

Innovative Zugangstechniken und digitale Bildauswertung für die Bauwerksprüfung im Zuge von Straßen

Ralph HOLST¹, Martin FRIESE¹

¹ Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

Holst@bast.de ; Friese@bast.de

Kurzfassung. Deutschland braucht ein zuverlässiges Straßensystem. Dafür müssen die Zustände der Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerke der Straßen kontinuierlich und umfassend bekannt um rechtzeitig handeln zu können. Neben der regulären visuellen Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [1] bieten neue innovative Verfahren große Möglichkeiten der Zugangs- sowie Bilderfassungs- und -Bildverarbeitungstechnik. Diese Möglichkeiten gilt es jetzt systematisch zu erkunden und für den Einsatz aufzubereiten.

1 Aktuelle Situation

Für eine gut funktionierende Wirtschaft ist eine verlässliche Verkehrsinfrastruktur eine grundlegende Voraussetzung. Dieses gilt in besonderem Maße für Deutschland als ein wichtiges Transferland in Europa. Das Rückgrat dieses Verkehrsnetzes in Deutschland bilden die Autobahnen; aber auch die weiteren Straßenkategorien sind von erheblicher Bedeutung für das Netz als Ganzes.

Die Autobahnen sind zum größten Teil in den 60er bis 80er Jahren des letzten Jahrhundert entstanden und haben damit einen erheblichen Teil ihrer geplanten Nutzungsdauer erreicht. Diese geplanten Nutzungsdauern basierten auf Verkehrsbeanspruchungen, die erheblich unter denjenigen Einwirkungen lagen, die heute Realität auf unseren Autobahnen sind. Das betrifft vor allem den Schwer- und Schwerlastverkehr. Somit kann zu Recht von einer Nutzungsänderung für diese Brücken gesprochen werden. Die Herausforderung, das Autobahnnetz in Deutschland nach dem zweiten Weltkrieg in so kurzer Zeit aufzubauen, konnte unter anderem auch nur dadurch gelingen, dass neue und neueste Bauverfahren, -methoden und Materialien in großem Stil eingesetzt wurden. Dieses betrifft in hohem Maße die Spannbetonbauweise.

Aus heutiger Erfahrung weiß man, dass bestimmte Bauverfahren teilweise konstruktive Schwachstellen aufweisen und nicht immer mit der nötigen Qualität ausgeführt wurden.

Das führt dazu, dass mittlerweile eine nicht unerhebliche Anzahl von Brücken der Bundesfernstraßen über erhebliche Schäden und Mängel verfügen und in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten umfassenden Erhaltungsmaßnahmen bis hin zu Ersatzneubauten durchgeführt werden müssen.

Gleichzeitig muss aber die Zuverlässigkeit dieser Straßen auch unter Betrieb gewährleistet werden können. Das bedeutet einen erheblichen Aufwand im Vorfeld der



eigentlichen Baumaßnahmen, denn es müssen die jeweils aktuellen Zustände und Schwachstellen der Brücken im kompletten Netz der Bundesfernstraßen bekannt sein. Nur auf Basis belastbarer Informationen zum Zustand können Erhaltungsmaßnahmen systematisch geplant und durchgeführt werden unter Aufrechterhaltung des Verkehrs, wenn auch mit unvermeidbaren Einschränkungen durch die eigentlichen Baumaßnahmen.

Grundhafte Instandsetzungen bzw. Neubauten von Brücken sind mit erheblichen finanziellen, organisatorischen und technischen Vorlaufzeiten verbunden. Daher müssen die Zustände und Schwachstellen der Brücken möglichst frühzeitig bekannt sein, um zeitlichen Spielraum für die Auswahl und Durchführung der bestmöglichen Maßnahme zu haben.

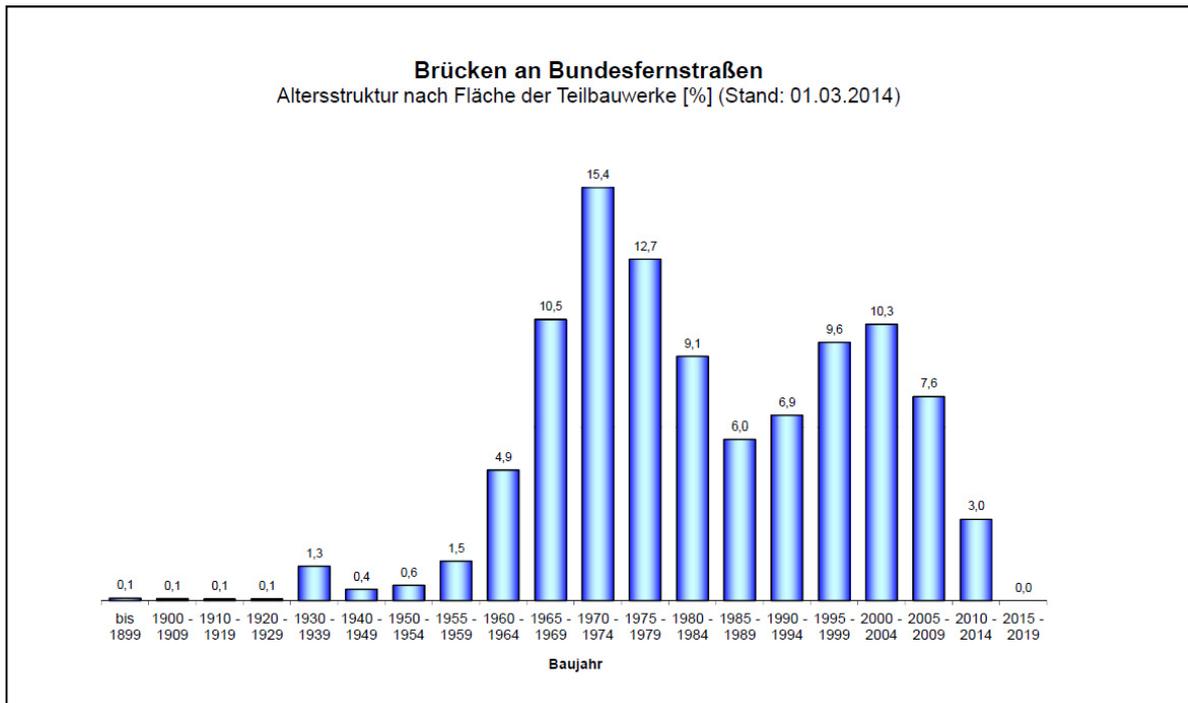


Abb. 1 Altersverteilung

2 Bauwerksprüfung

2.1 Stand der Technik in Deutschland

Alle Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen sind in Deutschland regelmäßig einer Bauwerksprüfung zu unterziehen. Basis dafür sind die Regelungen der DIN 1076 [1]. Danach sind alle Bauteile der Bauwerke alle 6 Jahre handnah zu prüfen. Dieses bedeutet eine visuelle Prüfung und Bewertung der sichtbaren Schäden und Mängel. Die Bewertung dieser Schäden und Mängel erfolgt im Bereich der Bundesfernstraßen anhand der Richtlinie RI-EBW-PRÜF [2]. Hiernach werden alle Schäden bezüglich ihres Einflusses auf die Standsicherheit (S), Verkehrssicherheit (V) und Dauerhaftigkeit (D) der Brücke als Ganzes bzw. ihrer Bauteile bewertet.

Wenn der Bauwerksprüfer einen Schaden nicht eindeutig und vollständig bewerten kann oder den Verdacht auf versteckte Mängel hat, ist eine Objektbezogene Schadenanalyse (OSA) zu veranlassen, um die für eine sachgerechte Beurteilung fehlenden Informationen zu erhalten.

2.2 Schwachstellen der bisherigen Vorgehensweise

Das Verfahren der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 hat sich im Allgemeinen bewährt, vor allem für die Prüfung von kleineren und mittleren Brücken, für die der Zugang zu den Bauteilen mit wenig Aufwand und ohne großen Eingriff in den Verkehr verbunden ist. Sobald es sich um größere bzw. schwer zugängliche Bauwerke handelt steigt der Zeit- und Kostenaufwand sehr stark an.

Ein weiterer Nachteil des bisherigen Verfahrens ist es, dass die Schadenserfassung und -bewertung händisch und somit nicht automatisiert erfolgt. Ergänzend werden für schwerwiegende Schäden digitale Bildaufnahmen erstellt und in der Datenbank als weitere Informationsquelle abgelegt. Es erfolgt aber keine digitale Weiterbearbeitung dieser Bilder oder eine automatisierte Verknüpfung mit z.B. einem digitalen Brückenmodell.

In vielen Fällen ist diese Vorgehensweise durchaus ausreichend. Allerdings gibt es gegenläufige Tendenzen, die einen negativen Einfluss auf die Qualität der Bauwerksprüfung haben können: Der zunehmend schlechter werdende Zustand der Brückenbauwerke und die begrenzt zur Verfügung stehenden Personal- und Finanzmittel für die Bauwerksprüfung.

Daher stellt sich die Frage, ob es nicht möglich ist, diese beiden Tendenzen dahingehend positiv miteinander zu verknüpfen, indem neue Technologien unterstützend eingesetzt werden können? Denn auf der einen Seite fordert die DIN 1076 für alle Brücken das gleiche Vorgehen der Brückenprüfung, auf der anderen Seite beanspruchen unterschiedliche Bauwerke bzw. Bauwerkarten das Prüfteam auf sehr unterschiedliche Art und Weise.

Der Umfang einer Brückenhauptprüfung hängt insbesondere von folgenden Kriterien ab:

- Art der Brücke,
- Länge der Brücke,
- Brückenfläche,
- Alter
- Zugänglichkeit,
- Hauptbaustoff,
- Verkehrliche Situation,
- Konstruktion,
- Schäden.

3 Innovative Verfahren

3.1 Tunnelscanner

Wie kann also erreicht werden, dass die Vorgaben einer handnahen Brückenprüfung gemäß DIN 1076 im Rhythmus von 6 Jahren (Hauptprüfung) und 3 Jahren (einfache Prüfung) eingehalten werden und trotzdem den unterschiedlichen Ansprüchen der Bauwerke Rechnung getragen wird und dass mit optimalem Personal- und Finanzeinsatz?

Die aktuelle Fassung der RI-EBW-PRÜF nennt (teil-)automatisierte Verfahren, die in der Bauwerksprüfung ergänzend eingesetzt werden können. Ein Verfahren ist der Tunnelscanner. Hierbei fährt ein auf einem Fahrzeug montierter rotierender Laser die Oberfläche der Tunnelinnenschale kontinuierlich ab. Das Ergebnis ist eine Abwicklung der Oberfläche der Tunnelinnenschale mit markierten Auffälligkeiten (z.B. Rissen). Anschließend werden handnah die Auffälligkeiten durch das Bauwerksprüfteam

begutachtet und entsprechend der RI-EBW-PRÜF bewertet. Dieses Verfahren hat sich bewährt und ermöglicht die Erfüllung der Vorgaben der DIN 1076 unter reduziertem Eingriff in den Straßenverkehr, indem der Tunnel bzw. einzelne Fahrspuren in diesem nicht oder nur für eine geringe Zeit gesperrt werden müssen.

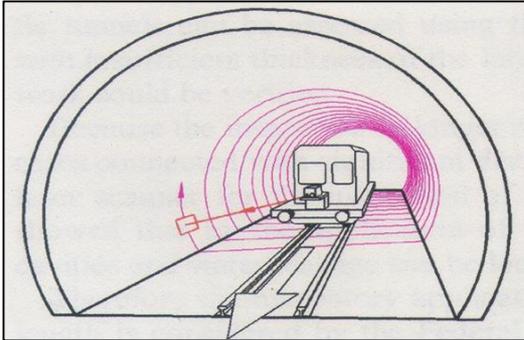


Abb. 2 Tunnelscanner (Prinzipskizze (Bild: Spacetec))

Zusätzlich besteht die Möglichkeit Thermografie-Aufnahmen der Tunnelinnenschalen durchzuführen, um z.B. feuchte Stellen oder Hohlräume im Inneren der Schale erkennen zu können. Dafür müssen aber bestimmte Temperaturgradienten vorhanden sein. Diese Vorgabe macht den Einsatz vor Ort schwer zeitlich kalkulierbar und findet daher in der Praxis eher selten Anwendung.

3.2 automatisierte Seilbefahrung

Aufgrund der positiven Erfahrung mit diesem System, sind gezielt weitere Untersuchungen mit neuen Zugangs- bzw. Erfassungstechniken durchgeführt worden, mit dem Ziel deren Praktikabilität für den Einsatz im Rahmen von Bauwerksprüfungen zu erkunden und zu verbessern. Dieses Verfahren steht ebenfalls in der RI-EBW-PRÜF.

So hat sich aufgrund eines Schadensfalls an den Seilen der Rheinbrücke Flehe im Jahre 2006 ergeben, dort ebenfalls neue Erfassungstechniken einzusetzen.

Durch Alterung und Verschleiß hatten sich in einigen Bereichen die äußeren Lagen verschiedener Seilbündel zum Teil gelöst. Um den Umfang und die Schwere der Schäden beurteilen zu können und gleichzeitig den Verkehr auf dieser wichtigen Rheinquerung südlich von Düsseldorf möglichst wenig zu beeinträchtigen, sind mit Hilfe von automatisierten Verfahren sowohl magnetinduktive Messungen, als auch Bildaufnahmen der Oberfläche durchgeführt worden. Damit konnten mögliche Schadstellen eingrenzt und die handnahe Bauwerksprüfung auf die kritischen Bereiche beschränkt werden.



Abb. 3 automatisierte Seilbefahrung Rheinbrücke Flehe

3.3 Einsatz von Fluggeräten

Neben Brücken gibt es im Zuge von Straßen weitere Ingenieurbauwerke, bei deren Versagen negative Folgen für Menschen und den Verkehr zu befürchten sind und deren Prüfung besondere Problemstellungen aufweist. So sind Verformungen an Stützwänden mit Natursteinverkleidung nur sehr schwer visuell ohne aufwändige Vermessungsverfahren zu erkennen. Solch ein Fall war der Ausgangspunkt für den Einsatz von UAV (unmanned aerial vehicles) bzw. UAS (unmanned aerial systems). Letztere beinhalten nicht nur das Fluggerät, sondern auch Erfassungssysteme, z.B. Kameras.



Abb. 4 Beispiele für UAS

Diese Systeme sind bisher in der RI-EBW-PRÜF nicht erwähnt, da bisher keine belastbaren Ergebnisse dazu vorlagen. Daher sind hierzu Untersuchungen durchgeführt worden.

In einem Fall wurden vom thüringischen Landesamt für Bau und Verkehr zwei „Anbietern“ die Aufgabe gestellt mit Hilfe von UAS und nachgelagerter digitaler Bildauswertung Veränderungen an einer neu erstellten und für diesen Versuch präparierten Stützwand mit Natursteinverkleidung (Zyklopen-Mauerwerk) automatisiert zu erkennen und digital aufzubereiten. Hierzu wurde die Stützwand jeweils vor und nach den Veränderungen befliegen, Bildaufnahmen erstellt und digital zusammengesetzt. Vor dem zweiten Durchgang wurden Veränderungen an der Stützwand derart vorgenommen, dass sowohl Zwickelsteine entfernt, als auch künstliche Aufdoppelungen von wenigen Zentimeter Dicke aufgebracht wurden. Diese Veränderungen sollten durch Abgleich der Bildaufnahmesequenzen automatisiert erkannt werden.

Hierbei zeigte sich, dass die entfernten Zwickelsteine und die Aufdoppelungen von ca. 2,5 cm Stärke einwandfrei erkannt werden konnten. Das bedeutet, dass mit diesem Verfahren sehr schnell mit geringem bzw. keinem Eingriff in den Verkehr Verformungen einer sehr unregelmäßig gestalteten Stützwand sehr sicher erkannt werden können. Ein Einsatz im Rahmen von Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 scheint somit sinnvoll und zielführend möglich.

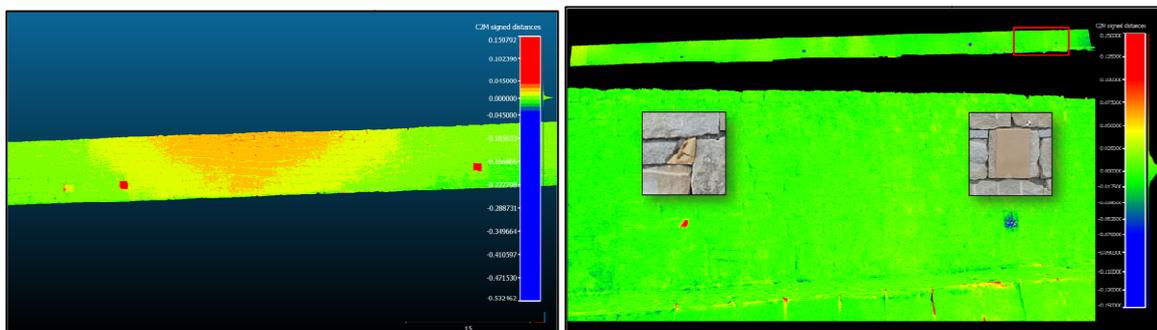


Abb. 5 Differenzbilder Stützwand- fiktive Verformung (DIV) - Aufdoppelungen (Universität Weimar)

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde von der BAST ein Forschungsauftrag vergeben [3], um systematisch die Möglichkeiten und Grenzen dieser neuen Zugangs- und Erfassungstechnik zur Unterstützung der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 erarbeiten zu lassen. Dabei sollten auch Fragen der Wirtschaftlichkeit mit untersucht werden.

Zuerst stellte sich die Frage, welche Schäden bzw. Mängel am Bauwerk grundsätzlich zuverlässig erkannt und möglichst automatisiert ausgewertet werden können. Basis hierfür bildet der Schadensbeispielkatalog der RI-EBW-PRÜF, der den größten Teil der an Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen vorkommenden Schäden auflistet und Bewertungsvorschläge macht.

Es zeigte sich sehr schnell, dass folgende Fragen vorab bzw. während des Einsatzes auf jeden Fall zu klären sind:

- Welche Schäden sind an dem speziellen Bauwerk vorhanden/zu erwarten und welche davon können mit diesem System erkannt werden?
- Welche Strategie der Befliegung ist am zielführendsten unter Einbeziehung der Randbedingungen (Lage, Größe, Form des Bauwerks, Wetter (Sonne, Wind))?
- Welche rechtlichen Vorgaben sind einzuhalten und welche Vorlaufzeit wird benötigt (Genehmigungen, ...)?

Zur Klärung dieser Fragen wurden mehrere Befliegungen an unterschiedlichen Brücken durchgeführt. Zuerst erfolgte der Einsatz an einer Bogenbrücke in der Nähe von Bielefeld. Hierbei zeigte sich, dass eine klare und eindeutige Absprache zwischen dem Bauwerksprüfer und dem Flugoperator zwingend notwendig ist, damit sowohl die Flugroute optimiert werden kann, als auch ausreichend viele Bildsaufnahmen an den richtigen Stellen erfolgen. Denn nur so können aussagekräftige Abwicklungen bzw. vollständige 3D-Darstellungen erstellt werden.

Die zweite Befliegung erfolgte an der Talbrücke Nuttlar. Hierbei handelt es sich um einen Neubau einer Talbrücke im Zuge der A46, bei dem in naher Zukunft die H1-Prüfung (Hauptprüfung zur Abnahme) ansteht ist. An diesem Bauwerk fallen die sehr hohen Pfeiler aus Stahlbeton-Rundstützen mit Verbundelementen aus Stahl auf. Die herkömmliche Prüfung dieser Pfeiler ist sehr zeit- und kostenaufwändig und wird zusätzlich durch die runde Formgebung erschwert. Der Einsatz eines UAS liefert mit geringem Aufwand sehr gute Detailbilder, z.B. von den Schweißnähten der Verbindungsrohe bzw. deren Einbindung in die Pfeiler.



Abb. 6 Talbrücke Nuttlar (Pfeiler und Versteifungselement)

Eine weitere Befliegung an der Europabrücke Koblenz zeigte neben technischen Herausforderungen auch den notwendigen Aufwand bezüglich rechtlicher Randbedingungen. Grundsätzlich dürfen Bundeswasserstraßen nicht überflogen werden.

Zudem befinden sich in der Nähe der Europa-Brücke zwei Krankenhäuser die mit Rettungshubschraubern angefliegen werden, und auch ein Polizeihubschrauber ist in der Nähe stationiert. Zudem darf der Verkehr auf der Europabrücke nicht durch den Einsatz des UAV abgelenkt werden. Diese Randbedingungen hatten erheblichen Einfluss auf die Wahl und die Höhe der Flugroute.

Neben der Befliegung der Brücke von außen sollte auch erkundet werden, inwieweit ein Einsatz auch im Hohlkasten sinnvoll möglich ist. Der Hohlkasten der Europabrücke weist eine veränderliche Höhe auf. Daher ist der übliche Einsatz eines Rollgerüsts entsprechend aufwändig. Dieser Ansatz zeigte allerdings nicht die erhoffte erweiterte Einsatzmöglichkeit, da das UAS zu einer zu großen Staubentwicklung im Hohlkasten führte. Diese lässt sich durch Reinigungsarbeiten nur im begrenzten Maße reduzieren. Solange dieses Problem nicht gelöst ist, scheint das übliche Verfahren mit Rollgerüst nach wie vor am sinnvollsten zu sein.



Abb. 7 Befliegung Europabrücke Koblenz (über Wasser und im Hohlkasten)

Die Auswertung der drei Befliegungen an unterschiedlichen Brückenbauwerken mit verschiedenen Einsatzaspekten zeigt ganz deutlich, dass mit dieser Vorgehensweise bestimmte Schadstellen bzw. Bauteile sehr gut erreicht, erkannt und dokumentiert werden können. Gleichzeitig stellt diese Art der Bauwerksprüfung hohe Anforderungen an die Vorbereitung des Einsatzes sowohl in technischer, organisatorischer, als auch in rechtlicher Hinsicht. Somit muss sich zeigen, ob und für welche Fälle dieser Einsatz wirtschaftlich ist und von den Baulastträger bzw. den für die Baulastträger arbeitenden Ingenieurbüros und Firmen diese Anwendung angefragt wird.

4 Fazit und Ausblick

Das visuelle, handnahe Verfahren der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 hat sich seit Jahrzehnten bewährt, vor allem für die Prüfung von kleineren und mittleren Brücken, für die der Zugang zu den Bauteilen mit wenig Aufwand und ohne großen Eingriff in den Verkehr verbunden ist. Aufgrund des Einsatzes von qualifiziertem Prüfpersonal kann flexibel auf die unterschiedlichen Gegebenheiten vor Ort reagiert werden.

Sobald es sich jedoch um die Prüfung größerer bzw. schwer zugänglicher Bauwerke/Bauteile handelt, steigt der Zeit- und Kostenaufwand für die Prüfung sehr stark an. Gleichzeitig werden die Anforderungen an eine qualitativ hochwertige Beurteilung des Zustandes von Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen immer bedeutsamer. Das betrifft auch den Bereich des nachgeordneten Straßennetzes. Hier tritt im verstärkten Maße das Problem auf, dass die Baulastträger teilweise über keine oder nur unzureichende Bestandsunterlagen verfügen. Auch hierbei kann der Einsatz neuer

Techniken der digitalen Bildauswertung helfen, die Konstruktion des Bauwerks zu erfassen und digital darzustellen.

Die Erfahrungen der vergangenen Jahre und die aktuellen Forschungs- und Anwendungsergebnisse haben gezeigt, dass der gezielte Einsatz neuer Zugangstechniken in Verbindung mit (teil-)automatisierter digitaler Bildauswertung einen wichtigen Beitrag für eine qualitativ hochwertige Zustandserfassung und -bewertung unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Finanz- und Personalmittel liefern kann.

So erzeugen Laserscanner-Verfahren und der Einsatz von UAS sehr schnell und mit hoher Detailgenauigkeit Bildaufnahmen der Oberflächen von Tunnelinnenschalen bzw. von Brückenbauwerken in digitaler Form. Dieses erleichtert auch die Verfolgung von Schadensveränderungen über die Zeit.

Dabei gilt es aber zu beachten, dass die neuen Techniken limitierenden technischen Randbedingungen unterliegen. So ist z.B. der Einsatz von Thermografie im Tunnel sehr stark vom örtlichen, nicht beeinflussbaren Temperaturgefälle abhängig. Der Einsatz von Coptern wiederum ist aufgrund der derzeitigen Akku-Kapazitäten (noch) zeitlich sehr stark limitiert und vor allem thermische Effekte beeinflussen sehr stark, wie dicht ein Bauwerk angefliegen werden kann. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf z.B. auf dem Gebiet der Lageerfassung und –stabilisierung des Flugsystems.

Neben diesen technischen Fragestellungen gewinnen rechtliche Fragestellungen immer mehr an Bedeutung. Zurzeit existieren noch keine einheitlichen Regelungen über die Genehmigung und Durchführung von Flügen für kommerzielle Einsätze. Aufgrund der Tatsache, dass immer mehr kostengünstige Copter von Privatpersonen eingesetzt werden und dabei Einschränkungen bzw. Risiken für andere entstehen (siehe Behinderung bei Feuerwehreinsatz in USA bzw. Landeanflug von Flugzeugen) werden erhebliche Verschärfungen und somit Einschränkungen in den Fachkreisen diskutiert und entsprechende Regelwerke erarbeitet. Hierbei ist zu hoffen, dass die notwendigen rechtlichen Regelungen und der damit verbundene Mehraufwand im Vorfeld den Einsatzes dieser neuen Technik nicht wirtschaftlich zu sehr belastet. Denn die technischen Möglichkeiten sind sehr vielversprechend und die Situation des Straßennetzes (Alter, Zustand, Art und Umfang des Verkehrs) erfordert einen optimierten Finanzmittel- und Personaleinsatz, damit auch zukünftig die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems Straße gewährleistet werden kann.

5 Referenzen

- [1] DIN 1076, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen – Überwachung und Prüfung, Deutsches Institut für Normung, 1999, Berlin
- [2] RI-EBW-PRÜF, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076, Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, 2013, Bonn
- [3] Gößmann/Sperber, Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie, Forschungsprojekt FE 15.602/2014/LRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, laufend, Köln