



Technische
Universität
Dresden

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



35. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

18. UND 19. MÄRZ 2026

© 2026 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von Dritten frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Tagungsorganisation:

Ausstellungsorganisation:

IT:

Social Media:

Jana Müller-Strauch

Harald Michler, David Sandmann

Matthias Zagermann

Stefan Gröschel, Jana Müller-Strauch

Titelbild: Gerüst für die Gueuroz-Brücke, errichtet von dem Gerüstbauer Richard Coray. Foto: Büro A. Sarrasin (Archiv Philippe Mivelaz)

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

Tagungsband 35. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e.V.
TUDIAS GmbH

18. und 19. März 2026

Inhaltsverzeichnis

Grußwort.....	9
<i>Regina Kraushaar Sächsische Staatsministerin für Infrastruktur und Landesentwicklung</i>	
Nationale Ergänzung des Brückenregelwerks – Hintergründe und Umsetzung	11
<i>Prof. Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Mehr Tempo für die Brückenmodernisierung durch funktionale Ausschreibungen, Schnellbauverfahren und serielles Bauen	21
<i>Dr.-Ing. Karlheinz Haveresch, Dipl.-Ing. Manuela Poschau</i>	
Brückenverstärkungen mit CFK-Lamellen – Bemessung und Überbau mit Asphalt	29
<i>Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Finckh, Dipl.-Ing. (FH) Florian Eberth</i>	
Weiternutzung historischer Eisenbahngewölbebrücken – eine nachhaltige Alternative zum Neubau	39
<i>Conrad Pelka M.Sc., Dipl.-Ing. Jenny Keßler, Prof.-Dr.-Ing. Steffen Marx</i>	
Spannungsrissskorrosion und sicherer Weiterbetrieb – ein ganzheitlicher Ansatz für die Elbebrücke Bad Schandau ...	51
<i>Dr.-Ing. Steffen Müller, Dr.-Ing. Oliver Mosig, Dipl.-Ing. Andreas Gruner, Christina Fritsch, M.Sc., Dr.-Ing. Gregor Schacht, Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx</i>	
Entwicklung, Umsetzung und Betrieb des geodätischen und faseroptischen Monitoringsystems der S-Bahn-Überbrückung am Bahnhof Stuttgart S21	61
<i>Prof. Dr.techn. Werner Lienhart, Dr.techn. Christoph M. Monsberger, Dipl.-Ing. Fabian Buchmayer, Dr.techn. Peter Bauer, Prof. Dr.-Ing. Christian Sodeikat, M.Sc. Sonja Gepperth, Prof. Dr.-Ing. Manfred Keuser</i>	
AR- und KI-gestützte Analyse von Schadensentwicklungen in der Bauwerksprüfung.....	73
<i>B. Eng. Jessica Steinjan, Dipl.-Ing. Jan-Derrick Braun, M. Sc. Lisa Freifrau von Rössing, M. Sc. Patrick Herbers, M. Eng. Bernhard Braun, M. Eng. Regina Panzer, Prof. Dr.-Ing. Markus König</i>	
Alexandre Sarrasin (1895–1976) – Stahlbetonbrücken in den Schweizer Alpen	81
<i>Dr. Philippe Mivelaz</i>	
Stabbogenbrücke Wustermark – altes Eisen mutig, radikal und nachhaltig neu verbaut	93
<i>Dipl.-Ing. Jörg Titel</i>	
A 45 Talbrücke Rinsdorf – innovativer Querverschub mit Pfeilern	103
<i>Dipl.-Ing. Ralf Schubart, Dipl.-Ing. Holger Klein, Dipl.-Ing. Wolfgang Schlensorg</i>	
Holz im Brückenbau – auf zu neuen Dimensionen im Straßenbrückenbau	113
<i>Dipl.-Ing. (FH) Frank Miebach</i>	
Zwischen Industriekultur und Natur – der „Sprung über die Emscher“	121
<i>Dipl.-Ing. Peter Sprinke, Jan Berwing, M.Sc., Asc. Prof. Dipl.-Ing. Arch Dirk Krolkowski, Dipl.-Ing. Arch Falko Schmitt, Dipl.-Ing., M.Sc. (Wirtsch.) Simone Kern</i>	
Friesenbrücke Weener – Europas größte Hub-Drehbrücke	131
<i>Dipl.-Ing. Stefan Schwede, Dipl.-Ing. Lorenz Haspel, Dr. ès sc. Jan Brütting, M.Eng. Lukas Hornberger, MSc. ETH Povilas Ambrasas, Dipl.-Ing. Andreas Menzel, Dipl.-Ing. Alexander Kröls, Dipl.-Ing. Jens Kögel, Dr.-Ing. Lutz Vogt, Dr.-Ing. Gregor Schacht</i>	
Krämerbrücke in Erfurt – 700 Jahre steinerne Brücke	143
<i>Dr.-Ing. Hans-Jörg Vockrodt</i>	
Vier Länder, viele Brücken, alles unter einem DACH – Brückenbauexkursion 2025	153
<i>Dipl.-Ing. Cedric Eisermann, Max Götze, M.Sc., Dipl.-Ing. Jakob Vogt</i>	
Neue Berliner Brücke in Duisburg auf der BAB 59	165
<i>Dipl.-Ing. Moritz Menge</i>	

Analyse und Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Brückenbau	169
<i>Prof. Dr.-Ing. Stephan Görtz, Thi Kim Dung Pham, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Udo Wiens, Dr.-Ing. Bianca Kern</i>	
Sydney Harbour Bridge Cycleway – eine außergewöhnliche Fahrradbrücke	173
<i>Dipl.-Ing. Peter Boesch, M.Sc. Long Bai, M.Sc. Angus Murray</i>	
Nachhaltige Fuß- und Radwegbrücken aus vorgespanntem Carbonbeton (CPC)	179
<i>Dipl.-Ing. Simon Liebl</i>	
Wirtschaftliche und ökologische Bewertung chloridbelasteter Brückenbauteile	183
<i>Dr.-Ing. Angelika Schießl-Pecka, Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Anne Rausch, Paul Steinmetz, M. Sc., Dr.-Ing. Marc Zintel</i>	
Ermüdung alter Bahnbrücken am Beispiel der Sihlbrücken im HB Zürich	187
<i>Daniel Grüter, Felix Gisler, Christian Uhlig</i>	
Verschub der gevouteten Cölvebrücke über aktiven Schienenverkehr	193
<i>Josef Teupe</i>	
Potenziale von Suffizienzstrategien im Umgang mit denkmalgeschützten, stählernen Bahnbrücken	197
<i>Dr.-Ing. Clara Jiva Schulte</i>	
EcoBuild Evaluator – ganzheitliche Nachhaltigkeit im Ingenieurbau am Beispiel Rheinbrücke Schierstein	203
<i>Dipl.-Ing. Sebastian Schultheis, Dipl.-Ing. Martin Ludwig</i>	
CFK-Spannlitzen für Betonbauteile im Brückenbau.....	207
<i>Dipl.-Ing. Johannes Schleiss, Dr.-Ing. André Seidel, Dr.-Ing. Danny Friese, Dr.-Ing. Paul Penzel, Prof. Dr.-Ing. Chokri Cherif</i>	
The new city bridge of Drammen (Norway)	213
<i>Birger Opgård, MSc Sivilingeniør, Mario Rando Campos, MSc ETSIIM, Architect Bartłomiej Halaczek, Architect Thor Olav Solbjør</i>	
Inserentenverzeichnis	220

AR- und KI-gestützte Analyse von Schadensentwicklungen in der Bauwerksprüfung

B. Eng. Jessica Steinjan, Dipl.-Ing. Jan-Derrick Braun | HOCHTIEF Engineering GmbH, Essen

M. Sc. Lisa Freifrau von Rössing, M. Sc. Patrick Herbers | Ruhr-Universität Bochum (RUB)

M. Eng. Bernhard Braun, M. Eng. Regina Panzer | BAST Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach

Prof. Dr.-Ing. Markus König | Ruhr-Universität Bochum (RUB)

Kurzfassung

Die Bauwerksprüfung in Deutschland steht vor einem Wandel, besonders bei Brücken, die regelmäßige Zustandsbewertungen erfordern. Alternde Strukturen, steigender Verkehr und höhere Sicherheitsanforderungen verlangen optimierte Prüfprozesse. Digitale Technologien wie KI, AR und digitale Zwillinge bieten Potenzial für eine konsistente Datengrundlage im prädiktiven Erhaltungsmanagement. Im BAST-Projekt Bridge Inspect wurde ein modulares Konzept mit KI-gestützter Schadenserkennung und AR-Visualisierung entwickelt, das eine objektive Bewertung erleichtert. Das Folgeprojekt BRIX nutzt KI-basiertes Bildmatching, um Schäden wiederzuerkennen und in Laserscan-Punktwolken zu verorten. So entsteht die Basis für eine chronologische Analyse von Schadensbildern. Veränderungen werden durch Segmentationsmasken in Zeitreihen dargestellt, um fundierte Prognosen zu ermöglichen.

1 Einleitung und Motivation

Die Bauwerksprüfung in Deutschland steht vor grundlegenden Herausforderungen: Alternde Infrastrukturen, steigende Verkehrsbelastungen und wachsende Anforderungen an Sicherheit und Nachhaltigkeit verlangen nach neuen, effizienteren Prüfprozessen. Besonders Brückenbauwerke als zentrale Elemente des Verkehrsnetzes müssen regelmäßig und zuverlässig bewertet werden, um die Sicherheit der Nutzer zu gewährleisten und die Lebensdauer der Bauwerke zu verlängern. Gleichzeitig sind die Ressourcen für Erhaltungsmaßnahmen begrenzt, was eine zielgerichtete Planung und Priorisierung unabdingbar macht.

Digitale Technologien wie künstliche Intelligenz (KI), Augmented Reality (AR) und der digitale Zwilling (DZ) bieten das Potenzial, die Bauwerksprüfung grundlegend zu verändern. Entscheidend ist dabei, dass diese Technologien nicht Selbstzweck bleiben, sondern als praxisnahe Werkzeuge in den Prüfprozess integriert werden und den Prüfenden vor Ort einen echten Mehrwert bieten.

Im Rahmen zweier Forschungsprojekte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BAST) – FE 69.0008/2020 (Bridge Inspect) [1] und FE 69.0017/2023 (BRIX) [2] – wurde ein modulares System entwickelt, das aus einzelnen Systemmodulen besteht und KI-gestützte Schadensanalyse, AR-Visualisierung sowie die Integration in den digitalen Zwilling vereint. Die Systemmodule wurden gezielt unter realen Bedingungen an einem Referenzprojekt evaluiert. Ziel war es, die Praxistauglichkeit und den Nutzen der entwickelten Lösungen für das Erhaltungsmanagement und die Bauwerksprüfung zu überprüfen.

Das modulare System ermöglicht die Zusammenführung verschiedener Datenquellen (z. B. SIB-Bauwerke, Daten

der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB), Sensordaten) im digitalen Zwilling und schafft damit die Grundlage für eine prädiktive, vorausschauende Instandhaltung. Die Forschungsvorhaben leisten so einen konkreten Beitrag zur Digitalisierung und Zukunftssicherung der Bauwerksprüfung im Brückenbau und zeigen, wie innovative Technologien praxisnah eingesetzt werden können, um die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Infrastruktur langfristig zu gewährleisten.

2 Zielsetzung

Die klassische Bauwerksprüfung nach DIN 1076 [3] basiert bislang überwiegend auf manuellen, visuellen Inspektionen und subjektiven Bewertungen. Frühere Projekte wie Bridge Inspect haben gezeigt, dass digitale Methoden – insbesondere KI-basierte Bildauswertung, digitale Modelle und erste AR-Anwendungen – grundsätzlich geeignet sind, die Effizienz und Objektivität der Bauwerksprüfung zu steigern (Bild 1). Für eine breite



Bild 1: Schadensvisualisierung mittels AR

Foto: RUB

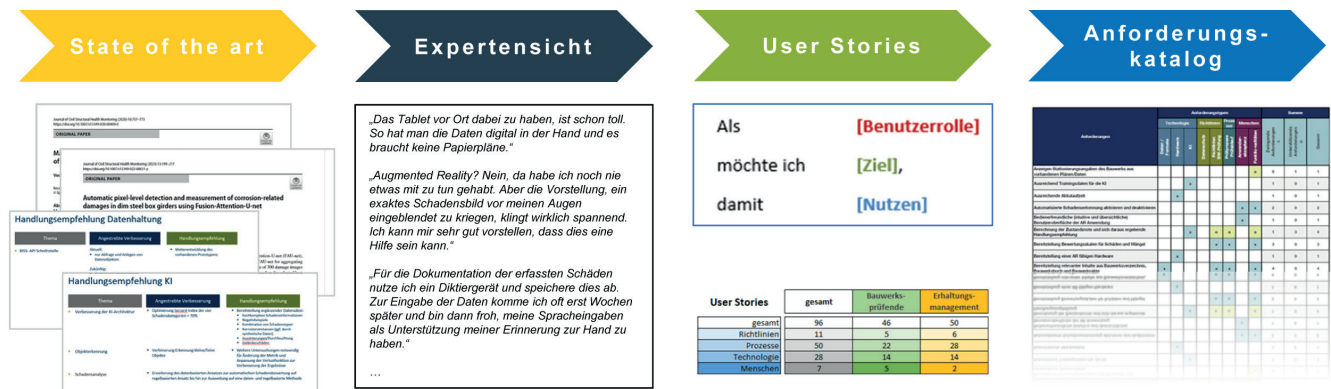


Bild 2: Vorgehen bei der Anforderungsanalyse

Grafik: HOCHTIEF Engineering GmbH

Anwenderakzeptanz ist jedoch eine reibungslose Integration der Technologien in die Praxis erforderlich, insbesondere durch die Verknüpfung verschiedener Datenquellen und die Einhaltung relevanter Normen.

Das aktuelle Forschungsvorhaben BRIX baut hierauf auf und verfolgt das Ziel, ein modulares und praxisorientiertes System zu entwickeln, das aus einzelnen Systemmodulen besteht und die KI-gestützte Schadensanalyse und AR-Visualisierung vereint. Die Systemmodule ermöglichen eine automatisierte und präzise Verortung von Schäden in einem digitalen Zwilling und die Verknüpfung mit weiteren Datenquellen, um eine konsistente und langfristig nutzbare Dokumentation des Bauwerkszustands sicherzustellen.

Ein zentrales Innovationsziel ist die Prognose der Schadensentwicklung: Durch den Einsatz von KI-Methoden werden historische und aktuelle Schadensdaten analysiert, um die Entwicklung von Schäden über die Zeit hinweg für die Prüfenden aufzubereiten und zukünftige Entwicklungen abzuleiten. Dies schafft die Grundlage für eine vorausschauende und datenbasierte Instandhaltungsplanung.

Die Systemmodule wurden gezielt unter realen Bedingungen an einem Referenzprojekt evaluiert, um die Praxistauglichkeit und den Nutzen für das Erhaltungsmanagement und die Bauwerksprüfung zu überprüfen. Das Projekt leistet damit einen Beitrag zur Digitalisierung und Zukunftssicherung der Bauwerksprüfung im Brückenbau und schafft die Basis für eine objektive, effiziente und nachhaltige Erhaltung von Infrastruktur.

3 Anforderungsanalyse

Im Forschungsvorhaben BRIX wurde ein mehrstufiges Verfahren zur systematischen Ermittlung und Strukturierung der Anforderungen an ein digitales, praxistaugliches System für die Bauwerksprüfung angewandt. Ausgangspunkt war eine umfassende State-of-the-Art-Analyse, in der aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse, bestehende Regelwerke und technologische Entwicklungen im Bereich der Bauwerksprüfung zusammengetragen und bewertet wurden. Aufbauend auf dieser Bestandsaufnahme wurden gezielt Experteninterviews

sowie ein Anwenderworkshop durchgeführt, um die tatsächlichen Bedürfnisse und Herausforderungen aus der Praxis zu erfassen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden in Form von *User Stories* dokumentiert und in einen detaillierten Anforderungskatalog überführt, der die Grundlage für die Entwicklung der Systemmodule bildete.

Die Anforderungen an das modulare System lassen sich im Wesentlichen aus zwei Perspektiven beschreiben.

Zum einen ist dies die Sicht des Erhaltungsmanagements, das eine konsistente Bewertung von Schäden und eine strukturierte Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen fordert. Hierbei ist die Integration neuer digitaler Werkzeuge in bestehende Entscheidungsprozesse ebenso wichtig wie die Sicherstellung normgerechter Bewertungen und Berichte gemäß DIN 1076 [3] sowie weiterer relevanter Regelwerke wie der Nachrechnungsrichtlinie [4], RiZ-ING [5] und ZTV-ING [6]. Besonders für ältere Bauwerke müssen spezifische Anforderungen berücksichtigt und gegebenenfalls vereinfachte Berechnungsverfahren integriert werden, um deren Besonderheiten gerecht zu werden. Die digitale Zusammenführung und Analyse von Prüfberichten und Schadensdokumentationen ist notwendig, um daraus vorausschauende Wartungsstrategien ableiten zu können. Dabei spielen Umweltfaktoren, Baujahr, Belastung durch Schwerlastverkehr und spezifische Bauwerkstypen eine zentrale Rolle für die präzise Bewertung und Prognose potenzieller Schäden. Moderne Datenerfassungsmethoden wie fortschrittliche Sensorik und 3D-Modelle sind für eine umfassende Überwachung und Bewertung der Bauwerke unerlässlich und ermöglichen eine kontinuierliche Optimierung der Instandhaltungsstrategien.

Zum anderen stehen die Anforderungen der Bauwerksprüfung im Vordergrund, die darauf abzielen, Prüfende vor Ort optimal zu unterstützen. Hierzu gehören eine normgerechte, objektive und effiziente Zustandserfassung sowie die Unterstützung bei der Bewertung und Dokumentation von Bauwerkszuständen nach den relevanten Richtlinien. Der gesicherte Zugriff auf Regelwerke und Schadensbeispiele ist ebenso wichtig wie KI-basierte Funktionen zur Schadenserkennung und -bewertung. Die Möglichkeit, frühere und potenzielle Scha-

densbilder mittels Augmented Reality zu visualisieren, trägt zur besseren Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit bei. Perspektivisch wird auch eine automatisierte Berechnung der finalen Zustandsnote angestrebt, um subjektive Einflüsse weiter zu minimieren.

Für eine effiziente Unterstützung der Bauwerksprüfung sind Funktionen wie Foto- und Videoaufnahmen, moderne Erfassungsmethoden wie 3D-Fotos und GPS, Uploads und die Lokalisierung von Schäden erforderlich. Detaillierte Vorgaben zur Fotodokumentation – etwa hinsichtlich Perspektive, Entfernung und Richtung – gewährleisten eine konsistente und vergleichbare Datenerfassung. Darüber hinaus sind Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz des Systems, eine ergonomische Gestaltung der Anwendung und Geräte sowie die Berücksichtigung von Sicherheitsvorschriften und Datenschutzrichtlinien zentrale Anforderungen. Die Anwendung muss so gestaltet sein, dass sie die Bewegungsfreiheit der Prüfenden nicht einschränkt und auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktioniert.

Ein zentrales Ergebnis der Anforderungsanalyse ist die Erkenntnis, dass die entwickelten Systemmodule sowohl den technischen Möglichkeiten als auch den tatsächlichen Anforderungen der Anwender entsprechen müssen. Nur durch die strukturierte Identifikation und Katalogisierung der Anforderungen aus beiden Perspektiven kann ein modulares System entstehen, das praxisnah, flexibel und zukunftssicher die Bauwerksprüfung und das Erhaltungsmanagement unterstützt. Die enge Verzahnung von technischer Innovation und praktischer Anwendbarkeit bildet dabei die Grundlage für eine erfolgreiche Digitalisierung und nachhaltige Optimierung der Bauwerksprüfung im Brückenbau.

4 Herausforderungen

Die Implementierung neuer digitaler Technologien in der Bauwerksprüfung ist mit einer Reihe von Herausforderungen verbunden, die sowohl technischer als auch organisatorischer Natur sind. Ein zentrales Problem stellt die aktuelle Datenlage dar: Die vorhandenen Bestandsdaten, bspw. in der Datenbank SIB-Bauwerke, sind häufig heterogen, lückenhaft oder nicht ausreichend aktuell. Diese Ausgangssituation erschwert die konsistente und automatisierte Auswertung von Schadensentwicklungen erheblich. Die Integration und Verknüpfung verschiedener neuer und zusätzlicher Datenquellen – von klassischen Prüfberichten über Bild- und Laserscandaten bis hin zu Monitoring- und Sensordaten – ist technisch anspruchsvoll und erfordert standardisierte Schnittstellen sowie eine hohe Datenqualität.

Hinzu kommt, dass die Bauwerksprüfung bislang stark von der individuellen Erfahrung und Einschätzung der Prüfenden geprägt ist. Unterschiedliche Interpretationen, Dokumentationsstandards und Detailtiefen führen dazu, dass vergleichbare Schäden unterschiedlich erfasst und bewertet werden. Diese subjektiven Einflüsse erschweren nicht nur die Nachvollziehbarkeit und

Vergleichbarkeit von Prüfungen über die Zeit, sondern stellen auch eine erhebliche Hürde für die Entwicklung objektiver, KI-gestützter Auswertungsverfahren dar. Die Schaffung einer konsistenten und standardisierten Grundlage für die Erfassung, Bewertung und Dokumentation von Bauwerksschäden ist daher eine der zentralen Herausforderungen und zugleich eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Digitalisierung und Automatisierung der Bauwerksprüfung.

Auch die Akzeptanz neuer Technologien bei den Anwendern ist ein kritischer Erfolgsfaktor. Die Systemmodule müssen so gestaltet sein, dass sie intuitiv bedienbar sind und sich nahtlos in die bestehenden Arbeitsabläufe integrieren lassen. Die Praxistauglichkeit wurde daher gezielt im Rahmen des Referenzprojekts überprüft, um frühzeitig Rückmeldungen aus der Anwendung zu erhalten und die Lösungen entsprechend weiterzuentwickeln. Die ergonomische Gestaltung der Anwendung und der erforderlichen Geräte spielt dabei ebenso eine Rolle wie die Berücksichtigung von Sicherheitsvorschriften und Datenschutzrichtlinien.

Insgesamt zeigt sich, dass die erfolgreiche Einführung eines modularen Systems für die Bauwerksprüfung nicht allein von technologischen Innovationen abhängt, sondern maßgeblich von der Qualität und Struktur der zugrunde liegenden Daten, der Standardisierung der Prozesse und der Akzeptanz bei den Anwendern beeinflusst wird. Die Überwindung dieser Herausforderungen ist entscheidend, um das volle Potenzial von KI, AR und digitalen Zwillingen in der Bauwerksprüfung zu entfalten und eine nachhaltige Optimierung der Instandhaltungsstrategien zu ermöglichen.

5 Modulares Konzept

Das im Projekt BRIX entwickelte modulare Konzept überführt die Komplexität der Bauwerksprüfung in eine flexible, zukunftssichere und anwenderfreundliche Systemarchitektur. Ein modulares System bedeutet hier, dass klar abgegrenzte Systemmodule entwickelt werden, die unterschiedliche technologische Funktionen abdecken und sich zu einem Gesamtsystem kombinieren lassen. Diese Architektur erlaubt es, das System an projektspezifische Anforderungen anzupassen, einzelne Komponenten bedarfsweise auszutauschen oder zu erweitern und neue Datenquellen, Analyseverfahren oder Visualisierungsmethoden ohne Störung bestehender Abläufe zu integrieren. Die Module kommunizieren über standardisierte Schnittstellen; alle in der Inspektion erzeugten Daten können konsistent im 3D-Modell abgelegt werden und stehen für Analysen, Berichte und die Planung von Instandhaltungsmaßnahmen zur Verfügung (vgl. Systemübersicht in Bild 3).

Die **BridgeInspector-App** ist die zentrale Anwendung für die normgerechte Erfassung, Verwaltung und Bewertung von Schadensdaten gemäß DIN 1076 [3]. Sie unterstützt die Bauwerksprüfung vor Ort und im Büro mit klar strukturierten Workflows, validierten Eingangs-

befeldern und automatisierten Vorschlägen zur Schadensklassifizierung. Kernfunktion ist die präzise Verortung neuer und bestehender Schäden direkt im 3D-Modell des Bauwerks. Mit AR-fähigen mobilen Endgeräten werden Inspektionsbilder am Bauwerk aufgenommen, unmittelbar lokalisiert und mit Metadaten wie Perspektive, Entfernung und Blickrichtung hinterlegt, sodass die Fotodokumentation konsistent und vergleichbar bleibt. Über die App werden die weiteren Systemmodule SAM, LiLoc, Prognose orchestriert; die Ergebnisse fließen rückführbar in das Datenmodell und die Berichterstellung ein.

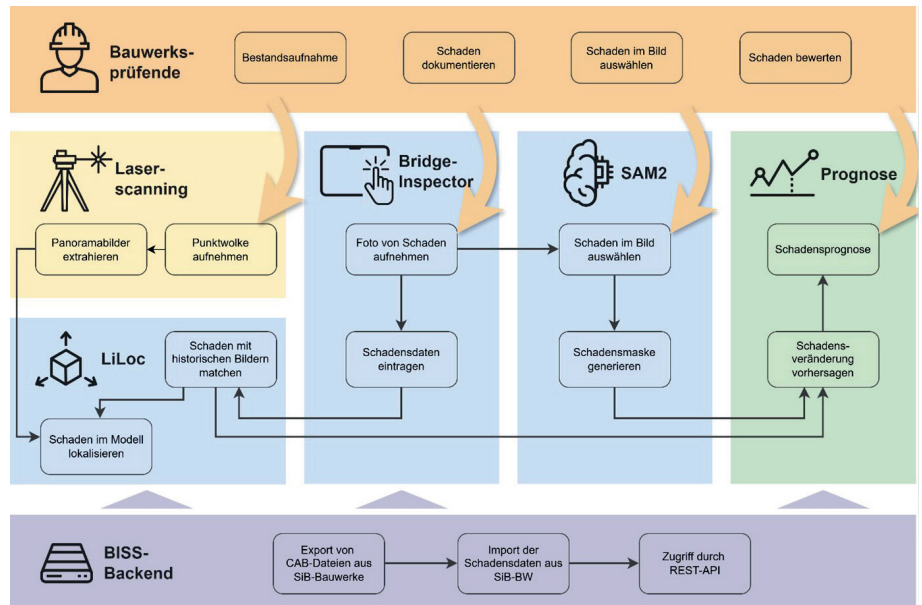


Bild 3: Modulares Systemkonzept der BAST-Forschungsvorhaben

Grafik: RUB

Das **Segmentationsmodell SAM** liefert präzise Schadensmasken als Grundlage für die objektive Abgrenzung und nachgelagerte Analyse von Schadensbereichen, z. B. Abplatzungen, Korrosion, Risse. Die Interaktion erfolgt über eine dedizierte Interaktionsumgebung, in der Prüfende Vorder- und Hintergrund markieren, um die Segmentierung gezielt zu steuern und die Ergebnisqualität zu sichern. Technisch arbeitet SAM auf einem lokalen Webserver; sensible Informationen verlassen damit nicht das Endgerät bzw. die geschützte Infrastruktur. Das Modul ist auf präzise, reproduzierbare Masken ausgelegt und erhöht die Vergleichbarkeit über Prüfzyklen hinweg. Die

von SAM erzeugten Masken werden zeitpunktbezogen im 3D-Modell gespeichert und stehen für Vergleich, Bewertung und Prognose zur Verfügung.

Das Modul **LiLoc** (*LiDAR localization*) nutzt KI-gestützte Bildmatchingverfahren, um Inspektionsbilder mit Panorambildern aus Laserscans abzugleichen (Bild 4). Diese KI-Netze ermöglichen präzise und effiziente Lokalisierungen in 3D-Modellen, indem Punktwolken aus Laserscans mit dem BIM-Modell abgeglichen werden. Diese Punktwolke bildet die reale Geometrie des Bauwerks

mit hoher Genauigkeit ab und dient als Referenz für die Schadensverortung und weitere Inspektionsdaten. Die automatische Verortung durch LiLoc ermöglicht es, Inspektionsbilder mit hoher Genauigkeit im 3D-Modell zu integrieren, wobei charakteristische Strukturen im Sichtbeton als visuelle Referenzpunkte für eine präzise Zuordnung dienen.

Die Feature-Extraktion erfolgt mit modernen Algorithmen wie XFeat [7], während das eigentliche Matching durch LightGlue [8] realisiert wird. Das System ist so optimiert, dass die Berechnung in Echtzeit auf handelsüblichen Tablets erfolgen kann – ein entscheidender Vorteil für die Praxis. Die Prüfenden müssen keine komplexen technischen Einstellungen vornehmen, sondern können sich auf die fachliche Bewertung konzentrieren.

Das Modul LiLoc bietet darüber hinaus die Möglichkeit, aktuelle

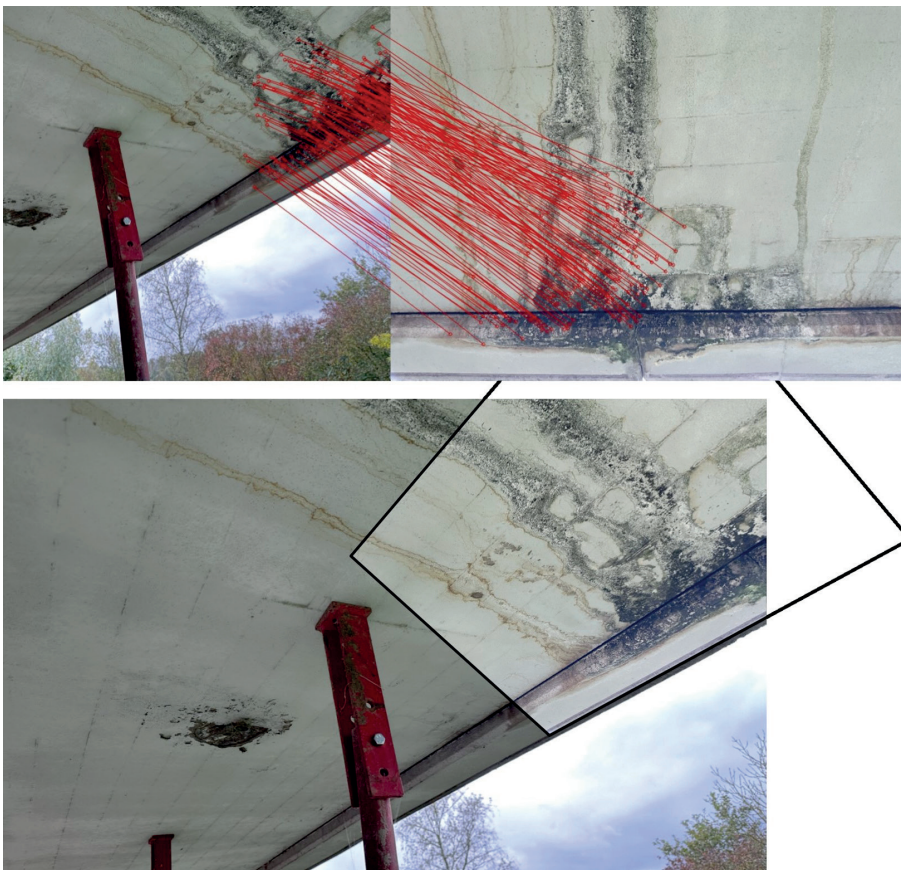


Bild 4: KI-basiertes Bildmatching anhand von Laserscans

Foto: RUB

und historische Schadensbilder zu vergleichen (Bild 5). Durch die Überlagerung der von SAM bereitgestellten Segmentationsmasken verschiedener Zeitpunkte werden Veränderungen in Form, Ausdehnung und Intensität eines Schadens sichtbar, was die Prüfenden bei der Bewertung der Schadensentwicklung unterstützt.

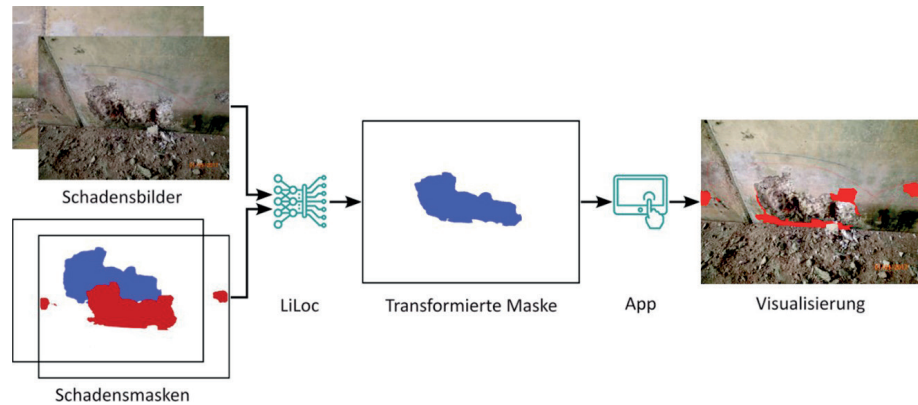


Bild 5: Konzept der Visualisierung der Schadensentwicklung

Grafik: RUB

Das Prognosemodul analysiert historische und aktuelle Schadenszustände, überlagert diese und prognostiziert mögliche Entwicklungen. Die Herausforderung dabei ist, eine konsistente und hochwertige Datengrundlage zu nutzen, um präzise und belastbare Vorhersagen zu treffen.

Insgesamt bietet das modulare Konzept von BRIX eine durchgängig digitale, objektive und prädiktive Bauwerksprüfung. Die Kombination aus 3D-Modell, Punktwolke, automatisierter Verortung und einer anwenderfreundlichen App schafft die Grundlage für eine nachhaltige und effiziente Instandhaltung von Brückenbauwerken.

6 Evaluation

Im Mittelpunkt der Evaluation stand die praktische Erprobung und Bewertung der entwickelten Systemmodule unter realen Bedingungen an einem Referenz-

projekt (Bild 6). Ziel war es, die Einsatzfähigkeit, Praxistauglichkeit und den Mehrwert der Systemmodule für das Erhaltungsmanagement und die Bauwerksprüfung umfassend zu überprüfen. Das ausgewählte Referenzprojekt war ein Brückenbauwerk in der Nähe von Karlsruhe, das zeitnah saniert werden sollte. Im ersten Schritt wurde das Bauwerk mittels Laserscantechnologie detailliert erfasst. Dabei entstanden hochauflösende Punktwolken und Panoramabilder, die als Grundlage für die digitale Verarbeitung und die Verortung von Schäden im 3D-Modell dienten. Die Schäden wurden vor Ort aufgenommen, verortet und anschließend mit der bestehenden Schadenshistorie abgeglichen. Besonders hervorzuheben ist, dass der Scan nicht nur dem Forschungsprojekt diente, sondern unmittelbar für das Erhaltungsmanagement genutzt wurde, um die Planung der Sanierung der Innenschale zu unterstützen.



Bild 6: Evaluierung unter realen Bedingungen bei einer Brückenbegehung

Foto: RUB

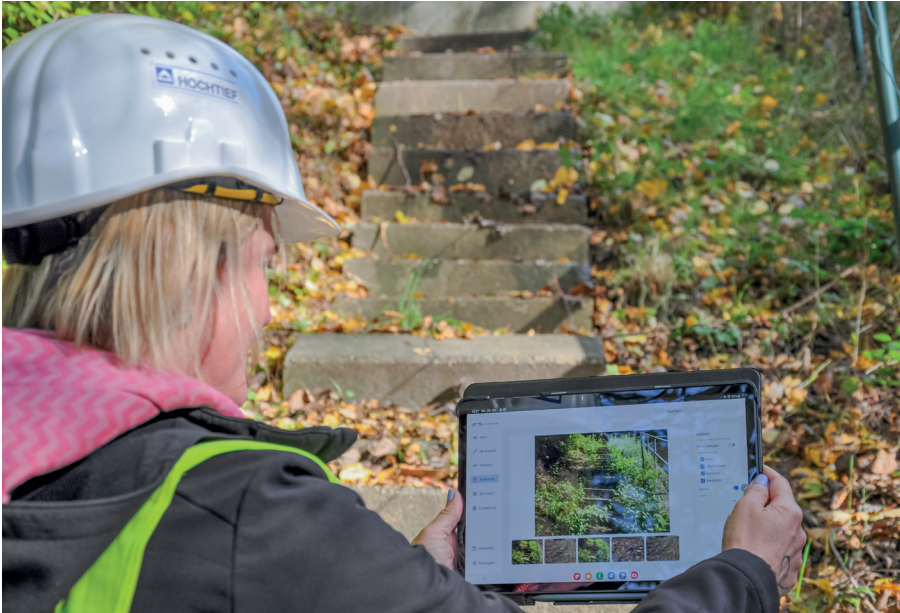


Bild 7: Schadensdokumentation mittels BridgeInspector-App

Foto: RUB

Die BridgeInspector-App kam bei der Erfassung neuer Schäden, deren Dokumentation und Bewertung zum Einsatz (Bild 7). Sie ermöglichte eine direkte Vor-Ort-Inspektion und überzeugte durch ihre intuitive Bedienbarkeit sowie die klar strukturierten Workflows. Die Prüfenden konnten sich auf die fachliche Bewertung konzentrieren, während technische Details durch die App automatisch gehandhabt wurden. Die Bedienoberfläche der App unterstützte die Prüfenden dabei, Inspektionsbilder direkt am Bauwerk aufzunehmen, digital zu lokalisieren und relevante Metadaten zu hinterlegen. Dies gewährleistete eine konsistente und vergleichbare Fotodokumentation.

Das LiLoc-Modul zeigte im Praxiseinsatz seine Stärken bei der automatisierten Verortung von Schadensbildern. Die KI-gestützten Matchingverfahren XFeat und Light-Glue erwiesen sich als robust gegenüber unterschiedlichen Prüfzyklen und variierenden Lichtverhältnissen. Diese Funktionen sind besonders wertvoll für die langfristige Dokumentation und Nachverfolgung von Schadensentwicklungen, ihre Analyse und die Ableitung von Instandhaltungsstrategien.

Das Segmentationsmodell SAM unterstützte die teilautomatisierte Generierung von Schadensmasken, was die präzise Abgrenzung und Klassifizierung von Schadensbereichen förderte. Besonders bei der Bewertung komplexer Schadensbilder wie Risse und Abplatzungen zeigte sich die Leistungsfähigkeit des Systems. Die Integration der Masken eröffnete den Prüfenden neue Möglichkeiten zur visuellen Darstellung und forensischen Analyse der Schäden vor Ort. Die zeitpunktbezogene Speicherung der Masken ermöglichte zudem den Vergleich von Schadensentwicklungen über mehrere Prüfzyklen hinweg.

Die Fachleute vor Ort waren aktiv in den Evaluationsprozess eingebunden und gaben direkt vor Ort Feedback zur Bedienbarkeit, zur Aussagekraft der Visualisie-

rungen und zur Integration der Systemmodule in ihre Arbeitsabläufe. Die Gesamtbewertung der Systemmodule unter realen Bedingungen zeigte eine deutliche Optimierung der Prüfprozesse hinsichtlich Zeitaufwand und Datenqualität. Die Module erzielten eine hohe Benutzerakzeptanz bei Bauwerksprüfenden, was sowohl auf die intuitive Bedienung als auch auf die robuste Funktionalität unter unterschiedlichen Bedingungen zurückzuführen ist.

Die Evaluation verdeutlichte zudem die Bedeutung eines digitalen Zwillings als visuellen Referenzrahmen. Dieser optimiert nicht nur die Dokumentation und Analyse von Schäden, sondern bietet auch die Grundlage für

belastbare Prognosen und ein prädiktives Erhaltungsmanagement. Die Ergebnisse der Evaluation dienen als solide Basis für zukünftige Weiterentwicklungen des Systems und unterstreichen die Möglichkeiten der digitalen Transformation der Bauwerksprüfung.

7 Handlungsempfehlungen

Die im Projekt BRIX gewonnenen Erkenntnisse aus der Entwicklung und praktischen Erprobung der Systemmodule führen zu einer Reihe von Handlungsempfehlungen, die sowohl die zukünftige Entwicklung als auch die praktische Anwendung digitaler Technologien in der Bauwerksprüfung maßgeblich beeinflussen können. Im Mittelpunkt steht dabei die nachhaltige Verbesserung der Prüfprozesse, die Qualität der Datengrundlage und die Akzeptanz neuer Technologien bei den Anwendern.

Die Qualität und Vergleichbarkeit der Schadensdokumentation ist entscheidend für die Objektivität und Nachvollziehbarkeit der Bauwerksprüfung. Es wird empfohlen, bestehende Prüfanweisungen gezielt zu erweitern – insbesondere hinsichtlich der Fotodokumentation. Klare Vorgaben zu Perspektive, Entfernung, Blickwinkel und Bildqualität sind notwendig, um sicherzustellen, dass Schäden konsistent und nachvollziehbar dokumentiert werden. Die Praxis zeigt, dass die Wiederverwendung vorhandener Bilder früherer Prüfungen zu Fehleinschätzungen führen kann. Daher sollte bei jeder Prüfung eine aktuelle, den tatsächlichen Zustand widerspiegelnde Fotodokumentation erstellt werden. Die Einführung von Richtlinien ist ein entscheidender Schritt, um die Qualität und Vergleichbarkeit der Daten zu sichern.

Kontinuierliche Schulungen und die Sensibilisierung der Prüfenden sind ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Nur wenn die Anwender ein tiefes Verständnis für die Bedeutung einer einheitlichen und qualitätsgesicherten Dokumen-

tation entwickeln, kann langfristig ein Datensatz entstehen, der als Grundlage für objektive Bewertungen und Prognosen dient. Es empfiehlt sich, regelmäßige Trainings und Workshops zu den eingesetzten Systemmodulen und zur digitalen Dokumentation durchzuführen. So wird die Akzeptanz neuer Technologien gestärkt und die Qualität der Prüfprozesse nachhaltig verbessert.

Im Bereich der Datenverarbeitung und -nutzung ist es essenziell, den Umgang mit den anfallenden Datenmen-gen klar zu regeln. Es muss definiert werden, welche Daten gespeichert, wie lange sie vorgehalten und wie sie für die Prognose und das Erhaltungsmanagement genutzt werden können und sollen. Nur durch eine strukturierte und qualitätsgesicherte Datengrundlage ist es möglich, in Zukunft belastbare Prognosen zur Schadensentwicklung zu erstellen. Aktuell werden Prognosen häufig noch mit synthetischen oder unvollständigen Daten durchgeführt – ein Zustand, der durch gezielte Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Anwendersensibilisierung verbessert werden muss.

8 Fazit

Die Zukunft der Bauwerksprüfung erfordert konsequente Digitalisierung, standardisierte Prozesse und kontinuierliche Weiterbildung der Anwendenden. Nur so lässt sich das Potenzial moderner Technologien vollständig nutzen und eine objektive, effiziente sowie nachhaltige Erhaltung sicherstellen. Die BRIX-Systemmodule verdeutlichen praxisnah, wie KI-gestützte Schadensanalyse, automatisierte Verortung und intuitive Visualisierung im digitalen Zwilling die Brückenprüfung transformieren können. Entscheidend für den Erfolg sind die Ausrichtung auf die Bedürfnisse der Praxis, die Integration in bestehende Systeme und die enge Zusammenarbeit aller Beteiligten.

Dank

Diesem Beitrag liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr (BMV), vertreten durch die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt), unter der FE-Nr. 69.0008/2020 abgeschlossenen und unter der FE-Nr. 69.0017/2023 laufenden Forschungs-

projekte zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autorinnen und Autoren. Wir bedanken uns bei den Mitgliedern des Betreuerkreises für ihre hilfreichen Hinweise und Rückmeldungen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, Hrsg.): Digitale Technologien, Zwischenbericht des Themenfeldes 4 im BMDV-Experten Netzwerk für den Zeitraum 2020–2022. Berlin, 2024.
- [2] Homepage der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt): https://www.bast.de/DE/Themen/Infrastruktur/HF_2/Massnahmen/mixed-reality-systeme.html. 2025. (Zugriff am 8.12.2025).
- [3] DIN 1076:1999-11: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung.
- [4] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, Hrsg.): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Ausgabe 05/2011, Download: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Entwurf/Nachrechnungsrichtlinie-Ausgabe-5_2011.html
- [5] Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt, Hrsg.): Richtzeichnungen für Ingenieurbauten. Ausgabe 05/2024, Download: <https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Entwurf/RiZ-ING-Gesamt.html>
- [6] Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt, Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING). Stand 02/2025, Download: <https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/ZTV-ING.html>
- [7] Potje, G.; Cadar, F.; Araujo, A.; Martins, R.; Nascimento, E. R.: XFeat: Accelerated Features for Lightweight Image Matching. In: Proc. of the 2024 IEEE/CVF Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) IEEE/CVF, Seattle, 2024, S. 2682–2691. <https://doi.org/10.1109/CVPR52733.2024.00259>
- [8] Lindenberger, P.; Sarlin, P.-E.; Pollefeys, M.: Light-Glue: Local Feature Matching at Light Speed. in: Proc. of 2023 IEEE/CVF Int. Conf. on Computer Vision (ICCV), Paris, 2023, S. 17581–17592. <https://doi.org/10.1109/ICCV51070.2023.01616>