

Beschreibung zum Forschungsantrag

Kurzfassung

1. Forschungsthema

Pilotprojekt zur Thermografie im Brückenbau – Machbarkeitsstudie für die zerstörungsfreie Überprüfung der Verbundwirkung zwischen Tragkonstruktionen aus Beton und Fahrbahnbelägen aus Asphalt

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Alle Brückenbauwerke und Parkdeckflächen, die der Witterung ausgesetzt sind, bedürfen einer dauerhaften Abdichtung der Tragkonstruktion gegen Wassereinwirkung. Jeder Eingriff in den fertiggestellten Asphaltbelag, z. B. zur Entnahme von Ausbaustücken, birgt die Gefahr einer potenziellen Schadstelle.

Diese Studie befasst sich ausschließlich mit der Prüfung von Brückenbelägen auf Beton mit einer Dichtungsschicht aus einer Bitumen-Schweißbahn gemäß den Zusätzlichen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING Teil 7, Abschnitt 1).

Ein mängelfreier Einbau bedeutet, dass alle Schichten und Lagen mit der jeweiligen Unterlage flächig und dauerhaft verbunden sind. Ziel ist ein ermüdungs- und verformungsresistenter, dauerhaft verklebter und wasserdichter Brückenbelag. Da alle Schichten und/oder Lagen ohne Mängel eingebaut sein müssen, kommt der flächendeckenden und – vor allem – zerstörungsfreien Kontrolle zur Überprüfung jeder einzelnen Arbeitsleistung noch vor Beginn der nachfolgenden Arbeitsschritte höchste Bedeutung zu.

Zurzeit gibt es kein flächendeckendes, im Routinebetrieb erprobtes Verfahren zur zerstörungsfreien Überwachung der Einbauleistung von bitumengebundenen Brückenbelägen auf Beton.

Mangelnde Einbauqualität ist gekennzeichnet durch fehlenden oder unvollständigen Kontakt der übereinander eingebauten Schichten. Im Bereich des „gestörten Körperkontakts“ entsteht ein Hohlraum der bewirkt, dass der Wärmedurchgang im Vergleich zu jener im Bereich voller Kontaktwirkung abweicht. Eine Temperaturdifferenz an der Oberfläche zwischen dem Bereich voller Kontaktwirkung und dem Bereich gestörter Kontaktwirkung ist die Folge.

Diese Temperaturdifferenz an der Oberfläche kann mittels thermografischer Aufnahmeverfahren erfasst und visualisiert werden. **Die Prüfung der routinemäßigen Anwendbarkeit eines thermografischen Verfahrens zur Kontrolle der Homogenität und Verbundwirkung von Brückenaufbauten sowie die kritische Aufbereitung möglicher Fehlanwendungen und Fehlinterpretationen der Messergebnisse steht zurzeit noch aus.**

Bereits beim Einbau können sich - bei Anwesenheit von Wasser – aufgrund der hohen Einbautemperaturen (230 °C) und der großen Wärmekapazität des Gussasphaltes zwischen und innerhalb der Schichten Wasserdampfblasen entwickeln. Diese können zu schwerwiegenden Gefügestörungen führen.

Nach der Verkehrsfreigabe können infolge hoher Radlasten die aus den genannten Mängeln entstandenen Aufwölbungen zusammenbrechen, und der Schadensumfang wird durch Rissbildung vergrößert. Oberflächenwasser kann bei Überrollung in die Abdichtung eingepresst werden und anschließend unbehindert in die Tragkonstruktion eindringen.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Mit dem Forschungsprojekt sollen drei Forschungsziele verfolgt werden:

- **Teil 1:** Überprüfung der routinemäßigen Anwendbarkeit und Aussagekraft des thermografischen Verfahrens auf wissenschaftlicher Grundlage,
- **Teil 2:** Umsetzung für die Praxis durch Erarbeitung einer umfassenden Arbeitsanleitung,
- **Teil 3:** Begleitung repräsentativer Baumaßnahmen.

zu Teil 1

Um mögliche Fehlanwendungen und Fehlinterpretationen der Messergebnisse zu vermeiden, müssen alle Einflüsse aufgezeigt werden, die letztlich das vom Untersuchungsobjekt aufgenommene Wärmebild bestimmen.

Dies betrifft die Bestimmung der thermodynamischen Eigenschaften (Mikro- und Makrorauheit, Farbtonung, Reflexionsverhalten) jedes eingesetzten Baustoffes. Letztlich sind für alle

aus der Bildauswertung getroffenen Aussagen - auf der Basis eindeutiger, physikalischer Zusammenhänge - Kriterien zur zielführenden Überprüfung zu erarbeiten. Dieses sollte mittels Plausibilitätskontrollen erfolgen.

zu Teil 2

In der Arbeitsanleitung sollen Anforderungen an die apparative Ausrüstung, deren Einsatzbedingungen und –grenzen sowie die erreichbare Präzision der Ergebnisse unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen definiert werden.

Dadurch können alle Anwender mit vergleichbarer Geräteausstattung und nach gleichen Vorgaben arbeiten.

zu Teil 3

Mittels Begleitung und Dokumentation repräsentativer Baustellenabläufe werden Möglichkeiten und Grenzen des Praxiseinsatzes des vorgeschlagenen Prüf- und Dokumentationssystems aufgezeigt.

Gleichermaßen sind Erfahrungen im Umgang mit dem Messsystem unter Baustellenbedingungen zu sammeln, die u. U. Änderungen oder Ergänzungen in der Arbeitsanleitung zur Folge haben können.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Ergebnisse

Wenn potenzielle Schadensursachen nicht rechtzeitig, d.h. noch während des Baugeschehens erkannt und beseitigt werden, ist bei Schäden infolge unvermeidbarer thermischer Beanspruchung und mechanischer Belastung durch Fahrzeuge häufig eine kostspielige Sanierung des gesamten Dichtungssystems und Asphaltbelages die Folge.

Die angewandten Verfahren zur zerstörungsfreien Beurteilung der homogenen Verklebung von Schweißbahnen auf Brücken und Parkdecks beschränken sich bisher auf subjektive akustische und visuelle Prüfungen. Hinzu kommen Abziehversuche, die allerdings einen Eingriff notwendig machen.

Die Ergebnisse repräsentieren die Eigenschaften an der jeweils ausgewählten Stelle. Der subjektive Einfluss, die möglichen Ungenauigkeiten und die nur zufallsverteilt stattfindenden Kontrollen sind die Schwächen derartiger Verfahren.

Vor diesem Hintergrund kommt der Entwicklung des aussagekräftigen und physikalisch einwandfreien Verfahrens zur zerstörungsfreien Bewertung der Einbauqualität mittels Thermografie größte Bedeutung zu. Mit diesem Forschungsvorhaben soll die Anwendbarkeit auf wis-

senschaftlicher Grundlage überprüft und eine Umsetzung auf die Arbeitsbedingungen in der Praxis durch die Formulierung einer Arbeitsanleitung erreicht werden.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles

Teil 1: Überprüfung der routinemäßigen Anwendbarkeit und Aussagekraft des thermografischen Verfahrens auf wissenschaftlicher Grundlage (Arbeitsschritt 1 bis 3 gem. Arbeitsplan)

Zunächst sind die Einflüsse an unter Laborbedingungen hergestellten Asphalt-Probepplatten unter Variation der Farbtönung der Oberflächen und Oberflächenstruktur systematisch zu untersuchen. Dazu sollen Infrarotaufnahmen von möglichst systematisch variierten Asphaltbelagsoberflächen in situ erstellt werden.

Weiterhin ist geplant, Wärmebildaufnahmen während und nach dem Einbau der jeweiligen Schicht von bitumengebundenen Brücken- und Parkdeckbelagssystemen zu erstellen. An bereits eingebauten Flächen sollen die notwendigen Referenztemperaturen mittels präziser konventioneller Thermometer an markierten Punkten ermittelt werden, um das Messsystem zu kalibrieren. Im Anschluss werden Infrarotaufnahmen unter Variation der Einsatzbedingungen angefertigt (Brennweite des Objektivs, Winkel zwischen der Bildachse und abgebildeter Oberfläche, Wetterbedingungen etc.), die Aufschluss über die erreichte Einbauqualität geben.

→ Personaleinsatz Arbeitsschritt 1 bis 3:

Wissenschaftlicher Mitarbeiter	8 Monate
Laborant	5 Monate
student. Hilfskraft	8 Monate

Teil 2: Umsetzung für die Praxis durch Erarbeitung einer Arbeitsanleitung mit Nennung der Anforderungen an die Beschaffenheit der einzusetzenden Wärmebildkamera, deren Einsatzbedingungen und eines Leitfadens zur Interpretation der Ergebnisse (Arbeitsschritt 4 gem. Arbeitsplan)

Anhand des erarbeiteten Überblicks über die aktuell verfügbaren Thermografie-Messsysteme und den in Teil 1 des Forschungsvorhabens gewonnen Erkenntnissen sollen kameraspezifische Anforderungen abgeleitet werden, die den Randbedingungen der Untersuchungen gerecht werden.

→ Personaleinsatz Arbeitsschritt 4:

Wissenschaftlicher Mitarbeiter	2 Monate
student. Hilfskraft	1 Monat

Teil 3: Anwendungsbeispiele in der Baupraxis mittels Begleitung laufender Baumaßnahmen
(Arbeitsschritt 5 gem. Arbeitsplan)

Die Anwendung der entwickelten Methode auf ausgewählten Brückenbaustellen und freien Parkdecks soll die Praxisbewährung unter Beweis stellen. Dabei sollen weitere Erfahrungen zur erreichbaren Präzision und zum Umfang des Prüfaufwandes gewonnen werden.

→ Personaleinsatz Arbeitsschritt 5:

Wissenschaftlicher Mitarbeiter	3 Monate
student. Hilfskraft	2 Monate

3.3 Arbeitsdiagramm und Konzept zum Projektmanagement

Arbeits- und Zeitplan

Nr.	Arbeitsschritt	Dauer
1	Erprobung marktgängiger Thermografie-Systeme und Formulierung von Einsatzkriterien	1 Monat
2	Suche / Auswahl geeigneter Baustellen	3 Monate
3	Experimente unter Labor- und Praxisbedingungen: Infrarotaufnahmen von Asphaltoberflächen unter Variation der Oberflächeneigenschaften, der Verklebung und des Schichtenverbundes Ziel: Überprüfung der Anwendbarkeit des Verfahrens	10 Monate
4	Ausarbeitung einer Arbeitsanleitung	2 Monate
5	Katalog zur Dokumentation von Anwendungsbeispielen	4 Monate
6	Schlussbericht	2 Monate

Arbeitsschritt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Marktüberblick; Einsatzkriterien	x															
2 Auswahl geeigneter Baustellen und Untersuchungsstrecken		x	x	x												
3 Erstellung / Auswertung von Infrarotaufnahmen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
4 Formulierung einer Arbeitsanleitung										x	x					
5 Dokumentation von Anwendungsbeispielen												x	x	x	x	
6 Schlussbericht															x	x

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

4.1 Geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Laufzeit des Vorhabens:

Maßnahme A: Transfer der Erfahrungen in die Industrie über bga / VSVI	Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
	Beteiligung/Fortbildung von Mitarbeitern aus KMU	A1 Teilnahme der Mitarbeiter an Messkampagnen vor Ort auf der Baustelle A2 Vortrag auf Gussasphalt Symposium der Beratungsstelle für Gussasphaltanwendung e.V. / oder VSVI Seminar?	II. Quartal 2010 bis II. Quartal 2011 II. Quartal 2011 bis II. Quartal 2012

Maßnahme B: Transfer in entsprechende Gremien der FGSV	Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
	Institutioneller Transfer und Gedankenaustausch in den FGSV Gremien (AA 7.1, AK 7.6.1...)	B1 Vorstellung von Zwischenergebnissen B2 Präsentation der Abschluss-ergebnisse sowie Diskussion	II. Quartal 2011 IV. Quartal 2011

Maßnahme C: Projektbegleitender Ausschuss PA	Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
	Die Forschungsergebnisse sollen sukzessive im PA ausführlich diskutiert werden	D1 Projektvorstellung sowie Diskussion der geplanten Vorgehensweise D2 Vorstellen der Zwischenergebnisse und Beratung der weiteren Vorgehensweise D3 Abschlusspräsentation der FuE Ergebnisse und Diskussion	III. Quartal 2010 II. Quartal 2011 IV. Quartal 2011

4.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach der Projektlaufzeit:

Maßnahme D:
Transfer der Erfahrungen in die Industrie / Weiterbildung

Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
Weiterbildung von Mitarbeitern aus KMU	D1 Vortrag auf DAV Seminar Willingen 2012	März 2012

Maßnahme E:
Transfer in entsprechendes Arbeitsblatt / Regelwerk über FGSV

Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
Institutioneller Transfer und Einarbeitung in entsprechendes Arbeitsblatt / Regelwerk über FGSV Gremien (AA 7.1, AK 7.6.1...)	E1 Vorstellung + Diskussion im AK 7.6.1 und AA 7.1	II. Quartal 2012

Maßnahme F:
Veröffentlichung

Ziel	Rahmen	Datum/ Zeitraum
Ergebnistransfer in die Wirtschaft	F1 Fachbeitrag in Zeitschrift „Straße und Autobahn“ bzw. „Straßenbautechnik“	II. Quartal 2012
	F2 Veröffentlichung Kurzbericht auf ISBS-Homepage	II. Quartal 2012

Maßnahme G:
ISBS Newsletter

elektronische Verbreitung durch ISBS Newsletter	F1 Kurzvorstellung der Ergebnisse im ISBS Newsletter mit Verweis auf ausführlicheren Bericht auf Homepage	II. Quartal 2012
---	---	------------------

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Eine Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse kann in den folgenden Fachgebieten erfolgen:

- Werkstoffe/Materialien,
- Messtechnik,
- Betriebswirtschaft / Organisation,
- Qualitätssicherung,
- Kosten-Nutzen-Vergleich und
- Wirtschaftszweig 45 (Baugewerbe),
- Wirtschaftszweig 60 (Landverkehr, Transport),
- Wirtschaftszweig 72/74 (Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen).

5.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Die bisher existierenden Verfahren zur Beurteilung der Einbauqualität von Bitumenschweißbahnen und Asphaltbelägen auf Brücken und Parkdecks beschränken sich auf visuelle, akustische und/oder zerstörende Prüfungen, die zufallsbehaftet und nicht ausreichend präzise sind, um rechtzeitig einzugreifen und an Schadstellen Reparaturen auszuführen.

Der entscheidende Vorteil für KMU liegt daher in der Möglichkeit, einen mängelfreien Einbau durch eine baubegleitende und flächendeckende Überprüfung des Verbundes von Bitumenschweißbahnen und Gussasphalten zur Unterlage mittels Infrarotaufnahmen sicherzustellen. Die zwischen den einzelnen Bauphasen angesetzte Qualitätskontrolle ermöglicht es, rechtzeitig evtl. Gegenmaßnahmen zur Behebung vorhandener bzw. potenzieller Schadstellen einzuleiten. Insbesondere kann die Funktionsweise der Bitumenschweißbahn und der Gussasphalt-Dichtungsschicht noch vor dem Einbau der darüberliegenden Schicht(en) einwandfrei festgestellt werden. Insgesamt sind im Fall von Einbaumängeln entscheidende Kosteneinsparungen im Vergleich zu einer kompletten Sanierung des Abdichtungs- und Belagssystems zu erwarten.

Weiterhin ist die Dokumentation einer einwandfreien Einbauleistung des KMU mit der neuen Messmethode ein geeignetes Mittel, späteren Schadensersatzansprüchen von Seiten des Bauherrn zu begegnen.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Im Rahmen des geplanten Forschungsprojekts soll eine detaillierte Arbeitsanleitung ausgearbeitet werden, in der auf Basis marktgängiger Thermographiesysteme die Anforderungen an die apparative Ausrüstung formuliert sind. Dadurch ist es den KMU möglich, kostenoptimale und am Markt verfügbare Standardsysteme mit den entsprechenden Ausstattungsmerkmalen zu beschaffen, und auf individuelle Gerätekonfigurationen zu verzichten. Die Beschaffungskosten werden aller Voraussicht nach im Bereich zwischen 5.000€ bis 10.000€ liegen. Dies schafft die Voraussetzung zu einer unkomplizierten und schnellen Verbreitung der geräte-technischen Ausstattung.

Daneben stellen die konkreten Anweisungen der Arbeitsanleitung zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Messungen sicher, dass alle Anwender auch ohne bisherigen Erfahrungshintergrund vergleichbare Ergebnisse produzieren und die Interpretation auf Grundlage einheitlicher Standards erfolgt. Der Praxiseinsatz der neuen Prüfmethodik kann somit von den Unternehmen sehr zeitnah erfolgen, sodass nach einer Lern- und Eingewöhnungsphase mit einer erfolgreichen Anwendung nach wenigen Probemessungen zu rechnen ist.

Ein großer Anreiz zum Einsatz des Prüfverfahrens liegt in der Möglichkeit, bereits während der Bauphase lückenlos eine Qualitätssicherung zu realisieren. Wenn eine schnelle und breite Anwendung des Verfahrens durch die einbauenden Unternehmen einerseits, und den Auftraggebern andererseits gelingt, wird durch den in ein bis zwei Jahren gewonnenen Erfahrungsschatz eine Akzeptanz des neuen Verfahrens aller Beteiligten geschaffen. Insgesamt schafft dies die Voraussetzung, die Einbauqualität von Asphaltsschichten auf Brücken und Parkdecksystemen zu verbessern und Mängeln vorzubeugen.

Wird das im Forschungsvorhaben entwickelte Verfahren in der Praxis schnell aufgegriffen, bietet sich die Möglichkeit, die Handhabung des Thermographiesystems auf der Baustelle weiter zu optimieren. Die Applikation eines händischen Thermographiesystems an ein (Baustellen-) Fahrzeug durch eine entsprechende Haltevorrichtung würde die routinemäßige Anwendung fördern. Der dazu notwendige Entwicklungsaufwand in Bezug auf Zeit und Kosten wird als überschaubar, das heißt innerhalb von ein bis zwei Monaten und einem Kostenrahmen von zirka 10.000€ veranschlagt.

Letztlich könnte im Erfolgsfall das Anwendungsgebiet des neuen Verfahrens von Brücken und Parkdeckflächen auf konventionelle Asphalteinbauflächen auf freier Strecke ausgeweitet werden, um auch dort einen möglichst mangelfreien Verbund zwischen den einzelnen Asphalt-schichten sicherzustellen. Die wissenschaftlich-technologischen Voraussetzungen müssten durch ein weiteres Forschungsvorhaben geschaffen werden, das innerhalb von maximal 12 Monaten zu realisieren wäre.

6 Durchführende Forschungsstelle

Institut für Straßenwesen der Technischen Universität Braunschweig - ISBS

Pockelsstraße 3

38106 Braunschweig

Leiter der Forschungsstelle: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael P. Wistuba

Projektleiter: akad. Direktor Dr.-Ing. Holger Lorenzl