

Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung inklusive Dokumentation vorheriger Merkmale im Rahmen des TP3

FA 89.210/08

Forschungsstelle: CanControls, Aachen

Bearbeiter: Canzler, U. / Winkler, B.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: November 2009

1 Aufgabenstellung

Die Überwachung der sicheren Befahrbarkeit von Bundesfernstraßen stellt eine hohe Herausforderung für die zuständigen Autobahn- und Straßenmeistereien dar. Unter anderem wird in regelmäßigen Abständen die Oberfläche visuell auf erste Schäden oder Störungen 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 werden Bilder der Fahrbahnoberfläche von speziellen Aufnahmefahrzeugen erfasst und aufgezeichnet. Die zeitintensive Auswertung und Bewertung des Bildmaterials anhand eines Schadenskatalogs wird anschließend manuell durchgeführt.

Im Vorläuferprojekt FA-Nr. 89.190/08 "Entwicklung einer automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3 (Substanzmerkmale Oberfläche)" wurde bereits erfolgreich untersucht, inwieweit Oberflächenmerkmale automatisch detektiert werden können.

Die Studie zeigte vielversprechende Resultate. Im vorliegenden Folgeprojekt sollte ein weiterer Schritt hin zu einem Assistenzsystem unternommen werden, das der Fachkraft bei der Dokumentation und Bewertung assistierend zur Seite steht. Dazu sollte die automatische Merkmalerkennung weiterentwickelt werden und integriert in einem Arbeitsplatz zur Auswertung von Bildmaterial den praktischen Nutzen eines solchen Assistenzsystems nachweisen.

2 Ausgangslage

Zur Einbindung in den bestehenden Arbeitsablauf bei der Begutachtung und Dokumentation von Schäden des Oberflächenbildes waren diverse Rahmenbedingungen bezüglich der Eingabe (Bildmaterial) und der Ausgabe (Bewertung) vorgegeben.

Bildmaterial

Derzeit gewinnt die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Bildmaterial von Bundesfernstraßen mittels eines speziell hierfür entwickelten Messfahrzeugs zur Aufnahme von Substanzmerkmalen (MESOB). Durch externe Betreiber werden außerdem Bilddaten von deren Messfahrzeugen zugeliefert, die sich in Aufnahmetechnik, Auflösung und Qualität deutlich voneinander unterscheiden können.

Im Vordergrund des vorliegenden Forschungsprojekts stand 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 sollte daher möglichst praxisnah ausgelegt werden.

Auf Grundlage dieser Rahmenbedingungen wurden Algorithmen abgestimmt auf reale Bilddaten entwickelt, deren Belichtungsparameter und Aufnahmequalität in der Praxis stark variieren können. Für die auf Bundesfernstraßen durchgeführte Straßenzustandserfassung und -bewertung (ZEB) wurde im Jahr

2009 festgelegt, dass die aufgenommenen Oberflächenbilder in einem einheitlichen Format an die Bundesanstalt BASt zu liefern sind (4,5 m x 10 m). Dieses einheitliche Größenformat wurde auch als Eingangsformat für die im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Software vorausgesetzt. Da jedoch auch die Daten des MESOB-Fahrzeugs mit der Software bearbeitet werden sollen (besitzen nicht das geforderte 4,5 m x 10 m-Bildformat), wurde eine universelle Schnittstelle konzipiert, die die Verwertung unterschiedlichster Bildformate erlaubt.

Assistierendes System

Grundgedanke des entwickelten Systemansatzes ist die Konzeptionierung eines interaktiven Assistenzsystems durch eine teilautomatisierte Vorverarbeitung. Einerseits lassen sich damit 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, sodass die Fachkraft auf eventuelle Schadstellen hingewiesen wird.

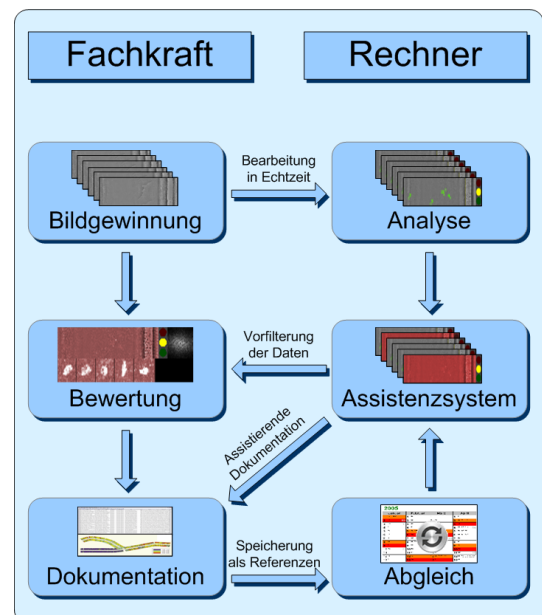


Bild 1: Systemansatz zur assistierten visuellen Zustandserfassung von Oberflächenschäden

Bei der Auswertung sind die entsprechenden ZEB-Richtlinien anzuwenden, sodass neben der Merkmalsdetektion eine automatische Detektion der bewertungsrelevanten Fahrstreifengrenzen erforderlich wird.

3 Untersuchungsergebnisse

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 konnte sowohl auf BASt-eigenes MESOB-Datenmaterial, als auch auf Bildmaterial externer Betreiber zurückgegriffen werden.

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 strukturgebende 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 gespeichert.

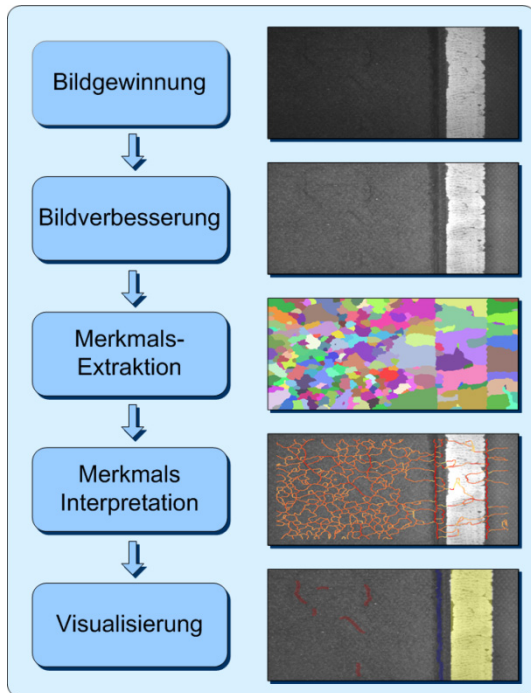


Bild 2: Systemüberblick über die automatische Bildanalyse. Die interne Vorgehensweise besteht in dem sequentiellen Ablauf verschiedener geeigneter Verfahren aus der Signaltheorie zur Extraktion und Klassifikation einzelner Muster

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

Die einzelnen Schadstellen bzw. Oberflächenmuster werden durch den Operator bestätigt, zurückgewiesen oder überschrieben.

Die Bewertungsinformationen können anschließend in ein definiertes Austausch-Format exportiert werden, und durch andere Werkzeuge weiterverarbeitet werden.

3.1 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 oder einen eventuellen Stitching-Prozess.

Helligkeitsangleichung

Die Ausleuchtung des Bildes hängt nicht nur von den Kamera-parametern ab, sondern ist auch innerhalb eines Bildes nur in seltenen Fällen homogen. Um eine Merkmalsdetektion zu vereinfachen, wurde daher eine Bildanpassung entwickelt, die die

Helligkeitsunterschiede innerhalb eines Bildes und zwischen Bildern ausgleichen soll.

Das entwickelte Verfahren basiert auf der Beobachtung, dass z. B. Risse dunkler sind als ihre Umgebung, und dass die grundlegende Bildinformation nicht in der Helligkeit, sondern im Kontrast zu finden ist.

Zur Ermittlung des Kontrasts 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 Dynamikbereichs 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.

Walzmuster

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 Bilds. Im Verlauf dieses Projekts wurde eine vollautomatische Unterdrückung von periodisch auftretenden Mustern entwickelt.

Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde 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. 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 Bilds von Bedeutung sind.

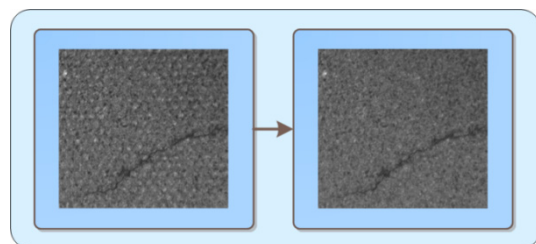


Bild 3: Automatische Unterdrückung periodischer Bildstörungen. Das Walzmuster aus dem linken Bild wurde praktisch vollständig entfernt, während der Riss weiterhin gut zu erkennen ist.

Unter Berücksichtigung dieser beiden Kriterien werden die lokalen Maxima des Frequenzraums bewertet. Mithilfe der so ermittelten Maske werden die Amplituden im Frequenzraum gedämpft und mit der inversen Fourier-Transformation kann dann aus den Frequenzanteilen wiederum das Signal im Ortsbereich rekonstruiert werden; dies ist von periodischen Mustern weitgehend bereinigt.

3.2 Merkmalsdetektion

Fahrbahnmarkierungen

Die Fahrbahnmarkierungen treten an den Rändern des Vollbilds als vertikale Streifen auf. Nicht-rechteckige Fahrbahnmarkierungen (Pfeile etc.) werden nicht detektiert. Hier kann es im Zweifelsfall bei der Merkmalsextraktion zu vereinzelt Fehldetektionen kommen.

Ihre Segmentierung wird als iteratives Optimierungsproblem beschrieben, bei dem eine möglichst große Helligkeitsdifferenz zwischen rechteckigem Objekt (Fahrbahnmarkierungen) und Hintergrund (Straßenbelag) erzielt werden soll. Um Ausreißer zu verhindern, wird auch die Position im zeitlichen Verlauf berücksichtigt. Für die Detektion der weiteren Oberflächenmerkmale wird die Fahrbahnmarkierung anschließend ausgeblendet, um Fehldetektionen an den Markierungskanten zu verhindern.

Rissdetektion

Die Merkmalsdetektion des Vorgängerprojekts hatte einige Schwachstellen und war stark parameterabhängig. Innerhalb dieses Projekts wurden daher weitere Verfahren der Merkmalsextraktion untersucht und implementiert.

Letztendlich wurden die Oberflächenmerkmale durch Kombination mehrerer multiskalar arbeitender Verfahren detektiert:

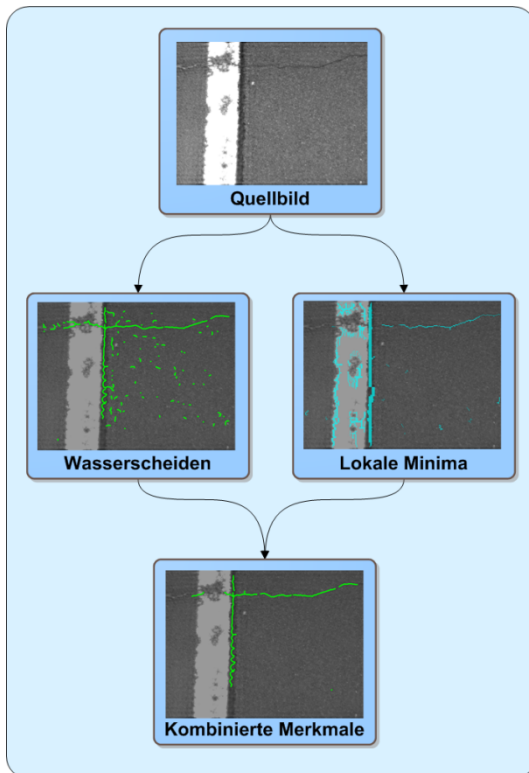


Bild 4: Durch Kombination mehrerer Merkmalskarten (im Bild: Wasserscheidentransformation und lokale Minima) wird die Merkmalsextraktion stabilisiert.

Das bereits im Vorläuferprojekt verwendete Verfahren der modifizierten Wasserscheidentransformation (Watersheds) wurde beibehalten. Hierbei wird ein Grauwertbild als Höhenrelief interpretiert, wobei die Intensität der einzelnen Bildpunkte mit der Höhe korreliert. 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.

Aus der Menge aller extrahierten Linienzüge müssen nun die Oberflächenmerkmale herausgesucht werden. Hierzu werden die Linienzüge in eine Grafdarstellung überführt. Die einzelnen Linienzüge bilden die Knoten eines Graphen, die Kanten des Graphen charakterisieren ihre unmittelbare Nachbarschaft.

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.

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 zwischen benachbarten, gleichgerichteten Pixelgruppen überbrückt.

Merkmalsinterpretation

Betrachtet man den Querschnitt eines Oberflächenmerkmals, 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 Punkt der orthogonal zum Linienzug verlaufende Querschnitt des Bilds betrachtet wird.

Die so gewonnenen Merkmalsprofile werden durch Faltungsoperationen bewertet, wobei durch unterschiedliche Filter unterschiedliche Rissbreiten abgedeckt werden. Des Weiteren geht der Verlauf eines potenziellen Schadensmerkmals in Form eines Kontinuitätsmerkmals in die Bewertung ein.

Die detektierten Merkmale und ihre charakteristischen Eigenschaften werden in kompakter Form in einer Datenbank gespeichert.

3.3 Evaluierung

Die Verfahren wurden auf dem vorliegenden Bildmaterial qualitativ evaluiert. Dabei wurden insbesondere das Pixelrauschen und die starken Materialunterschiede als problematisch erkannt.

Durch Pixelrauschen ergeben sich Über- und Untersegmentierungen, sodass durchgehende Risse oft nicht als durchgehend detektiert werden bzw. Oberflächenstrukturen als Risse klassifiziert werden. Bei starken Beleuchtungsunterschieden und Schattenbildung kann es ebenfalls zu Fehldetektionen z. B. aufgrund spiegelnder Arbeitsnähte oder starker Schattenkanten kommen.

3.4 Assistenzsystem

Das Assistenzsystem bereitet die Strecke und die detektierten Merkmale in einer grafischen Oberfläche auf und bietet der Fachkraft die Möglichkeit, eine Schadensbewertung vorzunehmen.

Die entwickelte grafische Oberfläche arbeitet mit zwei Monitoren und bietet zeitgleich eine hochauflösende Darstellung der aktuellen Streckenposition sowie eine Visualisierung und Verwaltung der gesamten Strecke durch geeignete Steuerungselemente.

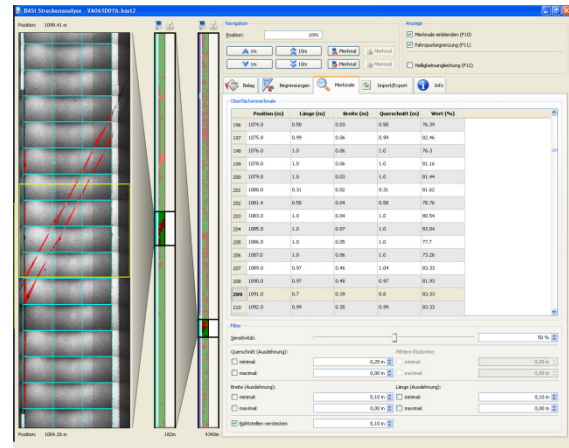
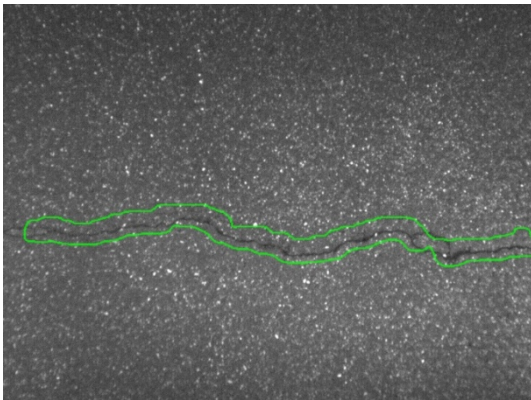
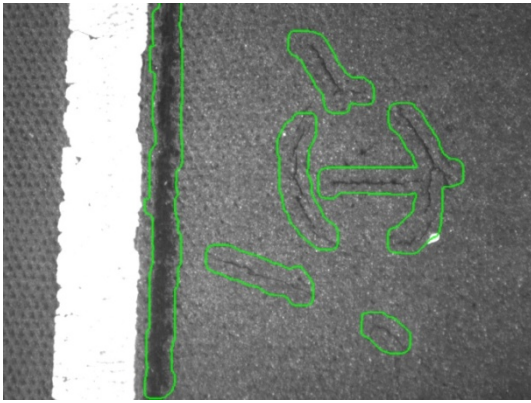


Bild 6: Mithilfe des Assistenzsystems können die detektierten Merkmale visualisiert werden und eine Auswertung durchgeführt werden.

Bild 5: Exemplarische Ergebnisse der Rissdetektion.

Auswertung

Die endgültige Auswertung erfolgt durch den Benutzer, die Software leistet jedoch Hilfestellung bei der Lokalisierung der Schadstellen. Hierzu können die detektierten Merkmale eingelebnet werden und anhand ihrer charakteristischen Merkmale gefiltert oder gesucht werden.

Die bewertungsrelevanten Merkmale und die Begrenzung des zu bewertenden Fahrstreifens unterscheiden sich je nach Art der Fahrbahnoberfläche (Beton oder Asphalt). Die Software erlaubt hierbei die nachträgliche Klassifizierung bzw. Korrektur des Belags und eine Korrektur der Fahrspurbegrenzungen.

Schadhafte Oberflächenmerkmale können durch entsprechende Benutzerinteraktion in der Datenbank eingetragen werden.

Schnittstelle

Über eine XML-Schnittstelle kann die Streckenauswertung exportiert werden, zudem können extern bearbeitete Messstrecken zur Visualisierung eingebunden werden.

4 Zusammenfassung

Im Laufe des Projekts wurde ein Assistenzsystem zur Unterstützung der Fachkraft bei der visuellen Auswertung der Fahrbahnoberfläche entwickelt. Es wurden dazu Algorithmen entwickelt, um Oberflächenmerkmale auf stark verrauschten Fahrbahnbildern unterschiedlicher Herkunft zu detektieren. Die detektierten Merkmale werden anschließend in einer grafischen Oberfläche in den Eingangsbildern visualisiert sowie verwaltet und assistieren so der Fachkraft bei der Erstellung einer Streckenauswertung. Eine Überprüfung im praktischen Einsatz steht noch aus. Hierzu wurde ein Arbeitsplatz mit der Software eingerichtet, sodass der Nutzen eines Assistenzsystems untersucht werden kann.