Themenvorschlag für Master's Thesis

TUM School of
Engineering and Design
Lehrstuhl für Massivbau

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Dipl.-Wirt. Ing.
Oliver Fischer**

Theresienstraße 90
Gebäude N6
80333 München
Germany

Tel +49.89.289.23050
Fax +49.89.289.23030

johannes.froese@tum.de
www.cee.ed.tum.de/mb

Digitale Methoden zur Qualitätssicherung von Brückenlagerverguss: Entwicklung praxistauglicher Verfahren zur automatisierten Porenflächenbestimmung

Fachliche Betreuung:

Betreuer: Dr.-Ing. Johannes Fröse
Raum: N1604
Tel.: +49.89.289.23050
E-Mail: Johannes.Froese@tum.de

Beginn: ab Oktober 2025

Hintergrund

Die Lagerfugen von Brückenbauwerken stellen eine kritische Schnittstelle dar, über die die Lasten des Überbaus über die Brückenlager sicher und gleichmäßig auf den Unterbau übertragen werden. Nach dem Einbau der Lagerplatte auf dem Lagersockel des Brückenpfeilers verbleibt in der Regel ein definierter Spalt zwischen der unteren Lagerplatte und dem darunterliegenden Betonsockel. Dieser wird anschließend mit einem hochfesten Vergussmörtel verfüllt. Ziel dieses Vergusses ist die kraftschlüssige Verbindung zwischen der Lagerplatte und dem Ortbetonlagersockel, um eine sichere und gleichmäßige Kraftübertragung vom Überbau in den Unterbau zu gewährleisten. Zur zusätzlichen Sicherung der vertikalen und horizontalen Lastabtragung werden häufig Kopfbolzen oder Dübel eingebaut, die eine mechanische Verbindung zwischen Lagerplatte und Sockel schaffen.

Die Qualität des Vergusses – insbesondere im Hinblick auf den Porenanteil – ist entscheidend für die Langlebigkeit und Sicherheit der gesamten Brückenkonstruktion. Lunker und Poren im Vergussquerschnitt können die Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit sowie den Korrosionsschutz wesentlich beeinträchtigen. Die DAfStb-Richtlinie sowie die Vorgaben der Deutschen Bahn begrenzen daher die zulässige Porenfläche auf maximal 3 % der betrachteten Oberfläche, wobei nur Poren mit einem mittleren Durchmesser von mehr als 1 mm berücksichtigt werden.

Aktuelle Untersuchungen der Deutschen Bahn zeigen jedoch, dass die tatsächlichen Eigenschaften von Vergussmörteln unter realen Baustellenbedingungen zum Teil erheblich von den Herstellerangaben abweichen. Besonders betroffen sind Schnellvergussmörtel, wie sie häufig für Lagersockel von Eisenbahnbrücken eingesetzt werden. In praxisnahen Vorversuchen konnte bislang kein Produkt die Anforderungen des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) vollständig erfüllen. Insbesondere an der Unterseite der Lager entstehen bei den meisten Produkten lunkerartige Hohlräume, die zu erheblichen Qualitätsmängeln führen können. Daraus ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Baustellenpraxis sowie die Notwendigkeit, durch gezielte Vorversuche unter realistischen Bedingungen die sogenannte „gleiche Sicherheit" nachzuweisen. Zu diesem Zweck werden Probevergussfugen unter Baustellenbedingungen erstellt. Dabei kommen entweder durchsichtige Plexiglasscheiben zum Einsatz, um den Vergussprozess visuell zu beobachten, oder die Vergussfuge wird nachträglich freigelegt, um Lunker und Poren sichtbar zu machen und bewerten zu können.

Bislang existieren jedoch keine einheitlichen und etablierten Verfahren zur Überwachung solcher Lagerfugen, die eine zielgerichtete, reproduzierbare und möglichst automatisierte Bestimmung der Porenflächen erlauben. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung einer zuverlässigen und effizienten Methode zur Porenflächenbestimmung von zentraler Bedeutung – sowohl für die Qualitätssicherung beim Verguss von Lagerfugen als auch für die langfristige Betriebssicherheit der Eisenbahninfrastruktur.

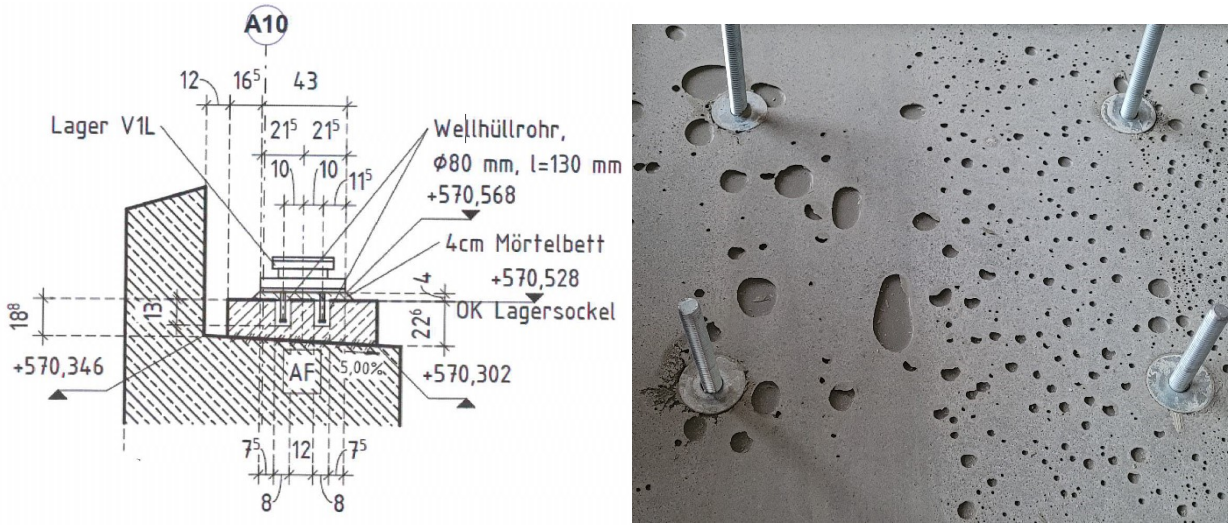

Bild 1: Schnitt aus den Planungsunterlagen eines Lagersockels am Brückenpfeiler (links) sowie Probeverguss mit deutlich erkennbaren Lunkern und Fehlstellen an der Oberseite des Vergussmörtels (rechts)

Ziele und Vorgehen

Ziel dieser Masterarbeit ist die Entwicklung und Validierung einer Methode zur (teil-)automatisierten Bestimmung der Porenflächen in ausgehärtetem Lagerverguss unter Verwendung optischer Bildverarbeitungsverfahren sowie alternativer praxistauglicher Methoden. Der Fokus liegt dabei auf der Entwicklung, der Anwendung und Bewertung praxisnaher Ansätze, wie dem Ausstreichen der Vergussoberfläche mit Farbsanden in Kombination mit fotografischer Erfassung und anschließender digitaler Bildanalyse. Dabei sind kreative Lösungsansätze ausdrücklich erwünscht, und es besteht die Möglichkeit, innovative Verfahren frei zu erproben und weiterzuentwickeln.

Im Rahmen der Arbeit soll insbesondere eine automatisierte Auswertung mittels geeigneter Softwarewerkzeuge – beispielsweise unter Verwendung von Python und gängigen Bildverarbeitungsbibliotheken – entwickelt und erprobt werden. Die Methodik ist unter variierenden Randbedingungen zu testen, etwa in Bezug auf unterschiedliche Lichtverhältnisse in der Praxis, verwendete Werkstoffe, Porengrößen oder Oberflächenbeschaffenheiten.

Ein zentraler Bestandteil ist zudem die Bewertung der Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der entwickelten Methode. Hierbei sollen potenzielle Messunsicherheiten identifiziert und – soweit möglich – quantifiziert werden.

Abschließend sollen auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse Verfahrensempfehlungen formuliert und ein praktischer Leitfaden zur Durchführung der Porenflächenbestimmung erstellt werden. Dieser soll als Grundlage für die Anwendung auf der Baustelle sowie in der Qualitätssicherung von Vergussarbeiten dienen.

Die Masterarbeit bietet vertiefte Einblicke in die experimentelle Forschung sowie in die praktische Baustellenüberwachung im Rahmen realer Infrastrukturprojekte. Sie ermöglicht eigenverantwortliches wissenschaftliches Arbeiten in einem praxisnahen Umfeld – stets begleitet durch eine enge fachliche Betreuung und regelmäßige Abstimmung mit dem betreuenden Team. Mit Abschluss der Arbeit wird eine gemeinsame Veröffentlichung der erzielten Ergebnisse in einer Fachzeitschrift angestrebt.

Die Arbeit umfasst folgende Schwerpunkte:

- Literaturrecherche: Einarbeitung in bestehende Prüfverfahren zur Porenanalyse von Beton und Mörtel (z.B. gemäß NF P 18-832) sowie in optische Bildverarbeitungsverfahren und alternative praxisnahe Methoden.
- Methodenentwicklung und -erprobung: Konzeption und praktische Erprobung von Methoden zur visuellen und optischen Porenflächenbestimmung, z.B. durch Einsatz von Farbsanden zur besseren Kontrastierung und optischen Nachbearbeitung.

- Datenerfassung: Planung und Durchführung von Bildaufnahmen an Vergussmörtelproben, die unter verschiedenen Bedingungen (z.B. unterschiedliche Mischungen, Herstellungsbedingungen, Lichtverhältnisse) hergestellt wurden. Die Proben können aus Vorversuchen von realen Brückenprojekten stammen.
- Algorithmenentwicklung und Python-Tool: Konzeption und Implementierung von Bildverarbeitungsalgorithmen (z.B. unter Verwendung von Bibliotheken wie OpenCV) zur Segmentierung von Poren und zur präzisen Bestimmung ihrer Fläche und Verteilung. Implementierung der entwickelten Algorithmen in einem benutzerfreundlichen Python-Tool, das die automatische Analyse von Bilddaten ermöglicht und die Porenfläche quantifiziert.
- Validierung und Quantifizierung der Messungenauigkeit: Validierung der entwickelten Methode(n) anhand bekannter Referenzproben oder im Vergleich zu etablierten (manuellen) Prüfverfahren. Quantifizierung der Messungenauigkeit unter verschiedenen Randbedingungen.
- Erstellung von Handlungsempfehlungen: Verfassen von Verfahrensempfehlungen und detaillierten Anweisungen zur Anwendung der entwickelten Methode(n) in der Praxis, ggf. in Form eines Leitfadens.
- Ergebnisanalyse und Dokumentation: Interpretation der Ergebnisse und umfassende Dokumentation der entwickelten Methodik, des Tools und der gewonnenen Erkenntnisse.

Vorkenntnisse:

- Studierende/r eines Masterstudiengangs im Bereich Bauingenieurwesen, Materialwissenschaften, Informatik mit Bezug zu Bildverarbeitung oder vergleichbar.
- Grundkenntnisse in der Betontechnologie und/oder Materialprüfung sind von Vorteil.
- Programmierkenntnisse in Python, idealerweise mit Erfahrung in Bildverarbeitungsbibliotheken (z.B. OpenCV, scikit-image) sind von Vorteil.
- Analytische Fähigkeiten und eine selbstständige, strukturierte Arbeitsweise.
- Hohes Engagement und Interesse an praktischen Fragestellungen im Bauwesen.