt im Jahre 2020 eingeführten „Empfehlungen für die Schadensdiagnose und die Bauliche Erhaltung von AKR-geschädigten Fahrbahndecken aus Beton“ [BMVI 2019] sind hierzu u.a. fünf Schadenskategorien aufgeführt. Diese lassen sich anhand von sogenannten Substanzmerkmalen (Oberflächenschädigungen) ermitteln, welche im Rahmen der messtechnischen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) teilweise erfasst, aber bis dato nicht als eigenständige AKR-Merkmale ausgewertet werden. Entsprechend finden diese im nachfolgenden Bewertungsprozess keine Berücksichtigung. Gemäß obigen Empfehlungen kann eine AKR im Frühstadium über Verfärbungen im Fugenbereich und / oder über feinste Rissbildung identifiziert werden. Die Identifizierung von Substanzmerkmalen basiert bei einer ZEB auf Bildern der Fahrbahnoberfläche, welche durch speziell geschultes Personal in manueller Auswertung codiert werden. Eine Codierung von Verfärbungen ist in den derzeit gültigen ZEB-Regelwerken nicht vorgesehen und erfolgt entsprechend nicht. In Bezug auf die Auswertung feinsten Risse ist nicht sichergestellt, dass die eingesetzte Messtechnik den Anforderungen entspricht. Die TP Oberflächenbild-StB 20 [FGSV 2020] definiert hierzu, dass linienhafte Kontrastelemente (z.B. Risse) ab einer Breite von 1,0 mm sicher erkannt werden müssen, was für die Identifikation feinsten Risse nicht ausreichend ist.

Für Schädigungen an Betonfahrbahnen durch AKR, welche eine fortschreitende Zersetzung der Betonoberflächen nach sich zieht, sind derzeit im Rahmen der netzweiten Erfassung keine eigenständigen Merkmale definiert. Für die nachgeschaltete Bewertung der Betonfahrbahnen in Bezug auf AKR-

Schädigungen, insbesondere für eine Früherkennung, steht damit keine Grundlage zur Verfügung. Die Bearbeitung dieses Forschungsprojektes hatte daher zum Ziel, ein praxistaugliches Verfahren zur netzweiten Erfassung und Auswertung von AKR-bedingten Schäden im Frühstadium mittels schnellfahrenden Messsystemen zu entwickeln und bereitzustellen. Eine Einbindung der Ergebnisse in den bestehenden ZEB-Prozess, als Grundlage für die nachgeschaltete Erhaltungs- und Finanzplanung, sollte möglich sein.

Neben der Konzeptionierung erfolgte die Bearbeitung des Projektes im Wesentlichen in den folgenden Schritten:

- Entwicklung und Validierung eines Erfassungsverfahrens
- Saisonale messtechnische Erfassung ausgewählter Teststrecken (dynamische Erfassungen)
- Aus- und Bewertung sowie Visualisierung der messtechnisch erfassten Daten
- Validierung der Ergebnisse durch einen Experten in situ (Referenzerfassungen)
- Dokumentation der Ergebnisse und Empfehlungen zur Erweiterung des ZEB-Verfahrens

Als Grundlage für die weiteren Arbeiten wurde daher zunächst eine Erfassungstechnik entwickelt, welche auf den in einer klassischen ZEB eingesetzten Verfahren basiert. Erweitert um zwei hochauflösende Oberflächenkameras für die Identifikation feinsten Risse - eine monochrome und eine farbige – in Kombination mit entsprechender Beleuchtungstechnik wurden erst statische und nachfolgend dynamische Testerfassungen durchgeführt.

Als herausfordernd hat sich dabei, neben den Anforderungen an eine homogene und kontrastreiche Ausleuchtung der Oberfläche, insbesondere die Kombination aus hoher Auflösung über die gesamte Breite der Betonplatte versus Geschwindigkeit und Datenmenge dargestellt. Mittels des Einsatzes zweier orthogonal auf die Fahrbahnoberfläche ausgerichteten Flächenkameras in Kombination mit speziellen Bildverarbeitungskarten sowie einem eigens dafür umgesetzten Aufzeichnungskonzept konnte hierfür eine Lösung gefunden werden.

Anhand dieser Aufnahmen wurde zunächst untersucht, inwieweit sich AKR bedingte Verfärbungen an den Quer- und Längsfugen der einzelnen Platten identifizieren lassen. Es hat sich gezeigt, dass aus diesen Oberflächenaufnahmen die spezifischen dunkel-gräulichen Verfärbungen nur sehr bedingt bis gar nicht erkennbar sind. Auch der Einsatz verschiedener Vorsatzfilter im Rahmen der statischen und einer Niederflurkamera im Rahmen der dynamischen Erfassungen konnte die Erkennbarkeit nicht weiter absichern. Ebenso hat der Einsatz einer Farbkamera im Vergleich zur monochromen Variante keine Vorteile in Bezug auf die Erkennbarkeit ergeben. Für die Erfassung von Verfärbungen an den Längs- und

Querfugen wurde daher in erster Linie auf die Frontkameraaufnahmen zurückgegriffen. Da diese Aufnahmen nicht künstlich beleuchtet werden können, hat sich in Bezug auf die Erkennbarkeit von Verfärbungen eine Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren wie den gegebenen Lichtverhältnissen, der Lichteinfallrichtung und von Schattenwurf gezeigt. Dies ist, ebenso wie Restfeuchten auf der Fahrbahn, bei einer Auswertung zu berücksichtigen.

In Bezug auf die Identifikation von Verfärbungen an Quer- und Längsfugen bleibt nach den Erkenntnissen in diesem Projekt festzuhalten, dass diese auf Basis von Kameraaufnahmen nur eingeschränkt möglich ist und durch eine Begutachtung vor Ort unterstützt werden sollte. Demgegenüber konnte beobachtet werden, dass sich Verfärbungen an Rissen sowohl im Frontkamerabild als auch im Oberflächen- und Niederflurbild vergleichsweise gut identifizieren lassen.

Sehr gute Resultate konnten durch den Einsatz der hochauflösenden Oberflächenkameras in Kombination mit der eingesetzten Beleuchtungstechnik bei der Erkennung von feinen bis feinsten Rissen ($\geq 0,2$ mm) erzielt werden. Oberflächenaufnahmen der Farbkamera haben auch hier keine Vorteile gegenüber der monochromen Variante ergeben. Feuchtigkeit auf den Betonoberflächen scheint hingegen die Erkennbarkeit von feinen Rissen und Verfärbungen im Bildmaterial zu verbessern. Aufgrund fehlender Feuchtedaten der Betonfahrbahn kann hier aber nur eine Beobachtung wiedergegeben werden und kein qualitativ zu verwertendes Ergebnis.

Zur Validierung der Erfassungstechnik wurden in Abstimmung mit den Fachbetreuern der BAST und den beteiligten Experten der Bundesländer insgesamt sechs Strecken auf den Bundesautobahnen A4, A9 und A38 mit einer Gesamtlänge von mehr als 80 km ausgewählt. Diese Strecken wurden zu drei unterschiedlichen Jahreszeiten und damit unterschiedlichen Umgebungsbedingungen mit einer Erfassungsgeschwindigkeit zwischen 60 und 80 km/h mehrmals befahren.

Zur späteren Validierung des dynamisch erfassten Bildmaterials im Hinblick auf die auszuwertenden Schadensmerkmale wurden seitens der Ruhr Universität Bochum zwei Referenzerfassungen in situ vorgenommen. Dabei wurden sieben Teilbereiche auf den ausgewählten Strecken nahezu zeitgleich mit den dynamischen Erfassungen im November 2020 und im Juni 2021 aufgenommen, die Ergebnisse dokumentiert und im Anschluss mit denen der dynamischen Erfassung verglichen. Dies führte u.a. zu der Erkenntnis, dass die durch Inaugenscheinnahme erkannten Rissbreiten $\geq 0,1$ mm auch in den dynamisch erfassten Oberflächenbildern gut identifiziert werden können, womit die ursprünglichen Anforderungen an das Bildmaterial übertroffen wurden. Ebenso konnte vor Ort das Problem der Erkennbarkeit von Verfärbungen nachvollzogen werden. Es zeigte sich, dass die Erkennbarkeit von Verfärbungen an Plattenkanten in orthogonaler Blickrichtung stark eingeschränkt bis gar nicht und in einer

Schrägansicht teils nur in Abhängigkeit von Blickrichtung und Lichtverhältnisses gegeben ist.

Für die Auswertung der Oberflächenschäden sind, ergänzend zu den im ZEB-Prozess bereits definierten Substanzmerkmalen, die in Tab.1 dargestellten AKR-Merkmale sowie deren Bezug zur maßgeblich den befahrenen Fahrstreifen bildenden Platte mit den beteiligten Experten abgestimmt sowie in einem Leitfaden dokumentiert und beschrieben worden. Dabei wurde herausgearbeitet, dass eine ursachenbasierte Unterscheidung von Merkmalen, wie beispielsweise von Schwindrissen und AKR-bedingten Rissen, insbesondere im Frühstadium nicht möglich ist.

Zur Codierung der AKR-Merkmale aus den erfassten Bilddaten sowie zu deren nachgeschalteter Bewertung wurden die Verfahren so entworfen, dass die Prozesse und Werkzeuge der ZEB mit kleineren Anpassungen genutzt werden können. Dies betrifft die Auswerteoberfläche eines Auswerteplatzes, den Einsatz der Rohdatenformate, die Zuordnung zum digitalen Straßennetzmodell und die Berechnung der Zustandsgrößen.

| | | |
|---|---|--|
| Substanzmerkmale (Oberfläche) von Zementbetonfahrbahnen gemäß ZTV ZEB-StB 2018 | Flickstellen und bituminöser Teilersatz [BTE] | |
| | Kantenschäden [KAS] | |
| | Eckabbrüche [EAB] | |
| | Nester und Abplatzungen [NTR] | |
| | Längs- und Querrisse (feine bis klaffende Brüche) [LQR] | |
| definierte Substanzmerkmale (Oberfläche) zur AKR-(Früh-) Erkennung | Feine Risse [FRI] | Feine Risse mit Verfärbungen [FRV] |
| | Feine Längsrisse [FLI] | Feine Längsrisse mit Verfärbungen [FLV] |
| | Verfärbungen an den Längs- oder Querfugen bzw. im Fugenkreuz [VFG] | |

Tab. 1: Substanzmerkmale einer AKR-Auswertung in Abgrenzung zu einer ZEB-Auswertung

Obwohl die durchgeführte Auswertung, wie bei der ZEB auch, ausschließlich auf Ja/Nein-Entscheidungen zur Codierung der einzelnen Merkmale basierte, stellte sich diese als sehr zeitaufwändig dar. Die Auswerteleistung reduzierte sich im Mittel auf deutlich unter 1 km/h. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Auswertung der feinen Risse eine hohe Konzentration und Disziplin erfordert.

Auswertungen wurden sowohl bei der Heller IG als auch bei der Schniering GmbH anhand identischen Bildmaterials aber mittels unterschiedlicher Auswertetechnik durchgeführt. Dabei stellten sich, insbesondere bei der Codierung von Verfärbungen und der Differenzierung der Risstypen, teilweise deutliche Abweichungen zwischen den beiden Teams heraus. Zielführend wäre hier die

Teams noch intensiver zu schulen und die Ergebnisse mittels Eigenüberwachungen und fachlicher Betreuung abzusichern.

Ebenfalls untersucht wurde, ob die neu definierten AKR-Merkmale auch in den Oberflächenbildern der regulären ZEB erkennbar sind. Hier hat sich gezeigt, dass, je nach Erfassungsfahrzeug bzw. eingesetzter Technik, eine Erkennung der feinen Risse nicht immer gegeben und mit Unsicherheit bei der Identifikation verbunden ist. Die dabei untersuchten Oberflächenbilder wiesen eine deutlich höhere als die gemäß TP Oberflächenbild [FGSV (2020)] minimal geforderte Auflösung auf, was die Erkennbarkeit vermutlich verbessert hat.

Für die Erweiterung der Rohdatenformate um die neuen Merkmale zur Früherkennung der AKR wurde ein Vorschlag erarbeitet. Dieser kann sowohl für die etablierte ZEB-Auswertung als auch für die Früherkennung AKR oder auch einen kombinierten Ansatz genutzt werden. Bedingt durch diese Erweiterung müssten das xsd-Schema und das Programm zur Berechnung der Zustandsgrößen (RohZGZW) erweitert werden. Für die Darstellung der Zustandsgrößen wurde analog zum ZEB-Verfahren der Anteil der vom jeweiligen Merkmal betroffenen Platten im 100m-Auswerteabschnitt definiert.

Anders als zu Projektbeginn angenommen, ergab sich auch aus Sicht der beteiligten Experten keine Möglichkeit, aus den codierten Substanzmerkmalen oder deren Kombination direkt auf eine AKR-Schädigung zu schließen oder diese direkt in eine Schadenskategorie zu überführen. Hier hat sich im Projektverlauf herauskristallisiert, dass die Festlegung einer AKR-Schädigung und deren Kategorisierung weiterer Betrachtungen durch einen AKR-Experten und / oder AKR-Gutachter anhand weiterer Daten bedarf. Für die Kategorisierung von AKR-Schädigungen ist ein zweistufiges Modell entwickelt und zunächst favorisiert worden (vergl. Bild 1).

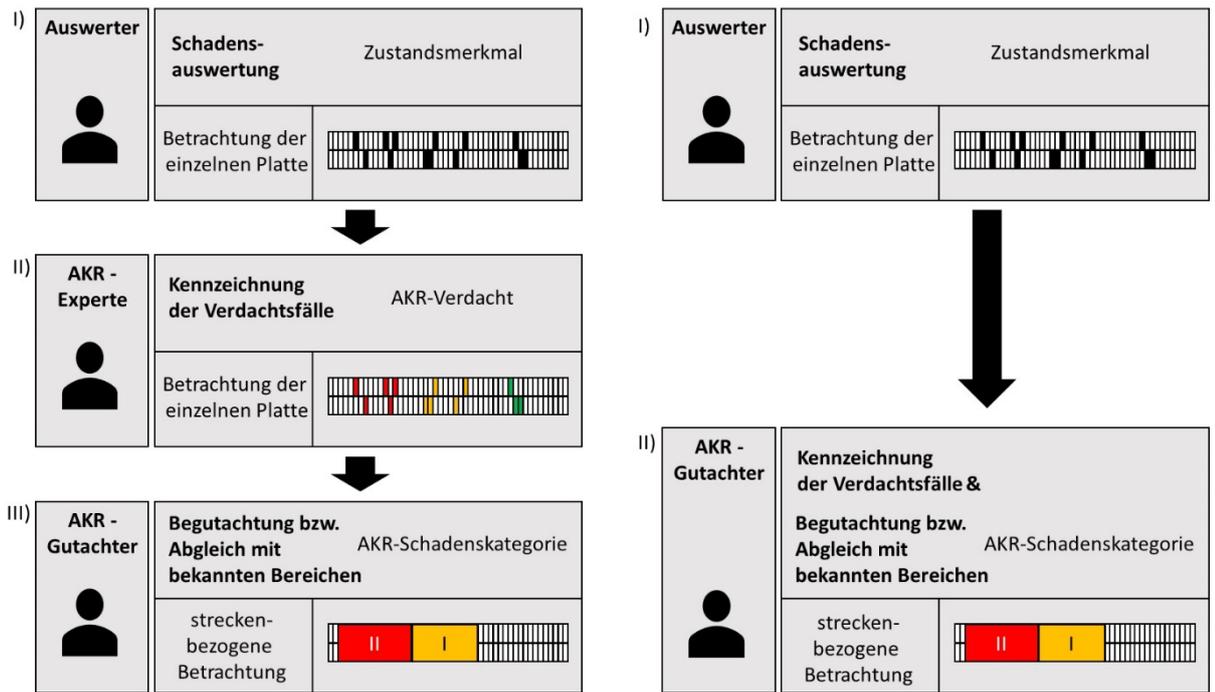


Bild 1: 2- oder 3-stufiges Konzept für die Schadensbewertung und Bestimmung der Schadenskategorie

Im Laufe des Projektes wurde ein alternatives dreistufiges Modell entwickelt (Auswertung – Experte – Gutachter), bei dem ein Experte bereits ohne zusätzliche labortechnische Analysen einen Verdacht dokumentieren oder eine Klassifizierung aufgrund der vorhandenen Bild- und Bestandsdaten (Baustoffe, Alter, Einbaubedingungen etc.) vornehmen kann. Eine Begutachtung erfolgt dann nur noch streckenbezogen für die herausgearbeiteten Verdachtsfälle.

Um netzweite oder auch objektbezogene Daten zu untersuchten Strecken (Verdachtsfall, AKR nachgewiesen, keine AKR) zielgerichtet verwalten und nutzen zu können, erscheint der Aufbau einer zentralisierten Datenbank empfehlenswert. Auf der Ebene eines Erhaltungsmanagements ließen sich diese Daten dann mit den Daten einer ZEB verschneiden.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass das entwickelte Verfahren zur Erfassung und Auswertung von Substanzmerkmalen einer im Frühstadium befindlichen AKR als Grundlage für die Klassifizierung von betroffenen Abschnitten eingesetzt werden kann. Die eigentlich angestrebte Einteilung in Schadenskategorien kann hieraus jedoch nicht direkt vorgenommen werden. Diese ist in einem nachgelagerten Prozess durch AKR-Experten und AKR-Gutachter vorzunehmen. Das Erfassungs- und Auswerteverfahren könnte in das bestehende ZEB-Verfahren integriert werden, jedoch ergäbe sich dadurch ein deutlich höherer Zeit- und Kostenaufwand bei Erfassung, Auswertung und Datenverarbeitung. Zusätzlich ist dieser Aufwand vor dem Hintergrund des geringen Anteils von Betonfahrbahnen im Bundesfernstraßennetz zu bewerten. Ebenso scheint aufgrund der teilweise rasch voranschreitenden Entwicklung der AKR-

Schädigungen ein Erfassungsrhythmus ≤ 2 Jahren notwendig, was ebenso für eine von der ZEB getrennten Erfassung und Auswertung spricht.

Literatur

| | |
|-------------|---|
| BMVI (2019) | Rundschreiben „Empfehlungen für die Schadensdiagnose und die Bauliche Erhaltung von AKR-geschädigten Fahrbahndecken aus Beton“, Fortschreibung, Stand März 2019, Bonn, 11.12.2020 |
| FGSV (2020) | Technische Prüfvorschriften für die Erfassung von Substanzmerkmalen (Oberfläche) mit schnellfahrenden Messsystemen, Teil: Bildaufnahme- und Auswertetechnik (TP Oberflächenbild-StB 20) |

Summary

Network-wide early detection of ASR-damaged concrete carriageway surfaces with high-speed measuring systems

The alkali-silica reaction (ASR), first identified in the 1940s in the United States, remains one of the largest challenges globally for the durability of concrete structures. In an alkali-silica reaction, alkali-sensitive SiO_2 components in the aggregate react with the alkali and hydroxide ions (K^+ , Na^+ , and OH^-) in the pore solution of concrete to form alkali-silica gel, which tends to absorb water. Under unfavourable conditions, the volume of alkali-silica gel can increase over time to such an extent that local swelling pressures occur, damaging the concrete structure and leading to the formation of mesh cracks formation, efflorescence and spalling on the surface. This ultimately results in costly and extensive repair or reconstruction measures. Numerous sections of highways in Germany have been and continue to be affected by ASR.

In order to plan and initiate sustainable measures, it is essential to detect ASR damage as early as possible and implement appropriate reconstruction procedures. The 'Recommendations for Damage Diagnosis and Structural Preservation of ASR-Damaged Concrete Pavements,' last introduced in 2020 by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (today BMVI), list five damage categories for this purpose. These can be identified based on so-called substance characteristics (surface damage), which are partially captured during the measurement-based condition monitoring and assessment (ZEB) but have not been evaluated as independent ASR features to date. Accordingly, these are not taken into account in the subsequent evaluation process.

According to the above recommendations, ASR in its early stages can be identified through discoloration in the joint area and/or the formation of fine cracks. The identification of substance characteristics in ZEB is based on images of the pavement surface, which are manually coded by specially trained personnel during evaluation. Coding of discolorations is not provided for in the currently valid ZEB regulations and is accordingly not carried out. Regarding the evaluation of fine cracks, it is not ensured that the measurement technology used meets the requirements. The TP Oberflächenbild-StB 20 [FGSV 2020] defines that linear contrasting elements (e.g., cracks) with a width of 1.0 mm or more must be reliably detected, which is insufficient for identifying the finest cracks.

For damage to concrete carriageways caused by ASR, which results in progressive degradation of the concrete surfaces, no independent characteristics are currently defined as part of the network-wide survey. This means that no basis is available for the downstream assessment of concrete carriageways with regard to ASR damage, in particular for early detection. The aim of this research project was therefore to develop and provide a practical method for the network-wide detection and evaluation of ASR-related damage at an early stage using high-speed

measuring systems. It should be possible to integrate the results into the existing ZEB process as a basis for downstream maintenance and financial planning.

In addition to the conceptualisation, the project was essentially processed in the following steps:

- Development and validation of a survey procedure
- Seasonal technical measurement survey of selected test routes (dynamic surveys)
- Analysis, evaluation and visualisation of the measured data
- Validation of the results by an expert in situ (reference surveys)
- Documentation of the results and recommendations for expanding the ZEB process

As a basis for further work, a recording technique was therefore initially developed based on the methods used in a classic ZEB. Enhanced by two high-resolution surface cameras for the identification of the finest cracks - one monochrome and one coloured - in combination with appropriate lighting technology, first static and then dynamic test surveys were conducted.

In addition to the requirements for homogeneous and high-contrast illumination of the surface, the combination of high resolution across the entire width of the concrete slab versus speed and data volume proved to be particularly challenging. A solution was found by using two area scan cameras aligned perpendicular to the road surface in combination with special image processing board and a specially implemented recording concept.

These images were first used to investigate the extent to which discolouration caused by ASR can be identified at the transverse and longitudinal joints of the individual panels. It was shown that the surface images only reveal the specific dark greyish discolouration to a very limited extent or not at all. The use of various attachment filters as part of the static and a low-floor camera as part of the dynamic surveys was also unable to further ensure recognisability. Similarly, the use of a colour camera compared to the monochrome variant did not result in any advantages in terms of detectability. The front camera images were therefore primarily used to record discolouration on the longitudinal and transverse joints. As these images cannot be artificially illuminated, the recognisability of discolouration has been shown to be dependent on various influencing factors such as the given lighting conditions, the direction of light incidence and shadows cast. This, as well as residual moisture on the road surface, must be taken into account when analysing the results.

With regard to the identification of discolouration at transverse and longitudinal joints, the findings of this project indicate that this is only possible to a limited extent on the basis of camera images and should be supported by an on-site assessment. In contrast, it was observed that discolouration at cracks can be identified comparatively well both in the front camera image and in the surface and low-floor image.

Very good results were produced by using the high-resolution surface cameras in combination with the lighting technology used to detect fine to very fine cracks (≥ 0.2 mm). Surface images from the colour camera did not show any advantages over the monochrome variant here either. Moisture on the concrete surfaces, conversely, appears to improve the detectability of fine cracks and discolouration in the image material. However, due to the uncertainty of the moisture data of the concrete roadway, only an observation can be reproduced here and not a qualitatively usable result.

To validate the detection technology, a total of six routes on the A4, A9 and A38 federal motorways with a total length of more than 80 km were selected in consultation with the BASt technical advisors and the experts from the federal states involved. These routes were surveyed at three different times of the year and therefore under different environmental conditions at speeds of between 60 and 80 km/h.

For the later validation of the dynamically recorded image material with regard to the damage characteristics to be analysed, the Ruhr Universität Bochum carried out two reference surveys in situ. Seven sub-areas on the selected routes were surveyed almost simultaneously with the dynamic surveys in November 2020 and June 2021, the results were documented and then compared with those of the dynamic survey. Among other things, this led to the realisation that the cracks with widths ≥ 0.1 mm detected by visual inspection can also be easily identified in the dynamically recorded surface images, thus exceeding the original requirements for the image material. The problem of recognising discolouration could also be reproduced on site. It was shown that the recognisability of discolouration on panel edges in an orthogonal viewing direction is severely limited or not at all and in an oblique view is partly only possible depending on the viewing direction and lighting conditions.

For the evaluation of the surface damage, in addition to the substance characteristics already defined in the ZEB process, the ASR characteristics shown in Table 1 and their relationship to the concrete slab that mainly forms the traffic lane were agreed with the experts involved and documented and described in a guideline. It was worked out that a cause-based differentiation of characteristics, such as cracks caused by shrinkage and ASR, is not possible, especially in the early stages.

The procedures for coding the ASR features from the captured image data and for their subsequent evaluation were designed in such a way that the processes and tools of the ZEB can be used with minor adaptations. This concerns the evaluation surface of an evaluation station, the use of the raw data formats, the assignment to the digital road network model and the calculation of the condition variables.

| | | |
|---|---|--|
| Substance characteristics (surface) of cement concrete carriageways according to ZTV ZEB-StB 2018 | Patches and bituminous partial replacement [BTE] | |
| | Edge damage [KAS] | |
| | Corner break-offs [EAB] | |
| | Nests and spalling [NTR] | |
| | Longitudinal and transverse cracks (fine to gaping cracks) [LQR] | |
| Defined substance characteristics (surface) for ASR (early) detection | Fine cracks [FRI] | Fine cracks with discolouration [FRV] |
| | Fine longitudinal cracks [FLI] | Fine longitudinal cracks with discolouration [FLV] |
| | Discolouration at the longitudinal or transverse joints or in the joint cross [VFG] | |

Table 1: Substance characteristics of an ASR evaluation in contrast to a ZEB evaluation

Although the evaluation carried out, as with the ZEB, was based exclusively on yes/no decisions for coding the individual characteristics, this proved to be very time-consuming. On average, the evaluation performance was reduced to significantly less than 1 km/h. Furthermore, it was shown that the evaluation of the fine cracks requires a high level of concentration and discipline.

Analyses were carried out at both Heller IG and Schniering GmbH using identical image material but different evaluation techniques. This revealed some significant differences between the two teams, particularly in the coding of discolouration and the differentiation of crack types. The aim here would be to train the teams even more intensively and to validate the results by means of self-monitoring and technical support.

It was also investigated whether the newly defined ASR features are also recognisable in the surface images of the regular ZEB. Here it was shown that, depending on the detection vehicle or the technology used, the fine cracks cannot always be recognised and identification is associated with uncertainty. The surface images analysed here had a significantly higher resolution than the minimum required according to TP Oberflächenbild [FGSV (2020)], which presumably improved detectability.

A suggestion was developed for the expansion of the raw data formats to include the new features for the early detection of ASR. This can be used both for the established ZEB evaluation and for the early detection of ASR or a combined approach. Due to this extension, the xsd schema and the programme for calculating the condition variables (RohZGZW) would have to be extended. For the representation of the condition variables, the proportion of the slabs affected by the respective characteristic in the 100m evaluation section was defined analogue to the ZEB method.

Contrary to what was assumed at the start of the project, the experts involved did not believe that it was possible to draw direct conclusions about ASR damage from the coded substance characteristics or their combination, or to transfer these directly into a damage category. During the project, it became clear that the determination of ASR damage and its categorisation requires further consideration by an expert and/or assessor based on additional data. A two-stage model was developed and initially favoured for the categorisation of ASR damage (see Figure 1).

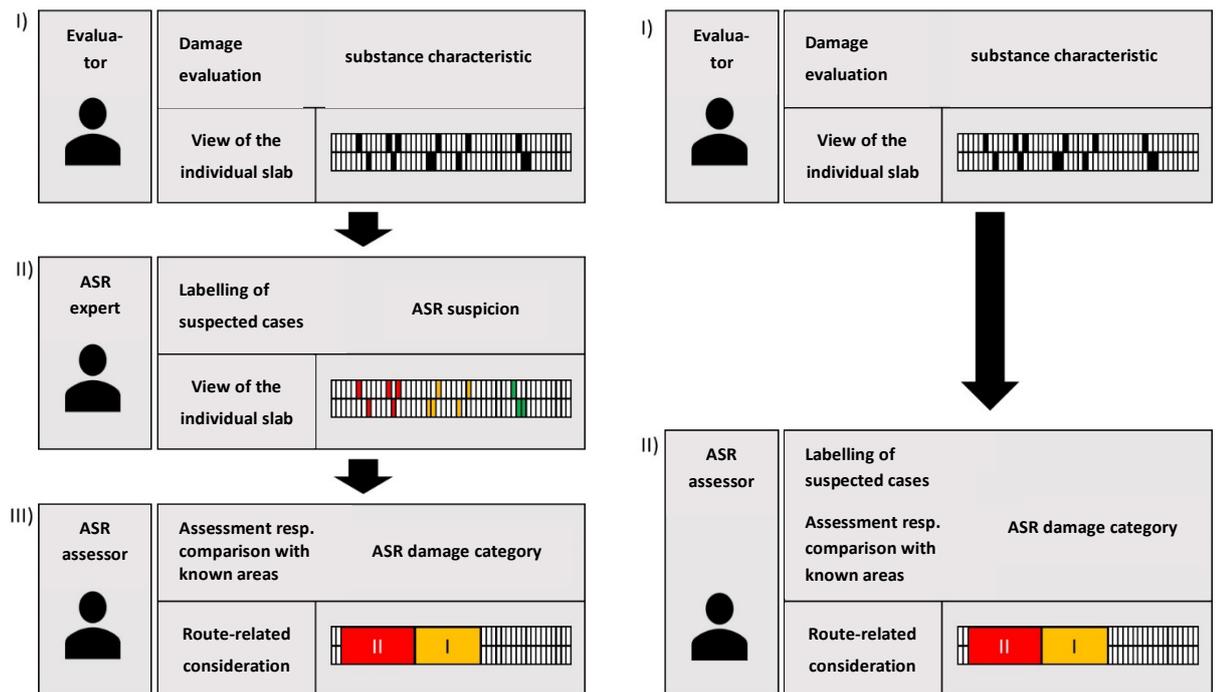


Figure 1: 2- or 3-stage concept for damage evaluation and determination of the damage category

In the process of the project, an alternative three-stage model was developed (evaluation - expert - assessor), in which an expert can already document a suspicion without additional laboratory analyses or make a classification based on the available image and inventory data (building materials, age, installation conditions, etc.). An assessment is then only carried out on a route-related basis for the suspected cases identified.

In order to be able to manage and use network-wide or object-related data on inspected stretches (suspected case, ASR proven, no ASR) in a targeted manner, the creation of a centralised database seems advisable. At the level of maintenance management, this data could then be merged with the data of a ZEB.

To summarise, it can be said that the method developed for recording and evaluating the substance characteristics of an ASR in its early stages can be used as a basis for classifying affected sections. However, it is not possible to categorise damage directly from this. This must be carried out in a downstream process by

experts and assessors. The monitoring and evaluation procedure could be integrated into the existing ZEB procedure, but this would result in significantly higher time and cost expenditure for monitoring, evaluation and data processing. In addition, this effort must be assessed against the background of the low proportion of concrete carriageways in the federal trunk road network. Likewise, due to the sometimes rapidly progressing development of ASR damage, a monitoring rhythm ≤ 2 years seems necessary, which also speaks in favour of separate monitoring and evaluation.

Literature

| | |
|-------------|---|
| BMVI (2019) | Rundschreiben „Empfehlungen für die Schadensdiagnose und die Bauliche Erhaltung von AKR-geschädigten Fahrbahndecken aus Beton“, Fortschreibung, Stand März 2019, Bonn, 11.12.2020 |
| FGSV (2020) | Technische Prüfvorschriften für die Erfassung von Substanzmerkmalen (Oberfläche) mit schnellfahrenden Messsystemen, Teil: Bildaufnahme- und Auswertetechnik (TP Oberflächenbild-StB 20) |