

Sanierung von gemauerten Abwasserkanälen- Erkennung der Fugenstruktur in gemauerten Abwasserkanälen zur Sanierung des Mauerwerks

Ikes J., Graf A., Gergs R.

Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Ilmenau
Ehrenbergstr. 11
D-98693 Ilmenau

Email: ikes@zbs-ilmenau.de

Zusammenfassung

Einleitung

Allein Deutschlandweit gibt es 2400 km gemauerte Abwasserkanäle; davon sind bereits zum jetzigen Zeitpunkt etwa 800 km sanierungsbedürftig.

Während die Mauersteine weitgehend unbeschädigt sind, wird durch das Abwasser vorrangig der Mörtel angegriffen. Die Kanalisation wird mechanisch instabil und birgt mit zunehmenden Alter eine erhöhte Einsturzgefahr. Darüber hinaus erhöht das Eindringen von Grundwasser die Klärkosten und austretendes Abwasser stellt eine permanente Gefährdung für Umwelt und Grundwasser dar.

Die entwickelte Gerätelösung setzt ein neuartiges Sanierungskonzept um, welches durch automatisches Ausräumen der Fugen und Einbringen von neuem Fugenmaterial die Vollsanierung der Kanäle erlaubt.

Kurzbeschreibung des Verfahrens

Zur Vollsanierung wird ein Roboter in die Kanalisation eingebracht der mit Versorgungsleitungen mit einem oberirdischen Bedienstand verbunden ist. Der Roboter analysiert die Mauerwerksstruktur und erfasst räumliche Lage der Mauerwerksfugen. Anschließend werden die Fugen mit einem Hochdruckwasserstahl entfernt, um nachfolgend mit neuem Mörtel verfüllt zu werden.

Über den Kamera-Sensor-Kopf des Roboters, der aus einer Zeilenkamera, einer Beleuchtungseinheit und aus mehreren Abstandssensoren besteht, wird die 3D-Gestalt des Kanals bestimmt und es wird seine Oberfläche bildlich erfasst. Im Bild werden die Fugenlagen automatisch detektiert. Anschließend erfolgt die Rückführung der Fugenpositionen mit Hilfe der erfassten Form des Kanals in räumliche Koordinaten.

Die räumlichen Fugenpositionen werden verwendet, um das Schneidwerkzeug des Roboters zu führen. Pro Arbeitsgang werden auf diese Weise 60 cm Kanalisation saniert.

Vermessung der Gestalt des Kanals und Berechnung einer Kamerabahn

Zur Bilderfassung muss die Kamera in einem durch die Beleuchtung und die Abbildungsverhältnisse vorgegebenen Abstandsbereich an der Kanalwand entlang geführt werden. Die Formabweichungen der Abwasserkanäle innerhalb einer vorgegebenen Kategorie können jedoch so groß sein, dass die Bildaufnahme nicht mit einer festen Roboterbahn erfolgen kann. Deshalb muss in einem ersten Schritt die Form des zu sanierenden Kanals erfasst werden.

Schwierige Oberflächenbedingungen (Wasser, Rauheit, Ablagerungen) sowie Sensorausfälle durch Hausanschlüsse oder Wasser im Bodenbereich erfordern hierbei den Einsatz unterschiedlicher sich ergänzender Sensorprinzipien. Konkret werden Ultraschall- und Lasertriangulationssensoren parallel eingesetzt. In der Vorverarbeitung können so neben der Entfernung von Fehlmessungen eventuelle Datenlücken geschlossen werden.

Aus den Sensorwerten und der Roboterposition zum Zeitpunkt der Abstandsmessung wird ein 3D-Modell des bearbeiteten Kanals generiert, welches zum Erzeugen einer Roboterbahn zur Bildaufnahme dient. Der Vergleich dieses Modells mit dem a priori vorliegendem Modell der jeweiligen Kanalklasse vermeidet Havariesituationen.

Aus dem 3D-Modell des Kanals wird der Bewegungsablauf für die Kamera mit dem Ziel berechnet, die Kamera mit einer konstanten Geschwindigkeit an der Kanalwand entlangzuführen und dabei einen möglichst konstanten Kamera-Wand-Anstand einzuhalten.

Bildaufnahme und Analyse der Fugenstruktur im Bild

Die Bildaufnahme wird mit Hilfe einer Zeilenkamera, die sich auf der generierten Roboterbahn zur Bildaufnahme bewegt, realisiert. Während der Bildaufnahme werden weiterhin Abstandsinformationen und die zugehörigen Positionsdaten des Roboters gewonnen. Die Abstandsinformationen werden in der Vorverarbeitung für eine abstandsabhängige Shadingkorrektur und für die x- und y-Entzerrung des Bildes verwendet.

Das so korrigierte Bild der Kanaloberfläche ist in x- und y-Richtung gleichabständig und dient als Ausgangspunkt für die Analyse der Fugenstruktur.

Hervorheben der Fugenstruktur

Die Fugenstruktur stellt sich im Bild als ein regelmäßig angeordnetes Linienmuster dar, wobei die Fugen in der Regel nahezu achsparallel verlaufen. Zusätzlich sind im Bild nicht vorhersagbare Strukturen wie Ablagerungen, Verschmutzungen etc. vorhanden, welche die regelmäßige Struktur überlagern.

Für die Vorverarbeitung des Kamerabildes wurde ein Filtersystem entworfen, welches die Störungen weitgehend unterdrückt und die Fugenstrukturen hervorhebt. Zum Filterdesign wird das Ortsfrequenzspektrum betrachtet. Die periodischen Strukturen der Fugen werden im Spektrum Folgen von Impulsen¹ repräsentiert, wobei die Impulsfolgen entlang oder nahe der Ortsfrequenzachse verlaufen. Die Störungen werden i.a. im gesamten Spektrum abgebildet.

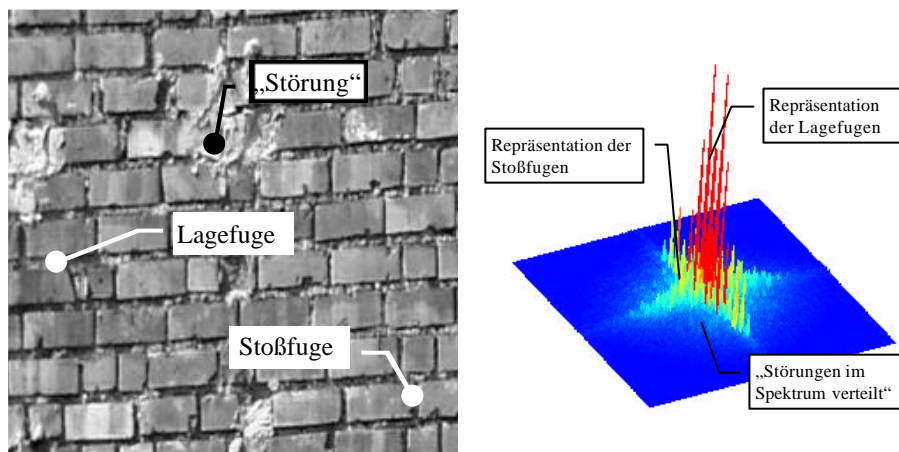
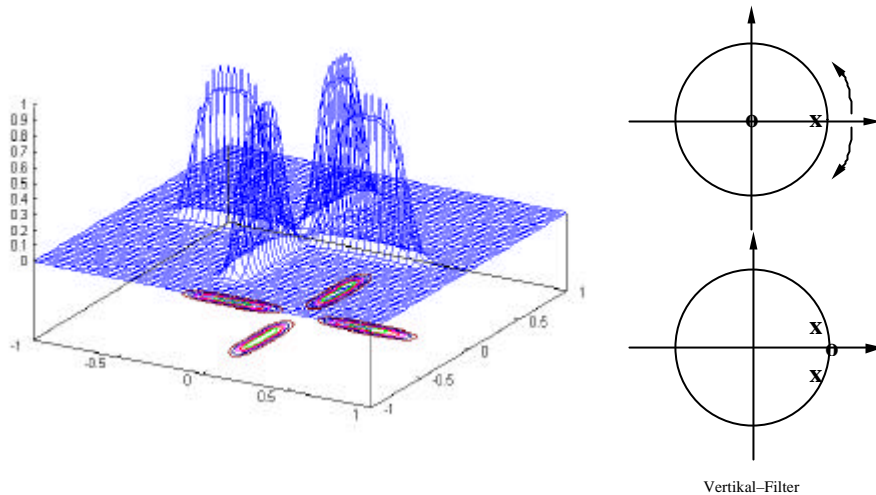


Fig. 1.

Aus dieser Überlegung heraus wurde ein Filtersystem mit dem in Fig. 2 prinzipiellen Übertragungsverhalten umgesetzt. Die Realisierung des Filtersverhaltens erfolgte durch IIR-Filter, um effektiv möglichst große Koppelweiten realisieren zu können.

¹ Abtastung des Spektrums einer einzelnen Fuge.



Extraktion der Fugenstruktur

Die Vorverarbeitung und das Hervorheben der Fugenstrukturen erfolgt in unterschiedlichen Auflösungsstufen. Im Anschluss werden die Fugen durch die Houghtransformation in jeder Auflösungsstufe in eine Graphenbeschreibung überführt. Danach erfolgt das Zusammenführen aller Ergebnisse der einzelnen Graphenbeschreibungen und ein logisches Korrigieren des Fugengitters. Die Korrektur basiert auf der Analyse des Graphenstruktur, wobei zunächst als Pseudofugen erkannte Elemente entfernt werden, um anschließend noch verbliebene Lücken zu füllen.

Der Anwender hat nach dieser Extraktion die Möglichkeit das erkannte Fugengitter in einem Editor zu bewerten, Änderungen vorzunehmen und die Weiterverarbeitung zu starten.



Bahnplanung und Berechnung der 3D-Koordinaten der Fugen

Die Bahnplanung bestimmt die Reihenfolge der Abarbeitung der Fugen, wobei die Fugen auf möglichst effektive Art und Weise erreicht werden sollen. Während der Bahnplanung wird gleichzeitig eine Kollisionsprüfung und ein Test auf Einhaltung des von der Kinematik des Roboters begrenzten zulässigen Schneidbereiches durchgeführt.

Nach der Bahnplanung die in der 2D-Graphenbeschreibung der Fugen erfolgt ist, werden die 3D-Koordinatne der Fugen bestimmt und die Ansteuerbefehle für den Roboter generiert.

