

Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalserkennung im Rahmen des TP3

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 67



bast

Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3

von

Ulrich Canzler
Benjamin Winkler

CanControls
Aachen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 67

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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 89.210/2008 /AP:
Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung inklusive Dokumentation vorheriger Merkmale im Rahmen des TP3

Projektbetreuung
Börge Wasser

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86918-093-9

Bergisch Gladbach, März 2011

Kurzfassung – Abstract

Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalserkennung im Rahmen des TP3

Zur Erkennung und Beurteilung von Straßenschäden werden derzeit Bilder der Fahrbahnoberfläche erfasst und anhand eines Schadenskataloges bewertet. Die Auswertung der Aufnahmen wird bislang manuell durchgeführt, wodurch es zu unterschiedlichen Beurteilungen kommen kann.

Um eine einheitliche Auswertung zu garantieren, soll im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes eine Software zur teilautomatischen Merkmalsuche und -analyse von Oberflächenschäden entwickelt werden. Im vorangegangenen Projekt (FE 89.190/2007/AP) wurde bereits die Machbarkeit eines solchen Systems analysiert.

Um die praktische Anwendbarkeit eines solchen Assistenzsystems untersuchen zu können, soll ein Arbeitsplatzrechner eingerichtet und mit einer entsprechend zu entwickelnden Software ausgerüstet werden.

Des Weiteren ist zu untersuchen, inwiefern eine Bewertung der Oberflächenschäden automatisiert werden könnte. Es soll weiter untersucht werden, inwieweit die detektierten Merkmalsklassen ausgeweitet (d. h. Schadensmerkmale klassifiziert) werden können.



Bild 1: Mittels der visuellen Begutachtung des Oberflächenbildes lassen sich Schäden frühzeitig dokumentieren und gegebenenfalls ausbessern

Development of automated feature recognition as part of TP3

For the recognition and assessment of road damage, currently, images of the carriageway surface are recorded and evaluated by means of a damage catalog. The images have previously been analyzed manually, which can result in different assessments.

To guarantee consistent evaluation, software for semi-automatic feature search and analysis of surface defects is to be developed within the framework of the present research project. The feasibility of such a system was already analyzed in the previous project (FE 89.190/2007/AP).

In order to investigate the practicality of such an assistance system, a workstation is to be installed and equipped with software which is to be developed accordingly. Furthermore, it is to be examined to what extent surface damage analysis could be automated. It should be further investigated to what extent the detected characteristic classes can be expanded (i.e. classification of damage characteristics).



Figure 1: By means of visual inspection of the surface image, defects can be documented early and if appropriate, repaired

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Ausgangslage	7
2.1	Bestehender Systemansatz	8
2.2	Systemanalyse	9
2.3	Aufgabenstellung	10
3	Konzeptionierung	10
3.1	Rahmenbedingungen	10
3.2	Systemkonzept	10
4	Durchführung	11
4.1	Vorläuferprojekt	11
4.2	Systemüberblick	11
4.3	Bildgewinnung	13
4.4	Bildverbesserung	13
4.5	Merkmals-Extraktion	17
4.6	Merkmalsinterpretation	22
4.7	Interaktion	24
4.8	Datenmaterial	24
5	Evaluierung	26
5.1	MESOB: Kameraparameter	26
5.2	MESOB: Infrarot-Bandpassfilter	27
5.3	Systemablauf	29
5.4	MESOB-Bilddaten	32
5.5	Externe Bilddaten	35
6	Zusammenfassung und Ausblick	38
	Anhänge	39
	Anhang A: Bildmaterial	40
	Anhang B: Handbuch zur erstellten Software	50

1 Einleitung

Eine der größten und wichtigsten Aufgaben für die intakte Verkehrsinfrastruktur eines Landes ist neben dem Ausbau die Erhaltung des vorhandenen Straßennetzes.

Insbesondere die Überwachung der sicheren Befahrbarkeit und die Gewährleistung der Langlebigkeit stellen eine hohe Herausforderung für die zuständigen Autobahn- und Straßenmeistereien dar.

Das deutsche Straßennetz umfasste im Jahr 2006 insgesamt ca. 300.000 km, wobei 12.000 km auf Bundesautobahnen und 41.000 km auf Bundesstraßen entfallen. Die Erhaltung dieser Straßen ist äußerst kostenintensiv und muss vorausschauend geplant werden.

Um erste Schäden oder Störungen frühzeitig zu entdecken und der Verkehrssicherungspflicht zu genügen, werden sie von Fachleuten der Autobahn- und Straßenmeistereien regelmäßig überprüft. Für die Erhaltung der Straßen, für die die Erhebung einer Vielzahl von Daten erforderlich ist, sind visuelle Kontrollverfahren jedoch nicht ausreichend. Technische Mess- und Aufnahmeverfahren ermöglichen es heute, den Zustand an der Oberfläche objektiv zu erfassen. Dazu sammeln spezielle Fahrzeuge im laufenden Verkehr entsprechende Daten.

Neben Quer- und Längsunebenheiten sowie der Griffigkeit muss die Oberfläche auf Oberflächenschäden überprüft werden. Hierzu wird ein visuelles Kontrollverfahren eingesetzt, bei dem mittels Videokameras das Oberflächenbild abgetastet und digital aufgezeichnet wird.

In einem anschließenden manuellen Prozess werden von Fachkräften visuell Bild für Bild die Straßenabschnitte auf kleinste Schäden untersucht und diese anschließend dokumentiert. Bei dieser äußerst zeitintensiven Vorgehensweise kann es unter anderem aufgrund der Stupidität der Aufgabe zu Fehlern und Ungenauigkeiten in der Dokumentation kommen. Des Weiteren kann eine ganzheitliche Vergleichbarkeit nicht gewährleistet werden, da jede Fachkraft bei der Begutachtung letztendlich eine auf der individuellen Erfahrung basierende Einschätzung des Schadenbildes vornimmt.

Im Projekt FE-Nr. 89.0190/2007/AP „Entwicklung einer automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3 (Substanzmerkmale Oberfläche)“ wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie unter-

sucht, inwieweit Oberflächenmerkmale teilautomatisch detektiert werden können, um ein System zu entwickeln, das dem Gutachter bei der Analyse des Straßenzustandes assistierend zur Seite steht. Diese Studie zeigte bereits vielversprechende Resultate, sodass eine solche Realisierung machbar erscheint.

Im vorliegenden Folge-Projekt FE-Nr. 89.210/2008/AP „Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung inklusive Dokumentation vorheriger Merkmale im Rahmen des TP3“ wird ein weiterer Schritt in Richtung eines solchen assistierenden Systems gemacht. Hierzu war neben der Entwicklung einer Erkennungssoftware ein Arbeitsplatz im Gesamten zu konzipieren und aufzubauen, an dem im praktischen Einsatz der Nutzen eines solchen Systems evaluiert werden kann.

Der vorliegende Bericht beschreibt zunächst in Kapitel 2 die Ausgangslage bei Bildgewinnung und -bewertung und leitet daraus die konkrete Aufgabenstellung ab. Im Anschluss hieran werden in Kapitel 3 die Rahmenbedingungen spezifiziert und ein grundlegendes Systemkonzept der vorliegenden Arbeit entwickelt. Kapitel 4 beschreibt die durchgeführten Arbeiten und geht detailliert auf die eingesetzten Verfahren der Bildverarbeitung ein. Hierzu werden existierende Algorithmen vorgestellt und systematisch zur Oberflächenanalyse weiterentwickelt. Kapitel 5 widmet sich der Evaluierung des Systems. Dabei werden u. a. die vorliegenden Daten und die zugrunde liegende Akquirierung des bestehenden Systems näher betrachtet, da dies die Erkennungsleistung des Gesamtsystems fundamental beeinflusst. Der Bericht schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

Im Anhang A findet sich eine Auswahl von ausgewerteten Oberflächenansichten mit visualisiertem Schadensbild. Anhang B befasst sich mit der Dokumentation zum im Rahmen des vorliegenden Projektes entstandenen Arbeitsplatzes, wobei insbesondere auf den Workflow mit dem Datenmaterial des Messfahrzeuges MESOB eingegangen wird.

2 Ausgangslage

Dieses Kapitel beschreibt zunächst den bestehenden Systemansatz zur visuellen Zustandserfassung von Oberflächenschäden und die dazugehörigen Arbeitsschritte. Es folgen eine Bewertung des Ansatzes und die sich daraus ergebende Aufga-

benstellung des vorliegenden Forschungsprojektes.

2.1 Bestehender Systemansatz

Um Straßenschäden möglichst frühzeitig zu entdecken, wird das Fernstraßennetz regelmäßig visuell auf Oberflächenschäden untersucht.

Das Substanz-Oberflächenbild beschreibt und klassifiziert verschiedene unmittelbar an der Fahrbahnoberfläche sichtbare Schäden. Für dieses Verfahren kommen Videoaufzeichnungen und videobegleitete Beobachtereingaben zum Einsatz. Der derzeitige Ansatz zur Zustandserfassung besteht aus den drei sequenziell abfolgenden Schritten Bildgewinnung, Bewertung und Dokumentation (vgl. Bild 2).

Bildgewinnung

Derzeit gewinnt die BAST Bilddaten von Fernstraßen mittels eines speziell hierfür entwickelten Messfahrzeugs zur Aufnahme von Substanzmerkmalen (MESOB). Eine Darstellung des Fahrzeugs findet sich in Bild 3.

Das Fahrzeug verfügt am Heck über acht CCD-Kameras, die einen Bereich von ca. 80 cm Fahrbahnlänge und 4,5 m Fahrbahnbreite aufnehmen. Die in zwei Reihen angeordneten Kameras haben jeweils eine Auflösung von 1.024 x 768 Bildpunkten und betrachten überlappende Fahrbahnbereiche.

Die einzelnen Kamerabilder werden automatisiert durch einen so genannten Stitchingprozess kombi-

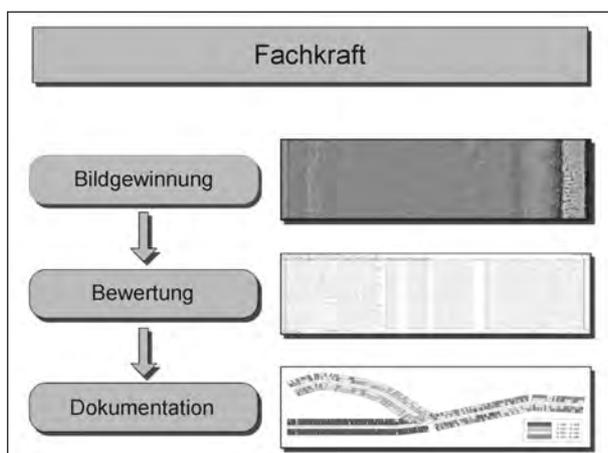


Bild 2: Derzeitiger Systemansatz zur visuellen Zustandserfassung und Bewertung von Oberflächenschäden

niert, sodass ein Bild über die gesamte Fahrbahnbreite entsteht.

Insgesamt ergibt sich so eine Bild-Sequenz mit einer Auflösung von jeweils 4.000 x 1.000 Bildpunkten, bei der ein Bildpunkt theoretisch ungefähr einem Quadratmillimeter Fahrbahn entspricht.

Durch Verwendung einer getriggerten Infrarotbeleuchtung wird der Straßenbelag während der Aufnahme aufgehellt, um auch bei variierenden Beleuchtungsverhältnissen ein weitgehend homogenes Erscheinungsbild sicherzustellen.

Bewertung und Dokumentation

Zurzeit werden die Bilder durch Fachkräfte manuell ausgewertet. Zusätzlich zur Befahrung muss daher die gesamte Strecke nachträglich am Monitor überprüft werden. Im Laufe dieses Arbeitsschrittes werden die kombinierten Aufnahmen (s. o.) auf drei Monitoren visualisiert und manuell bewertet.

Die Fahrbahn wird dafür in ihrer Breite gedrittelt in Abschnitte von 1 m Länge eingeteilt. In der so entstandenen Kachelung werden vordefinierte Substanzmerkmale wie Netzrisse oder Flick-



Bild 3: Messfahrzeug zur Aufnahme von Substanzmerkmalen (MESOB)

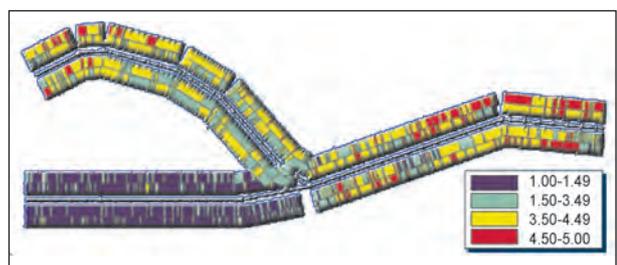


Bild 4: Exemplarische Ansicht der Bewertung eines Straßenabschnittes nach Kombination der einzelnen Zustandsgrößen

stellen gesucht und anhand festgelegter Regeln bewertet. Die genauen Regeln sind in „Anhang 7 – Auswerteregeln für die Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche)“ der ZTV-ZEB StB aufgelistet.

Aus den Daten der Messsysteme werden Zustandsgrößen berechnet (z. B. Unebenheitsmaß, Spurrinnentiefe, Netzrisse, Flickstellen). Anschließend werden Zustandswerte (Notenwerte von 1 bis 5 für sehr schlecht bis sehr gut) für den Gesamtzustand vergeben. Diese werden nach festgelegter Gewichtung in einem Gebrauchs- und einem Substanzwert zusammengefasst. Der Gebrauchswert berücksichtigt die Sicherheit und den Komfort der Straßenbenutzer.

Der Substanzwert stellt die Straßenerhaltung des Baulastträgers in den Vordergrund. Aus beiden Werten ergibt sich schließlich der Gesamtwert. Die hieraus abgeleiteten Ergebnisse und Erkenntnisse werden im Bundesinformationssystem BISStra konzentriert und insbesondere für die Ableitung notwendiger Entscheidungen bereitgestellt.

Assistierendes System

Zurzeit werden die Bilder durch Fachkräfte nach der Befahrung für die gesamte Strecke nachträglich am Monitor manuell ausgewertet. Im Vorgängerprojekt (FE-Nr. 89.0190/2007/AP) wurde daher in einer Machbarkeitsstudie untersucht, inwieweit durch geeignete Softwaretechniken eine teilautomatische Merkmalsuche realisiert werden kann, um ein Assistenzsystem für die Fachkraft zu entwickeln.

Das System zielt auf eine Entlastung der Fachkraft, da die Software eine Vorauswahl der Bilder und Oberflächenmerkmale treffen könnte und nur noch die Bewertung des Schadens manuell erfolgt.

Um die Machbarkeit eines solchen Systems zu untersuchen wurden Verfahren entwickelt, mit denen Bilder bzw. Bildmengen teilautomatisch auf Fehler oder Auffälligkeiten untersucht werden können. Die Ergebnisse der Merkmalsdetektion wurden anschließend in einem Demonstrator visualisiert, um so der Fachkraft eine Bewertung der Oberflächenmerkmale zu ermöglichen.

Die Merkmalsdetektion lieferte bereits vielversprechende Resultate, sodass ein solches System als realisierbar angesehen werden konnte.

2.2 Systemanalyse

Das im Vorläuferprojekt entwickelte System basiert auf dem in Bild 5 dargestellten Ablauf. Nach der Bildakquisition wird zunächst eine Bildverbesserung durchgeführt, um den Signal-Rausch-Abstand zu vergrößern. Nachfolgend werden durch eine Merkmalsextraktion Bildbereiche herausgefiltert, die potenzielle Schäden bzw. Merkmale enthalten.

Anhand von verschiedenen Bewertungskriterien werden diese Bildbereiche im Modul der Merkmalsinterpretation anschließend analysiert und klassifiziert (in der Praxis lassen sich Merkmalsextraktion und Merkmalsinterpretation allerdings nicht immer vollständig trennen). Die so ermittelten Oberflächenmerkmale werden im letzten Schritt durch eine geeignete Visualisierung dem Benutzer zur Verfügung gestellt und persistent gespeichert.

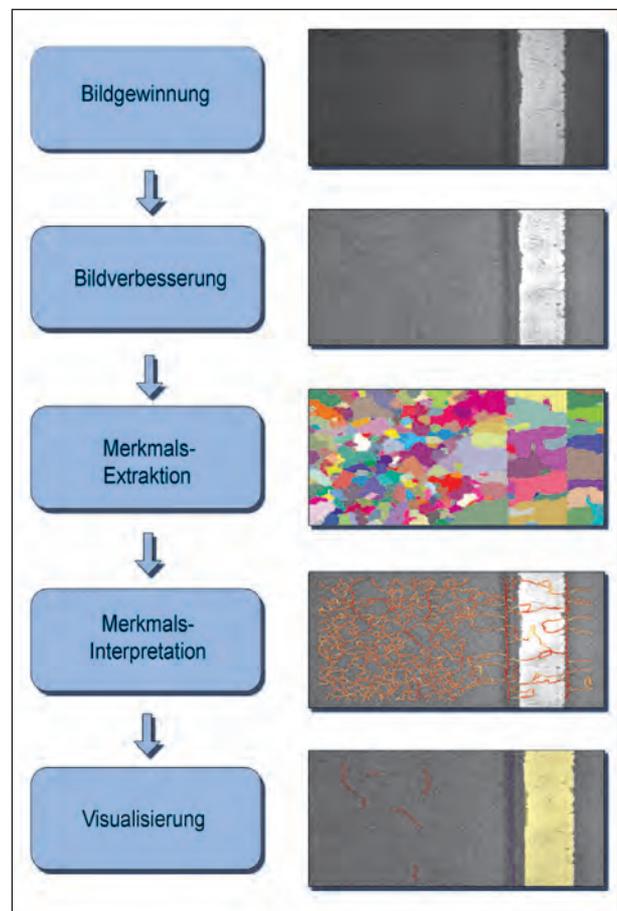


Bild 5: Systemüberblick über die automatische Bildanalyse. Die interne Vorgehensweise besteht in dem sequenziellen Ablauf verschiedener geeigneter Verfahren aus der Signaltheorie zur Extraktion und Klassifikation einzelner Muster

2.3 Aufgabenstellung

Nachdem im Vorgängerprojekt bereits die Grundlagen einer automatisierten Merkmalsdetektion gelegt wurden, soll in diesem Projekt nun die praktische Anwendbarkeit einer solchen Software überprüft werden. Dazu soll ein Software-Prototyp entwickelt werden, der an einem eigenen Arbeitsplatz zum Einsatz kommt.

Die bisher nur als Demonstrator vorliegende Software musste hierzu erweitert werden und auf reale Verhältnisse und diverse technische Anforderungen abgestimmt werden. Eine entsprechende Software-Oberfläche sollte ebenfalls entwickelt werden. Die Software soll dahingehend erweitert werden, dass auch Bildmaterial externer Betreiber analysiert werden kann.

Das aktuelle Forschungsprojekt umfasst ebenfalls die Konzeption und Einrichtung eines Arbeitsplatzes zur Bildauswertung, dies betrifft sowohl die Software als auch die Installation der Hardware.

Des Weiteren soll untersucht werden, ob außer Rissen auch die weiteren Merkmale des TP 3 automatisch aus dem ZEB-Bildmaterial gewonnen werden können sowie inwieweit Schadensentwicklungen dokumentiert werden können.

3 Konzeptionierung

Dieses Kapitel beschreibt in Kapitel 3.1 die Rahmenbedingungen des vorliegenden Projektes, anschließend wird das entwickelte Konzept des Assistenzsystems vorgestellt.

3.1 Rahmenbedingungen

Im Vordergrund dieses Forschungsprojekts steht die Entwicklung einer Anwendung, die auf realen Bild- und Videodaten eingesetzt werden kann. Sowohl die Verarbeitung der Daten als auch die Interaktion zwischen Programm und Benutzer sollten daher möglichst praxisnah ausgelegt sein.

Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wurden die Algorithmen mit Hilfe realer Bilddaten entwickelt, deren Belichtungsparameter und Aufnahmequalität stark variieren können.

Des Weiteren ist die nahtlose Integration in den bestehenden Systemansatz wichtig, d. h., eine Fachkraft wird weiterhin zur finalen Zuweisung der Fehlerklassen miteinbezogen. Hierzu sind die Konzipierung und Erstellung von Analysesoftware und Oberflächenwerkzeugen notwendig, die eine möglichst komfortable Interaktion des Gutachters mit dem zu untersuchenden Fahrbahnabschnitt ermöglichen.

Um das System weitgehend unabhängig vom Messfahrzeug testen zu können, wurden Sequenzen von Fahrbahnbelägen aufgenommen, die anschließend als Referenzen zum Trainieren und Testen des Systems herangezogen werden konnten. Im Verlaufe des Projekts wurden die Anforderungen an das Bildmaterial spezifiziert und auf Vollbilder der Größe 4,50 m mal 10 m festgelegt, sodass eine Verwendung von Daten externer Betreiber realisiert werden kann (zu liefernde Makrobilder im Rahmen des Teilprojektes 3 der Straßenzustandserfassung und -bewertung (ZEB)).

Weitere Details zum verwendeten Datenmaterial finden sich in Kapitel 4.8.

3.2 Systemkonzept

Grundgedanke des entwickelten Systemansatzes ist die Konzeptionierung eines interaktiven Assistenzsystems durch eine teilautomatisierte Vorverarbeitung. Hierdurch bilden sich zwei elementare Vorteile.

Zum einen lassen sich unbeschädigte Straßenabschnitte vorab herausfiltern, sodass es zu einer deutlich verringerten Anzahl von manuell zu bewertenden Bildern kommt. Zum anderen werden die Straßenschäden anschließend geeignet markiert und zur visuellen Überprüfung am Monitor entsprechend aufbereitet. Die automatisch detektierten Schäden müssen dann vom Begutachter nur noch bestätigt werden.

Der Systemablauf gestaltet sich wie folgt:

Zunächst werden wie gehabt durch das Modul Bildgewinnung Bilder akquiriert und in das System eingespeist. Diese werden anschließend in einem Analyse-Modul durch einen Rechner vollautomatisch ausgewertet. Zu jedem Bild existiert nun ein Datensatz, der alle Rissfragmente und Oberflächenmerkmale sowie deren Bewertungsmaße beinhaltet.

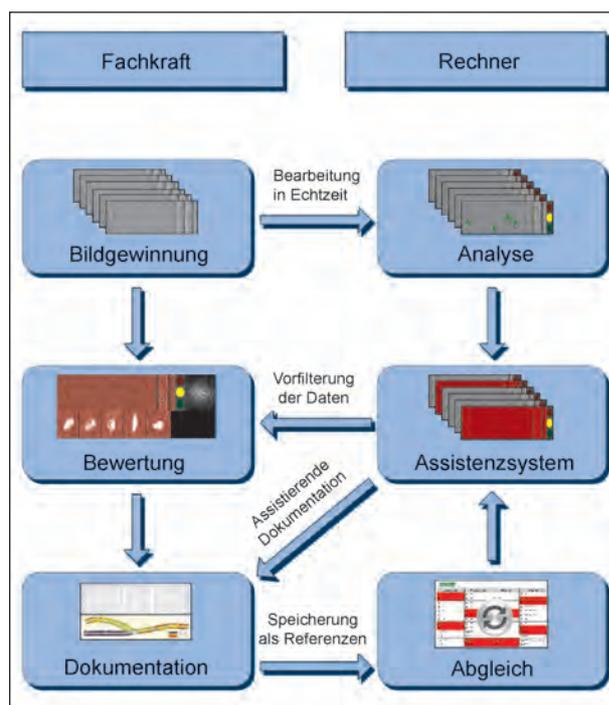


Bild 6: Systemansatz zur assistierten visuellen Zustandserfassung von Oberflächenschäden

Alle als einwandfrei eingestuft Bilder können im weiteren Prozess verborgen bzw. als fehlerfrei markiert werden. Dem Begutachter werden nun die verbleibenden fehlerbehafteten Bilder durch ein Assistenzsystem vorgelegt. Das System unterstützt die Fachkraft bei der Bewertung anschließend dahingehend, dass potenzielle Fehler visualisiert werden. Der Begutachter kann in diesem Schritt jederzeit mittels seiner Erfahrung bei fehlerhaft lokalisierten Rissen das System überstimmen.

Abschließend erfolgt ein Abgleich auf Plausibilität der sich aus der Bewertung ergebenden Resultate, die abschließend zur Dokumentation in einer zentralen Datenbank gespeichert werden.

Eine schematische Ansicht des Systemansatzes findet sich in Bild 6.

4 Durchführung

In diesem Kapitel findet sich zunächst ein Überblick über das entwickelte System zur videobasierten Zustandserfassung von Fahrbahnoberflächen. Die einzelnen Systemkomponenten werden anschließend detailliert vorgestellt, gefolgt von einer Beschreibung des Zusammenspiels der Komponenten. Abschließend wird auf das verwendete Datenmaterial für Training und Evaluierung eingegangen.

4.1 Vorläuferprojekt

Bei der Durchführung konnte auf Vorarbeiten des Vorgängerprojekts zurückgegriffen werden. Eine qualitative und quantitative Analyse des Systems lieferte vielversprechende Resultate (siehe Abschlussbericht des vorangegangenen Projekts FE-Nr. 89.210/2008/AP). Die erstellte Software diente jedoch lediglich der Demonstration einer Machbarkeit, für den praktischen Einsatz musste die Software weitgehend überarbeitet werden. Zudem traten bei den verwendeten Verfahren einige Schwächen zutage, die behoben werden mussten, um einen nützvollen Einsatz zu ermöglichen.

Aufgrund der kurzen Projektlaufzeit wurden die Algorithmen insgesamt auch sehr eng auf die vorliegenden Daten des MESOB-Fahrzeuges abgestimmt. Für die Verwendung externer Daten war eine Neujustierung der Vorverarbeitung vonnöten.

Um optimale Resultate zu erzielen, war bislang noch eine manuelle Vorparametrierung für einzelne Streckenabschnitte notwendig. Dies betraf sowohl die Vorverarbeitung als auch die Genauigkeit der Merkmalsdetektion. Insbesondere bei stark unterschiedlichen Straßenbelägen kam es sonst zu Fehldetektionen.

Die vorliegenden Verfahren waren zudem noch recht anfällig gegenüber verrauschten Bildern. Bildrauschen stellte sich oftmals in Form von Walzmustern dar, teilweise konnten diese Störungen nicht von Oberflächenmerkmalen wie Schadstellen unterschieden werden. Damit das System eine automatische Vorauswahl der Bilder treffen kann, musste dieses Problem behoben werden.

4.2 Systemüberblick

Bei dem entwickelten System handelt es sich generell um eine Verarbeitungskette von Algorithmen, die in mehreren Schritten hintereinander ausgeführt werden.

Die Algorithmen entstammen dabei im weitesten Sinne der Signaltheorie, da sich Bilder als zweidimensionale Signale interpretieren lassen. Grundsätzlich besteht die Aufgabe darin, ein Signal (z. B. einen Riss) von einem Hintergrund (Straßenoberfläche) zu trennen.

Das im vorliegenden Projekt entwickelte System zur videobasierten Zustandserfassung besteht aus fünf Modulen:

Das erste Modul Bildgewinnung dient der Einspeisung von Bildmaterial in das System. Hierbei wurde auf Datenmaterial zurückgegriffen, welches die BAST mittels des Messfahrzeugs MESOB akquiriert (vgl. Kapitel 2.1).

Das Modul Bildverbesserung bereitet die gewonnenen Aufnahmen auf, um ein einheitliches Erscheinungsbild bzgl. Helligkeit und Kontrast zu gewährleisten. Zusätzlich werden periodische Muster, wie sie beispielsweise durch strukturenbende Walzen entstehen, erkannt und weitgehend ausgeblendet.

In der anschließenden Merkmals-Extraktion werden potenzielle Oberflächenschäden (z. B. Risse) lokalisiert. Dabei gilt es, einen möglichst großen Signal-/Rausch-Abstand zu ermitteln, ohne jedoch durch zu restriktive Arbeitsschritte Oberflächenmerkmale zu verwerfen.

Bei der Merkmals-Interpretation werden die einzelnen Muster vordefinierten Klassen zugewiesen (Straße, Riss, Seitenstreifen etc.) und die Merkmale mitsamt Bewertungsinformationen persistent gespeichert¹.

Im Modul Visualisierung werden dem Gutachter die Schadstellen vorgelegt und dabei geeignet visualisiert. Abhängig von der gewünschten Arbeitsweise werden dabei detektierte Oberflächenmerkmale ausgeblendet.

¹ In der Praxis lassen sich Merkmals-Extraktion und Merkmals-Interpretation nicht immer trennen, da bei der Extraktion bereits Vorwissen über Form und Erscheinung des Merkmals einfließt.

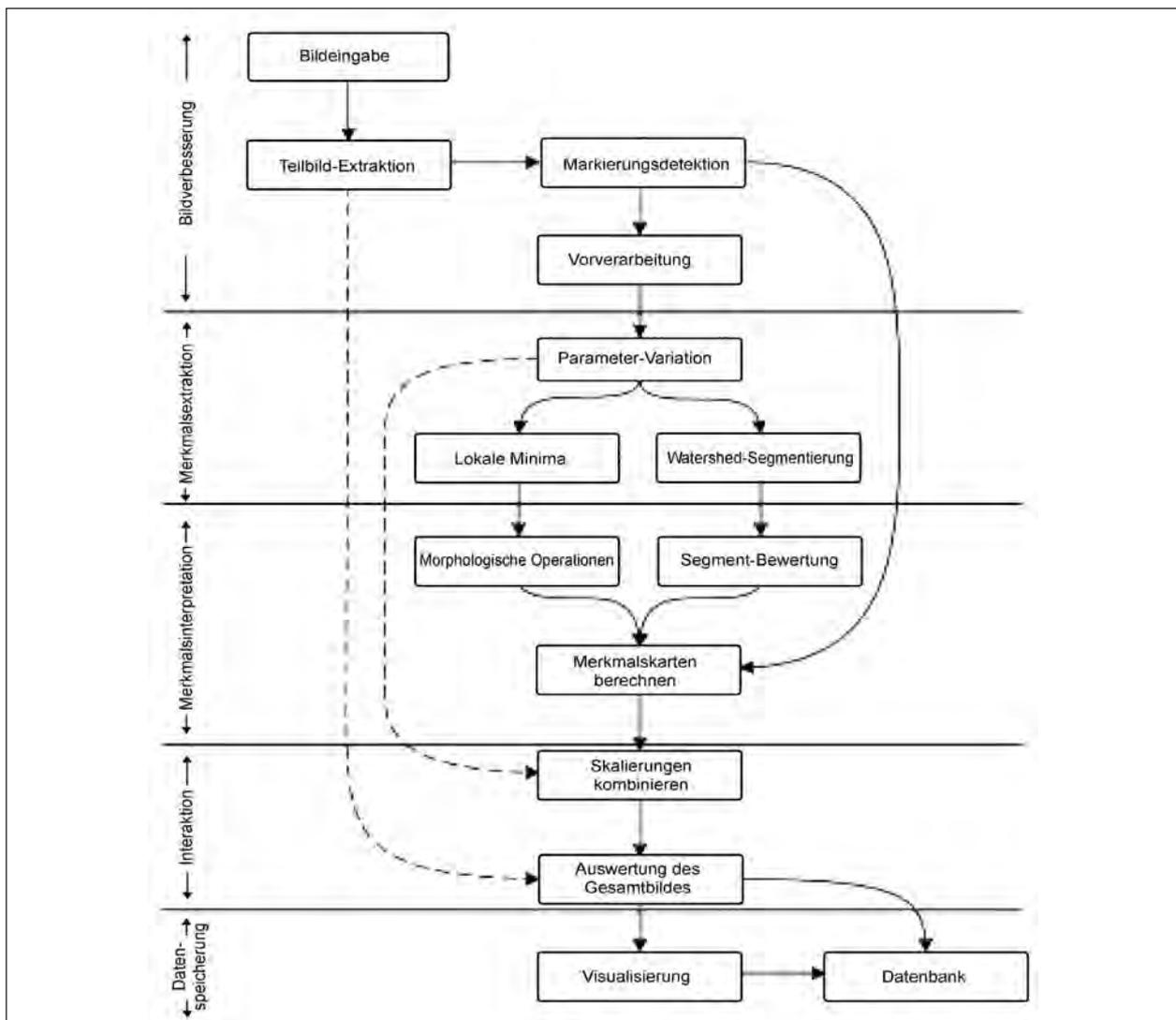


Bild 7: Überblick über das Gesamtverfahren zur Merkmalsdetektion. Das Vollbild wird dabei in die ursprünglichen Kamerabilder zerlegt und diese werden einzeln verarbeitet, um Störungen durch etwaige Bildkanten zu vermeiden

Dies bedeutet, dass beispielsweise bei einer konservativen Strategie eher zu viele Schadstellen auf der Fahrbahnoberfläche registriert werden, dafür jedoch auch alle realen Fehler auf jeden Fall berücksichtigt werden.

Die einzelnen Schadstellen bzw. Oberflächenmuster werden durch den Operator bestätigt, zurückgewiesen oder überschrieben. Die bestätigten und klassifizierten Merkmale werden anschließend auf dem Datenträger abgelegt.

Die vollständige Verarbeitung ist in Bild 7 abgebildet, die einzelnen Verfahrensschritte werden im Folgenden vorgestellt.

4.3 Bildgewinnung

Ziel eines allgemeinen Assistenzsystems sollte sein, weitgehend unabhängig von den Aufnahmemodalitäten des vorliegenden Bildmaterials Oberflächenmerkmale zu extrahieren. Dies betrifft insbesondere die Verwendung von Bilddaten der externen Betreiber (Auftragnehmer des Teilprojektes 3, ZEB).

Da hier bislang weder eine einheitliche Kameratechnik noch vergleichbare Aufnahmeverfahren (Einzelbilder/Videodaten) zum Einsatz kommen, musste zunächst eine Schnittstelle zur Bildeingabe definiert werden. Hierzu wurde seitens der BAST festgelegt, dass die für die Auswertung zu erstellenden Gesamtbilder eine Breite von 4,50 m und eine Fahrbahnlänge von 10,00 m abdecken sollen. Die Auflösung sowohl ordinärer Bilder im Messfahrzeug als auch zusammengesetzter Bilder ist zurzeit uneinheitlich.

Ein Gesamtbild wird im Allgemeinen durch das Aneinanderfügen mehrerer Kamerabilder erreicht, wobei die einzelnen Bilder passend transformiert werden (Stitching).

Für die spätere Bewertung wird die Fahrbahn gedanklich in ihrer Breite gedrittelt und in ihrer Länge in 1 m lange Streifen unterteilt. Eine Bewertung wird dann separat für jede so entstehende Kachel durchgeführt.

4.4 Bildverbesserung

Die vom Aufnahmefahrzeug gelieferten Eingangsbilder weisen starke Unterschiede auf. Dies betrifft insbesondere externe Parameter wie die Beleuchtungssituation oder die Reflexionseigenschaften

des Straßenbelags. Weitere Variationsquellen sind technischer Natur und betreffen beispielsweise die Belichtungszeit der Kamera, aber auch den Stitching-Prozess.

Stark variierendes Bildmaterial erschwert die automatische Detektion von Oberflächenmerkmalen. Es wurde daher eine Vielzahl von Verfahren zur Bildverbesserung entwickelt, die ein einheitliches Erscheinungsbild bzgl. Helligkeit und Kontrast anstreben.

Eine weitere Herausforderung sind die oftmals stark ausgeprägten Walzmuster der Fahrbahnoberfläche. Lokal erscheinen die Walzenvertiefungen bzw. ihre Schattierungen als Risse und werden entsprechend durch die automatische Merkmalsdetektion markiert. Diese Fehldetektionen sind schwer nachträglich zu korrigieren, daher wurden ebenfalls Algorithmen zur Unterdrückung periodischer Muster entwickelt.

Inhomogene Ausleuchtung

Die Ausleuchtung des Bildes hängt nicht nur von den Kameraparametern ab, sondern ist auch innerhalb eines Bildes nur in seltenen Fällen homogen. Dies ist zum einen der ungleichmäßigen Ausleuchtung durch einen oder mehrere Strahler geschuldet, zum anderen Teil schluckt die Optik insbesondere am Bildrand einen Teil des Lichts, sodass die Bilder zu den Rändern der Kamerabilder hin dunkler wirken (siehe auch Kapitel 5.1).

Bild 8 zeigt den Ausschnitt eines Vollbildes eines externen Betreibers; es ist deutlich zu erken-

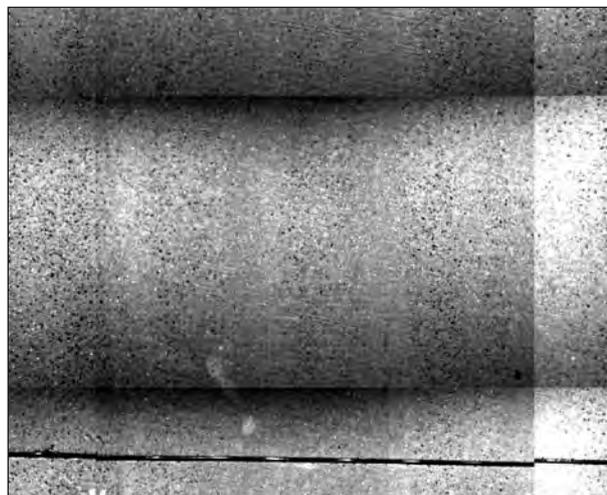


Bild 8: Die einzelnen Bilder sind unregelmäßig ausgeleuchtet, dies erschwert die Merkmals-Detektion

nen, dass die Intensität zum Bildzentrum hin zunimmt.

Die Inhomogenität der Beleuchtung kann stark verringert werden, wenn die Parameter der Ausleuchtung bekannt sind. Hierzu wird für jede Strecke und Kamera separat die mittlere Helligkeit der Kamerabilder berechnet. Mit Hilfe der so gewonnenen Ausleuchtungskarte wird das Bild auf eine einheitliche Intensität gebracht. Durch vorherige Detektion und Eliminierung von Oberflächenelementen wie Markierungen wird verhindert, dass Straßenmarkierungen fälschlicherweise als Ausleuchtungsinhomogenität interpretiert werden.

Bild 9 zeigt exemplarisch die Inhomogenitäts-Korrektur für ein Kamerabild. Das Eingangsbild wird mit der mittleren Helligkeit der Kamerabilder (gemittelt über einen Kilometer Messstrecke) verrechnet. Die schwächere Ausleuchtung am Bildrand wird korrigiert.

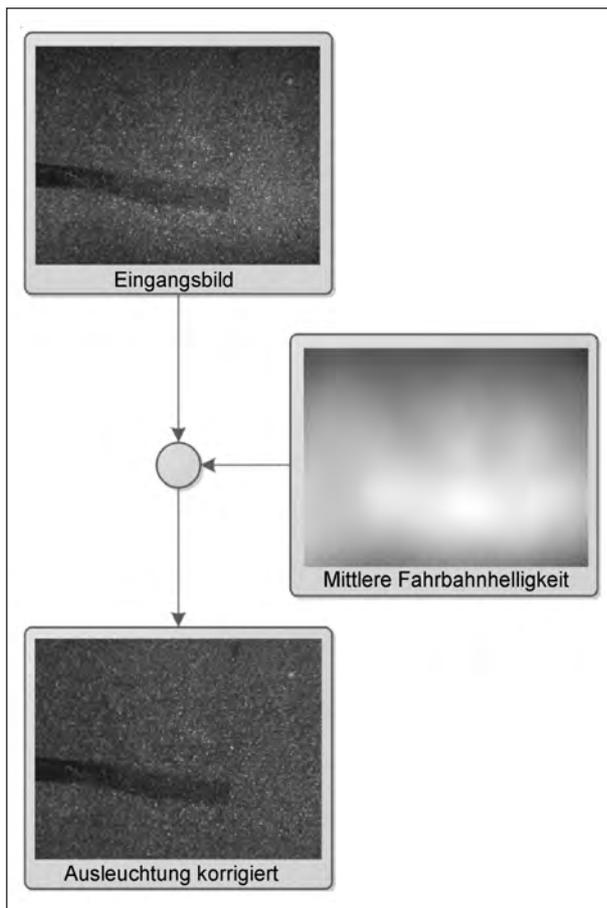


Bild 9: Durch ungleichmäßige Ausleuchtung der Fahrbahn und technische Limitierungen der Kamera nimmt die Bildhelligkeit zum Rand hin ab. Durch Ermittlung einer mittleren Intensität der Kamerabilder wird die Bildhelligkeit korrigiert

Lokale Bildanpassung

Ziel der lokalen Bildanpassung ist eine bessere Vergleichbarkeit bezüglich der Helligkeit sowohl zwischen Regionen innerhalb eines Bildes als auch zwischen aufeinanderfolgenden Bildern. Das entwickelte Verfahren basiert auf der Beobachtung, dass Risse dunkler sind als ihre Umgebung und dass die grundlegende Bildinformation nicht in der Helligkeit, sondern im Kontrast zu finden ist.

Zur Ermittlung des Kontrastes wird zunächst für jeden Bildpunkt der Betrag des Gradienten bestimmt. Durch eine großflächige Mittelung wird anschließend der regionale Kontrast ermittelt. In dunkleren Bildregionen ist der Kontrast aufgrund des geringeren Dynamikbereiches naturgemäß kleiner als in helleren Regionen. Abhängig vom regionalen Kontrast wird das Bild daher lokal entweder aufgehellt (geringer regionaler Kontrast) oder abgedunkelt (hoher regionaler Kontrast).

Die Helligkeitsanpassung hat gleichzeitig eine Kontrastanpassung zur Folge, sodass dunklere Regionen heller und kontrastreicher dargestellt werden, helle kontrastarme Bildregionen werden hingegen abgedunkelt (vgl. Bild 10).

Ein Nebeneffekt der lokalen Bildanpassung ist, dass die Bilder auch für den menschlichen Betrachter kontrastreicher wirken und Schadstellen optisch deutlicher zutage treten. Die Bildanpassung

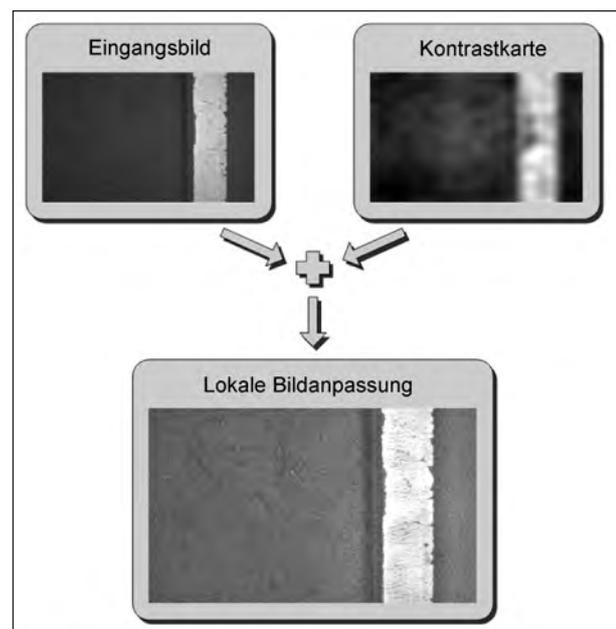


Bild 10: Durch eine lokale Bildanpassung wird der Kontrast zwischen Rissen und Fahrbahnbelag deutlich verbessert

wird daher in der späteren Visualisierung ebenfalls angewandt.

Behandlung von Fahrbahnmarkierungen

Fahrbahnmarkierungen führen häufig zu Störungen der Merkmalsdetektion. Durch den starken Kontrast der hellen Markierung erscheint für die meisten entwickelten Verfahren die direkte Umgebung wie ein Riss. Diese Problematik wurde durch die lokale Bildanpassung der Vorverarbeitung teilweise verstärkt (siehe Bild 11).

Im vorangegangenen Projekt wurde versucht, die so entstandenen Fehlsegmentierungen nachträglich zu korrigieren. Dies erwies sich jedoch als problematisch, da hierbei sowohl neue Fehlsegmentierungen entstanden als auch existierende Segmentierungen verfälscht wurden.

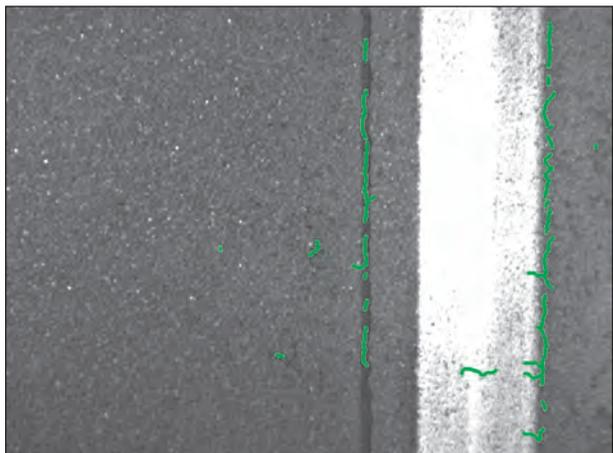


Bild 11: Starke Kontraste am Rande der Fahrbahnmarkierungen führen zu Fehldetektionen

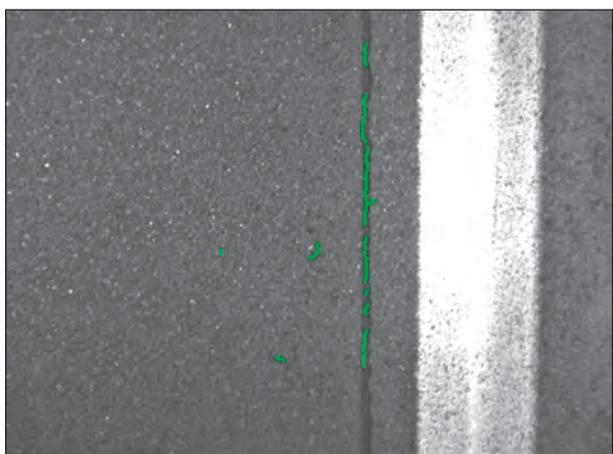


Bild 12: Die vorgezogene Markierungsdetektion verhindert die Bildung von Kanten an Fahrbahnmarkierungen

Um das Auftreten solcher Segmentierungsfehler zu reduzieren, wurde die Vorverarbeitung um einen zusätzlichen Schritt erweitert. Die Segmentierung der Fahrbahnmarkierungen wurde vorgezogen und liefert per Rückkopplung die Resultate direkt an die Vorverarbeitungskette. Hier fließen die Segmentierungsergebnisse ein, um eine bessere Bilddarstellung für die spätere Extraktion der Schadstellen zu erzeugen.

Das Resultat der vorgezogenen Markierungsdetektion ist in Bild 12 zu begutachten. Mit der neuen aktivierten Markierungsdetektion wird die Bildung dieser Kanten von vorneherein verhindert. Entsprechend wird durch die folgenden Verfahren der Merkmalsextraktion kein Oberflächenmerkmal segmentiert.

Unterdrückung von Walzmustern

Walzmuster im Straßenbelag stellen eine erhebliche Störquelle für die automatisierte Merkmalsdetektion dar. Abhängig von der Beleuchtung entstehen so Vertiefungen und Schattenwürfe, die sich lokal nicht von Rissen unterscheiden lassen. Solche Walzmuster treten periodisch auf, unterscheiden sich aber sowohl von Bild zu Bild als auch in verschiedenen Bereichen desselben Bildes. Ein solches Bild mit starkem Walzmuster ist in Bild 13 zu sehen.

Bereits im Vorgängerprojekt wurde untersucht, inwieweit sich periodisch auftretende Muster entfernen lassen. Dazu wurden die Parameter der periodischen Funktion manuell justiert. Im Allgemeinen setzen sich periodische Bildstörungen jedoch aus mehreren überlagerten Frequenzen zusammen,

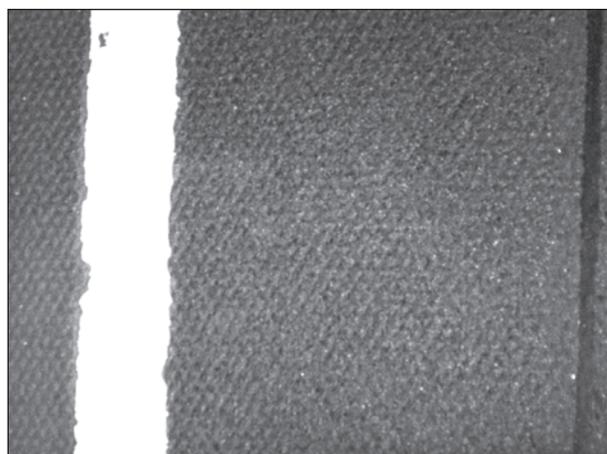


Bild 13: Starke Walzmuster stören die Erkennungsleistung der automatischen Merkmalsdetektion

eine manuelle Veränderung einzelner Frequenzbänder zieht daher neue Fehler nach sich.

Im Verlauf dieses Projektes wurde eine vollautomatische Unterdrückung von periodisch auftretenden Mustern entwickelt. Diese arbeitet weitgehend parameterfrei, d. h., sowohl die Detektion als auch die Unterdrückung der Muster arbeiten ohne eine explizite Parametrierung der Störfunktion. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde zudem darauf Wert gelegt, dass die entscheidenden Oberflächenmerkmale nicht oder nur geringfügig beeinträchtigt werden.

Das eingesetzte Verfahren basiert auf der Fourier-Transformation, durch die ein Bild aus dem Ortsraum in den Frequenzraum transformiert werden kann. Dabei wird das Bild als periodisches Signal interpretiert, welches sich durch Überlagerung eines Grundpegels, einer Grundschwingung und ihrer Oberschwingungen in eindeutiger, d. h. umkehrbarer Weise beschreiben lässt. Der Frequenzraum stellt dann Amplitude und Phase der einzelnen Schwingungen dar.

Da im Frequenzraum die Amplituden und Phasen der einzelnen Schwingungen gezielt analysiert oder manipuliert werden können, ist es möglich, einzelne Frequenzen sich wiederholender Bildmuster

aufzufinden und zu eliminieren. Mit der inversen Fourier-Transformation kann dann aus den Frequenzanteilen wiederum das Signal im Ortsbereich rekonstruiert werden.

Im Frequenzraum werden nun die lokalen Maxima gesucht, diese stellen die periodischen Muster dar. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die Maxima im Allgemeinen nicht als einzelne Punkte im Frequenzraum darstellen, sondern nach mehreren Seiten auslaufen.

Zusätzlich muss beachtet werden, dass speziell die Schwingungen im niederfrequenten Bereich Informationen beinhalten, die für die Rekonstruktion des Bildes von Bedeutung sind. Dies betrifft die Grundhelligkeit des Bildes, aber auch großflächige Merkmale wie Fahrbahnmarkierungen.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Kriterien werden die lokalen Maxima des Frequenzraums bewertet. Mit Hilfe der so ermittelten Maske werden die Amplituden im Frequenzraum gedämpft und man erhält einen bereinigten Frequenzraum. Durch Anwendung der inversen Fourier-Transformation wird das Signal wieder in den Ortsraum transformiert und es ergibt sich ein von periodischen Mustern weitgehend bereinigtes Bild. Der Ablauf des Verfahrens ist in Bild 14 dargestellt.

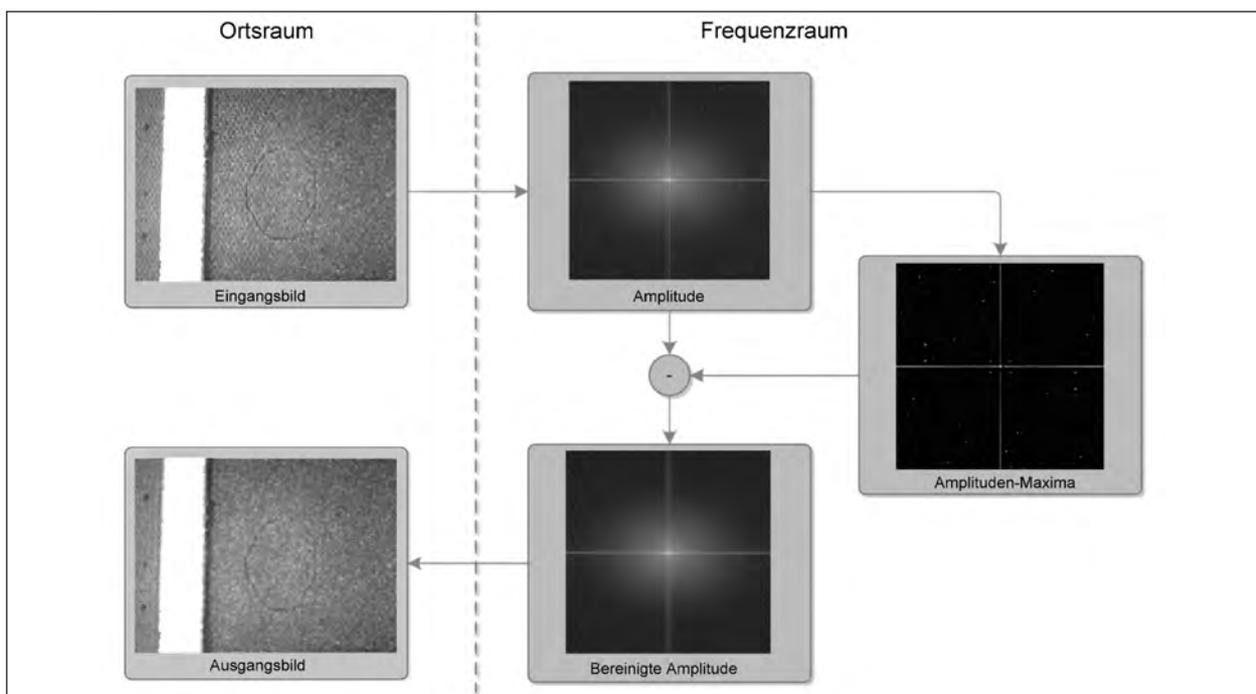


Bild 14: Ablauf des Verfahrens zur Unterdrückung periodisch auftretender Muster. Das Eingangsbild wird durch eine Fourier-Transformation im Frequenzraum abgebildet. Durch Suche lokaler Maxima werden die Frequenzen detektiert, die den periodischen Mustern zugrunde liegen. Die Amplituden der entsprechenden Frequenzen werden gedämpft und das Bild wieder in den Ortsraum zurücktransformiert (Inverse Fourier-Transformation)

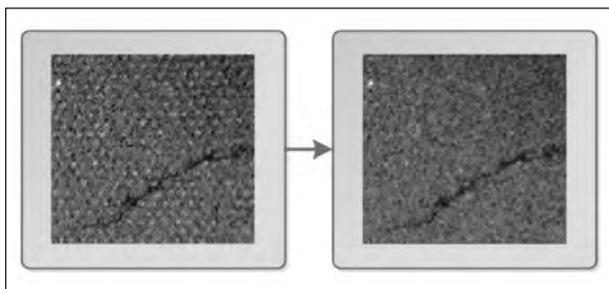


Bild 15: Automatische Unterdrückung periodischer Bildstörungen. Das Walzmuster aus dem linken Bild wurde praktisch vollständig entfernt, während der Riss weiterhin gut zu erkennen ist

Das Verfahren arbeitet auf Vollbildern, die Muster werden also nicht lokal entfernt, sondern im Frequenzraum des gesamten Bildes. Durch die Unterdrückung von periodischen Mustern werden zudem theoretisch neue Störmuster eingeführt. Dies erwies sich jedoch nicht als störend, da es sich dabei i. Allg. nicht um hochfrequente Anteile handelt.

Zusätzlich wurde dennoch die Möglichkeit geschaffen, die Detektion der Maxima auf mehreren Bildern durchführen zu lassen. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit, dass Oberflächenmerkmale, die eine Periodizität aufwiesen, entfernt werden.

In Bild 15 ist die Nahansicht einer Bildregion vor und nach dem automatischen Entfernen des Walzmusters zu sehen. Zu beachten ist hier, dass der vorhandene Riss auch im rekonstruierten Bild deutlich zu erkennen ist, während die Walzmuster praktisch vollständig entfernt werden konnten.

Es handelt sich bei diesem Verfahren um einen völlig unabhängigen Vorverarbeitungsschritt. Die Resultate sämtlicher Merkmalsdetektionen wurden bei Einsatz dieser Bildverbesserung enorm stabilisiert. Des Weiteren kann das so vorverarbeitete Bild für die Visualisierung verwendet werden, da auch optisch eine deutliche Verbesserung zu erkennen ist.

4.5 Merkmals-Extraktion

Bei der Merkmals-Extraktion werden Bildregionen selektiert, die als mögliche Fehlerstellen in Betracht kommen. Oftmals wird dazu das Bild in einzelne, kleinere Planquadrate zerlegt, die getrennt auf Risseigenschaften überprüft werden.

Dieser Ansatz erwies sich jedoch im vorliegenden Bildmaterial als problematisch und führte oft zu

einer starken Übersegmentierung. Daher mussten neue Verfahren entwickelt werden, die auch mit dem schwierigen Bildmaterial zusammenarbeiten.

Im vorangegangenen Projekt wurde ein Segmentierungsverfahren auf Basis der Wasserscheidentransformation entwickelt, durch die eine vollständige Partitionierung eines Bildes in zusammenhängende Regionen erreicht wird.

Das Verfahren zeigt vielversprechende Resultate, hat jedoch einige Schwachstellen:

- Die Segmentierungsergebnisse sind stark parameterabhängig. Dies betrifft sowohl die Vorverarbeitung der Bilder als auch den zugrundeliegenden Oberflächenbelag.
- Die Breite der Merkmale im Bild variiert stark. Für eine robuste Detektion muss das Bild daher in mehreren Skalen durchsucht werden. Das entwickelte Verfahren arbeitet jedoch nur auf einer Skalierung.
- Das Verfahren ist anfällig für Bildrauschen. Insbesondere durch Grundmuster im Bild werden die Segmentierungen gestört.

Aus diesen Gründen wurden innerhalb dieses Projektes weitere Verfahren der Merkmalsextraktion untersucht und implementiert. Die wichtigsten untersuchten Verfahren sind in den folgenden Unterabschnitten beschrieben.

Wasserscheidentransformation

Die Wasserscheidentransformation (Watersheds) interpretiert ein Grauwertbild als Höhenrelief, wobei die Intensität der einzelnen Bildpunkte mit der Höhe korreliert. Dunkle Bildstellen bilden somit die Täler (Becken), hellere Bildbereiche die Gebirgsketten des Reliefs.

Das so erstellte Grauwertgebirge wird nun gedanklich geflutet, indem der Grundwasserspiegel schrittweise erhöht wird. Sobald ein Becken komplett überflutet ist und mit einem angrenzenden Becken verschmilzt, wird ein Damm (Wasserscheide) zwischen den angrenzenden Becken errichtet.

Eine vollständige Flutung des Reliefs führt so zu einer Unterteilung des Bildes in zusammenhängende Regionen, die von den lokalen Helligkeitsminima gebildet werden, wodurch sich lokale Helligkeits-

maxima trennen lassen. In Bild 16 ist das Verfahren der Wasserscheidentransformation für einen Bildquerschnitt skizziert.

Im vorliegenden System wird die Transformation auf dem invertierten Bild ausgeführt, d. h., helle Bildpunkte bilden die Becken, Bildpunkte niedriger Intensität die Gebirgsketten. Dadurch repräsentieren die entstehenden Linienzüge potenzielle Risse bzw. Rissfragmente.

Durch die vollständige Partitionierung und das verbrauchte Bild ergibt sich allerdings eine starke Übersegmentierung. Die relevanten Merkmale müssen daher aus diesen Rissgraphen extrahiert werden. Exemplarisch ist ein Ergebnis des Verfahrens in Bild 17 dargestellt.

Aus der Menge aller extrahierten Linienzüge müssen nun die Risse herausgesucht werden. Hierzu werden die Linienzüge in eine Graphdarstellung überführt. Die einzelnen Linienzüge bilden die Kno-

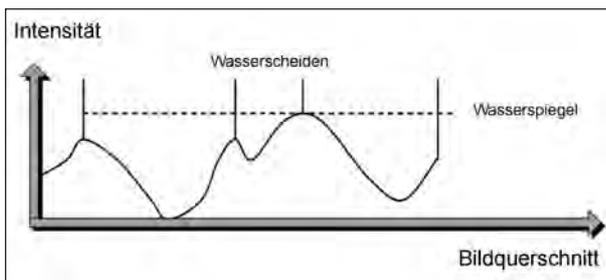


Bild 16: Bei der Wasserscheidentransformation werden die Grauwerte eines Bildes als Höhenrelief interpretiert. Bei der sukzessiven „Flutung“ des Grauwertgebirges werden Dämme (Wasserscheiden) zwischen aneinandergrenzenden Becken errichtet

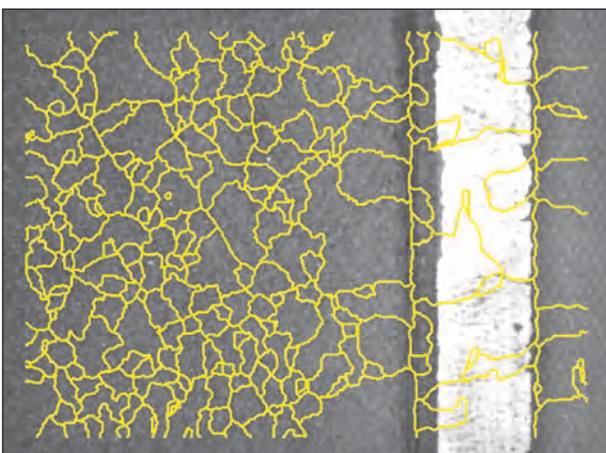


Bild 17: Resultat der modifizierten Wasserscheidentransformation auf normalisiertem Quellbild. Die Risse wurden segmentiert, durch Rauschartefakte kommt es jedoch zu einer starken Übersegmentierung

ten eines Graphen, die Kanten des Graphen charakterisieren ihre unmittelbare Nachbarschaft.

Lokale Minima

Als zweites Verfahren der Merkmals-Extraktion wurde ein schneller Segmentierungsansatz entwickelt, der auf Bilder in verschiedenen Skalierungen angewendet werden kann, um Merkmale unterschiedlicher Größe zu detektieren. Das Verfahren basiert auf der Betrachtung lokaler Minima innerhalb eines definierten horizontalen oder vertikalen Filterungsfensters und ihrer Bewertung anhand des lokalen Intensitätsmaximums.

Ist ein Pixel signifikant dunkler als seine Umgebung, so wird er maskiert. Dieses Verfahren liefert eine Pixelmaske für die lokalen Minima. Diese sind jedoch selten zusammenhängend und führen ebenfalls zu einer Übersegmentierung.

Um das entstandene Bildrauschen in den Masken zu entfernen und zusammenhängende Elemente zu betonen, kommen morphologische Operationen zum Einsatz. Durch Verfahren wie Hit-or-miss und Thinning werden die einzeln stehenden Pixelgruppen der Maske entfernt und gleichzeitig Lücken

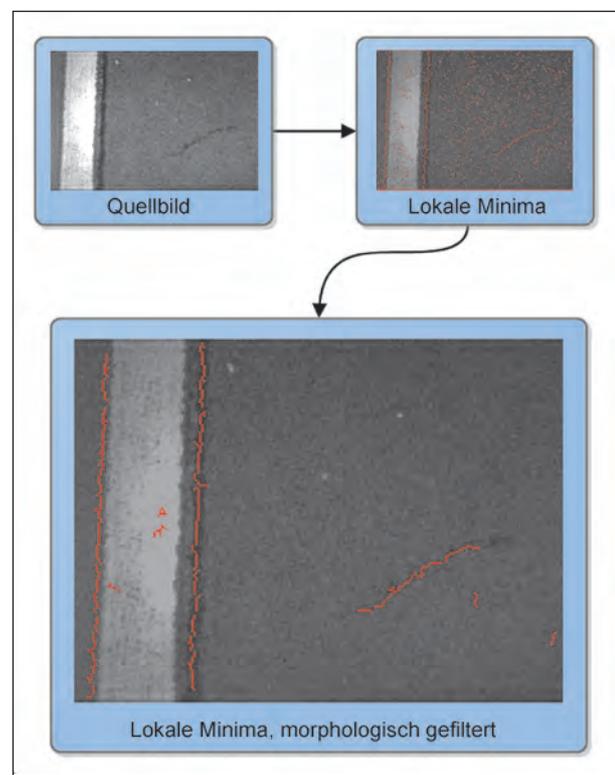


Bild 18: Die Ergebnisse der lokalen Minimumsuche werden durch morphologische Filter bearbeitet, um Störungen zu entfernen und zusammenhängende Strukturen zu detektieren

zwischen benachbarten, gleichgerichteten Pixelgruppen überbrückt. Das Ergebnis der lokalen Minimalsuche und einer anschließenden morphologischen Bereinigung ist in Bild 18 dargestellt.

Simulated Annealing

Oft existieren im Bild des Straßenbelags dunkle Stellen, die lokal wie ein Riss erscheinen, sich global aber als kleinere Vertiefung im Belag darstellen. Um die Merkmalsdetektierung zu verbessern, sollten solche Störstellen schon möglichst frühzeitig aussortiert werden können.

Wenn eine globale Optimierung eines Problems schwer oder teuer ist, kann der Einsatz von Heuristiken Abhilfe schaffen. Durch Verwendung von Zufallsprozessen wird hierbei eine globale Optimierung angenähert. Diese Technik wird auch für die Merkmalsuche untersucht. Durch Simulated Annealing werden lokale Minima gesucht, mit fortschreitender Simulationsdauer werden die lokalen Minima mehr und mehr zugunsten von globalen Minima (Rissen) aufgegeben.

In Bild 19 sind jeweils drei Iterationen dieses Prozesses auf zwei verschiedenen Eingabebildern dar-

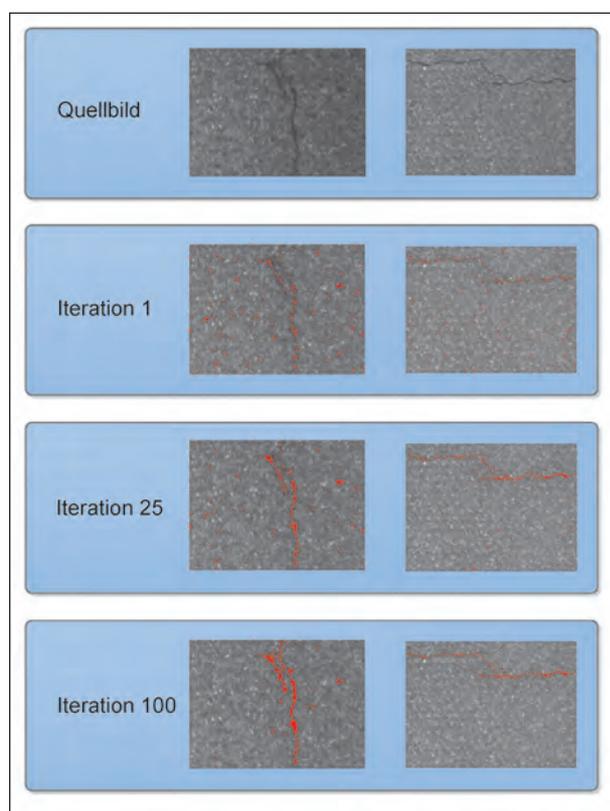


Bild 19: Simulated Annealing. Im iterativen Prozess werden durch heuristische Methoden lokale Minima zugunsten regionaler Minima aufgelöst

gestellt, um die Wirkungsweise dieser Heuristik zu veranschaulichen.

Gabor-Wavelets

Gabor-Wavelets sind ein gängiges Mittel, um lokale Frequenzanalysen durchzuführen. Durch die Fensterung einer harmonischen zweidimensionalen Schwingung mit einer Gauß-Funktion entsteht ein Faltungskern, der eine lokale Analyse genau definierter Frequenzen und Orientierungen erlaubt. Dieses Verhalten wird benutzt, um lokal Merkmale einer bestimmten Breite und Orientierung zu detektieren.

Da eine Filterung mit verschiedenen Frequenz- und Orientierungskombinationen vorgenommen werden muss und somit wenig performant ist, kann das Verfahren lediglich auf groben Skalierungen oder zur Evaluierung bereits vormaskierter Strukturen verwendet werden.

Vergleich der Verfahren

Zur Extraktion von Unregelmäßigkeiten und Schäden der Oberfläche wurden im Laufe dieses und des vorangegangenen Projekts die oben vorgestellten Methoden entwickelt. Dabei weisen die jeweiligen Verfahren unterschiedliche Vor- und Nachteile auf.

Zunächst wurden daher die Charakteristiken der einzelnen Extraktionsmethoden untersucht. In Tabelle 1 sind die Stärken und Schwächen der vier Verfahren tabellarisch dokumentiert.

Um bei einer möglichst robusten Extraktion gleichzeitig die Laufzeit zu beachten, müssen die Stärken und Schwächen der einzelnen Verfahren hierbei entsprechend berücksichtigt werden. Durch eine Vorsegmentierung mit einem einfachen Verfahren kann beispielsweise die Ausführung von rechenintensiven Verfahren auf einer Untermenge durchgeführt werden.

Gravierende Unterschiede zwischen einzelnen Verfahren treten jedoch nicht nur in der Güte oder Performanz der verschiedenen Verfahren, sondern auch in der Form der extrahierten Daten auf.

Je nach Verfahren werden beispielsweise zusammenhängende Liniensegmente oder lediglich einzelne Bildpixel markiert. Im letzteren Falle müssen durch eine Nachbearbeitung die Pixel in zusammenhängende überführt werden. Um mehrere Ver-

	Lokale Minima	Simulated Annealing	Watershed	Gabor-Wavelets
Güte (empirisch)	Gut (störungsanfällig bei Walzmustern)	Mittel	Sehr gut (aber starke Übersegmentierung)	Mittel
Sensibilität (Parameterabhängigkeit)	Gering	Gering	Sehr hoch (starke Abhängigkeit von Vorverarbeitung)	Mittel
Geschwindigkeit (Schätzwert)	Hoch ~ 10 ms	Langsam ~ 500 ms	Relativ langsam ~ 250 ms	Langsam ~ 1 s
Komplexität der Anwendung	Gering	Gering	Hoch	Gering
Komplexität der Vorverarbeitung	Gering	Gering	Sehr hoch	Gering
Bild-Teilbereiche maskierbar	Ja	Nein	Nein	Ja
Erweiterbar auf mehrere Skalen	Ja	Ja	Schwierig	Ja
Resultat (pro Skalierung)	Merkmalskarte	Merkmalskarte	Merkmals-Graph	Merkmalskarte (Segmentierung und Bewertung)
Zusammenhang bleibt in Resultaten erhalten	Nein	Nein (Clusterbildung notwendig)	Ja	Nein
Weiterverarbeitung der Resultate	Einfach (Verifikation durch weiteres Verfahren)	Mittel (Clustering und Verifikation)	Schwierig (Rissegment-Betrachtung)	Einfach

Tab. 1: Vergleich der wichtigsten entwickelten Verfahren zur Merkmalsextraktion

fahren zu kombinieren, müssen daher auch die extrahierten Daten angeglichen werden.

Kombination der Verfahren

Das erarbeitete Konzept ist in Bild 7 skizziert und wird im Folgenden nochmal zusammengefasst.

Zunächst werden die Fahrbahnmarkierungen detektiert, die Resultate werden der Bildvorverarbeitung zur Verfügung gestellt, um eine ungewollte Kontrastanhebung an den Rändern der Markierung zu unterbinden. Die Bildvorverarbeitung verringert die Effekte unterschiedlicher Kamera- und Beleuchtungsparameter und passt die Bildintensitäten an, um eine Vergleichbarkeit der Bilder untereinander zu gewährleisten. Zudem werden relevante Strukturen hervorgehoben und Bildstörungen reduziert. Das so vorverarbeitete Bild dient als Eingabe für die verschiedenen Verfahren zur Merkmalsextraktion.

Zum Einsatz kommen die Verfahren der lokalen Minimum-Suche sowie die Watershed-Segmentierung. Das Watershed-Verfahren liefert eine starke Übersegmentierung. Die einzelnen Segmente werden daher durch Filterung entlang des Segments bewertet und gegebenenfalls entfernt.

Die Gabor-Wavelets und Simulated Annealing werden aufgrund ihrer hohen Laufzeit nicht eingesetzt.

Die Watershed-Resultate werden von ihrer Graph-Form in eine zweidimensionale Merkmalskarte überführt, um eine Vergleichbarkeit mit den anderen eingesetzten Verfahren zu gewährleisten. Die Merkmalskarten der einzelnen Verfahren werden nun in einem Voting-Verfahren verrechnet, um eine lokale Gesamtbewertung zu erhalten. Durch diese Bewertung werden wiederum die Segmente des ursprünglichen Watershed-Graphen verifiziert bzw. entfernt.

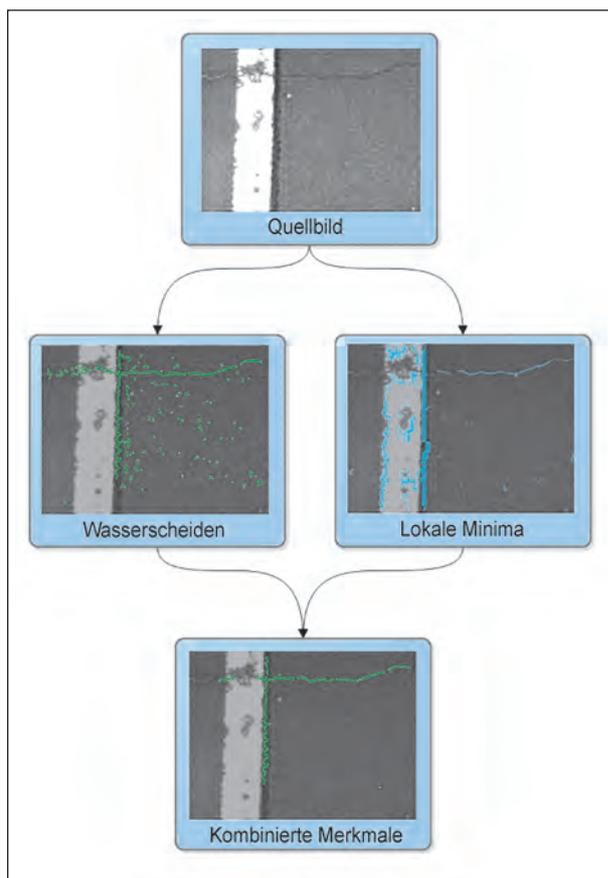


Bild 20: Durch Kombination mehrerer Merkmalskarten (im Bild: Wasserscheidentransformation und Lokale Minima) wird die Merkmalsextraktion stabilisiert

Bild 20 zeigt eine Kombination zweier Merkmalskarten, die durch die Wasserscheidentransformation (uniskalar) und durch die lokalen Minima (multiskalar) erstellt wurden. Beide Karten für sich sind deutlich übersegmentiert. Erst durch die Kombination werden die Rauschartefakte entfernt und es werden lediglich die detektierten Oberflächenmerkmale markiert.

Heuristischer Ansatz

Die vorgestellten Verfahren zeigten allesamt eine große Instabilität in verrauschten Bildbereichen. Dies schlägt sich sowohl beim Verändern der Verfahrensparameter als auch in Bezug auf eine Veränderung im Bildrauschen in einer veränderten Detektion nieder. Insbesondere die lokalen Minima reagieren aufgrund der morphologischen Operationen sehr empfindlich auf eine leichte Änderung der Vorverarbeitungsschritte.

Dieses Verhalten kann dazu genutzt werden, eine Kombination der Merkmale auch innerhalb der Re-

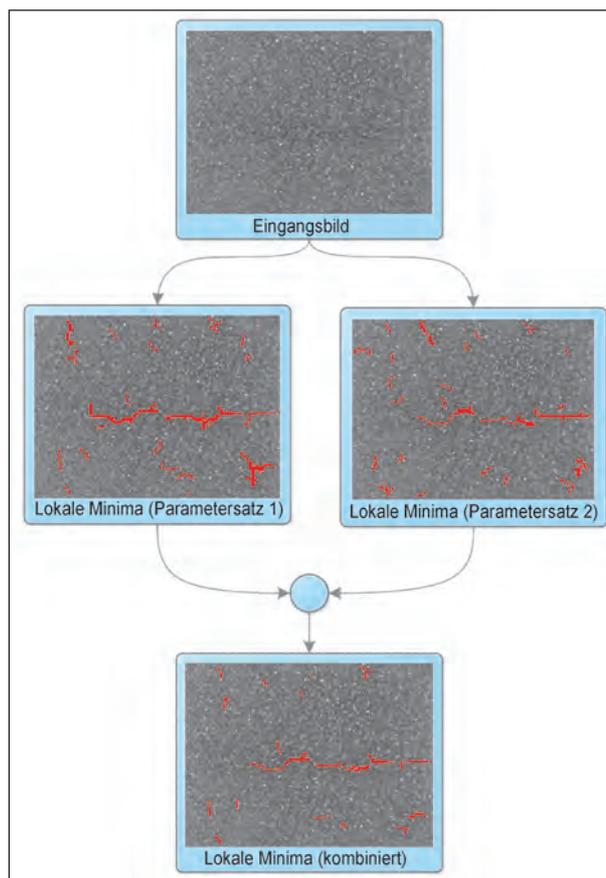


Bild 21: Resultate mehrerer Detektionen mit veränderten Parametersätzen werden kombiniert, um Fehldetektionen durch Rauschartefakte zu entfernen

sultate eines einzelnen Verfahrens durchzuführen. Die Parametervariation wird durch eine visuell kaum wahrnehmbare Rausch-Reduktion des Eingangsbildes vorgenommen. Bild 21 stellt eine solche Verknüpfung dar. Auf eine Parametervariation der Wasserscheidentransformation wurde verzichtet, da eine Kombination mehrerer Rissgraphen sehr aufwändig wäre.

Multiskalare Kombination

Das gesamte Verfahren wird in mehreren Auflösungen ausgeführt, sodass kombinierte Merkmalskarten unterschiedlicher Skalierungen vorliegen. Aus diesen Karten werden nun zusammenhängende Strukturen zu multiskalaren Merkmalen zusammengesetzt. Die Resultate einer Skalierung werden dabei auf die Ergebniskarten feinerer Skalierungen propagiert. Dies verhindert, dass der Rand eines groben Merkmals in einer anderen Skalierung beispielsweise als Riss auftaucht, und führt nebenbei zu einem besseren Laufzeitverhalten.

4.6 Merkmalsinterpretation

Während sich die Merkmalsextraktion mit der Segmentierung relevanter Bildbereiche befasst, werden bei der Interpretation die Merkmale einzelnen Klassen zugeordnet.

Als grobe Merkmalsklassen wurden Straßenmarkierungen und rissähnliche Strukturen (inklusive Nahtstellen etc.) identifiziert. Eine feinere Klassifizierung wird aufgrund der Form- und Intensitätsmerkmale vorgenommen.

Das Augenmerk wurde dabei auf Oberflächenmerkmale gelegt, die auf Asphaltoberflächen auftreten (Risse, Nähte etc.). Diese Merkmale werden auch auf Betonstrecken detektiert. Kontextabhängige, beton-spezifische Merkmale (z. B. Eckabbrüche, Kantenabbrüche) werden dagegen nicht explizit detektiert.

Fahrbahnmarkierungen

Die Fahrbahnmarkierungen treten an den Rändern des Vollbildes als vertikale Streifen auf. Ihre Segmentierung wird als iteratives Optimierungsproblem beschrieben, bei dem eine möglichst große Helligkeitsdifferenz zwischen rechteckigem Objekt (Fahrbahnmarkierungen) und Hintergrund (Straßenbelag) erzielt werden soll.

Durch eine Betrachtung der mittleren Helligkeit der einzelnen Bildspalten werden die horizontale Position und Ausdehnung ermittelt. Da die Markierung normalerweise entweder nur oben, nur unten oder über die gesamte Höhe des Bildes zu sehen ist, wird die vertikale Ausdehnung am oberen oder unteren Bildrand reduziert, bis eine maximale Helligkeitsdifferenz erreicht ist. Anschließend wird die horizontale Ausdehnung ggf. korrigiert.

Die Detektion der Markierung wird auch dazu verwendet, die Begrenzung der Fahrbahn zu ermitteln. Linienzüge, die jenseits der Fahrbahnmarkierungen liegen, werden ignoriert, damit keine Verfälschungen z. B. durch Bordsteinkanten oder Grasnarben auftreten. Bild 22 zeigt eine Aufnahme, auf der der Fahrbahnrand zu Fehldetektionen im Sinne des zugrunde liegenden Bewertungsverfahrens führen würde. Dieses berücksichtigt jedoch lediglich Straßenbereiche innerhalb der durch Fahrbahnmarkierungen abgetrennten Fahrspur.

Nicht-rechteckige Fahrbahnmarkierungen (Pfeile etc.) werden nicht detektiert. Hier kann es im Zweifelsfall bei der Merkmalsextraktion zu vereinzelt Fehldetektionen kommen (siehe auch Kapitel 4.4).

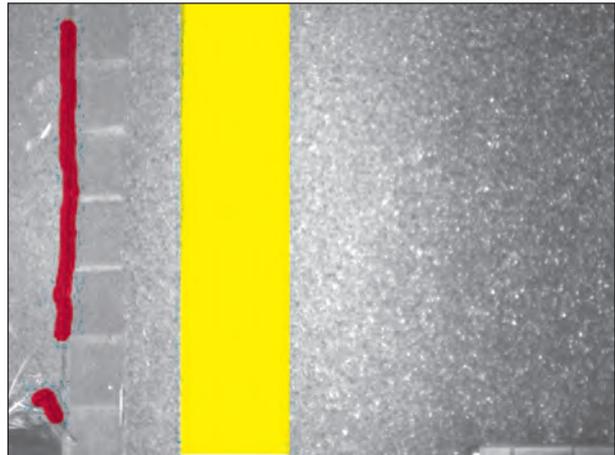


Bild 22: Risse jenseits der Fahrbahnmarkierung führen zu Fehldetektionen bezogen auf das zugrunde liegende Bewertungsverfahren

Betonplattenränder

Auf Betonfahrbahnen orientieren sich die Bewertungsgrenzen nach ZEB an den Rändern der Betonplatte. Diese müssen daher gesondert bestimmt werden.

Die Eingangsbilder werden dafür zunächst durch morphologische Verfahren vorverarbeitet, um dunkle Strukturen zu betonen, und in einer geringen Auflösung abgetastet. Mithilfe der oben beschriebenen Verfahren werden anschließend Merkmale detektiert. Anhand der Ausrichtung, der Geradlinigkeit und der Position wird überprüft, ob es sich möglicherweise um parallele oder querlaufende Betonplattenränder handelt.

Zusätzlich wird die Kontinuität der detektierten Betonplattenränder über den Streckenverlauf betrachtet. Die Ränder werden dann gegebenenfalls rückwirkend korrigiert, falls sich potenzielle Betonplattenränder später als Fehldetektion herausstellen.

Eine Unterscheidung zwischen Asphalt und Beton wird allerdings nicht explizit vorgenommen, stattdessen werden die Bewertungsgrenzen ständig für beide Beläge ermittelt. Die Auswahl des Belags wird später manuell durchgeführt und dadurch die dem Belag entsprechenden Bewertungsgrenzen aktiviert.

Risse

Betrachtet man den Querschnitt eines Risses, so stellt sich sein Profil als Vertiefung dar, d. h., in der Mitte ist der Grauwert dunkler als in der Nachbarschaft. Um diese Eigenschaft zu überprüfen, wird für jede Kante im Rissgraphen zunächst ein Bild des „begradigten“ Risses generiert, indem in jedem

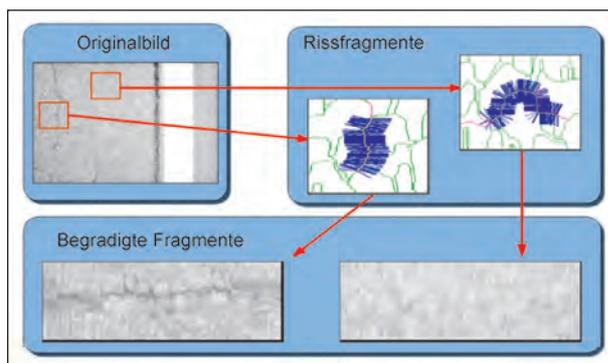


Bild 23: Um die Güte von Rissen besser bewerten zu können, werden diese zunächst begradigt, indem eine orthogonal verlaufende Region abgetastet und sequenziell aufgetragen wird

Punkt der orthogonal zum Linienzug verlaufende Querschnitt des Bildes betrachtet wird. Dies lässt sich mit einem Schlauch vergleichen, der um den Riss gelegt und anschließend in die Länge gezogen wird. Der Vorgang zur Rissbegradigung ist in Bild 23 dargestellt.

Die so gewonnenen Rissprofile lassen sich durch Faltungsoptionen bewerten, wobei durch unterschiedliche Filter unterschiedliche Rissbreiten abgedeckt werden.

Auch kleine Störstellen und dunkle Flecken im Belag werden oftmals als Linienzug segmentiert. Um diese Segmente auszusortieren, wird daher als weiteres Merkmal die lokale Ausrichtung der Linienzüge ausgewertet.

Bei Rissen ist davon auszugehen, dass die Vertiefung hauptsächlich entlang des detektierten Linienzuges verläuft, bei Rauschartefakten und Störstellen kann oft keine Vorzugsrichtung ausgemacht werden. Um einen Verlauf entlang der Vorzugsrichtung zu bewerten, werden an jedem Punkt des Linienzuges gerichtete Filter verwendet. Durch Abgleich der Filter in mehreren Orientierungen wird bewertet, wie gut der Linienzug den Verlauf des Bildartefakts beschreibt.

Nicht alle Risse sind auf den Aufnahmen als durchgängige Struktur zu erkennen. Um dies zu berücksichtigen, wird der Verlauf benachbarter Segmente betrachtet und ein entsprechendes Kontinuitätsmerkmal ermittelt.

Rissklassifikation

Zur Klassifikation eines Merkmals wurden neben den direkten Faltungsantworten auch explizit berechnete Rissmerkmale herangezogen. Statt Qua-

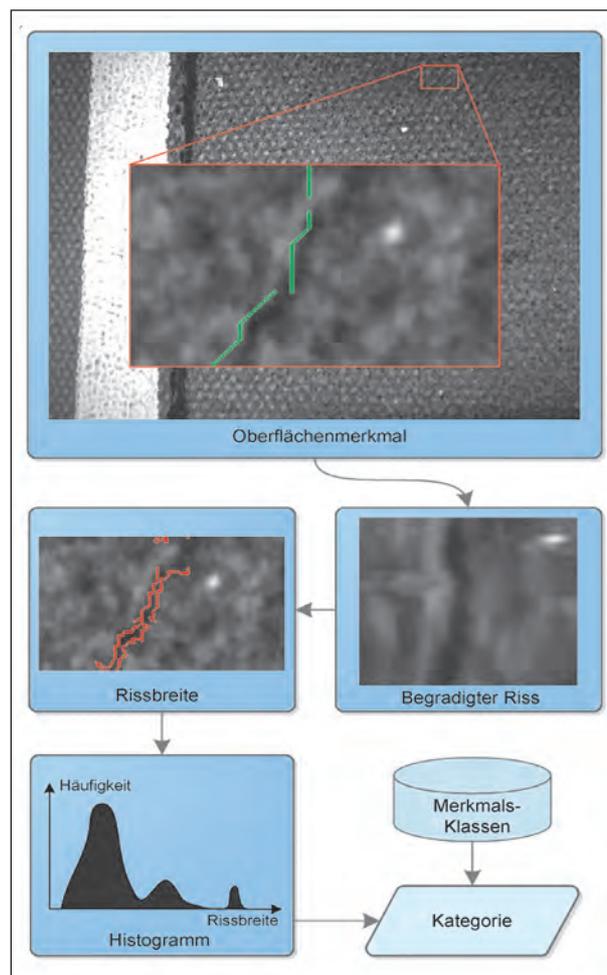


Bild 24: Klassifikation: Im Rissquerschnitt wird pro Pixel die Rissbreite detektiert. Das so entstandene Breiten-Histogramm wird verwendet, um durch Abgleich mit bekannten Merkmalsklassen das Merkmal zu klassifizieren

litätsmaße für verschiedene Skalierungen zu erzeugen, werden direkt über den Querschnitt des Merkmals die Breite und der Kontrast zwischen Merkmal und Umgebung ermittelt.

Hierzu wird für jedes Merkmals die Hüllkurve gebildet (s. vorigen Abschnitt) und anhand des extrahierten begradigten Risses der Rissverlauf nachvollzogen.

Dabei wird durch Gradientenbildung die ungefähre Breite des Merkmals ermittelt. Durch Verwendung eines iterativen Verfahrens wird die Breite so angepasst, dass der Kontrast zwischen Merkmal und Oberfläche maximal wird.

Über den gesamten Riss bzw. das gesamte Merkmal lässt sich so ein Histogramm bilden, dass die Häufigkeit der detektierten Rissbreiten wiedergibt. Dieses Histogramm kann mit Histogrammen bekannter Merkmalsklassen abgeglichen werden und das Merkmal somit einer Merkmalskategorie zugeordnet werden (s. Bild 24).

In die Klassifikation geht außerdem das Intensitätsverhältnis zwischen Riss und Umgebung ein, sowie der Gradientenbetrag, der die Abgrenzungsgüte des Risses vom Hintergrund wiedergibt.

Datenspeicherung

Bevor durch Interaktion seitens des Begutachters eine endgültige Klassifizierung der Oberflächen-schäden durchgeführt wird, werden die detektierten Merkmale in kompakter Form gespeichert, so dass die Schadensdetektion einer vollständigen Strecke vorberechnet werden kann.

Der Rissgraph beinhaltet in seinen Kanten sämtliche Informationen, die über die potenziellen Risse und Bildkanten ermittelt wurden. Dieser Graph wird daher für jedes Vollbild separat gespeichert.

Die Begutachtung und Bewertung der Fahrbahnoberfläche finden in einem vordefinierten Raster statt, dass in „Anhang 7 – Auswerteregeln für die Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche)“ der ZTV ZEB-StB erläutert wird. Die Oberfläche jeder Kachel wird nun separat bewertet.

Eine Gesamtoberflächenbewertung wird daher in einer separaten Datei für jeden Fahrbahnmeter abgelegt. Dies ermöglicht dem Begutachter, innerhalb der Programmoberfläche eine schnelle Visualisierung der gesamten Strecke zu erhalten.

4.7 Interaktion

Als letzter Schritt vor der Streckenbewertung wird die automatische Merkmalsdetektion durch einen Gutachter visuell und manuell überprüft. Hierfür werden eine geeignete Visualisierung der Strecke und Interaktionsmöglichkeiten zum Klassifizieren der Schäden vorgelegt.

Vorauswahl

Zur schnellen Übersicht wird dem Gutachter ein Überblick über die gesamte Strecke vorgelegt. Hierfür wird eine vorberechnete Oberflächenbewertung für jeden laufenden Meter geladen. Schadensfreie Bilder können so übersprungen werden, so wird der Aufwand für den Gutachter verringert.

Mittels geeigneter Regler kann die Sensitivität der Schadensdetektion geregelt werden. Der Gutach-

ter erhält so die Möglichkeit, den Grad der Übersegmentierung bzw. Untersegmentierung zu beeinflussen und die Parameter den Gegebenheiten der Strecke sowie des Belags anzupassen.

Durch Wahl des Belags (Asphalt oder Beton) werden die Bewertungsgrenzen automatisch angepasst. Die Bewertungen der so entstehenden ZEB-konformen Asphalt-Fahrspureinteilungen oder Betonplatten werden anschließend durch den Operator bestätigt, verworfen oder überschrieben.

Visualisierung und Klassifikation

Die Fahrbahn wird zur optischen Verifikation als Originalbild angezeigt. Die Bewertungsgrenzen der Fahrbahn können zusätzlich eingeblendet werden.

Optional kann die Bilddarstellung verbessert werden. Hierfür werden Verfahren aus der Bildvorverarbeitung (Kapitel 4.4) aktiviert, die eine Anpassung der Helligkeit und eine Entfernung des Walzmusters erlauben.

4.8 Datenmaterial

Zur Entwicklung der Algorithmen wurde umfangreiches Datenmaterial seitens der BASt zur Verfügung gestellt. Die genauen Anforderungen an das Bildmaterial wurden im Laufe des Projekts konkretisiert.

Erhebung

Zur Entwicklung und Evaluierung des Systems wurden Aufnahmen vor und während der Projektlaufzeit durch Befahrungen seitens der BASt durchgenommen. Zur Verfügung standen Can-Controls unter anderem folgender Bildsequenzen, auf die der Schwerpunkt der Evaluierung gelegt wurden:

- B 507: Aufnahme datum: 25.04.2007
Oberfläche: Asphalt
Anzahl Einzelbilder: 26.816
- A 3: Aufnahme datum: 16.10.2007
Oberfläche: Asphalt
Anzahl Einzelbilder: 21.262
- A 4: Aufnahme datum: 15.10.2007
Oberfläche: Beton
Anzahl Einzelbilder: 6.930

- A 553: Aufnahmedatum: 22.10.2007
Oberfläche: Asphalt
Anzahl Einzelbilder: 58.955

Die Aufnahmen der B 507 vom 25.04.2007 beinhalten die gestitchten Bilder in einer Breite von ca. 4,50 m.

Stitching

Die Vollbilder entstehen im Allgemeinen durch einen Stitchingprozess. Bei diesem Verfahren werden mehrere Kamerabilder möglichst nahtlos aneinandergesetzt, sodass der Eindruck eines großen Bildes entsteht.

Durch Beleuchtungsunterschiede und Anpassungsfehler entstehen in der Praxis jedoch starke Bildkanten und Texturfehler. In Bild 25 sind im Stitchingresultat deutliche Kanten und Helligkeitsunterschiede zwischen den einzelnen Kamerabildern zu erkennen.

Diese Bildfehler führen zu Fehldetektionen bei der Merkmalsextraktion und müssen somit vermieden werden. Aufgrund dieser Nachteile der Vollbilder werden die Kamerabilder intern einzeln verarbeitet und die Resultate anschließend kombiniert.

MESOB-Vollbilder

Um die MESOB-Bilddaten, die im Allgemeinen nicht im Vollformat vorliegen, verwenden zu können, wurde ein Software-Werkzeug entwickelt, das aus den einzelnen Kamerabildern Vollbilder generiert.

Dieser Pseudo-Stitching-Prozess protokolliert die verwendeten Bilddaten und die entstehenden Bildkanten, sodass diese für die Extraktion der Einzelbilder genutzt werden können.

Datenmaterial externer Betreiber

Zusätzlich zu den ca. 100.000 Bildern, die durch das MESOB-Fahrzeug aufgenommen wurden, wurden seitens der BAST fünf Festplatten mit insgesamt ca. 1.500 GB Videomaterial eines externen Ingenieurbüros zur Verfügung gestellt.

Die Videodaten liegen als AVI-Dateien mit einer Auflösung von 720 x 576 (PAL) vor. Pro Strecken-

abschnitt wurden durch vier Kameras eine Frontalansicht der Straße sowie der linke, der mittlere und der rechte Abschnitt der Fahrbahn aufgenommen. Bild 26 zeigt korrespondierende Bilder der vier Kameras.

In der Endphase des Projekts wurden außerdem weitere 3 GB Bildmaterial im vorgeschriebenen Vollformat (4.5 m x 10 m) ausgehändigt. Insgesamt handelt es sich um drei Strecken von insgesamt ca. 11 km, wobei jedes Bild einen Abschnitt von 10 m abbildet.

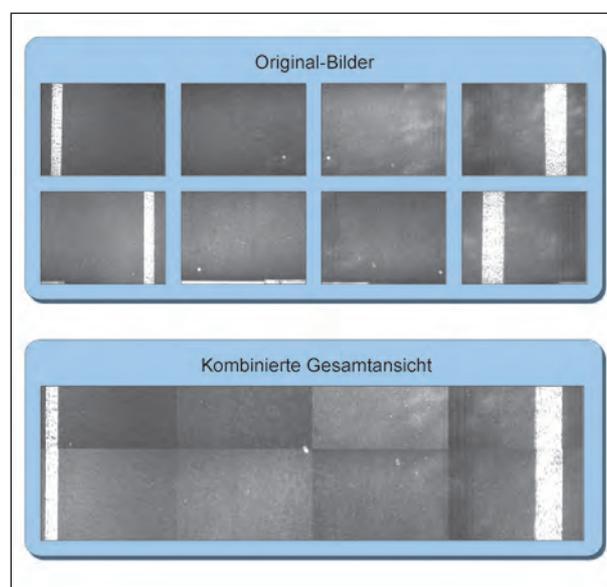


Bild 25: In der Vollbildansicht sind deutliche Kanten zwischen den einzelnen Kamerabildern zu erkennen. Diese führen zu Fehldetektionen der Merkmalsextraktion

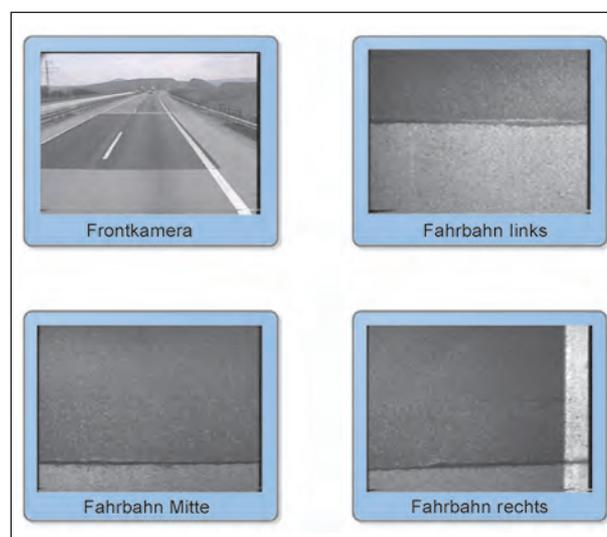


Bild 26: Die externen Daten bestehen aus einer Ansicht der Frontalen sowie drei Fahrbahnansichten der Auflösung 720 x 576 Bildpunkte

Die Bilder besitzen eine Auflösung von 1.920 mal 4.300 Pixel, die ursprünglichen Kamerabilder entsprechen offensichtlich der vorgegebenen Kachelung, sodass das Gesamtbild aus insgesamt 30 Teilbildern à 640 mal 430 Pixeln besteht (s. Bild 27).

Es liegt keine Segmentierung für die externen Daten vor.

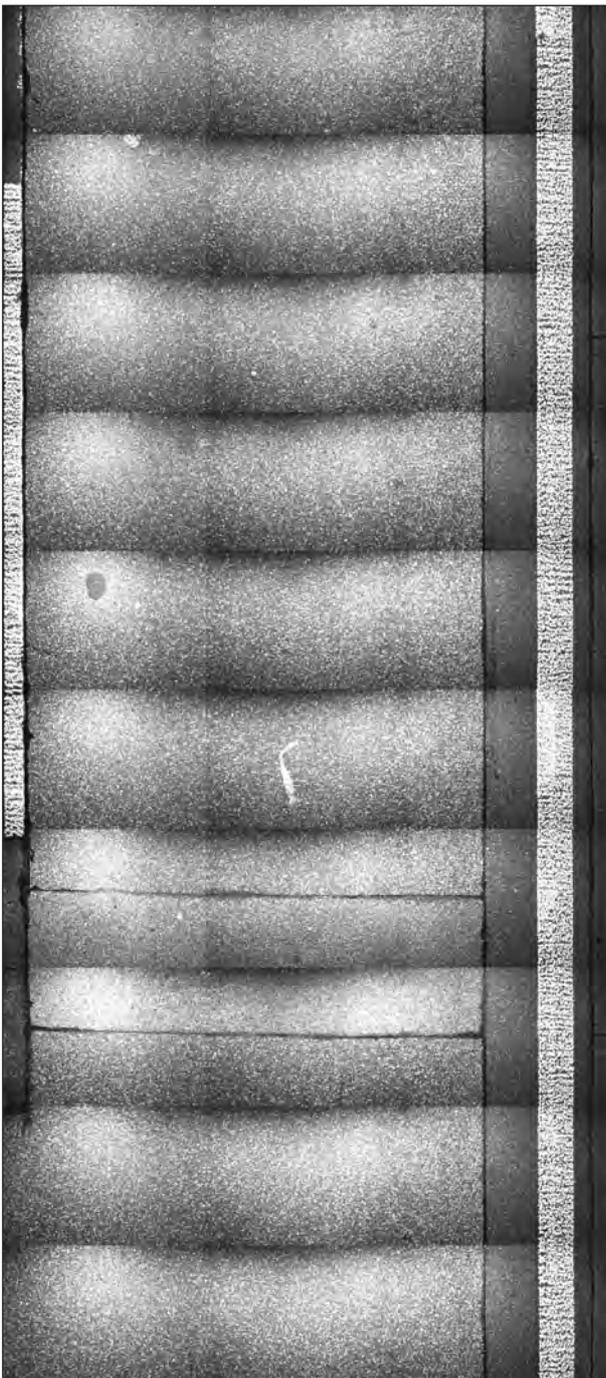


Bild 27: Makrobild (Vollformat) eines externen Betreibers in den Maßen 4,50 m x 10,00 m (Auflösung: 1.920 x 4.300 Pixel)

5 Evaluierung

Dieses Kapitel beschreibt eine Evaluierung des Projekts. Die ersten beiden Kapitel befassen sich mit der Verbesserung der MESOB-Bildqualität. Im folgenden Kapitel wird auf die Arbeitsweise des Systems eingegangen. Der vierte und fünfte Abschnitt behandelt die verwendeten Bilddaten und die qualitative Untersuchungen der Merkmalsdetektion auf diesen Daten.

5.1 MESOB: Kameraparameter

Eine von der BAST durchgeführte Untersuchung des MESOB-Fahrzeugs befasste sich mit der Unschärfe und der Ausleuchtung der Fahrbahn. Die wichtigsten Daten sind hier wiedergegeben.

Unschärfe

Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h bewegt sich das Fahrzeug innerhalb der eingestellten Kamera-Belichtungszeit von 122 μ m um 2,7 mm fort. Daraus resultiert zwangsläufig eine entsprechende Bewegungsunschärfe, da ein Pixel im Bild ungefähr einem Millimeter entsprechen soll.

Ausleuchtung

Eine Untersuchung des Videosystems ergab, dass die Beleuchtung innerhalb des Bildbereichs ungleichmäßig ist. In den Randbereichen kommt es zum Abfall der Intensität, teilweise auf unter 25 % verglichen mit der maximalen Beleuchtung.

Nr.	Konfiguration	Anmerkung
1	Sony XCD-X710 mit IR-Sperrfilter 750 nm	Aktuelle MESOB-Konfiguration
2	Sony XCD-X710 mit IR-Bandpassfilter 850 \pm 10 nm	Bandpassfilter passend zu IR-Strahlern
3	IDS UI-1645LE-C-DL mit IR-Sperrfilter	Die Kamera weist eine stärkere Empfindlichkeit im IR-Spektrum auf. Sie wurde auf die Glasabdeckung über den MESOB-Kameras gelegt und die Parameter manuell geregelt.

Tab. 2: Zur Überprüfung der Kamera-Filter-Konstellation des MESOB-Fahrzeuges wurden drei Hardware-Konfigurationen zusammengestellt und mit Testmustern in verschiedenen Beleuchtungssituationen evaluiert

5.2 MESOB: Infrarot-Bandpassfilter

Von der BAST und der Firma CanControls wurden am MESOB-Fahrzeug Versuche durchgeführt, bei denen insbesondere die Auswirkungen einer besseren Abstimmung von Kamera und Beleuchtung ermittelt werden sollten. Dazu wurden mit mehreren Kamera-Filter-Kombinationen Bildaufnahmen gemacht und dabei die Beleuchtungsbedingungen variiert.

Motivation

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde festgestellt, dass die Bildqualität der MESOB-Aufnahmen nicht durchgehend optimal ist. Die Bilder erscheinen oft unscharf und weisen stark variierende Belichtung auf. Als Grund hierfür wurde unter anderem die mangelnde Abstimmung zwischen Kamera und künstlicher Beleuchtung ausgemacht.

Die Beleuchtung wird durch Infrarotstrahler erzeugt, deren Frequenz 875 ± 30 nm beträgt. Die Kameras sind hingegen mit einem Tageslicht-Sperrfilter ausgestattet, der Licht mit einer Wellenlänge geringer als 750 nm unterdrückt. Zudem weist die Kamera im IR-Spektrum eine geringe Sensitivität auf.

Durch die Verwendung eines Tageslicht-Sperrfilters wird zwar das sichtbare Licht ausgeblendet, jedoch wird auch viel Infrarotlicht durchgelassen, das durch Sonneneinstrahlung entsteht. Es soll daher untersucht werden, ob der Einsatz eines auf die Infrarotstrahler abgestimmten Bandpassfilters zu einer besseren Aufnahmequalität führt.

Versuchsaufbau

Zum Vergleich der Aufnahmequalität wurden drei verschiedene Kamerakonfigurationen verwendet, die in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Die ersten beiden Kameras sind im MESOB-Fahrzeug verbaut und wurden vom MESOB-System getriggert, sodass die Belichtung mit dem Puls der Infrarot-Strahler zeitsynchron ist. Für die externe Kamera wurden Belichtung und Bildrate manuell eingestellt, sodass eine Übereinstimmung mit der Pulsfrequenz lediglich angenähert werden konnte.

Evaluierung

Der Versuch fand in einer Testhalle der BAST statt. Die variierende Außenbeleuchtung wurde durch zwei starke Strahler simuliert, deren Intensität se-

parat geregelt wurde. Durch große Pappen wurde der Schattenwurf simuliert. Zur Bewertung der Aufnahmequalität wurde ein schwarz-weißes Testmuster planar auf dem Boden unter den Kameras positioniert.

Bild 28 zeigt jeweils zwei Aufnahmen des gleichen Sachverhalts mit den ersten beiden Kamerakonfigurationen. Sie verwenden beide die MESOB-Kamera, unterscheiden sich also lediglich in der Auswahl des Filters.

Die Aufnahmen mit Bandpassfilter sind stark verrauscht. Durch die Bandpassfilterung wird der größte Anteil der Infrarotbeleuchtung geblockt, was zu einem schwächer beleuchteten Bild führt. Zudem haben die Kameras in diesem Frequenzbereich eine geringe Empfindlichkeit. Um eine vergleichbare Bildhelligkeit zu erhalten, musste der Gain erhöht werden, was erwartungsgemäß zu einem deutlich höheren Bildrauschen führte.

Sieht man vom Bildrauschen ab, ist die Schärfe der Aufnahmen mit Bandpassfilter jedoch höher. Dies wird insbesondere in der Mitte des kreisförmigen Testmusters sowie am Gittermuster deutlich. Die

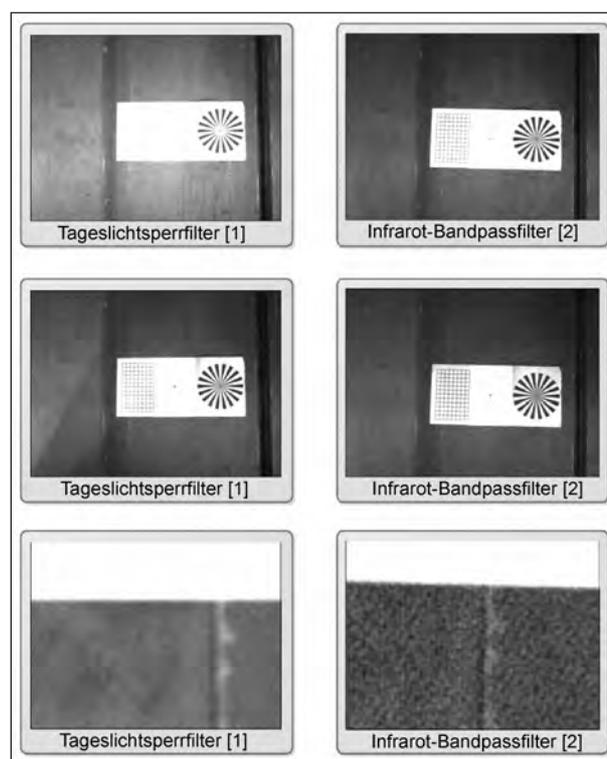


Bild 28: Links: Aufnahmen mit Tageslichtsperrfilter (Konfiguration 1); rechts: Aufnahmen mit Infrarot-Bandpassfilter (Konfiguration 2). Die Aufnahmen mit Bandpassfilter sind erwartungsgemäß dunkler und stärker verrauscht, da die Kamera aufgrund des geringeren Lichteinfalls empfindlicher reagiert

korrespondierenden Bildausschnitte sind in Bild 29 vergrößert dargestellt.

Die Schattenbildung, die durch eine senkrechte Pappe simuliert wurde, führt bei keiner der beiden Kamerakonfigurationen zu starken Belichtungsschwankungen. Dies wäre bei voller Sonneneinstrahlung allerdings zu erwarten. Im direkten Vergleich ist das Bild bei Verwendung eines Bandpassfilters jedoch gleichmäßiger ausgeleuchtet. Bild 30 zeigt eine solche leichte Schattenbildung.

Die Bilder der IDS-Kamera sind leider nicht direkt vergleichbar. Durch die fehlende Synchronisierung mit den Strahlern und durch das Auflegen auf die Scheibe konnten keine einheitliche Beleuchtung und keine befriedigende Bildqualität erreicht werden. Insbesondere kam es zu horizontaler Streifenbildung, da die Belichtungszeit nicht mit der Belichtungsdauer der Strahler übereinstimmte.

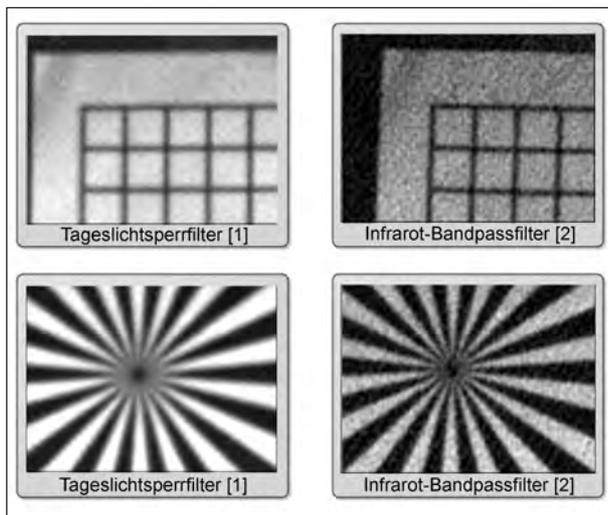


Bild 29: Die Verwendung eines Bandpassfilters (Konfiguration 2; rechts) resultiert in einer verbesserten Bildschärfe im Vergleich zur Verwendung eines Sperrfilters (Konfiguration 1; links)

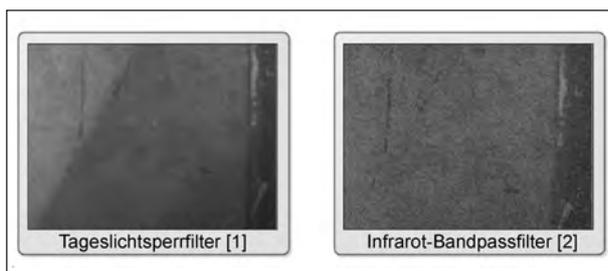


Bild 30: Der Schattenwurf durch seitliche Einstrahlung ist bei Verwendung eines Sperrfilters (Konfiguration 1; links) stärker ausgeprägt als bei Verwendung eines Bandpassfilters (Konfiguration 2; rechts)

Durch die höhere Empfindlichkeit im IR-Spektrum scheint das Bildrauschen geringer zu sein. Es konnte aber nicht sichergestellt werden, ob die übrigen Kameraparameter mit denen der Sony-Kameras des MESOB-Fahrzeugs vergleichbar waren (s. Bild 31).

Ergebnisse

Die Verwendung eines zur IR-Beleuchtung passenden Bandpassfilters führt offenbar zu einer besseren Bildschärfe. Zur Verringerung des Bildrauschens wäre hier allerdings der Einsatz von Kameras notwendig, die eine höhere Empfindlichkeit im entsprechenden Frequenz-Bereich besitzen.

Grundsätzlich muss beim Einsatz von Infrarot-Beleuchtung berücksichtigt werden, dass eine technisch bedingte Bildunschärfe besteht, je größer das abgetastete Frequenzspektrum ist. Die Wellenlän-

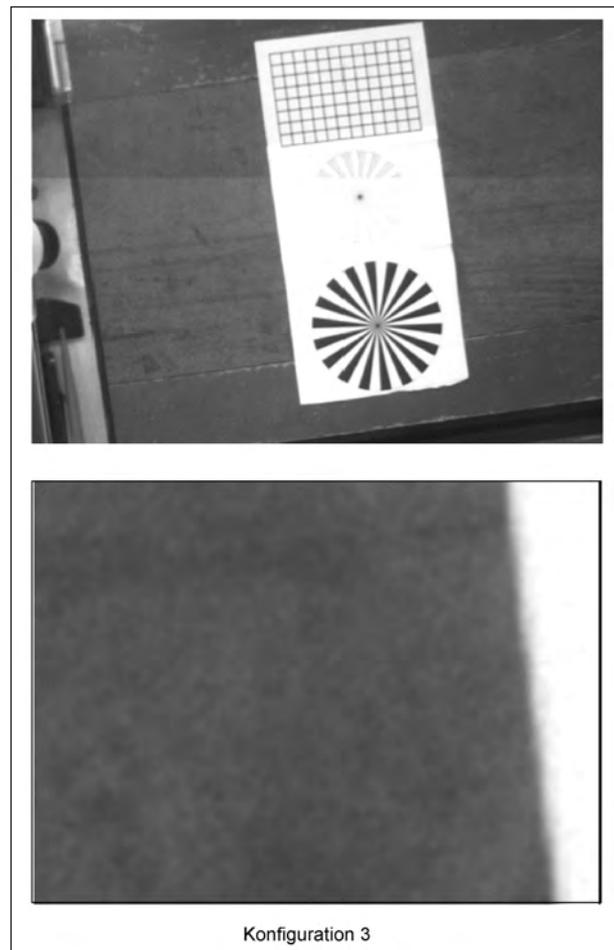


Bild 31: Oben: Durch die fehlende Synchronisation mit den IR-Strahlern kommt es bei der IDS-Kamera (Konfiguration 3) zur Streifenbildung. Die Bilder sind nicht direkt vergleichbar. Unten: Durch die höhere IR-Sensitivität der IDS-Kamera ist das Bildrauschen geringer ausgeprägt (Bildausschnitt mit der gleichen Auflösung wie in Bild 28)

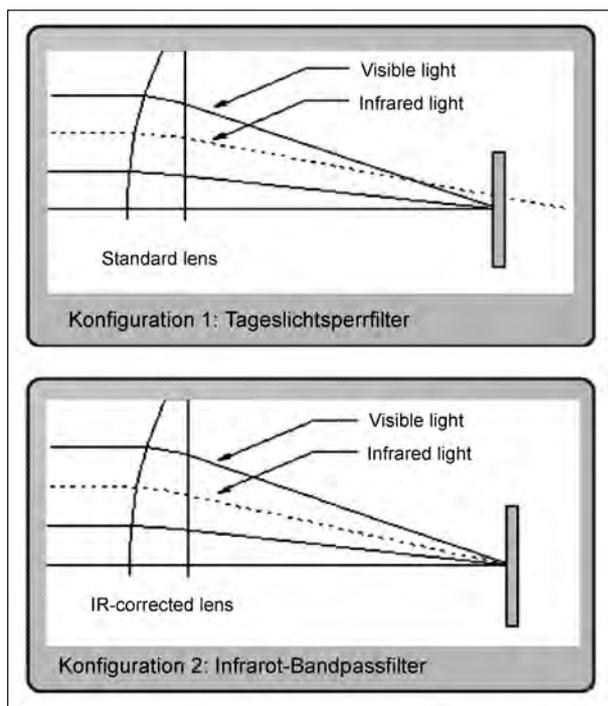


Bild 32: Brechungsverhalten des Lichts bei normalen (oben) und infrarot-vergüteten Objektiven (unten) im Vergleich

ge des IR-Lichtes unterscheidet sich von der des sichtbaren Lichtes, d. h., dass durch die Brechungsunterschiede der Fokus-Punkt des IR-Lichtes im Vergleich zu dem Fokus-Punkt des sichtbaren Lichtes verschoben ist.

Dieses Problem kann bei der Verwendung von IR-korrigierten aspherischen Objektiven eliminiert werden, da diese sowohl das sichtbare als auch das infrarote Licht auf dem gleichen Niveau fokussieren. In Bild 32 ist dieses Verhalten dargestellt.

5.3 Systemablauf

Dieses Kapitel beschreibt den vollständigen Ablauf der Detektion. In den einzelnen Absätzen wird auch auf die Problematiken bzw. Fehleranfälligkeiten der Einzelschritte eingegangen.

Bilddaten

Die Verfahren wurden unter Verwendung von Bildmaterial des MESOB-Messfahrzeuges entwickelt. Dennoch soll die Detektion auch auf Bilddaten externer Betreiber möglich sein. Hierfür ist eine Vereinheitlichung der Eingabedaten notwendig.

Von der BAST wurde daher festgelegt, dass die Bilddaten der Strecke als Makrobilder vorliegen, die einen Bereich von 10 m Länge und die volle Fahr-

bahnbreite (ca. 4,50 m) abzudecken haben. Bilder aus mehreren Kameras sind entsprechend zusammenzufügen.

Schnittstelle

Bislang liegen kaum Daten in dem Format der geforderten Makrobilder (4,5 m x 10,0 m) vor, da dieses Format erstmalig in der ZEB 2009 vertragsgemäß von der BAST vorgeschrieben wurde.

Insbesondere die MESOB-Bilder werden zurzeit nur als einzelne (überlappende) Kamerabilder gespeichert.

Zur internen Verwaltung der Daten musste also eine weitere Abstraktion von den konkreten Bildern erfolgen. Hierzu wird zunächst die vollständige Strecke als Aneinanderreihung der einzelnen Teilbilder konstruiert. Die Koordinaten jedes Bildes innerhalb der Gesamtstrecke werden errechnet und als Streckenbeschreibung abgespeichert.

Mit Hilfe dieser Streckenbeschreibung können nun beliebige Teile der Strecke durch Einladen der entsprechenden Bilder erzeugt werden. Dies ist unabhängig von der tatsächlichen Größe der verwendeten Eingabebilder möglich (s. Bild 33).

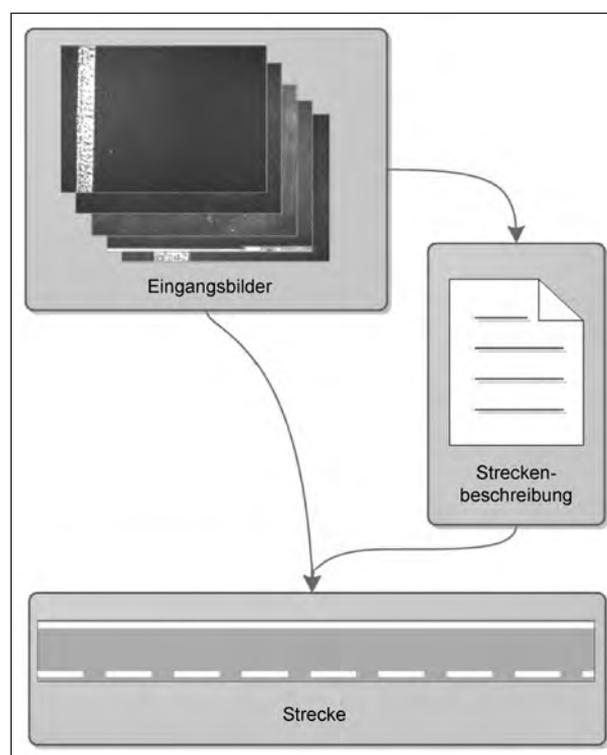


Bild 33: Die Eingangsbilder werden durch eine abstrakte Streckenbeschreibung verwaltet. Diese ermöglicht, unabhängig von der Größe und Auflösung der Eingangsbilder auf Streckenbereiche zurückzugreifen

Je höher die Auflösung der Bilddaten ist, desto höher sind die Speicheranforderungen des Verfahrens. Bei einer Auflösung von 1 mm pro Pixel werden für die Grauwert-Speicherung des Bildes bereits $4.500 * 10.000 = 45$ MB benötigt. Bei Verwendung z. B. der MESOB-Daten wird dieser Wert durch die Überlappungsregionen noch einmal deutlich überschritten.

Da das Verfahren mehrere Bildrepräsentationen im Speicher halten muss und zudem durch Parallelisierung mehrere Abschnitte gleichzeitig bearbeitet, ist die direkte Verarbeitung von Makrobildern nicht möglich.

Intern werden die Eingangsdaten daher meterweise verarbeitet. Für die tatsächliche Größe der Eingabebilder hat dies allerdings keine Auswirkung.

Kachelung

Die Auswerteregeln für die Erfassung der Substanzmerkmale (Oberfläche) (Anhang 7, ZTV ZEB-StB) legen Regeln für die Bewertung der Schäden auf einem Streckenabschnitt fest.

Hierzu muss zunächst die Region der Fahrbahn bestimmt werden, die in die Bewertung Eingang findet. Für Asphalt-Fahrbahnen ist hierfür die gesamte Breite des Fahrstreifens zu berücksichtigen. Als seitliche Begrenzung gelten

- die inneren Ränder der Fahrbahnrandmarkierungen bzw.
- die Mitte der Markierungen zu den Nachbarfahrstreifen.

Zur Bewertung eines Streckenabschnitts wird dieser in Teilabschnitte von je 100 m unterteilt. Für jeden Teilabschnitt wird untersucht, ob Schadstellen auftreten, und für die letztendliche Zustandsbewertung der Anteil schadensbehafteter Kacheln ermittelt.

Der Streckenabschnitt wird hierfür in der Breite gedrittelt und in 1 m lange Kacheln eingeteilt. Der Schadenszustand eines Streckenabschnitts ergibt sich aus dem prozentualen Anteil schadensbehafteter Kacheln.

Markierungsdetektion

Für die Ermittlung des zu bewertenden Bildausschnitts entsprechend der obigen Definition

werden zunächst die Fahrbahnmarkierungen segmentiert.

Wird eine begrenzende Fahrbahnmarkierung auf einer Seite bzw. auf beiden nicht detektiert (z. B. weil keine Fahrbahnmarkierung sichtbar ist), so wird der letzte Bildausschnitt beibehalten.

Die Breite des Fahrstreifens wird als relativ konstant angenommen. Falls eine begrenzende

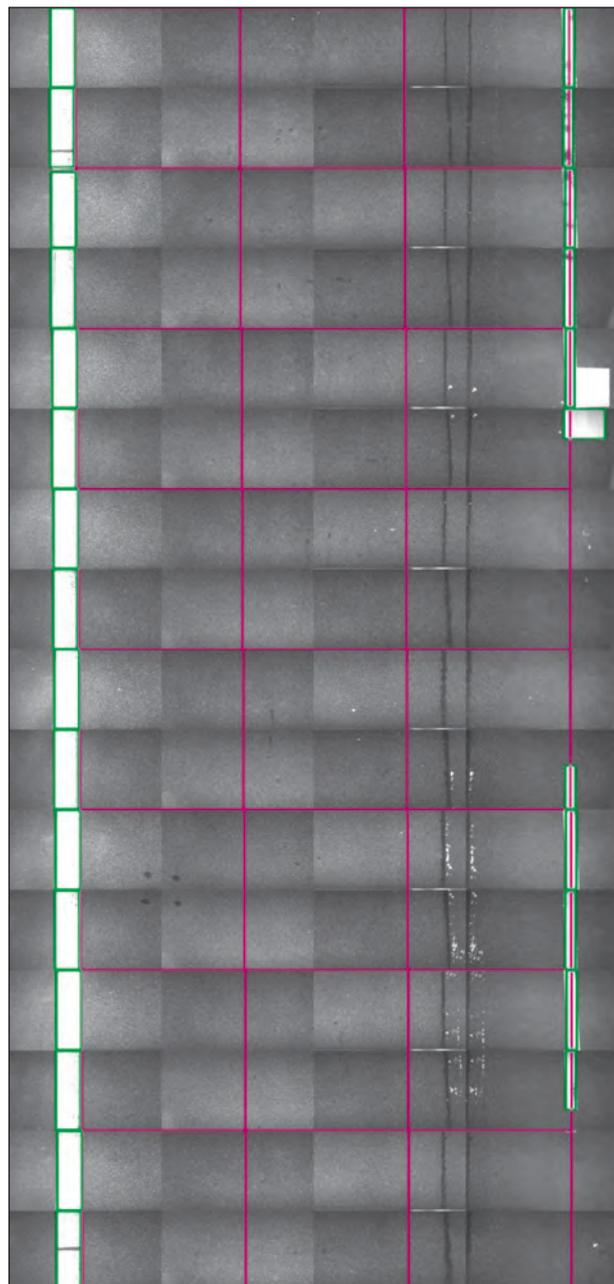


Bild 34: Nach der Markierungsdetektion (grün) wird die bei der Auswertung zu erfassende Breite bestimmt. Bei fehlenden begrenzenden Fahrbahnmarkierungen oder Fehldetektionen wird die Spurbreite konstant gehalten. Für die Bewertung wird die Strecke in der Breite gedrittelt und in 1 m lange Abschnitte unterteilt (magentafarben)

Fahrbahnmarkierung fehldetektiert wird (d. h. Über- oder Untersegmentierung innerhalb oder außerhalb des Fahrstreifens), führt dies zu abrupten Schwankungen der Fahrstreifenbreite. Die fehlerhafte Markierungsdetektion wird in diesem Fall ignoriert und die alte Spurbreite beibehalten.

Bild 34 zeigt die Markierungsdetektion und die dadurch bestimmte in Kacheln eingeteilte zu untersuchende Bildregion.

Die Fahrstreifenbreite und damit die bei der Auswertung zu erfassende Breite werden in diesem Verfahren für jeden Meter neu bestimmt, anstatt einmal für einen 10-m-Abschnitt.

Für Beton ist die Markierungsdetektion in Bezug auf den zu bewertenden Bildausschnitt irrelevant. Hier wird durch Setzen des Oberflächentyps „Beton“ bei der manuellen Auswertung die Asphalt-Markierung durch die Beton-Markierung ersetzt.

Merkmalsdetektion

Durch die Zusammensetzung zu einem Makrobild entstehen meist Kanten und Intensitätsschwankungen. Für die Merkmalsdetektion werden daher die einzelnen Bilder aus dem Vollbild (4,5 m x 10,0 m) extrahiert, separat verarbeitet und die Einzelergebnisse innerhalb eines 1-m-Abschnitts zu einem Gesamtergebnis zusammengesetzt.

Auf jedem extrahierten Teilbild werden die beschriebenen Verfahren für die Detektion von Oberflächenmerkmalen durchgeführt. Da die Daten unabhängig voneinander sind, wird hier die Rechenleistung durch Parallelisierung auf mehreren Prozessorkernen verteilt.

Die Merkmalsgraphen der einzelnen Bilder werden zu einem Merkmalsgraphen für den gesamten 1-m-Abschnitt zusammengesetzt. Für die identifizierten Risse werden charakteristische Eigenschaften berechnet.

Dies sind insbesondere:

- Güte: beschreibt den Kontrast zur umgebenden Bildregion,
- Höhe: Ausdehnung des Merkmals parallel zur Straße,

- Breite: Ausdehnung des Merkmals quer zur Straße,
- Durchmesser: längste Ausdehnung des Merkmals,
- Skalierung: Information über die Skalierungsstufe, wo der Riss gefunden wurde.

Bild 35 stellt den Ablauf der Verarbeitung grafisch dar.

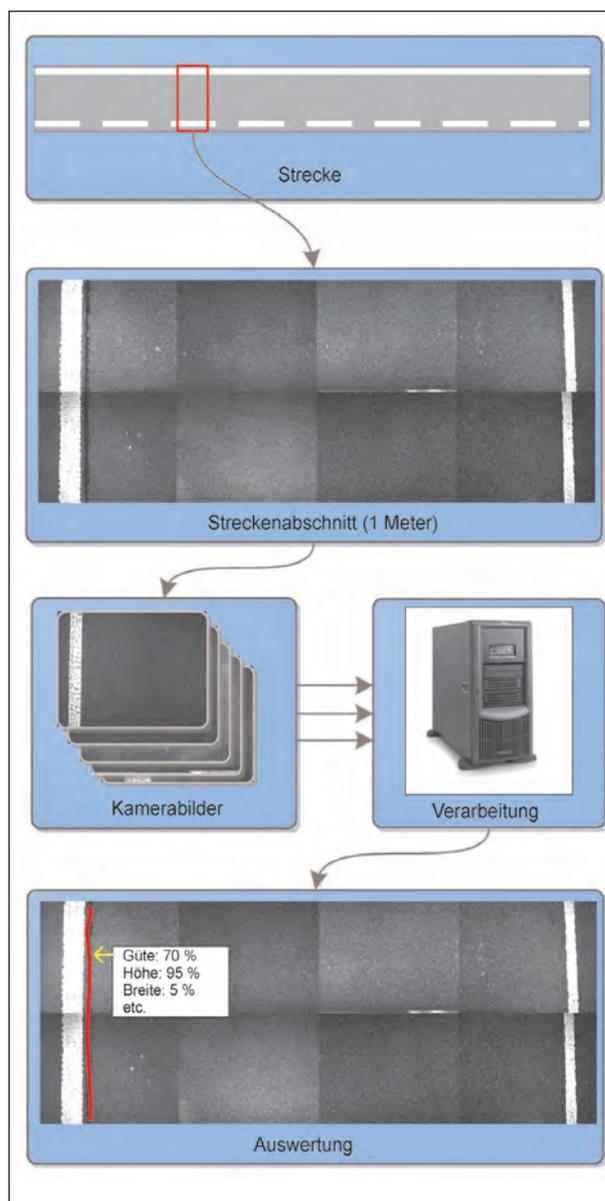


Bild 35: Die Strecke wird in Abschnitten von 1 m eingelesen und in die Eingangsbilder zerlegt. Diese werden parallel verarbeitet und die Resultate der Merkmalsdetektion anschließend zusammengefügt. Für die detektierten Merkmale werden dabei charakteristische Eigenschaften berechnet, um eine spätere Filterung zu ermöglichen

Der Graph wird anschließend weggespeichert. Er beinhaltet alle relevanten Informationen, um Risse zu extrahieren, zu suchen oder zu visualisieren.

Anhand der Merkmalsgüte wird außerdem eine vorläufige Bewertung für die drei Kacheln ermittelt. Diese wird für einen schnellen Überblick über die gesamte Strecke ebenfalls gespeichert.

Bewertung

Die grafische Oberfläche bietet eine grobe Streckenübersicht mit den zugehörigen vorläufigen Kachelbewertungen. Der Arbeitsplatz besteht dabei aus 2 Monitoren. Ein Monitor im Format 16:9 stellt das auszuwertende Bildmaterial dar und ein zweiter Monitor (4:3) zeigt das Makrobild, Diagramme und Regler an. Auf dem großen Monitor lässt sich das Gesamtbild mit einer Breite von 4,5 m oder aber einzelne Kacheln darstellen. Die normale Auswertung erfolgt hierbei an dem Gesamtbild (mit ein- und ausblendbarem Gitternetz). Wahlweise kann jedoch eine Kachel aufgerufen und über den gesamten Monitor angezeigt werden. Diese einzelne Kachel wird dabei pixelgenau, also mit der Anzahl der Pixel, mit der das Bild aufgenommen worden ist, bzw. zoombar dargestellt.

Je nach Belag und Struktur ist eine andere Rissstärke zu erwarten. Die erwartete Rissstärke kann über einen Regler angepasst werden, um die Kachelbewertung an den Belag anzupassen.

In der Großansicht werden die detektierten Oberflächenmerkmale eingeblendet, damit die Bewertung vom Benutzer bestätigt bzw. überschrieben werden kann.

Durch Regler können zusätzliche Filterbedingungen für Risseigenschaften gesetzt werden, um so z. B. kleine Risse auszusortieren oder nur Querrisse zu visualisieren.

5.4 MESOB-Bilddaten

Für dieses Forschungsprojekt lagen hauptsächlich Bilddaten des MESOB-Fahrzeugs vor. Für diese wurden auch die vorgestellten Algorithmen und Verfahren entwickelt. Die Evaluierung konzentriert sich daher ebenfalls auf die MESOB-Bilddaten von Asphaltfahrbahnoberflächen.

Die folgenden Abschnitte beschreiben vor allem die Szenarien und Gründe von fehlerhaften Merkmals-Segmentierungen.

Schnittstelle

Die Zuordnung der MESOB-Kamerabilder zur Streckenposition erfolgt bislang über das Feld Hardware-Timer, das dem Dateinamen der MESOB-Bilder entnommen werden kann.

Bildqualität

Die MESOB-Makrobilder bieten eine sehr gute Auflösung, weisen jedoch eine stark schwankende Bildqualität auf. Diese ist zum Teil auf technische Modalitäten und Beschränkungen zurückzuführen. Im Einzelnen sind dies:

1. ungleichmäßige Ausleuchtung innerhalb eines Bildes,
2. Intensitätsunterschiede zwischen verschiedenen Kameras,
3. schwankende Bildhelligkeit innerhalb einer Bildfolge,
4. Dynamikverluste durch Über- oder Unterbelichtung,
5. Rauschen auf Pixelebene,
6. Streifenbildung auf Pixelebene,
7. Bildunschärfe.

Die Punkte 1 bis 4 betreffen regionale oder globale Intensitätsschwankungen des Bildes. Diese können durch die entwickelten Vorverarbeitungsschritte zumindest optisch korrigiert werden, sodass die Helligkeit innerhalb eines Bildes und zwischen mehreren Bildern angeglichen wird.

Die Punkte 5 bis 7 betreffen lokale Informationsverluste, die nicht behoben werden können. Entsprechend hat insbesondere das Rauschen direkt Einfluss auf die Güte der Detektion.

Bild 36 zeigt einen Bildausschnitt, der vom Pixelrauschen dominiert wird. Dieses tritt insbesondere in dunklen Bildbereich vermehrt auf. Streifenbildung ist in Bild 37 zu beobachten.

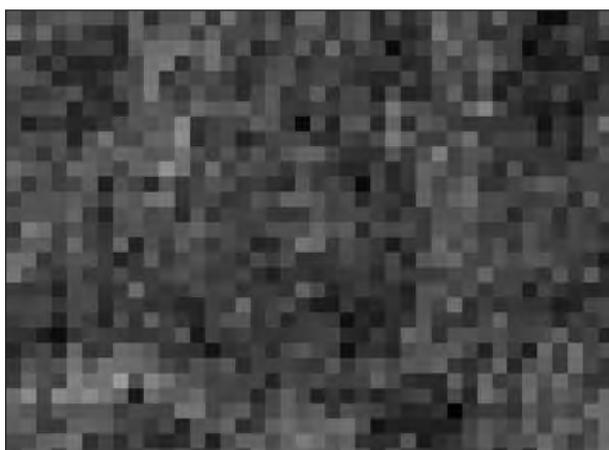


Bild 36: Rauschen im Pixelbereich erschwert die Detektion von feinen Rissen und Merkmalen



Bild 37: Auf Pixelebene kommt es teilweise zu störender Streifenbildung. Im Bild sind diagonale Streifen zu erkennen

Markierungsdetektion

Die Ergebnisse der Markierungsdetektion sind robust gegenüber verrauschten Bildern und Intensitätsschwankungen. Bei stark überleuchteten Bildern kommt es jedoch zu einem Dynamikverlust und damit zu einem geringen Kontrast der Markierung im Vergleich zur benachbarten Bildregion.

Dies kann dazu führen, dass zu große Bereiche des Bildes als Markierung detektiert werden. Diese Übersegmentierung betrifft insbesondere Bereiche außerhalb des zu bewertenden Fahrbahnabschnitts, bei starkem Schlag Schatten auch Teile innerhalb dieses Bereiches (s. Bild 38).

Befinden sich außerhalb der Fahrbahn sichtbare Fahrbahnmarkierungen, so werden diese teil-

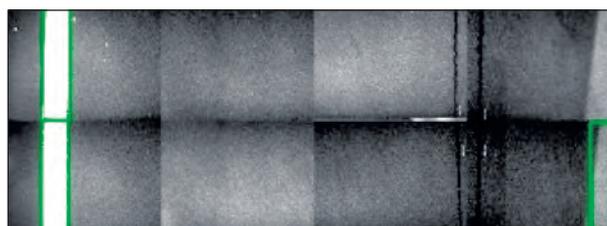


Bild 38: Durch starken Schlagschatten wird der beleuchtete Bereich am Bildrand fälschlicherweise als Fahrbahnmarkierung detektiert (grün)



Bild 39: Die stark abgefahrene Fahrbahnmarkierung am linken Rand des Bildes kann nicht detektiert werden



Bild 40: Fehldetektionen der Fahrbahnmarkierungen können zur Übersegmentierung bei der Merkmalsdetektion führen. Im Bild rechts unten wurde keine Fahrbahnmarkierung detektiert, es kommt zu Merkmals-Fehldetektionen am Fahrbahnrand (rot)

weise als breite Markierung detektiert. Eine weitere Fehlerquelle sind stark abgefahrene Fahrstreifen. Die fehlende Abgrenzung zum Straßenbelag kann dazu führen, dass lediglich ein Teil der Fahrbahnmarkierung markiert wird, d. h., es kommt zu einer Untersegmentierung (s. Bild 39).

Fehlerhafte Detektionen der Fahrbahnmarkierung führen zu einem unerwarteten Kontrast bei den Verfahren zur Helligkeitsangleichung. Dies führt in ungünstigen Fällen indirekt zur Segmentierung eines nicht vorhandenen Risses parallel zur Fahrbahnmarkierung. Bild 40 zeigt eine solche Fehldetektion.

Bei der Bestimmung des für die spätere Auswertung relevanten Fahrbahnbereichs können diese Fehler oft korrigiert werden, da die Fahrbahnbreite als praktisch konstant angenommen wird und zu starke Schwankungen unterdrückt werden.

Bild 41 zeigt die Detektion von Fahrbahnmarkierungen und die daraus resultierende Kachelung.

Merkmalsdetektion

Bei der Segmentierung von Riss-ähnlichen Oberflächenmerkmalen führt das angesprochene Pixelrauschen in den Eingangsdaten zu Problemen.

Dies äußert sich in zwei Szenarien:

1. Übersegmentierung:

Verrauschte Pixel bilden ein lokales Minimum, das fälschlicherweise als Rissfragment identifiziert wird.

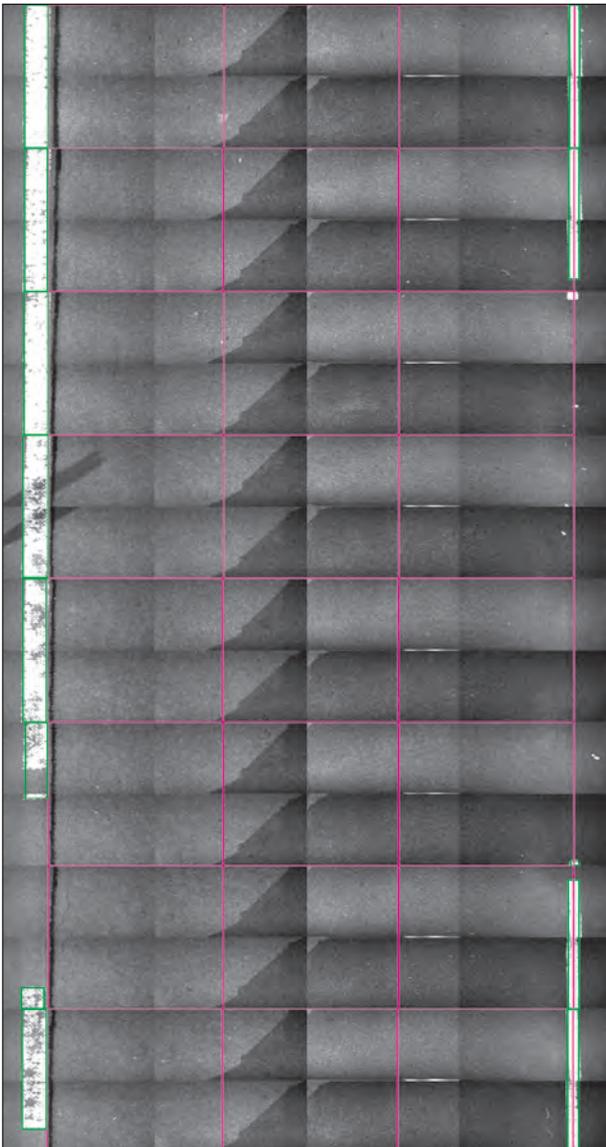


Bild 41: Fahrbahnmarkierungsdetektion auf MESOB-Bilddaten. Bei nicht durchgängigen Fahrbahnmarkierungen (grün) wird die vorige Fahrbahnbreite beibehalten

2. Untersegmentierung:

Durch Pixelrauschen in direkter Nachbarschaft eines feinen Risses sinkt der Kontrastwert und der Riss wird verworfen.

Dies tritt bei Rissen mit einer Breite von wenigen Pixeln auf. Bei größeren Rissen sinkt der Einfluss des Pixelrauschens.

Vergossene Arbeitsnähte tendieren aufgrund ihrer glatten Oberfläche dazu zu spiegeln. In diesen Fällen kann es dazu kommen, dass sie nicht als Oberflächenmerkmal erkannt werden. Bild 43 zeigt einen solchen Sachverhalt: Die vergossene Arbeitsnaht ist heller als die Umgebung und wird daher nicht als Riss detektiert.

Treten dunkle Flecken in direkter Nachbarschaft eines Risses oder einer Nahtstelle auf, wird der Riss zudem teilweise nicht vollständig segmentiert, bei weißen Flecken auf dem Asphalt kommt es zeitweise zu einer Übersegmentierung (Bild 44).

Bei starkem Schlagschatten kann es ebenfalls zur Fehldetektion von Rissen kommen. In Bild 45 verursacht die Beleuchtung eine scharfe Schattenkante, die dann als Oberflächenmerkmal detektiert wird. Hier sind noch Verbesserungen denkbar, um Merkmale mit einseitigem Intensitäts-

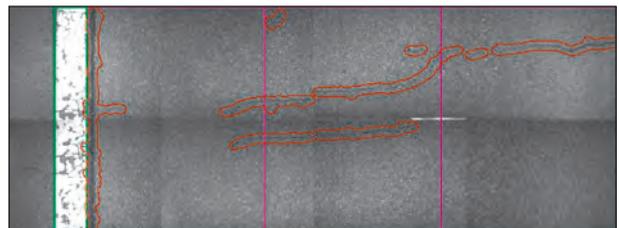


Bild 42: Der quer verlaufende Riss wurde nicht vollständig segmentiert und der dünn auslaufende Risse auf der linken Seite wurde nicht detektiert (Doppeldetektion durch überlappende Bilder)

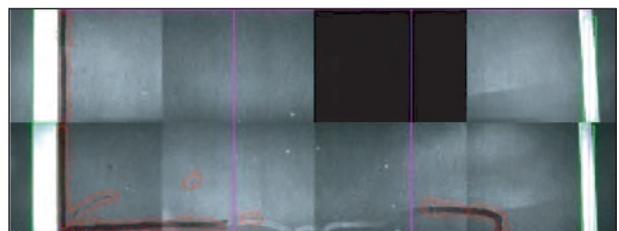


Bild 43: Durch direkte Beleuchtung erscheint die vergossene Arbeitsnaht in manchen Bereichen (Mitte unten) heller als der umgebende Bereich und wird daher nicht als Oberflächenmerkmal detektiert

abfall besser zu erkennen und im Resultat zu ignorieren.

Die verschiedenen Asphaltoberflächen weisen deutliche Unterschiede in Struktur und Granularität auf. Was in einem Bild wie ein Riss erscheint, ist bei einem anderem Belag Teil der Oberflächenstruktur. Die Sensitivität der Detektion kann daher auch nachträglich (d. h. zum Zeitpunkt der Auswertung) auf den jeweiligen Belag eingestellt werden.

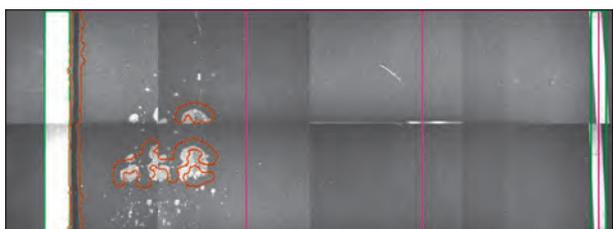


Bild 44: Helle Flecken auf dem Asphalt können zu rissähnlichen Kontrastverläufen führen und infolgedessen zur Übersegmentierung

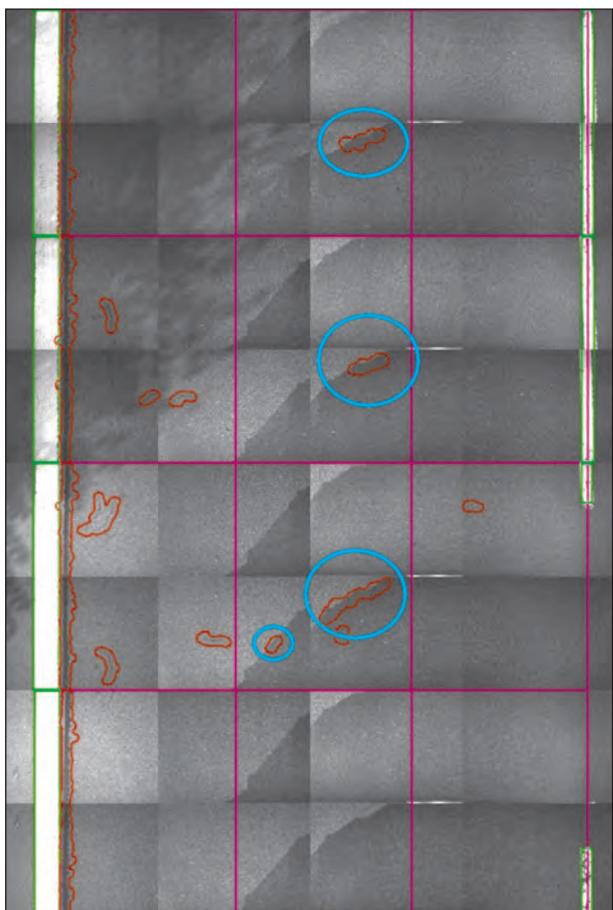


Bild 45: Durch starke Schlagschatten kommt es immer wieder zu Merkmals-Fehldetektionen: Die Risse im Asphalt wurden korrekt detektiert, zusätzlich jedoch auch kontrastreiche Schattenbereiche (türkisfarben eingekreist)

Rechenzeit

Das starke Pixelrauschen und die damit einhergehenden Fehldetektionen führten dazu, dass die Detektoren für feine Risse sehr restriktiv parametrisiert wurden. Zudem wurden aufwändige Heuristiken eingesetzt, die allerdings zu einem Anstieg der Rechenzeit führen. Die Verarbeitungsdauer betrug auf dem Testrechner ca. 4 s pro Meter, d. h. 1 km/h. Dies entspricht ungefähr der Geschwindigkeit des bisherigen Stitching-Prozesses, der als Vorstufe der Visualisierung vonnöten war.

Fazit

Die Ergebnisse der Merkmalsdetektion sind nach qualitativen Auswertungen gut. Teilweise problematisch sind feine Risse und die verrauschten Bilddaten. Des Weiteren werden manche Risse nicht als zusammenhängend erkannt, sondern in mehrere kleine Fragmente unterteilt. Dies kann beispielsweise zu Problemen bei der anschließenden Filterung nach Größenkriterien führen.

Die Detektionsgenauigkeit muss zudem nach der Detektion feinjustiert werden, da die unterschiedlichen Belagsarten stark voneinander abweichen.

Weiteres ausgewertetes Bildmaterial des MESOB-Fahrzeugs findet sich in Anhang A.

5.5 Externe Bilddaten

Zur Evaluierung der Merkmalsdetektion auf Asphaltbildern externer Betreiber konnte auf Daten des Vorgängerprojekts zurückgegriffen werden.

Bei den verwendeten Bildern handelt es sich um Aufnahmen der Größe 640 x 480 Pixel, die jeweils ein Drittel der Fahrbahnbreite abdecken. Die Auflösung beträgt somit ca. 2,5 mm pro Pixel.

Die Bilder sind zumeist leicht überbeleuchtet und etwas unscharf, weisen jedoch nur geringes Pixelrauschen auf. Die automatische Merkmalsdetektion wurde auch auf diesem Bildmaterial getestet.

Markierungsdetektion

Die Markierungsdetektion arbeitet wiederum robust. Auf dem evaluierten Bildmaterial kam es zu keinen störenden Überleuchtungen, der Fahrbandrand war zumeist in gutem Zustand (nicht abgefahren), sodass praktisch keine Fehldetektionen auf-

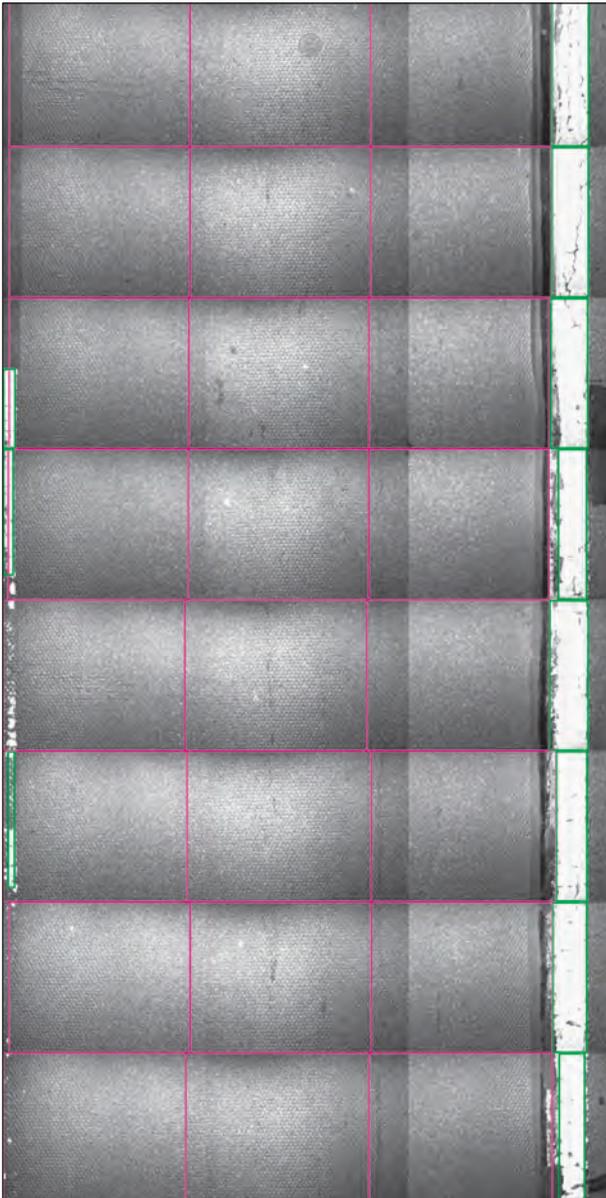


Bild 46: Detektion der Markierungen auf den externen Bilddaten; der Fahrbahnrand war zumeist in gutem Zustand. Die Bestimmung der Fahrstreifenbreite ist daher entsprechend robust



Bild 47: Verblasste Fahrbahnmarkierungen wurden nicht über die gesamte zu bewertende Fahrbahnbreite segmentiert (links)

traten (s. Bild 46). Lediglich bei verblassten Fahrbahnmarkierungen wurden diese nicht über die volle Ausdehnung detektiert (s. Bild 47).

Die Ermittlung der zu bewertenden Fahrstreifenbreite funktionierte dementsprechend reibungslos.

Vorverarbeitung

Die Vorverarbeitungsschritte werden auch hier angewandt, um die Bilder unabhängiger von der Beleuchtung zu machen.

Bild 48 zeigt einen Meter des externen Bildmaterials und das vorverarbeitete Bild nach Helligkeitsnormalisierung und Walzmusterbereinigung. Die Verdunklung an den Rändern der einzelnen Bilder hat keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis, da die Bilder einzeln verarbeitet werden.

Die Normalisierung wird dennoch entsprechend korrigiert, um später auch als Teil der Visualisierung eingesetzt werden zu können. Es werden außerdem noch Parameteranpassungen vorgenommen, die die Vorverarbeitung insgesamt besser an die Auflösung der Bilder anpasst.

Merkmalsdetektion

Die Detektion von Rissen und Riss-ähnlichen Oberflächenmerkmalen konnte auch auf den Daten des externen Betreibers durchgeführt werden.

Aufgrund des starken Pixelrauschens der MESOB-Bilder wurden die Detektoren für feine Risse sehr restriktiv eingestellt.

Dies – und die relativ große Unschärfe – führen dazu, dass feine Risse oftmals nicht in vollem Umfang detektiert werden können – in wenigen Fällen wurden sie gar nicht detektiert (s. Bild 49).

Bezüglich der vergossenen Nahtstellen trat das gleiche Problem auf, wie bei den MESOB-Aufnahmen. Bei stark reflektierendem Belag schlägt die Merkmalsdetektion fehl. Bild 50 zeigt zwei solche Fälle. Die Risse und vergossenen Nahtstellen wurden detektiert, in der Bildmitte erscheint die vergossene Nahtstelle durch Spiegelung jedoch fast weiß, sodass eine Untersegmentierung auftritt.

Die am häufigsten auftretenden Risse waren Querrisse, offensichtlich begünstigt durch die Walzstruktur. Dementsprechend verschmelzen die Risse meist mit der Walzstruktur. Dennoch wurden die Risse recht zuverlässig detektiert und zumindest in Teilen segmentiert. Bild 51 zeigt einen Straßenabschnitt mit feinen Querrissen. Diese werden zwar nicht als eine zusammenhängende Rissstruktur identifiziert, die deutlicher ausgeprägten Rissstellen werden aber einzeln erkannt.

Bild 52 zeigt exemplarisch einen acht Meter langen Straßenabschnitt mit korrekt detektierten Nahtstellen.

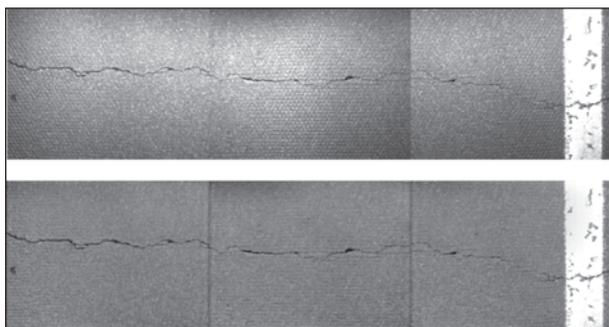


Bild 48: Oben: 1-m-Abschnitt des externen Bildmaterials. Unten: Abschnittsbild nach Vorverarbeitung. Es bilden sich dunkle Ränder an den Kanten der Kamerabilder – diese haben jedoch keinen Einfluss auf die Merkmalsdetektion



Bild 49: Untersegmentierung. Die feinen Querrisse auf der linken Seite wurden nicht detektiert

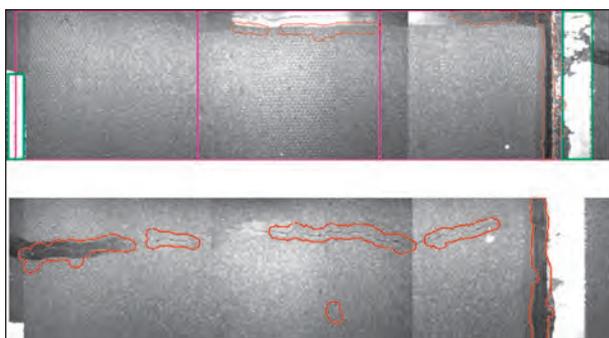


Bild 50: Oben: Durch direkte Beleuchtung spiegelt die vergossene Naht und erscheint heller als der Hintergrund. Es kommt zu Fehlsegmentierungen an den Rändern. Unten: Die Spiegelung verhindert die Detektion von Rissen auf der vergossenen Nahtstelle

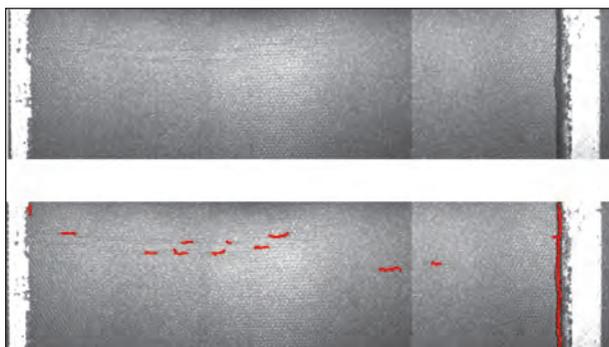


Bild 51: Oben: Im Bild sind feine Querrisse zu erkennen. Unten: Diese werden zwar nicht als zusammenhängender Riss erkannt, markante Rissfragmente werden jedoch detektiert

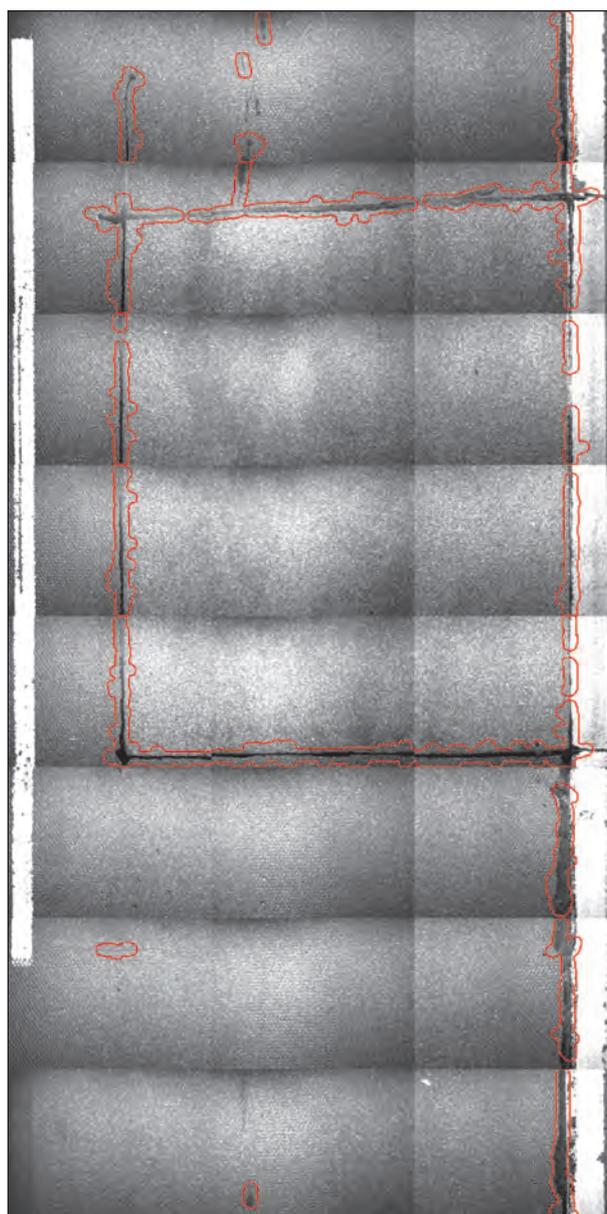


Bild 52: Merkmalsdetektion auf externen Bildern. Die Nahtstelle wurde korrekt detektiert. Kleinere Risse und Auffälligkeiten wurden markiert

Rechenzeit

Durch die geringere Auflösung sinkt die Verarbeitungszeit, diese betrug auf dem Testrechner ca. 800 ms pro Meter, also 4,5 km/h.

Fazit

Die Merkmalsdetektion liefert auf den verwendeten externen Daten gute Ergebnisse. Problematisch war aber auch hier die Detektion sehr feiner Risse im Pixelbereich.

Die Qualität der Detektion ist natürlich von der Qualität der Eingabebilder abhängig. Auf den sehr stark

verrauschten Bilddaten eines weiteren Fremdbetreibers konnten keine verwertbaren Ergebnisse erzeugt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Erhaltung des deutschen Straßennetzes ist eine aufwändige und kostenintensive Aufgabe. Durch frühzeitiges Auffinden von Straßenschäden lassen sich die erforderlichen Kosten oftmals deutlich senken, da kleine Schäden wie z. B. Risse lokal repariert werden können, bevor sie sich ausweiten.

Für die netzweite Erhaltungsplanung der Fernstraßen kommen verschiedene Messtechniken zum Einsatz, um den Zustand der Straßenoberfläche zu erfassen.

Die videobasierte Überprüfung dient dabei dem Auffinden von kleinsten Schadensmerkmalen. Mit entsprechend ausgestatteten Messfahrzeugen werden Straßen abgefahren und fortlaufende Bildsequenzen erzeugt. Die Auswertung findet anschließend durch eine Fachkraft statt, die die abgefahrte Strecke nochmalig am Monitor visuell auf Schäden untersucht.

Im Vorläuferprojekt (FE-Nr. 89.0190/2007/AP) wurde die Machbarkeit eines Systems zur automatischen Rissdetektion untersucht. Hierauf aufbauend wurde ein entsprechendes System entwickelt, um an einem dafür eingerichteten Arbeitsplatz Verwendung zu finden.

Für das konzipierte System wurden Verfahren der Bilderkennung entwickelt und eingesetzt, um Schadensmerkmale auf Fahrbahnoberflächenbildern zu detektieren. Die entwickelte Software verwendet als Eingangsdateien die in der ZEB 2009 geforderten 4,5 m x 10,0 m großen Makrobilder. Für die Verwendung beliebiger Eingabebilder wurde jedoch eine entsprechende Schnittstelle erstellt.

Die zu bewertende Fahrbahnbreite wird auf Asphaltoberflächen anhand der Fahrbahnmarkierungen automatisch erkannt, bei Betonstrecken anhand der Plattenränder. Die Wahl des Belags muss zunächst manuell vorgenommen werden, die Einteilung der Fahrbahn für die spätere Bewertung wird dann entsprechend den „Auswerteregeln für die Erfassung der Substanzmerkmale“ (Anhang 7, ZTV ZEB-StB) durchgeführt. Eine Benutzerober-

fläche hebt die Merkmale hervor und unterstützt die Fachkraft beim Bewertungsprozess.

Eine qualitative Evaluierung wurde auf Bildern des MESOB-Messfahrzeugs und auf Bildern eines Fremdbetreibers durchgeführt und zeigte sehr gute Resultate. Problematisch waren teilweise die Bildqualität der Eingangsdaten und die Detektion von sehr feinen Rissen.

Eine vollautomatische Klassifikation der einzelnen Merkmale war allerdings nicht erfolgreich, sodass das System als Assistenzsystem einzusetzen ist, die Fachkraft aber nicht ersetzen kann.

Eine Überprüfung im praktischen Einsatz steht noch aus. Hierzu wurde ein Arbeitsplatz entsprechend eingerichtet, sodass der Nutzen eines Assistenzsystems untersucht werden kann.

Anhänge

Anhang A: Bildmaterial

MESOB-Bilddaten

Die MESOB-Bilder liegen als Einzelbilder vor. Jedes Bild hat die Auflösung 1024x768 Pixel; zwei (vertikal) aufeinanderfolgende Bilder decken eine Fahrspurlänge von ca. 1,40m ab

Vollbilder wurden durch einfaches Aneinanderhängen der Kamerabilder erzeugt, die Überlappung wurde ignoriert. Zusätzlich wurde für die interne Berechnung und die mögliche spätere Visualisierung die Helligkeit lokal angepasst, um die Auswirkung der Beleuchtungsfehler und Bildkanten zu verringern.

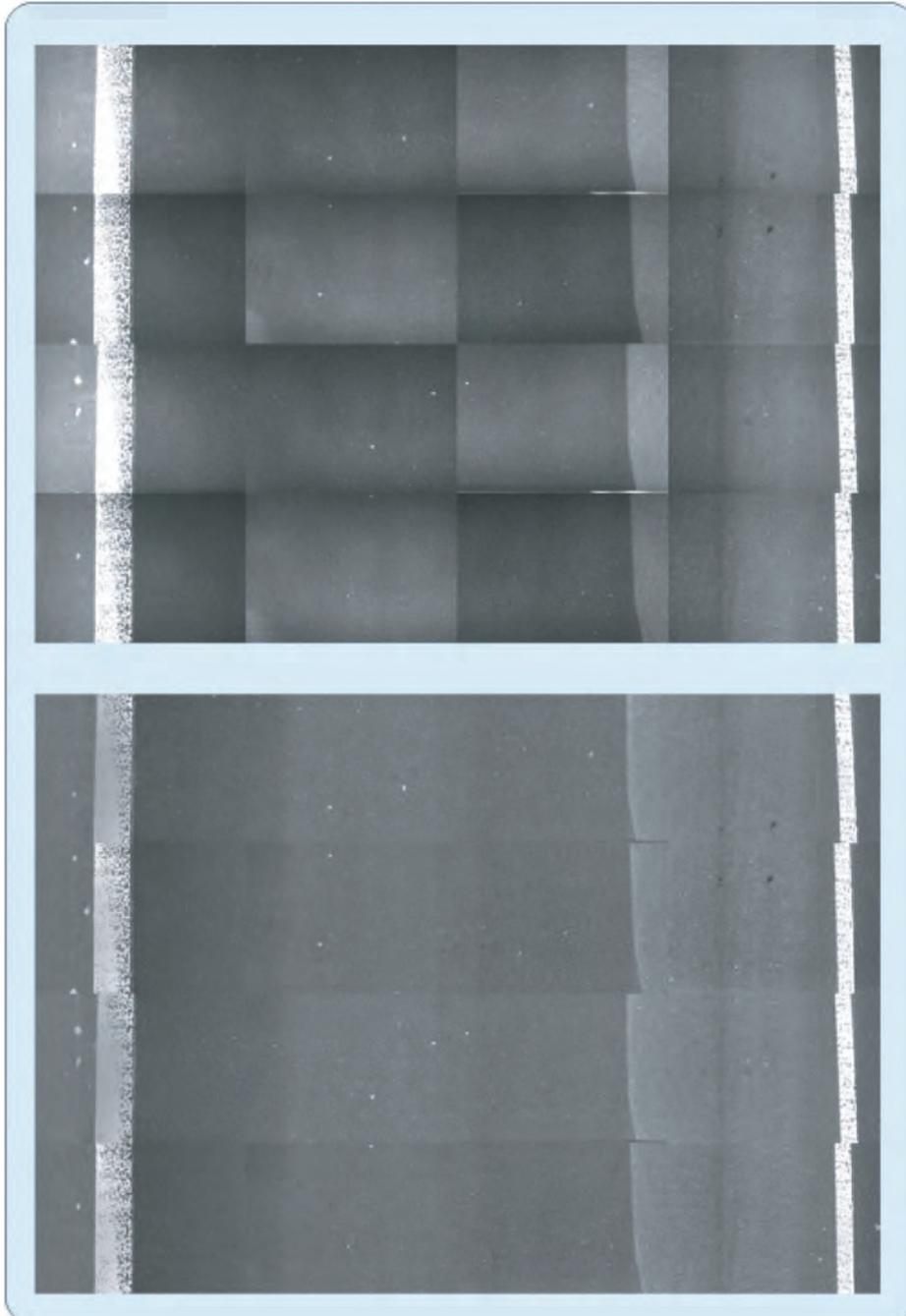


Bild 53: Oben: Aneinandergefügte Einzelbilder des MESOB-Fahrzeuges. Unten: Anpassung der Bildausleuchtung und Angleichung (horizontal) benachbart liegender Teilbilder (gleicher Bildbereich wie oben).

Die Merkmalsdetektion auf allen folgenden Bildern wurde mit dem gleichen Parametersatz, d.h. ohne Anpassung der Parameter, durchgeführt.

Einzelbilder

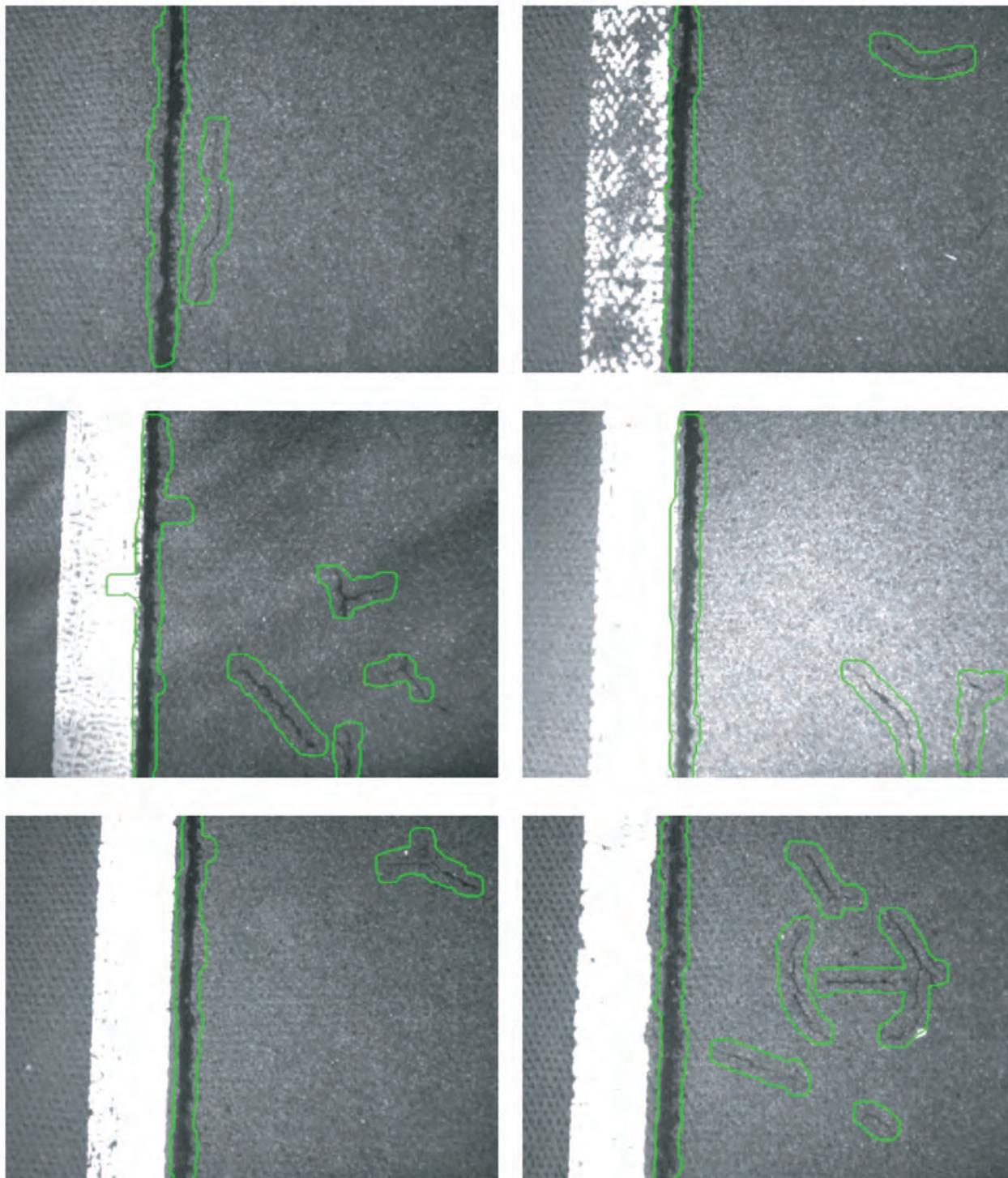


Bild 54: Erfolgreiche Merkmalsdetektion auf einzelnen Kamerabildern (1024 x 768 Pixel). Nahtstellen und Risse wurden vollständig detektiert, keine Übersegmentierung.

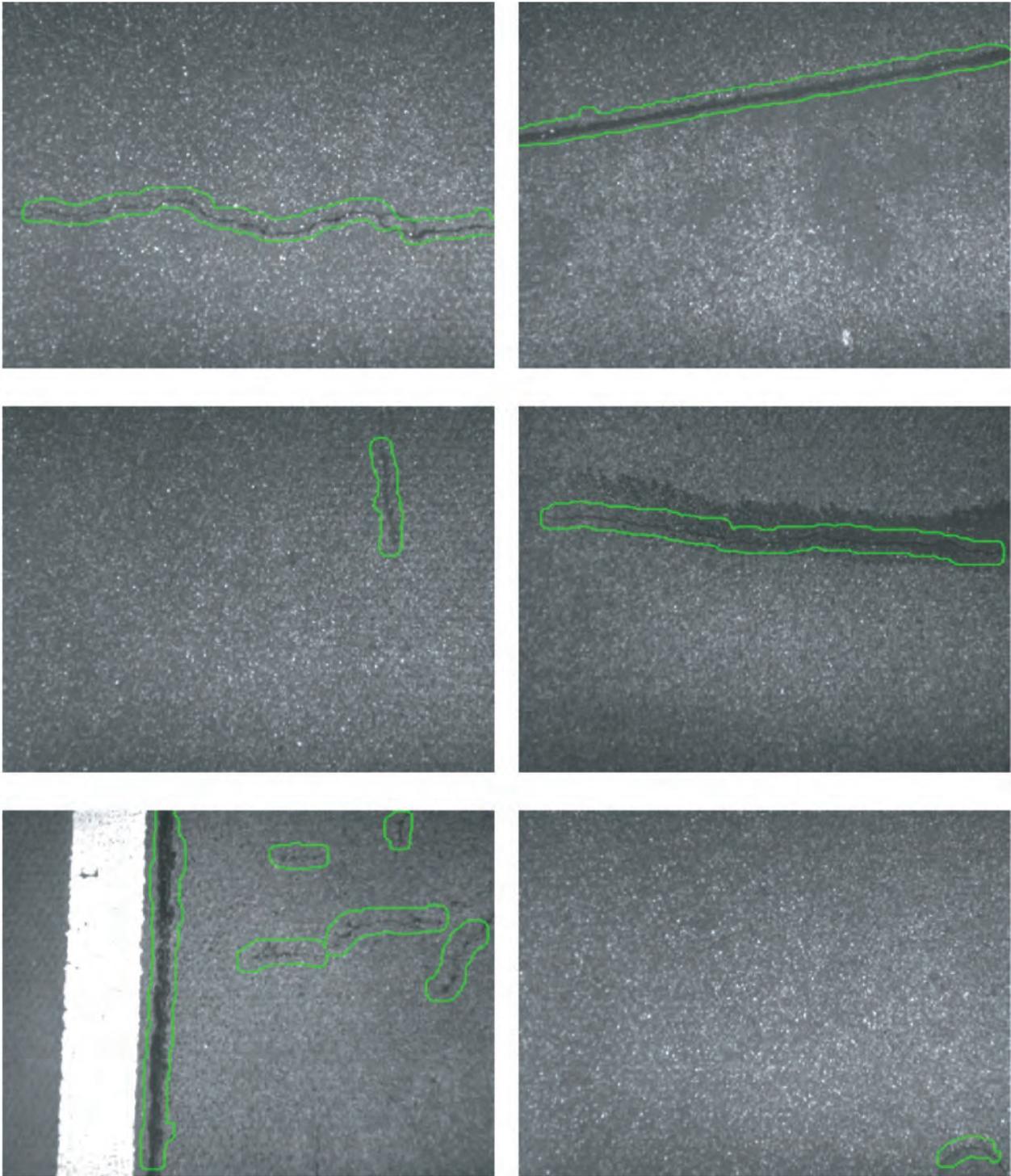


Bild 55: Erfolgreiche Merkmalsdetektion auf einzelnen Kamerabildern (1024 x 768 Pixel). Nahtstellen und Risse wurden vollständig detektiert, keine Übersegmentierung.

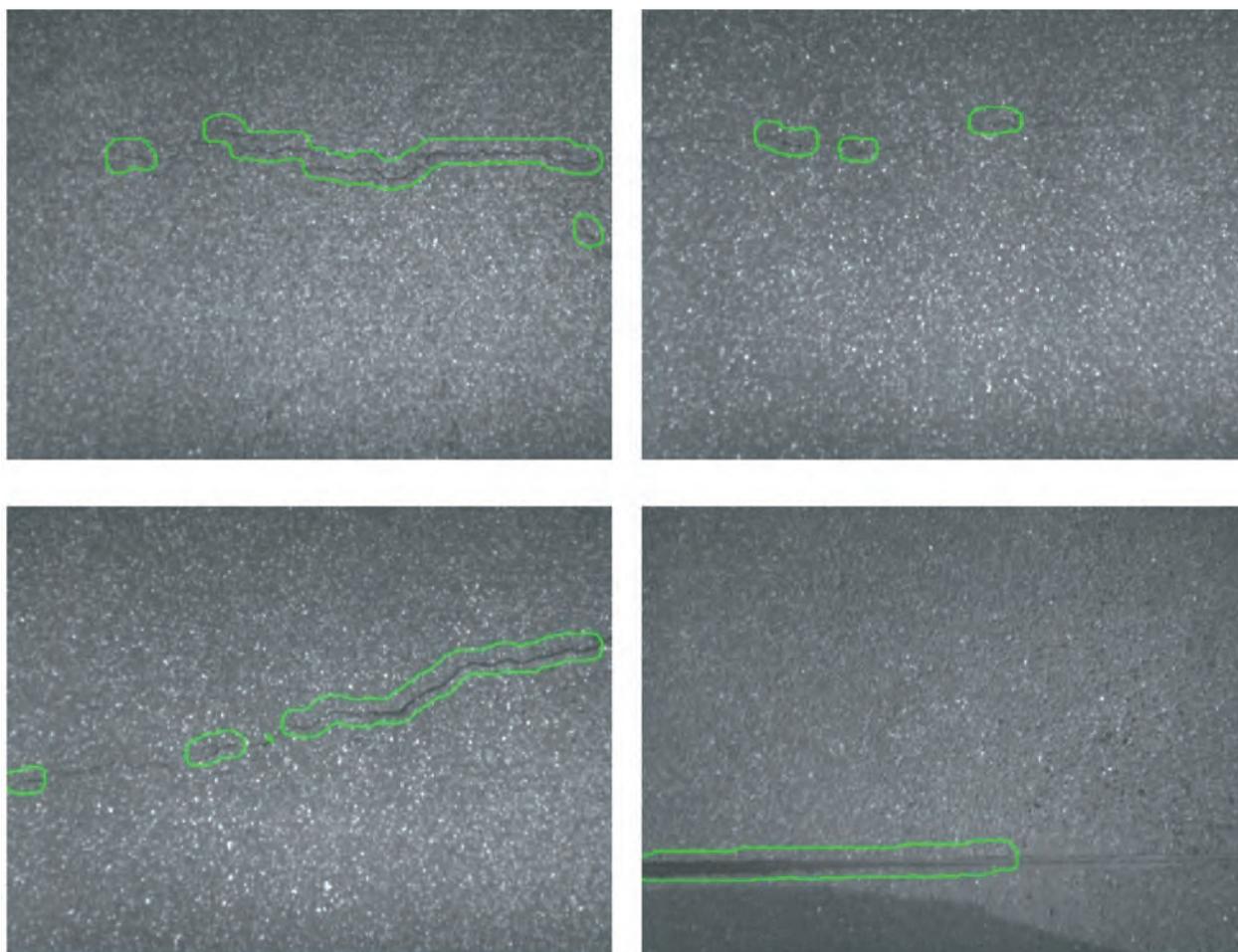


Bild 56: Schwierigkeiten bei der Merkmalsdetektion: Die Merkmale wurden detektiert, allerdings nicht in ihrer vollen Ausdehnung. Durch geringen Kontrast wurden Teilstücke der Merkmale nicht als Riss bzw. vergossene Nahtstelle erkannt.

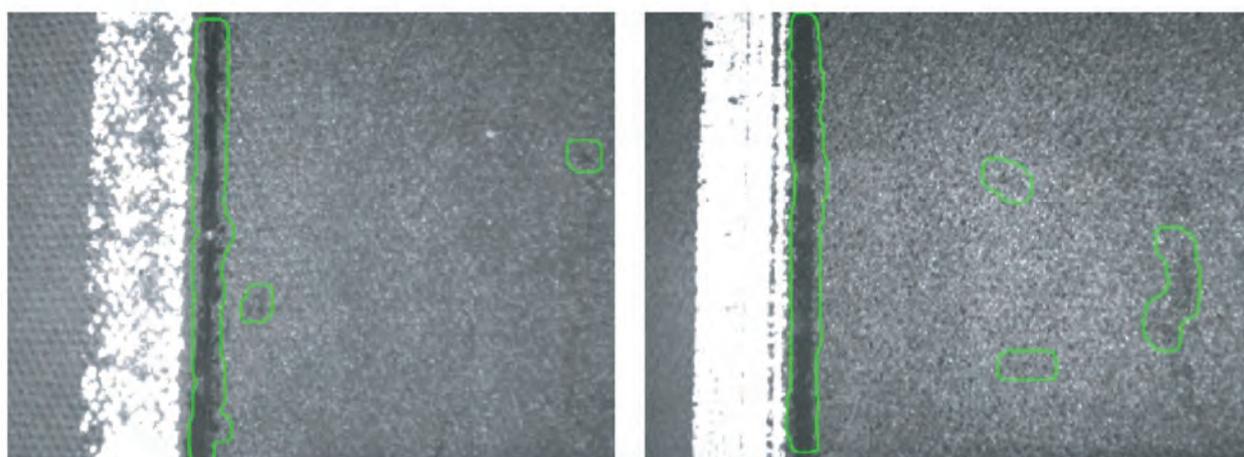


Bild 57: Störungen im Fahrbahnbelag: Dunkle Störungen im Fahrbahnbelag (linkes Bild) und grob verrauschtes Bildmaterial (rechtes Bild) werden fälschlicherweise als Oberflächenmerkmal detektiert.

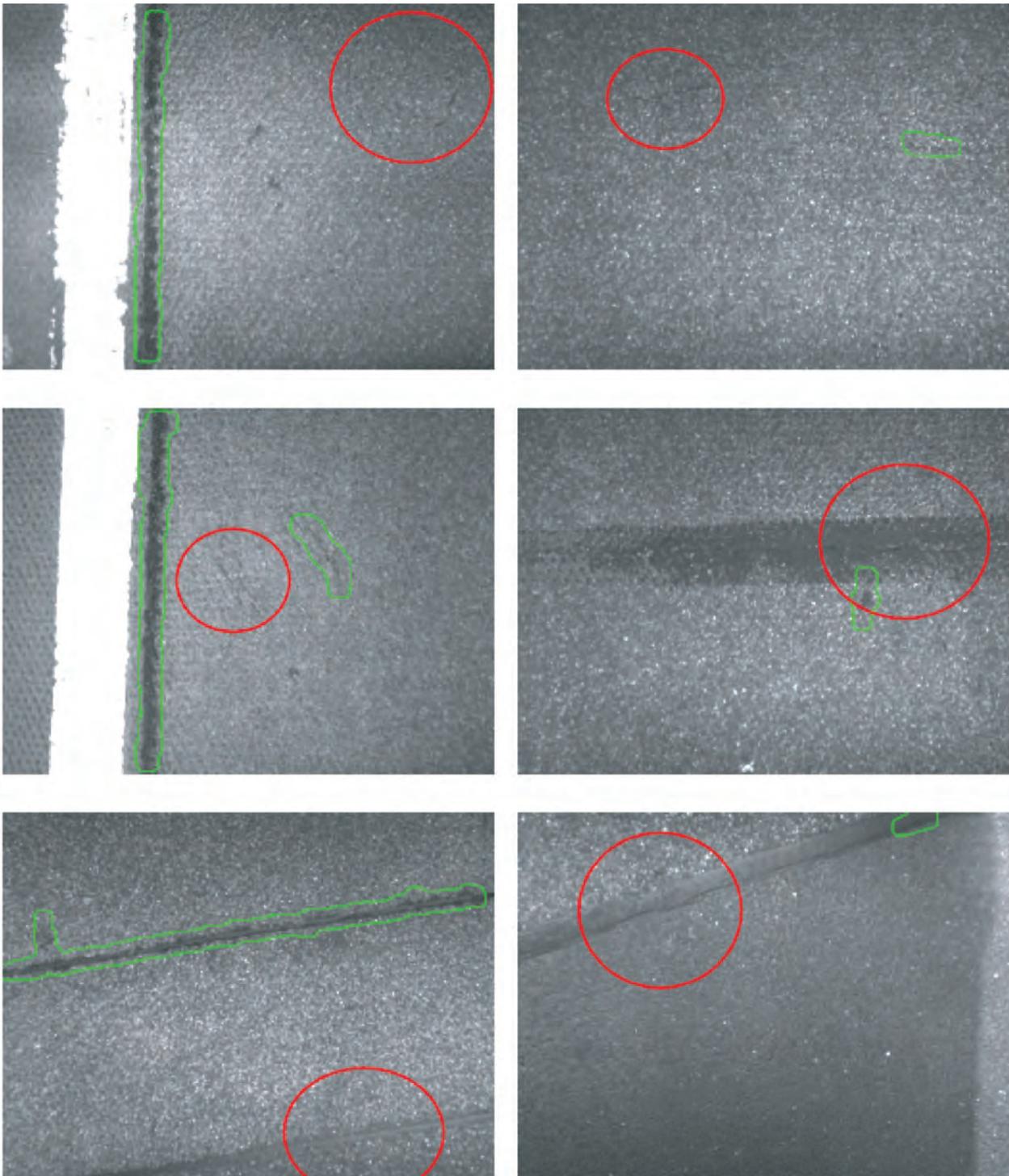


Bild 58: Fehldetektionen auf Einzelbildern (roter Kreis). Zeile 1 und 2: Feine Haarrisse sowie Risse auf dunklem Belag werden teilweise übergangen oder nur unvollständig detektiert. Zeile 3: Durch die Reflexion der IR-Strahler heben sich vergossene Nahtstellen oftmals nicht stark genug vom Fahrbahnbelag ab und werden nicht oder nur unvollständig detektiert.

Vollbilder

Die MESOB-Vollbilder haben eine Größe von 4096 x 15360 Pixeln, daher werden Ausschnitte gezeigt, die aber die volle Fahrstreifenbreite besitzen.

Bei der visualisierten Kachelung auf dieser und den folgenden Seiten handelt es sich um eine veraltete Fahrstreifen-einteilung, sie entspricht nicht der ZEB-konformen Einteilung des in diesem Projekt entwickelten Systems.

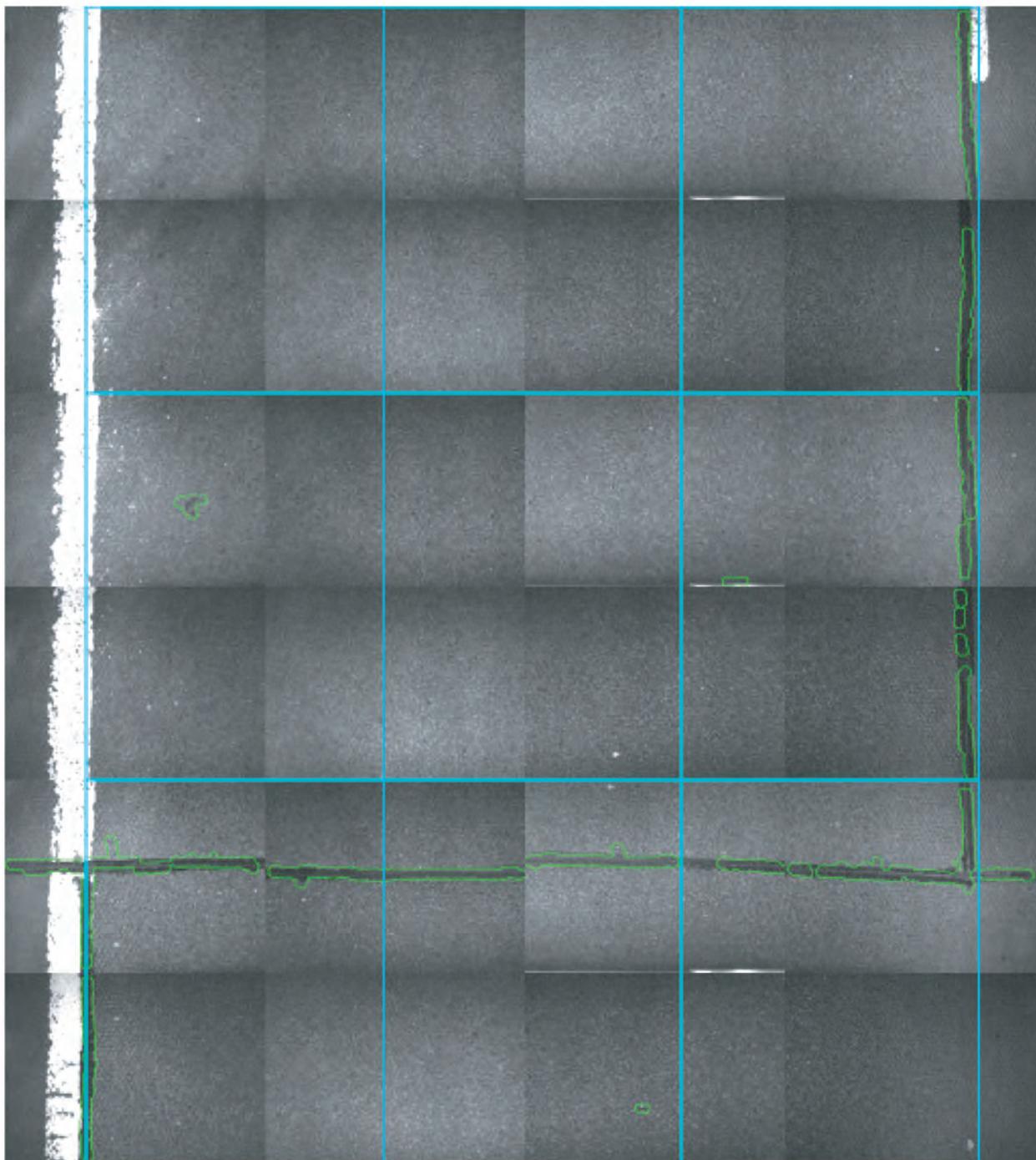


Bild 59: Merkmalsdetektion auf Vollbild (ca. 4,20-m-Fahrbahnlänge). Die vergessenen Nahtstellen wurden detektiert, außerdem erfolgte eine korrekte Detektion lokaler dunkler Asphalt-Einfärbungen (links Mitte, unten Mitte).

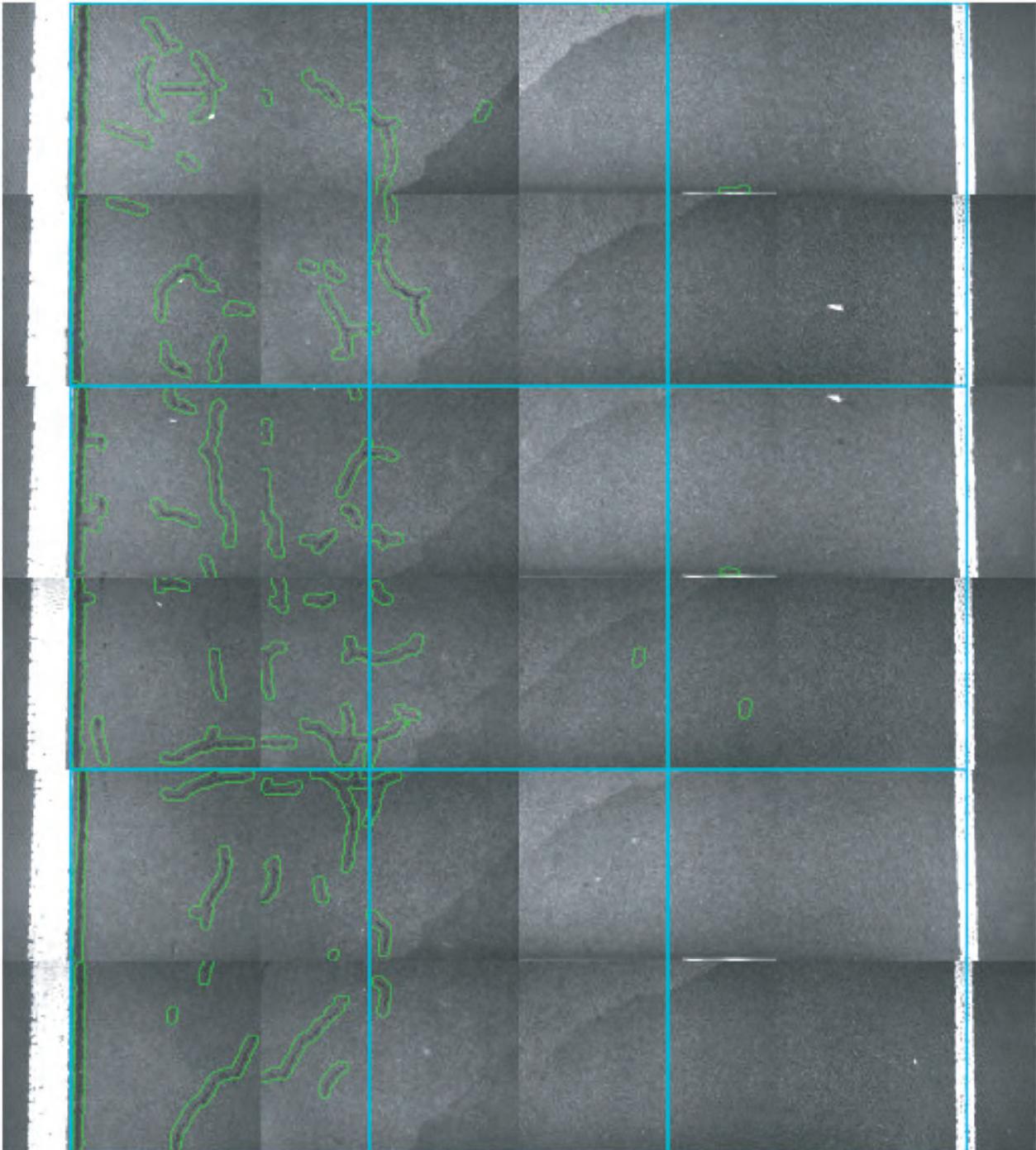


Bild 60: Merkmalsdetektion auf Vollbild (ca. 4,20-m-Fahrbahnlänge). Auf der linken Seite des Fahrstreifens befinden sich eine Nahtstelle und kleine Einzelrisse. Beide wurden vollständig detektiert.

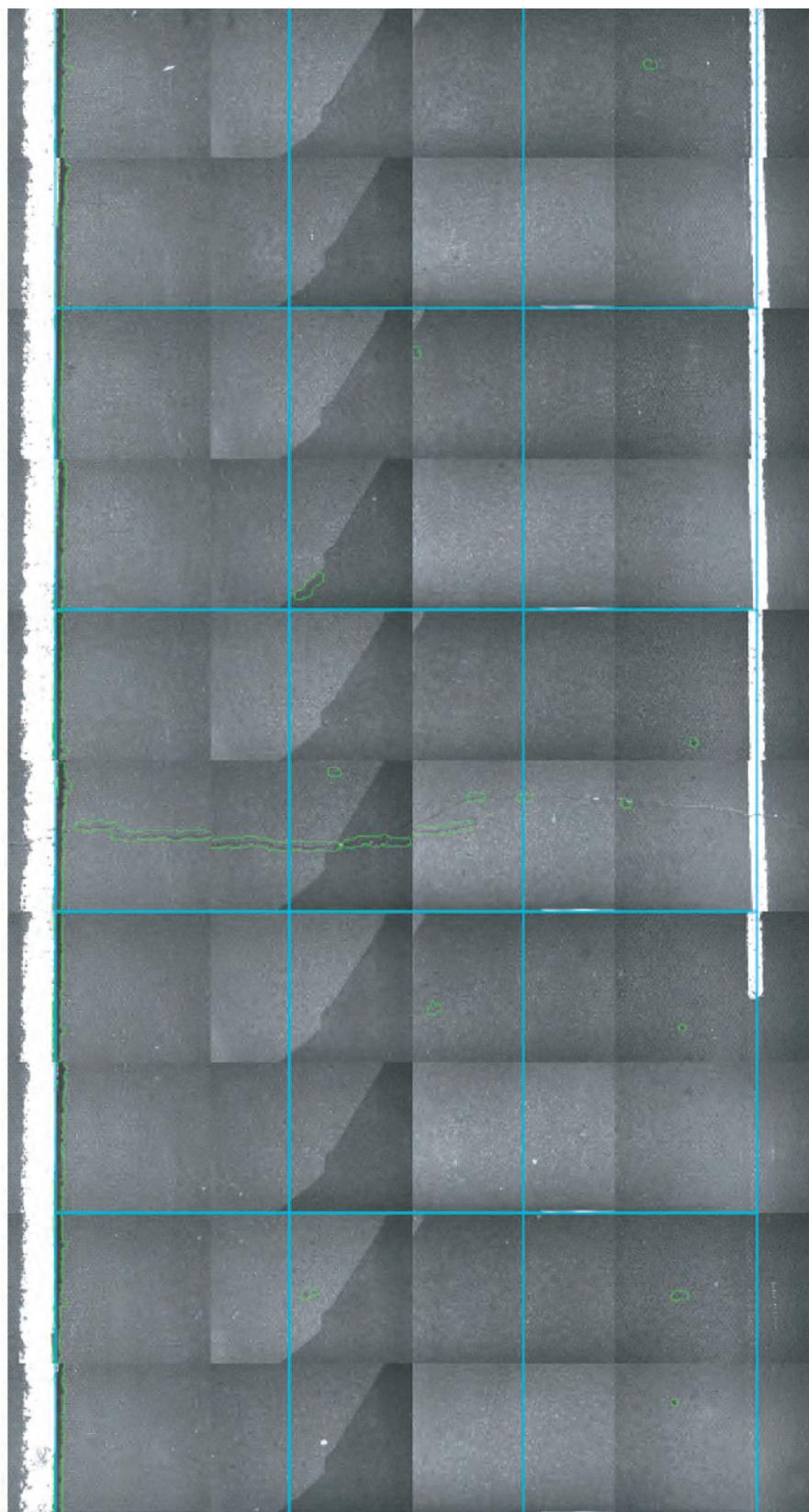


Bild 61: Merkmalsdetektion auf Vollbild (ca. 7-m-Fahrbahnlänge): Die Nahtstelle neben der linken Fahrbahnmarkierung wurde detektiert. Der Querriss konnte auf der rechten Seite des Fahrstreifens nicht durchgehend detektiert werden, da er durch die Beleuchtung heller erscheint, als seine Umgebung.

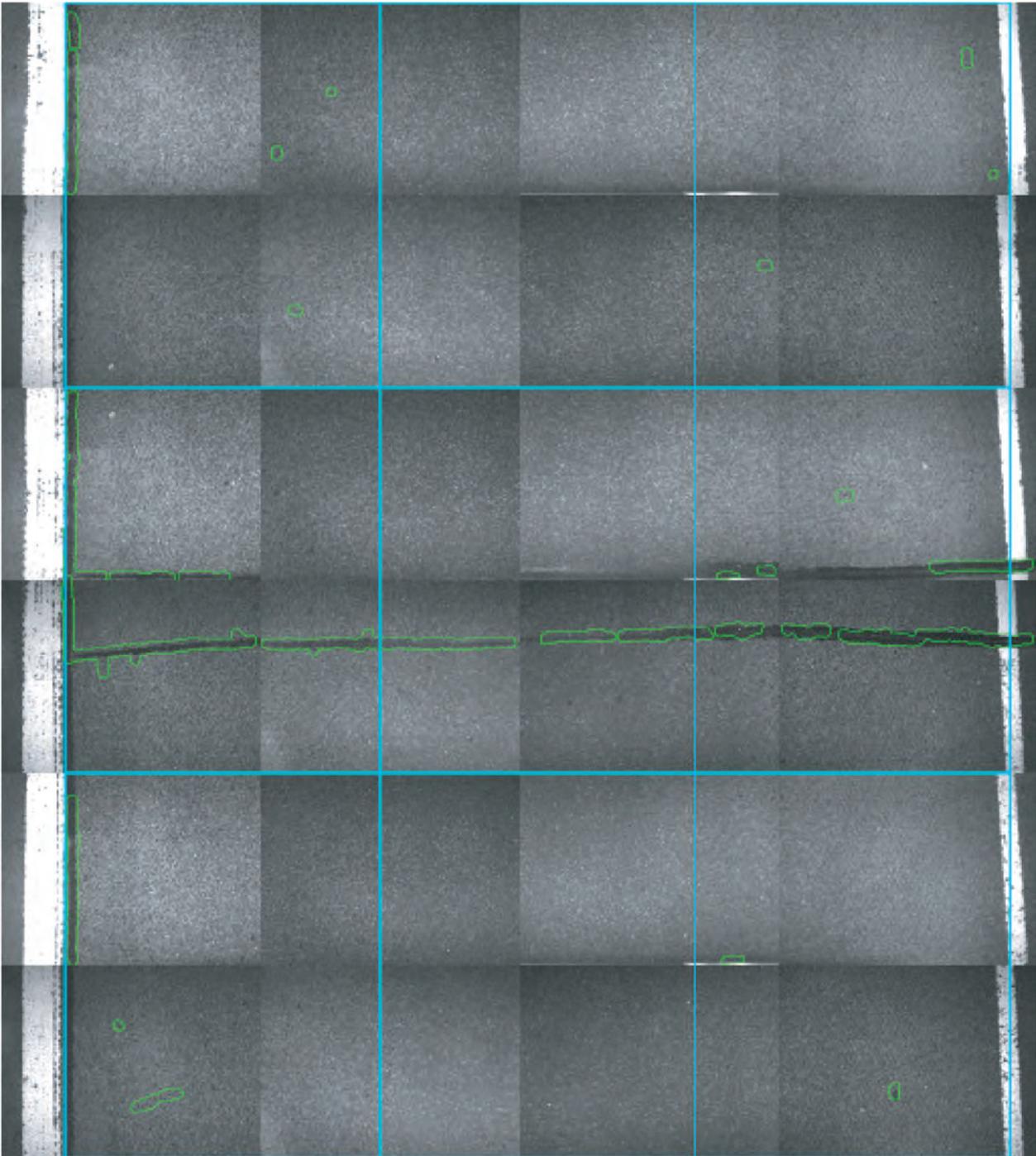


Bild 62: Merkmalsdetektion auf Vollbild (ca. 4,20-m-Fahrbahnlänge): Eine vergossene Nahtstellen in Querrichtung wurde detektiert (Doppeldetektion durch überlappende Kamerabilder).

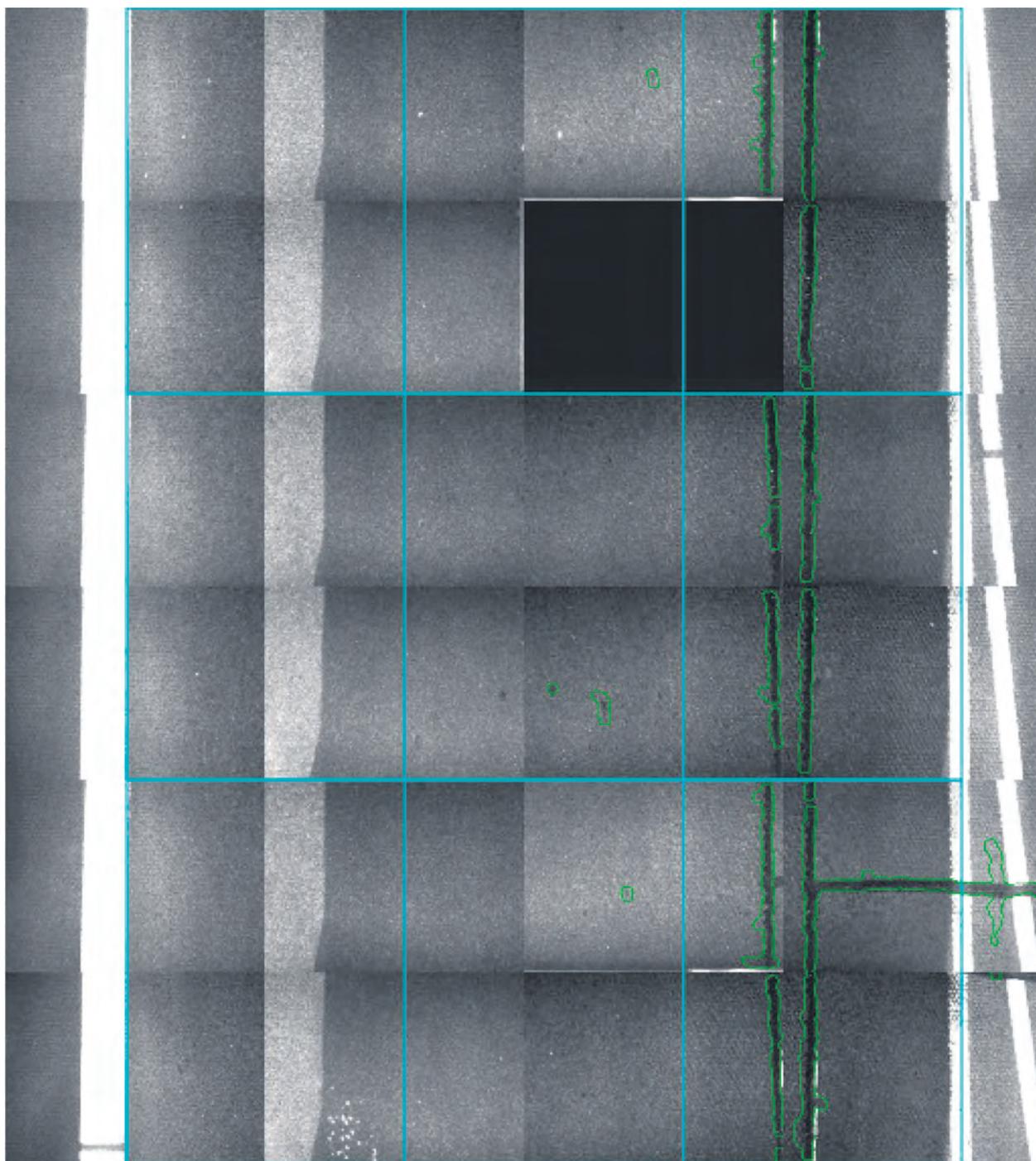


Bild 63: Merkmalsdetektion auf Vollbild (ca. 4,20-m-Fahrbahnlänge): Vergossene Nahtstellen in Längsrichtung wurden detektiert, die Doppel-detektion rührt durch überlappende Kamerabilder her (Rechts oben fehlendes Kamerabild).

Anhang B: Handbuch zur erstellten Software

1. Überblick

Das entwickelte System zur videobasierten Detektion von Schadstellen auf Bundesfernstraßen besteht aus zwei Grundkomponenten (Programmen).

Das *Backend* dient der eigentlichen Analyse und Interpretation des Datenmaterials. Es beinhaltet die notwendigen Algorithmen zum Auffinden und Verfolgen der Oberflächenmerkmale (Programm: *Daten Importieren*).

Das *Frontend* bietet eine komfortable Benutzerinteraktion durch eine grafische Oberfläche, die die Verwaltung des Datenmaterials intuitiv ermöglicht. Im Folgenden werden beide Komponenten detailliert beschrieben (Programm: *Streckenanalyse*).

Besondere Hinweise sind in diesem Handbuch kursiv gesetzt.

2. Backend

2.1 Aufgabenbereich

Das Backend umfasst den Bereich vom Einladen der Bilddaten über deren Analyse bis zum Speichern der Detektionsergebnisse in einer Datenbank. In dieser Datenbank werden zusätzlich auch Vorschau-bilder zu allen Eingangsbildern gespeichert. Für die spätere Betrachtung der Daten sollten die Originalbil-der jedoch beibehalten werden.

Als Datenquelle dienen entweder Bilddaten im MESOB-Format (Bilder aus 4 mal 2 Kameras) oder bereits zusammengesetzte Makrobilder (1 Bild pro 10 Meter Strecke).

2.1 Bedienung

Starten des Programms

Das Backend wird durch Doppelklick auf das Programm *Daten Importieren* gestartet.

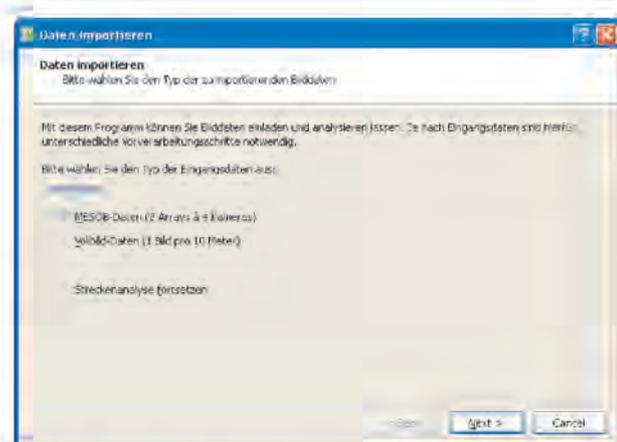
Das Import-Programm führt Sie schrittweise durch den Verarbeitungsprozess. Durch Drücken von **Weiter** gelangen Sie zum jeweils nächsten Schritt, durch **Zurück** gelangen Sie zum vorangegangenen Schritt. Abbrechen können Sie jederzeit durch Betätigen der Schaltfläche **Abbrechen**.

*Der Schaltfläche **Weiter** ist in manchen Situationen nicht anwählbar. Dies ist der Fall, wenn die Eingaben im aktuellen Schritt noch nicht vollständig getätigt wurden.*

Auswahl des Datentyps

Als erster Schritt muss die Datenquelle ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen MESOB-Daten (Bilder aus 4 mal 2 Kameras) oder Makrobild-Daten (1 Bild pro 10 Meter Strecke), die bereits aus Einzelbildern zusammengesetzt wurden.

Die Analyse länger Sequenzen kann mehrere Stunden in Anspruch nehmen, weshalb sie vom Benutzer auch unterbrochen werden kann. Zum Fortsetzen einer früheren Analyse ist der unterste Menüpunkt auszuwählen. Dabei werden alle folgenden Punkte dieser Anleitung bis zur Analyse (d.h. Auswahl von Quelle, Auswahl der Zieldaten-bank, usw.) übersprungen. Die folgenden Ab-schnitte beziehen sich also nur auf die Analyse von MESOB- oder Makrobildern als neue Datenquelle.

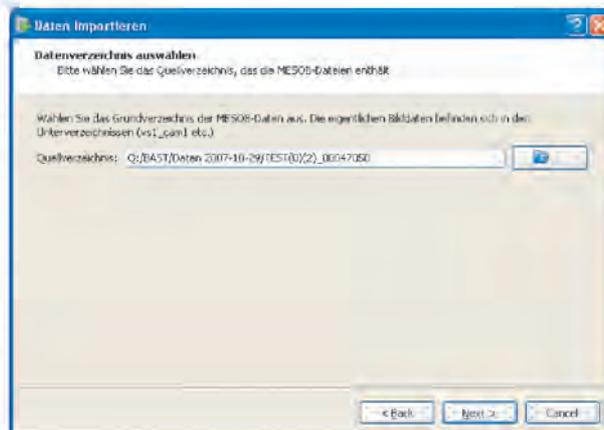


Auswahl der Datenquelle

Für eine Datenanalyse aus MESOB- oder Makrobildern ist als nächstes die Datenquelle zu wählen. Bei Makrobildern ist dies das Verzeichnis, in dem sich alle Bilddaten befinden, für MESOB-Daten das Verzeichnis, das die Ordner *vs1_cam1* bis *vs4_cam2* enthält.

Durch Klicken auf gelangt man zu einem Verzeichnisauswahl-Dialog, mit dem Sie das Quellverzeichnis auswählen.

Falls keine Bilddaten gefunden werden konnten, erscheint unter dem Eingabefeld ein entsprechender Hinweis.

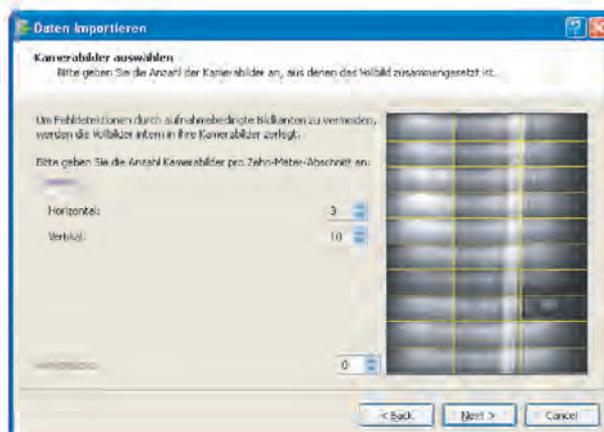


Teilung der Vollbilder (NUR BEI MAKROBILDERN)

Die 10-Meter-Makrobilder wurden üblicherweise aus mehreren Einzelbildern zusammengesetzt. Um Helligkeitsunterschiede an Bildrändern ausgleichen zu können, muss vor der Verarbeitung eingestellt werden, aus wie vielen Einzelbildern die Vollbilder zusammengesetzt sind.

Die Anzahl der horizontalen und vertikalen Einzelbilder pro Makrobild lässt sich über zwei Eingabefelder einstellen. Im Vorschauenfenster wird ein entsprechend großes Gitter in gelb eingezeichnet.

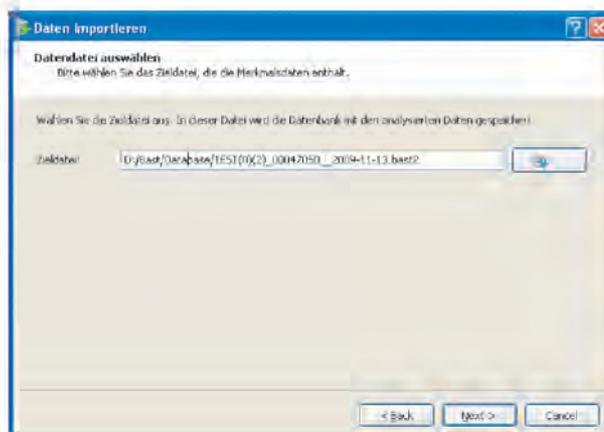
Dieser Schritt betrifft nur Makrobilder und entfällt daher für die Verarbeitung von MESOB-Daten.



Auswahl der Zieldatenbank

Nach dem Verzeichnis der Eingangsbilder ist die Zieldatei (Datenbank) auszuwählen, in die die Detektionsergebnisse geschrieben werden sollen. Es wird automatisch ein passender Name vorgeschlagen, der aus dem Namen der Eingangsdaten abgeleitet wird.

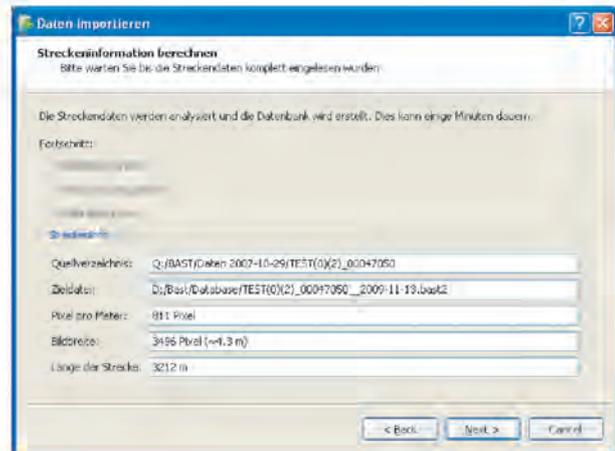
Durch Betätigen der Schaltfläche können Sie auch einen anderen Speicherort wählen. Falls eine Datei des gleichen Namens bereits existiert, werden Sie in einem Dialog darauf hingewiesen.



Einlesen der Daten

Anschließend werden sämtliche Bilddaten untersucht, um die Datenbank aufzubauen. Dies kann einige Minuten dauern. Der Fortschritt wird durch Häkchen bei den drei Arbeitsschritten angezeigt.

Die Auflösungsinformationen der Streckendaten (*Pixel pro Meter, Bildbreite und Länge der Strecke*) werden eingeblendet, sobald die Bilddaten vollständig untersucht wurden.

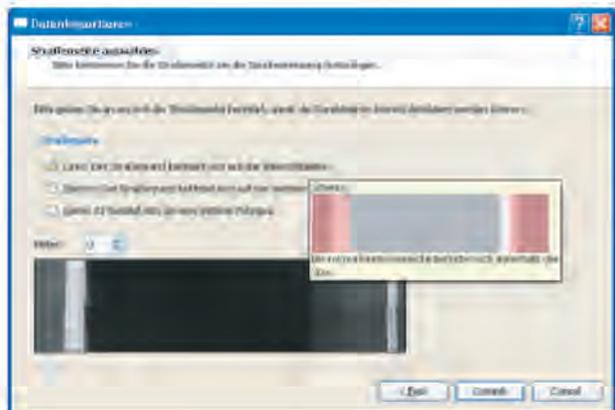


Spurauswahl

Die Software ermittelt automatisch die Begrenzungen der Fahrspur, um für Asphalt und Beton eine Einteilung nach ZEB-Richtlinien zu ermöglichen.

Für Asphalt-Strecken ist dabei entscheidend, ob sich der Fahrbahnrand auf der rechten oder linken Seite befindet. Hierfür muss festgelegt werden, auf welcher Seite sich der Fahrbahnrand befindet. Hierbei sind drei Varianten möglich: *Links* (linke Fahrspur), *Rechts* (rechte Fahrspur), *Keine* (mittlere Fahrspur).

Hält man den Mauszeiger auf einen der drei Auswahlpunkte, erscheint ein Hilfsfenster (wie oben angezeigt), in dem jeweils die Begrenzung der Fahrspur für Asphalt-Strecken dargestellt ist. Die rot markierten Bereiche liegen dabei außerhalb des Bewertungsbereichs.



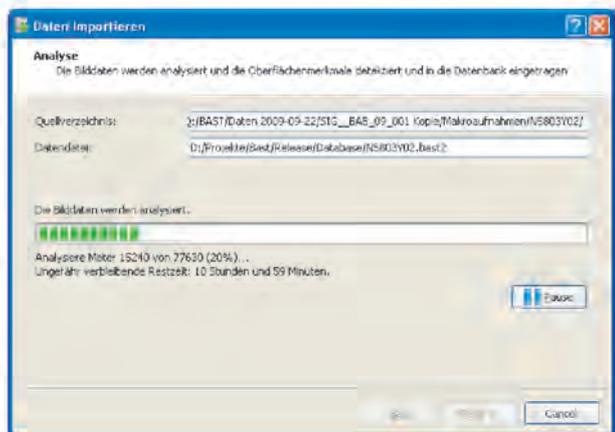
Durch Drücken der Schaltfläche **Starten** wird die Bearbeitung gestartet.

Start der Analyse

Nach der Auswahl aller notwendigen Einstellungen wird die Rissdetektion gestartet. Dies kann je nach Länge der Bildsequenz einige Zeit in Anspruch nehmen. Zur Information wird der Fortschritt der Verarbeitung dargestellt, sowie eine verbliebene Restzeit abgeschätzt.

Durch Drücken der Schaltfläche **Pause** kann die Analyse angehalten werden und anschließend durch Betätigen von **Fortsetzen** fortgesetzt werden.

Sie können das Programm durch Klicken von **Abbrechen** jederzeit beenden. Die Datenbank enthält dann eine entsprechend große Teilstrecke.

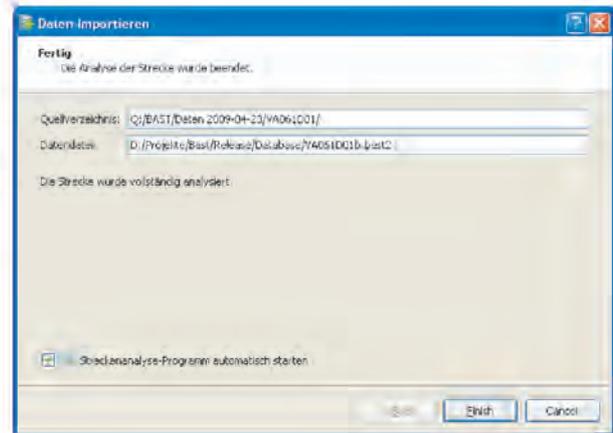


Bearbeitung erfolgreich

Wurde die Rissdetektion der Strecke vollständig durchgeführt, erscheint abschließend eine Informationsseite.

Wählen Sie *Streckenanalyse starten*, wenn Sie nach dem Beenden des Programms automatisch das Frontend zur Begutachtung der Strecke starten wollen.

Durch **Beenden** wird das Programm beendet.

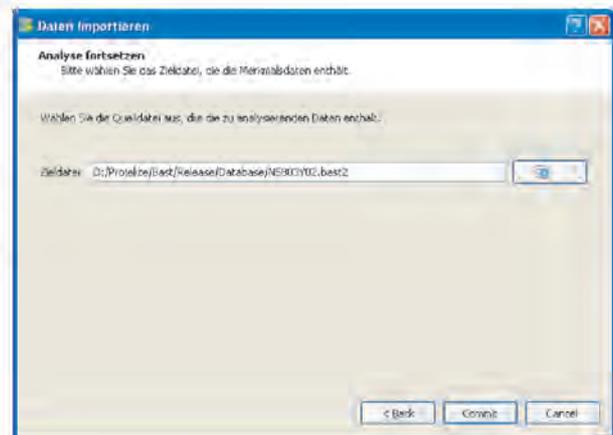


Streckenanalyse fortsetzen

Um die Analyse einer nur teilweise bearbeiteten Strecke fortzusetzen, starten Sie das Programm erneut und wählen im ersten Schritt als Datenquelle *Streckenanalyse fortsetzen*.

Anschließend wählen Sie die Datenbank-Datei, die die Streckendaten enthält.

Durch Drücken der Schaltfläche **Starten** wird die Bearbeitung der Analyse an der Stelle fortgesetzt, wo sie unterbrochen wurde.



3. Frontend

Durch das Frontend können einzelne Strecken vom Fachmann bearbeitet und begutachtet werden. Es bietet Möglichkeiten zum Betrachten der Bilddaten sowie der Detektionsergebnisse, zum Bewerten der Messstrecke nach ZEB-Richtlinien sowie zum Überprüfen von Auswertungsdaten externer Betreiber.

Das Frontend arbeitet auf Streckendaten, die vom Werkzeug *Daten Importieren* (s. Abschnitt 1) teilweise oder vollständig bearbeitet wurden. Jede Aktion wird direkt in der Datenbank gespeichert, es gibt daher kein gesondertes *Speichern*-Kommando.

Achtung: Sie sollten mit dem Frontend niemals eine Datenbank öffnen, die gerade vom Werkzeug „Daten Importieren“ bearbeitet wird! Beenden Sie stattdessen das Programm „Daten Importieren“, bevor Sie das Frontend starten. Sie können die Analyse im Programm „Daten Importieren“ anschließend fortsetzen.

Die meisten Steuerungselemente des Programms bieten eine Kurzinformation. Lassen Sie den Mauszeiger einige Sekunden über einem Element ohne eine Taste zu drücken, erscheint ein kleines Hilfenfenster.

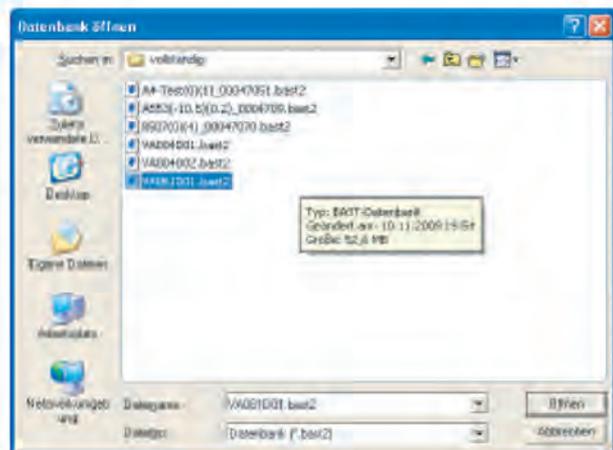
Viele Kommandos sind auch über die Tastatur zu erreichen. Die Tastenkombination ist direkt entweder auf dem Steuerelement zu sehen oder in der Kurzinformation dargestellt. Im Anhang findet sich zudem eine Tabelle mit allen Tastaturkommandos.

3.1 Programmstart

Durch Doppelklick auf *Streckenanalyse* wird das Frontend gestartet.

Es erscheint ein Dateiauswahl-Dialog. Wählen Sie die Datenbank der zu begutachtenden Strecke und bestätigen Sie mit **Öffnen**.

Sie können das Frontend auch durch Doppelklick auf die Datenbank-Datei im Windows-Explorer starten. Der Dateiauswahl-Dialog wird dabei übersprungen.

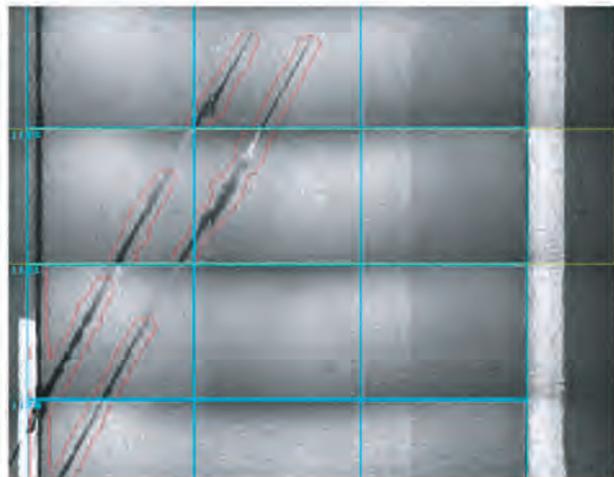


3.2 Programmübersicht

Das Programm ist für den Betrieb mit zwei Monitoren ausgelegt. Wenn möglich, sollte der rechte Monitor um 90° hochkant gedreht werden, um die Visualisierung und Navigation innerhalb der Strecke zu verbessern.

Der linke Monitor stellt einen Ausschnitt der Strecke in der Detailansicht dar. Dabei wird das Bild so skaliert, dass jederzeit die gesamte Breite der Fahrbahn sichtbar ist.

Dafür werden ständig die Originalbilddaten nachgeladen, das Bild wird also u.U. zunächst als Vorschau eingeblendet und erst einige Augenblicke später in voller Auflösung angezeigt.

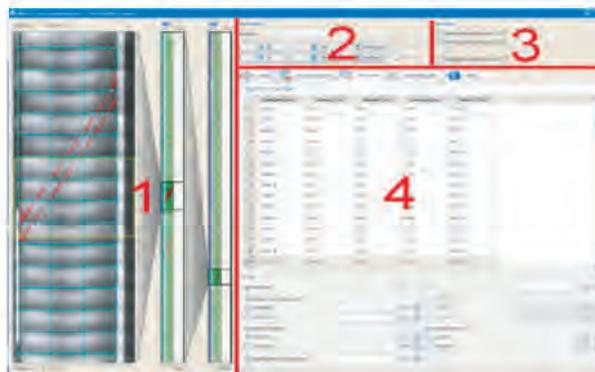


Durch Drücken der linken Maustaste und Ziehen der Maus können Sie den aktuellen Streckenausschnitt nach oben bzw. unten verschieben. Wenn sich der Mauszeiger über der Detailansicht befindet, können Sie durch Verwendung des Mausekkrads meterweise vor- bzw. zurückspringen.

Nach Drücken der rechten Maustaste öffnet sich ein Kontextmenü für weitere Bearbeitungsoptionen. Diese Optionen sind vom Bearbeitungsmodus abhängig und werden später detailliert beschrieben.

Der rechte Monitor ist in verschiedene Bereiche unterteilt (s. Abbildung). Diese dienen zur Navigation innerhalb der Strecke sowie zum Abarbeiten verschiedener Aufgaben.

Je nach Größe und Auflösung des Monitors kann das Bild unterschiedlich gestaucht erscheinen. Die Anordnung der Elemente ändert sich jedoch nicht.



3.3 Navigation (Bereich 1)

Die analysierten Messstrecken können praktisch beliebig lang sein. Für die Verwaltung, Darstellung und Handhabung wurden daher Interface-Elemente konzipiert, die auch große Datenmengen intuitiv handhabbar machen.

Dies wird mit drei nebeneinander positionierten Elementen erreicht. Alle drei Elemente visualisieren unterschiedliche Streckenabschnitte und dienen gleichzeitig als Schieberegler zur Ansteuerung einzelner Streckenpositionen.

Streckenvorschau (links)

Das linke Element zeigt eine verkleinerte Vorschau der Bilder rund um die aktuelle Streckenposition. Üblicherweise wird hier ein Bereich von ca. 15m bis 30m dargestellt.

In der Mitte befindet sich ein gelbes Rechteck, das einen Teilbereich hervorhebt. Dieser Bereich korrespondiert mit dem Streckenabschnitt, der auf dem linken Monitor zu sehen ist.

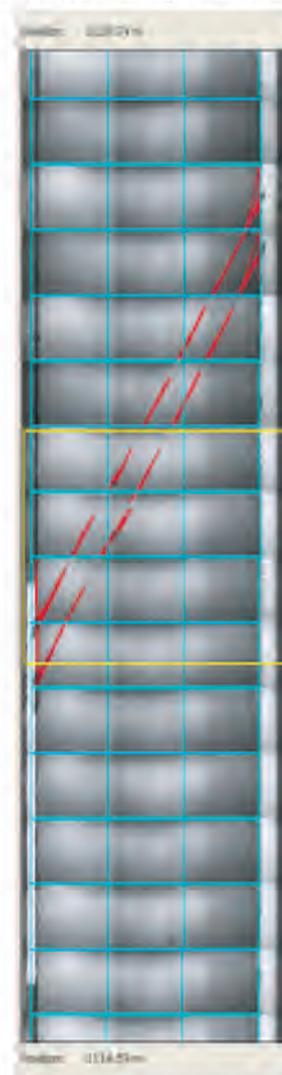
In der Vorschau werden weitere Informationen visualisiert:

- Die Begrenzung der bewertungsrelevanten Fahrspurbereiche nach ZTV ZEB-StB, Anhang 7 ist in türkis als Kachelung (Asphalt) bzw. als Plattengrenzen (Beton) eingezeichnet.
- Die vom Backend detektierten Oberflächenmerkmale werden mit Rot eingezeichnet.
- Wurden manuell schadhafte Oberflächenmerkmale klassifiziert, so werden diese durch ein rotes Kreuz auf der Kachel (Asphalt) bzw. dem Meter (Beton) symbolisiert.

Die Streckenpositionen des oberen bzw. unteren Randes der Streckenvorschau werden oberhalb bzw. unterhalb der Steuerung eingeblendet.

Außer zur Visualisierung dient die Streckenvorschau auch der Navigation. Wie bei der Darstellung in der *Detailansicht* (linker Monitor) kann durch Drücken der Maustaste und Ziehen der Maus die Streckenposition geändert werden. Die Bilder der Streckenvorschau werden dabei automatisch aus der Datenbank nachgeladen. Sobald Sie die Maustaste loslassen, wird auch das Bild in der Detailansicht neu aufgebaut.

Durch Drehen des Mausekkrads während sich der Mauszeiger über der Streckenvorschau befindet, können Sie meterweise vor- bzw. zurückspringen. Ein Doppelklick mit der linken Maustaste springt sofort zum angeklickten Meter.



Schadensvorschau (Teilstrecke)

Rechts neben der Streckenvorschau befindet sich ein Steuerelement zur Visualisierung der schadhaften Meter in einem Bereich von ca. 150-300 Metern um die aktuelle Streckenposition. Die Länge des visualisierten Abschnitts wird im unteren Bereich der Schadensvorschau angezeigt.

Der schwarz umrandete, hervorgehobene Bereich in der Mitte korrespondiert mit dem Streckenabschnitt, der in der Streckenvorschau dargestellt ist, veranschaulicht durch ein Trapez zwischen beiden Steuerelementen.

Wie bei Detailansicht und Streckenvorschau kann durch Klicken und Ziehen die aktuelle Position verändert werden.

Die Schadensvorschau ist in zwei parallele Farbbänder unterteilt. In der linken Hälfte (symbolisiert durch ein Computer-Symbol ) werden die automatisch detektierten und die manuell klassifizierten Oberflächenmerkmale angezeigt.

Am linken Rand ist der Typ des Belags farblich kodiert. Dabei ist

- **Türkis** (•): Asphalt
- **Blau** (•): Beton

Rechts neben der Belagskodierung sind die Schadensmerkmale eingezeichnet. Entsprechend den ZEB-Bewertungskriterien werden Asphalt-Strecken dabei längs zur Fahrbahn meterweise eingeteilt und quer zur Fahrbahn gedrittelt. Für Beton-Strecken werden die detektierten Schadensmerkmale meterweise angezeigt, die manuell klassifizierten Schadensmerkmale hingegen für die gesamte Betonplatte.

Dabei wird folgende Farbkodierung zugrundegelegt:

- **Rot** (•): Es wurde ein Schaden manuell eingetragen
- **Grün** (•): Der Bereich wurde manuell als schadfrei eingestuft
- **Dunkelrot** (•): Es wurde ein Schadensmerkmal detektiert
- **Dunkelgrün** (•): Es wurde kein Merkmal detektiert

Die rechte Hälfte der Steuerung (symbolisiert durch ) stellt importierte Auswertungsdaten dar. Hier werden ebenfalls Belag und Schadensmerkmale farblich kodiert.

Für die Schadensmerkmale gilt dabei die folgende Farbkodierung:

- **Dunkelrot** (•): Oberflächenmerkmal eingetragen
- **Dunkelgrün** (•): Schadensfrei

Falls keine Auswertungsdaten importiert wurden, ist dieser Bereich weiß.

Schadensvorschau (Gesamtstrecke)

Das rechte Farbband stellt die Oberflächenmerkmale für die gesamte Strecke auf einen Blick dar. Falls nötig werden dabei jeweils die Bewertungen mehrerer Meter zusammengefasst, so dass ein Pixel bzw. eine Zeile die Oberflächenmerkmale eines Abschnitts zusammenfasst. Die Farbkodierung entspricht derselben wie in der Schadensvorschau des Streckenabschnitts.

Der schwarz umrandete, hervorgehobene Bereich korrespondiert mit dem Streckenabschnitt, der in der Schadensvorschau der Teilstrecke (links daneben) dargestellt ist. Ein Trapez zwischen den beiden Steuerungselementen dient der Veranschaulichung.

Ähnlich wie bei den vorher beschriebenen Navigationselementen können Sie durch Maus-Interaktion die Streckenposition ändern. Im Unterschied zu den anderen Steuerungen ist hier jedoch die Darstellung der Strecke fixiert, und es wird der hervorgehobene Bereich verändert.

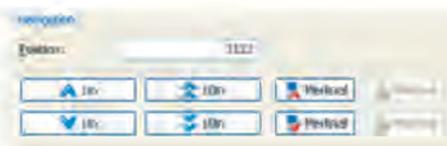


Sie können mit der linken Maustaste auf den hervorgehobenen Bereich klicken um ihn zu verschieben. Alternativ können Sie einen Streckenabschnitt direkt anfahren, indem Sie auf die entsprechende Stelle (außerhalb des hervorgehobenen Bereichs) klicken.

3.4 Navigation (Bereich 2)

Im oberen mittleren Bereich des Bildschirms befindet sich ein weiterer Bereich zum Navigieren innerhalb der Messstrecke.

Hier wird insbesondere die aktuelle Position der Strecke (in Meter) angezeigt. Der Bildbereich des entsprechenden Meters ist in der Detailansicht auf dem linken Monitor gelb umrandet.



Wenn Sie an einen bestimmten Streckenmeter gelangen wollen, können Sie diesen direkt in das Textfeld eintragen und mit der *Eingabe*-Taste bestätigen. Mit Hilfe der Schaltflächen unterhalb des Positionsfeldes können Sie 1 bzw. 10 Meter vorwärts (▲) oder rückwärts (▼) springen.

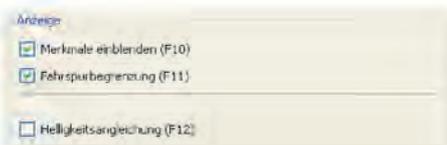
Rechts befinden sich vier weitere Schaltflächen zum direkten Ansteuern von Oberflächenmerkmalen. Durch Klicken auf die Schaltfläche mit dem Computer-Symbol  **Merkmal** bzw.  **Merkmal** wird die aktuelle Streckenposition auf den Beginn des nächsten bzw. das Ende des vorangegangenen schadbehafteten Abschnitts verschoben.

Durch Anwählen von  **Merkmal** bzw.  **Merkmal** springen Sie zum Beginn des nächsten bzw. zum Ende des vorangegangenen schadbehafteten Abschnitts der importierten Auswertungsdaten.

Wurden keine Auswertungsdaten importiert, sind diese Steuerungselemente nicht verfügbar.

3.5 Anzeigeoptionen (Bereich 3)

In der rechten oberen Ecke befinden sich Optionen, die die Darstellung in der Detailansicht (linker Monitor) und in der Streckenvorschau beeinflussen.



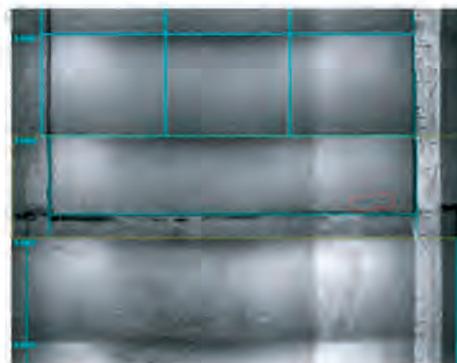
Ist die Option *Merkmale einblenden* aktiviert, werden in der Detailansicht die detektierten Oberflächenmerkmale eingezeichnet (Rot). Damit die detektierten Merkmale nicht überdeckt werden, wird nicht der Merkmalsverlauf eingezeichnet, sondern eine Hüllkurve um das Merkmal gelegt.

Wenn Sie sich im Modus Import/Export befinden, werden die detektierten Merkmale unabhängig von der gewählten Einstellung ausgeblendet.

Durch Aktivieren der Option *Fahrspurbegrenzung* werden die für die Bewertung relevanten Auswerteraster eingeblendet (türkis).

Entsprechend den ZEB-Richtlinien ist dies für Betonstrecken der rechte und linke Rand der Betonplatte. Auf Asphalt-Strecken gelten die inneren Ränder der Fahrbahnrandmarkierung sowie die Mitte der Markierungen zu den Nachbarfahrstreifen als seitliche Begrenzung des bewertungsrelevanten Bereichs.

In Fahrbahnrichtung wird die Strecke unabhängig vom Oberflächenbelag in 1-Meter große Abschnitte eingeteilt. Auf Betonstrecken sind jedoch die Plattengrenzen als Bewertungsgrenzen entscheidend.



Auf Asphalt werden daher drei Rasterfelder pro Meter angezeigt. Für Betonbelag werden die seitlichen Plattenränder sowie die Plattenränder in Fahrbahnrichtung eingezeichnet (s. Abbildung).

Ist die Option *Helligkeitsangleichung* aktiviert, werden die Bilddaten vorverarbeitet und Helligkeits- und Kontrastunterschiede zwischen Bildern und innerhalb eines Bildes ausgeglichen. Dies vereinfacht oft die Merkmalssuche und -identifikation.



Da die Helligkeitsangleichung für jedes Bild berechnet werden muss, kann dies bei hochauflösenden Bilddaten den Ladevorgang in der Detailansicht geringfügig verzögern.

3.6 Aufgaben (Bereich 4)

Der restliche Bereich des Bildschirms dient der allgemeinen Bearbeitung der Messstrecke. Die Bearbeitung ist in logische Schritte unterteilt, die am besten nacheinander abgearbeitet werden.



Die einzelnen Modi oder Schritte können durch Wahl des entsprechenden Karteikartenreiters aktiviert werden. Je nach Bearbeitungsmodus werden verschiedene Steuerungselemente ein- oder ausgeblendet. Zusätzlich ändert sich das Verhalten der Kontextmenüs der Detailansicht und der Streckenvorschau.

Im Folgenden werden die einzelnen Bearbeitungsschritte vorgestellt.

4. Arbeitsfluss

4.1 Oberflächenbelag setzen

Im Modus **Belag** können Sie den Oberflächenbelag der Strecke oder einer Teilstrecke ändern.

Bei der Auswertung der Strecke durch das Backend-Werkzeug erfolgt zunächst *keine* Detektion des Oberflächenbelags. Stattdessen wird die gesamte Strecke als Asphaltstrecke behandelt. Um eine Auswertung vornehmen zu können, muss daher falls nötig als erstes der Oberflächenbelag korrigiert werden. Dabei leistet das Programm Hilfestellung.

Im oberen Bereich befindet sich die Gruppe *Material setzen* mit den Optionen *Asphalt* und *Beton*. Hier wählen Sie aus, welchen Belag Sie zuweisen wollen. Neben den Optionen ist die Farbkodierung des Materials in den Farbbändern dargestellt.

Wollen Sie beispielsweise eine fälschlicherweise als Asphalt markierte Strecke in Beton umwandeln, wo wählen Sie *Beton*. Wenn Sie einen Bereich markiert haben, wandelt die Schaltfläche **Material ändern** die ausgewählte Strecke anschließend in Beton um.



In der Mitte befindet sich die Gruppe *Markante Streckenpunkte*. Hier werden Streckenpositionen aufgelistet, an denen ein Materialwechsel auftritt oder Indizien auf einen möglichen Materialwechsel vorliegen. Klicken Sie auf einen Listeneintrag, um an die angegebene Position zu springen.

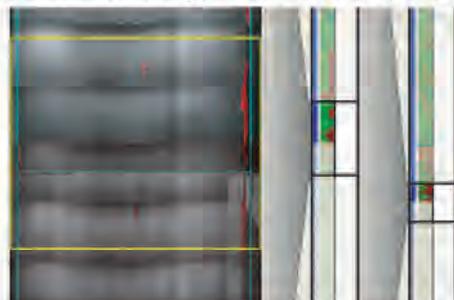
Bei der Verarbeitung der Messstrecke mit dem Backend-Werkzeug werden sowohl *Fahrbahnmarkierungen* (für die Asphalt-Bewertung) als auch *Betonkanten* (längs und quer zur Fahrbahnrichtung) detektiert. Die Hinweise auf mögliche Materialwechsel beruhen auf einer Auswertung der Positionen von quer zur Fahrbahn verlaufenden Betonkanten. Tritt z.B. alle fünf Meter eine Betonkante auf, anschließend jedoch für eine längere Strecke keine weiteren, so wird dies als Indiz für einen Materialwechsel von Beton nach Asphalt gesehen. Umgekehrt wird die Detektion einer Betonkante als Hinweis auf einen Wechsel von Asphalt nach Beton angesehen. Durch unregelmäßige Asphalt-Beton-Übergänge können die Vorschläge allerdings auch um meist eine Plattenlänge abweichen.

Unterhalb der Auflistung befindet sich die Option *fehlende Beton-Plattengrenzen ausblenden*. Ist die Option aktiviert, werden die markanten Streckenpunkte aussortiert, die wahrscheinlich auf eine Fehldektion von Plattengrenzen zurückzuführen sind.

Der untere Teil dient der Markierung eines Streckenbereichs, um für diesen anschließend den Oberflächenbelag neu zu definieren. Um einen Bereich zu markieren, muss eine Start- und eine Endmarkierung gesetzt werden. Die Reihenfolge der Markierungen spielt dabei keine Rolle.

Um eine Markierung zu setzen, steuern Sie über die Navigationselemente den gewünschten Meter an. Der aktive Meter wird in der Detailansicht auf dem linken Monitor ständig gelb umrandet. Drücken Sie auf **Setzen** um den aktuellen Meter als Markierung zu übernehmen.

Die gewählte Position wird nun rechts (unabhängig von der aktuellen Streckenposition) als verkleinerte Ansicht dargestellt. Sobald ein oder beide Marker gesetzt sind, wird der Bereich außerhalb der Markierung in der Streckenvorschau und der Detailansicht abgedunkelt und rötlich eingefärbt sowie in den Farbbändern aufgehell.



Über die Schaltfläche **Löschen** können Sie die Markierung wieder löschen. Durch Betätigen der Schaltfläche **Gehe zu** können Sie auch jederzeit direkt zur Position der Markierung springen. Sie können außerdem durch Editieren des *Meter*-Textfeldes die Marker-Position nachträglich korrigieren.

Die Start- und Endmarkierung kann auch durch die Tasten F4 bzw. F5 gesetzt werden und durch Umschalt-F5 gelöscht werden. Alternativ können Sie über das Kontextmenü von Streckenvorschau und Detailansicht die Markierung auf den angeklickten Meter setzen.

Sobald eine Startmarkierung und eine Endmarkierung gesetzt wurden, können Sie durch Betätigen der Schaltfläche **Material ändern** und Bestätigen der folgenden Sicherheitsabfrage den Oberflächenbelag für den markierten Bereich endgültig festlegen.

Alternativ können Sie auch im Kontextmenü von Streckenvorschau oder Detailansicht einen der Einträge *Belag ändern nach Asphalt* bzw. *Belag ändern nach Beton* anwählen.

Dabei werden gemäß den Bewertungsrichtlinien die Fahrspurbegrenzungen umgesetzt, die detektierten Betonplattenkanten eingefügt und die Merkmale neu gefiltert. Dies kann einige Sekunden (bei sehr langen Strecken auch Minuten) dauern. Der Verlauf der Neuberechnung wird in einem Fortschrittsdialog angezeigt.



Vorgeschlagene Vorgehensweise

Beim ersten Öffnen der Datenbank ist die gesamte Strecke als Asphalt markiert. Wählen Sie zuerst in der Gruppe *Material setzen* den Eintrag *Beton* aus.

Suchen Sie dann den ersten Meter, auf dem Betonplatten auftreten. Falls dies nicht bereits der Meter 0 ist, wählen Sie von oben nach unten in der Gruppe *Markante Streckenpunkte* die Listeneinträge „Möglicher Wechsel nach Beton“ an und suchen Sie in der Streckenvorschau nach dem ersten Auftreten einer Betonplatte.

Stellen Sie sicher, dass der Meter, auf dem die Betonplatte beginnt, angewählt ist, und setzen Sie die Startmarkierung.

Anschließend wählen Sie nacheinander alle Listeneinträge „Möglicher Wechsel nach Asphalt“ und wählen auf die gleiche Art die letzte Betonfuge aus.

Achtung: Die Einträge „Möglicher Wechsel nach Asphalt“ zeigen bereits auf den ersten Asphalt-Meter, daher müssen Sie u.U. mithilfe der Navigationselemente einen Meter zurückgehen.

Anschließend betätigen Sie **Material ändern**. Suchen Sie anschließend auf die gleiche Art nach dem nächsten Betonteilstück, bis die gesamte Strecke abgearbeitet wurde.

4.2 Fahrspurbegrenzungen korrigieren

Im Modus **Begrenzungen** können Sie die seitlichen Fahrspurbegrenzungen und die quer zur Fahrbahn verlaufenden Betonfugen korrigieren.

In der Gruppe *Inkonsistente Betonplatten* werden Betonplatten aufgelistet, deren Länge nicht den erwarteten Maßen entspricht. Falls Betonfugen nicht automatisch erkannt wurden, erhalten Sie hierdurch Hilfestellung beim manuellen Einfügen oder Korrigieren.

Sobald Sie auf einen Eintrag klicken, wird die Streckenposition auf die Position der Betonplatte gesetzt.

Treten Plattengrößen wie 10 oder 15 Meter auf, wurden wahrscheinlich eine bzw. zwei Betonfugen nicht erkannt; im Eintrag erscheint „Plattengrenze bei ...m einfügen“. Wählen Sie einen solchen Eintrag an, so wird die Schaltfläche **Platte teilen** aktiviert. Durch Betätigen dieser Schaltfläche wird an der angegebenen Stelle eine Plattenkante eingefügt, d.h. die Platte wird in zwei geteilt.



Solange Sie im Modus *Begrenzungen* sind, können Sie außerdem Betonplattengrenzen einfügen, ändern oder entfernen sowie manuell die Fahrspurbegrenzungen anpassen.

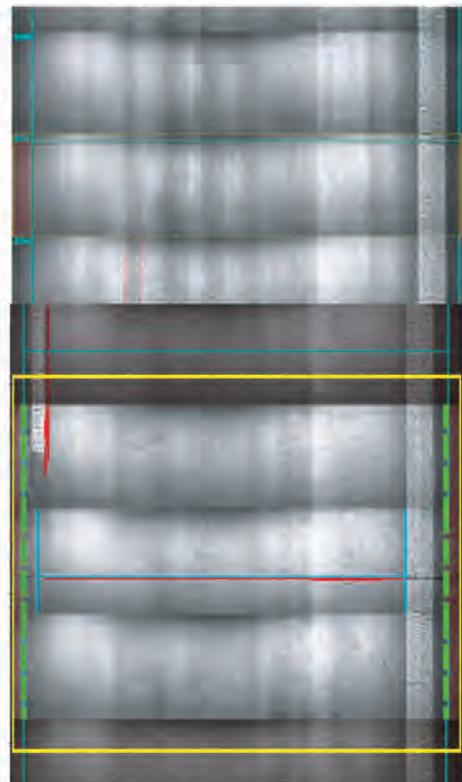
Zum Einfügen einer querverlaufenden Betonfuge klicken Sie mit der rechten Maustaste in der Streckenvorschau oder Detailansicht auf die Position der Fuge und wählen im Kontextmenü den Eintrag *Plattengrenze einfügen*. Fehlerhaft detektierte Fugen können Sie löschen, indem Sie aus dem Kontextmenü *Plattengrenze entfernen* auswählen.

Einzelne Fahrspurbegrenzungen oder Plattengrenzen können Sie innerhalb des Meters verschieben, indem Sie die Taste Strg drücken und gedrückt halten und in der Detailansicht mit der linken Maustaste in die Nähe der entsprechenden Begrenzungslinie klicken (dafür sollte die Option *Fahrspurbegrenzung* aktiviert sein). Solange die Maustaste gedrückt ist, können Sie die Begrenzungslinie verschieben. Der Bereich links und rechts der Begrenzung wird dabei rot ausgeblendet, die modifizierte Begrenzungslinie gelb eingezeichnet. Sobald Sie die Maustaste loslassen, wird die Begrenzung korrigiert und der Merkmalsgraph für den Streckenmeter neu berechnet.

In der Gruppe *Ränder korrigieren* befinden sich Schaltflächen zum Korrigieren der linken, der rechten sowie beider Fahrspurbegrenzungen. Diese sind anwählbar, sobald ein Bereich markiert wurde.

Die Gruppe *Inkonsistente Fahrspurbegrenzungen* listet mögliche Fehldetektionen bei der Erkennung der Fahrbahnbegrenzungen auf. Im Eingabefeld können Sie einen Toleranzwert in cm angeben für die Änderung der Begrenzung von einem Meter zum nächsten. Ändert sich die Position (quer zur Fahrbahnrichtung) um mehr als den angegebenen Wert, so wird die Änderung aufgelistet.

Um nicht jeden Meter einzeln korrigieren zu müssen, können Sie die Begrenzung für einen ganzen Streckenabschnitt anpassen



lassen. Dazu wählen Sie wie im Modus *Belag* einen Bereich aus. Die Streckenvorschau und die Detailansicht zeigen nun grün gestrichelte Linien als Fahrspurbegrenzungen, die durch eine Interpolation der Begrenzungen des ersten und letzten markierten Meters berechnet werden.

Wählen Sie eine der Schaltflächen aus der Gruppe *Ränder korrigieren*, um die vorgeschlagene Begrenzung für die linke bzw. rechte Fahrspurbegrenzung oder gleichzeitig für beide zu übernehmen. Alternativ können Sie auch in Streckenansicht oder Detailansicht den entsprechenden Eintrag im Kontextmenü anwählen.

4.3 Oberflächenmerkmale klassifizieren

In Modus **Merkmale** können Sie Oberflächenmerkmale markieren und dabei die automatisch detektierten Merkmale als Hilfestellungen nehmen.

Im oberen Bereich (Gruppe *Oberflächenmerkmale*) befindet sich eine tabellarische Auflistung der detektierten Merkmale und ihrer Eigenschaften. Dabei wird jedoch höchstens eine Zeile pro Meter angezeigt.

Die Eigenschaften sind:

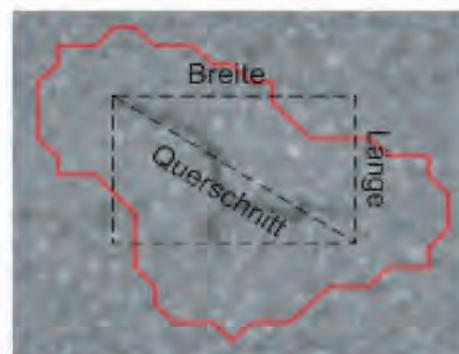
- **Position (m):** Die Streckenposition, an der das Merkmal beginnt
- **Länge (m):** Die Ausdehnung des Merkmals in Fahrtrichtung
- **Breite (m):** Die Ausdehnung des Merkmals quer zur Fahrtrichtung
- **Querschnitt (m):** Der Querschnitt eines umgebenden Rechtecks
- **Wert (%):** Die Detektionsgüte (je höher, desto deutlicher tritt das Merkmal hervor)

Position (m)	Länge (m)	Breite (m)	Querschnitt (m)	Wert (%)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	0.00	0.00	0.00	0.00
3.0	0.00	0.00	0.00	0.00
4.0	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	0.00	0.00	0.00	0.00
6.0	0.00	0.00	0.00	0.00
7.0	0.00	0.00	0.00	0.00
8.0	0.00	0.00	0.00	0.00
9.0	0.00	0.00	0.00	0.00
10.0	0.00	0.00	0.00	0.00
11.0	0.00	0.00	0.00	0.00
12.0	0.00	0.00	0.00	0.00
13.0	0.00	0.00	0.00	0.00
14.0	0.00	0.00	0.00	0.00
15.0	0.00	0.00	0.00	0.00
16.0	0.00	0.00	0.00	0.00
17.0	0.00	0.00	0.00	0.00
18.0	0.00	0.00	0.00	0.00
19.0	0.00	0.00	0.00	0.00
20.0	0.00	0.00	0.00	0.00

Je nach Belag kann es zu deutlichen Übersegmentierungen kommen. Daher haben Sie im unteren Bereich in der Gruppe *Filter* die Möglichkeit, die Merkmale nach ihren Eigenschaften zu filtern und so z.B. zu kleine Risse gar nicht erst anzuzeigen.

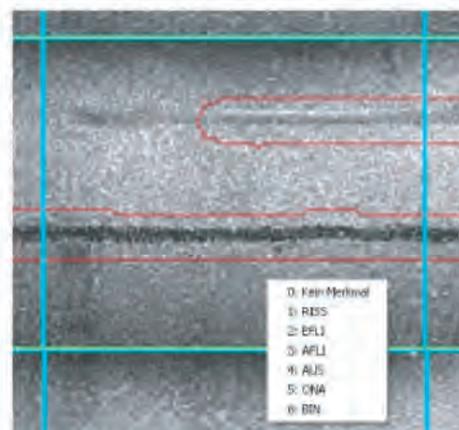
Der Regler *Sensitivität* gibt dabei die Mindestbewertung an (Spalte *Wert (%)* in der Tabelle), die ein Merkmal haben muss. Merkmale, deren Detektionsgüte unter dem angegebenen Wert liegt (also insbesondere feine Risse), werden nicht angezeigt.

Für die Ausdehnungsmaße *Querschnitt*, *Breite* und *Länge* können Sie in den gleichnamigen Feldern Mindest- und Maximalwerte angeben.



Oft kommt es an den Fahrspurbegrenzungen zur Detektion von Oberflächenmerkmalen, da z.B. die Betonkante als Merkmal angesehen wird oder parallel zur Fahrbahnmarkierung eine Verklebung der Nahtstelle auftritt. Durch die Option *Nahtstellen verstecken* entfernen Sie Merkmale, die sich direkt an der Fahrspurbegrenzung befinden. Den Toleranzbereich (quer zur Fahrbahn) stellen Sie im zugehörigen Feld ein.

Durch die Tasten F6 und F7 bzw. die Schaltflächen im oberen Navigationsbereich können Sie zum nächsten Merkmal springen. Wenn in mehreren aufeinanderfolgenden Metern Merkmale detektiert wurden, wird lediglich der erste Meter angesprungen.



Die manuelle Eintragung von Schadensmerkmalen erfolgt über das Kontextmenü in der Detailansicht oder der Streckenvorschau.

Zur Eintragung von Asphalt Schäden klicken Sie mit der rechten Maustaste auf ein Rasterfeld und aktivieren oder deaktivieren Sie eines der Schadensmerkmale.

Das Rasterfeld wird fortan in Streckenvorschau und Detailansicht mit einem roten Kreuz markiert. Die Detailansicht listet zusätzlich die Schadenstypen auf, in den Farbbändern der Schadensvorschau wird das Rasterfeld hellrot markiert.

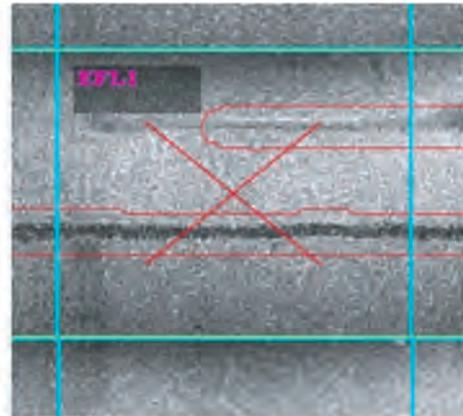
Wenn Sie mit der rechten Maustaste auf eine Betonplatte klicken, gelangen Sie im Kontextmenü über die Option *Schaden eintragen (Beton)* in einen eigenen Dialog, der eine Übersicht über die gesamte Betonplatte zeigt.

Links oben werden dabei Position und Größeneigenschaften der Platte angezeigt. Wurde ein Schaden markiert, erscheint zudem der Text *schadbehaftet*.

Im linken unteren Bereich können Sie manuell Schadensmerkmale eintragen. Dies sind im Einzelnen:

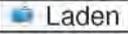
- **LQRL**: Längs und Querrisse (in Meter)
- **EABF**: Eckabbrüche (Anzahl)
- **KASL**: Kantenschäden (Meter)
- **NTR**: Nester und Abplatzungen (ja/nein)
- **BTE**: Bituminöser Teilersatz (ja/nein)

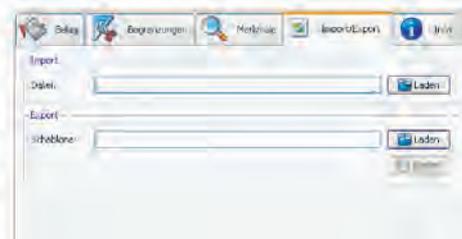
Mit der Schaltfläche gelangen Sie zur darauffolgenden Betonplatte, über zur vorangegangenen. Über die Schaltfläche beenden Sie den Dialog. Die eingetragenen Schäden werden anschließend in der Detailansicht im letzten Meter der Betonplatte aufgelistet. In den Schadensvorschau-Reglern werden zudem die Meter der Betonplatte hellrot markiert. In Streckenvorschau und Detailansicht werden alle Meter der Betonplatte mit einem roten Kreuz markiert.



4.4 Auswertungen importieren und exportieren

Im Modus **Import/Export** können Sie Auswertungen von Fremdbetreibern im XML-Format einladen und die eigenen Auswertungen nach XML exportieren.

In der Gruppe *Import* können Sie ZEB-Rohdaten-Auswertungen im XML-Austauschformat einladen und untersuchen. Klicken Sie hierzu auf die Schaltfläche  und wählen Sie im erscheinenden Dialog die passende XML-Datei aus.



Die Datei wird nun eingelesen. Falls alle Bildnamen der Datenbank mit denen der XML-Datei korrespondieren, erscheint die Farbkodierung der eingelesenen Daten in der rechten Hälfte der Schadensvorschau-Elemente.

Wenn Sie sich im Modus *Import/Export* befinden, werden die detektierten und manuell markierten Merkmale in der Detailansicht ausgeblendet. Stattdessen werden die Schadensmerkmale (und Oberflächenbeläge) der externen Auswertungsdaten angezeigt.

Sie können zwischen dem Modus *Import/Export* und einem beliebigen anderen Modus (z.B. *Merkmale*) hin und her wechseln, um Ihre Auswertung mit der externen Auswertung zu vergleichen. Über die Schaltflächen im oberen Navigationsbereich können Sie außerdem zum nächsten und vorigen Oberflächenmerkmal der externen Auswertung springen.

Um Ihre eigenen Auswertungsdaten ins XML-Format zu exportieren, benötigen Sie zunächst eine Schablonen-Datei. Dies ist eine ZEB-Rohdatendatei, in der lediglich (und nicht notwendigerweise) die XML-Elemente der Deckschichtarten (Elemente „Asphalt“ bzw. „Beton“) fehlen. Wenn Sie bereits externe Auswertungsdaten importiert haben, kann diese Datei auch als Export-Schablone verwendet werden.

Haben Sie eine passende Schablone geladen, können Sie über die Schaltfläche  ihre Daten exportieren. Nach einigen Sekunden werden Sie in einem Dialog über Erfolg des Exportvorgangs informiert.

4.5 Streckeninformationen

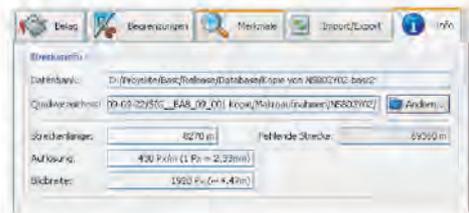
Im letzten Reiter **Info** werden einige nützliche Streckeninformationen angezeigt.

Dies sind insbesondere die verwendete Datenbankdatei und das Quellverzeichnis der Vollbilder (das beim *Daten Importieren*-Werkzeug) angegeben wurde.

Falls die Bilder sich inzwischen an einer anderen Stelle befinden, können Sie über die Schaltfläche  ein neues Verzeichnis auswählen. Die Bilddaten werden anschließend abgeglichen. Falls alle Bilder vorhanden sind, wird der Dateipfad in der Datenbank korrigiert.

Weitere Informationen betreffen die Länge der Strecke in Metern. Ist die Strecke erst teilweise durch das Backend-Werkzeug analysiert worden, wird außerdem die fehlende Strecke angezeigt.

In den unteren Feldern werden Auflösungseigenschaften (Pixel pro Meter und Bildbreite) aufgelistet.



5. Tastaturbelegungen

Die folgende Tabelle bietet eine komplette Übersicht über die Tastaturbelegung des Programms:

Tastenkombination	Kommando
Strg + Pfeil hoch	Einen Meter vor
Strg + Pfeil runter	Einen Meter zurück
Strg + Bild hoch	Zehn Meter vor
Strg + Bild runter	Zehn Meter zurück
Strg + Pos1	Zum Streckenanfang (Meter 0) springen
Strg + Ende	Zum Streckenende springen
Strg + 1	In Modus <i>Belag</i> wechseln
Strg + 2	In Modus <i>Begrenzungen</i> wechseln
Strg + 3	In Modus <i>Merkmale</i> wechseln
Strg + 4	In Modus <i>Import/Export</i> wechseln
Strg + 5	Reiter <i>Info</i> aktivieren
F1	Asphalt: Linkes Rasterfeld anzeigen Beton: Schadensdialog
F2	Asphalt: Mittleres Rasterfeld vergrößern Beton: Schadensdialog
F3	Asphalt: Rechtes Rasterfeld vergrößern Beton: Schadensdialog
F4	Startmarkierung setzen
F5	Endmarkierung setzen
Umschalt + F5	Markierung löschen
F6	Springe zum nächsten detektierten Merkmal
F7	Springe zum vorangegangenen Merkmal
Strg + F6	Externe Auswertung: Nächstes Merkmal
Strg + F7	Externe Auswertung: Vorangeg. Merkmal
F10	Merkmale in Detailansicht einblenden ein/aus
F11	Fahrspurbegrenzungen in Detailansicht einblenden ein/aus
F12	Helligkeitsangleichung an/aus
Strg + R	Fenster neu aufbauen (bei Grafikproblemen)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2000

S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann

Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann

Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler

Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann

Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichteverlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2001

S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung
€ 19,50

S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2002

S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -

Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund

Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50

S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2003

S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00

S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50

S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00

S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken € 13,50

2004

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50

S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 19,50

S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2005

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2006

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymermodifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2008

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden
€ 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume € 16,00

S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöllner, Pöppel-Decker € 23,00

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Canzler, Winkler € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.