



Themenkurzprofil Nr. 85
Dezember 2025

Brückensanierung als Innovationstreiber – Potenziale technischer Lösungen im Brückenbau

Christoph Bogenstahl

In Kürze

Die deutsche Brückeninfrastruktur steht vor erheblichen Herausforderungen: Viele Bauwerke der 1960er und 1970er Jahre sind überlastet und ihre prognostizierte Nutzungsdauer ist vielfach überschritten, was umfangreiche Sanierungen und Neubauten erforderlich macht. Der Investitionsbedarf wird auf bis zu 100 Mrd. Euro geschätzt. Jüngste Brückeneinstürze und Sperrungen verdeutlichen, wie akut die Situation mittlerweile ist, und unterstreichen die Notwendigkeit rascher Maßnahmen. Ein Großteil der Brücken wird voraussichtlich mit konventionellen Bauweisen saniert werden. Dennoch bietet sich auch die Möglichkeit, innovative, bereits anwendungsreife Technologien einzusetzen, um eine modernere, zukunftsfähigere Brückeninfrastruktur aufzubauen. So ermöglicht etwa Carbonbeton durch hohe Tragfähigkeit bei geringerem Materialeinsatz und Korrosionsbeständigkeit schlankere, langlebige Konstruktionen. Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck) ergänzen dies durch die Herstellung komplexer, funktionsintegrierter Bauteile. Digitale

Ansätze wie Building Information Modeling (BIM) und Structural Health Monitoring (SHM) fördern eine integrative Planung, Zustandsüberwachung und vorausschauende Instandhaltung, wodurch ein geschlossener Informationskreislauf vom Entwurf bis zur Betriebsphase entsteht. Der kombinierte Einsatz dieser Technologien kann die Ressourceneffizienz steigern, Bauzeiten verkürzen, Lebenszyklen verlängern und Materialeinsatz optimieren. Politisch bietet sich die Chance, durch innovationsfreundliche Beschaffung, Förderprogramme und Standardisierung die Einführung neuer Technologien zu beschleunigen. Ob und wann die Potenziale der verschiedenen technischen Innovationen vollumfänglich gehoben werden können, ist gegenwärtig unklar. Es gibt noch diverse Herausforderungen zu lösen, wie beispielsweise die Senkung von Herstellungskosten, Skalierung von Produktionsverfahren oder die Anpassung regulatorischer Rahmenbedingungen.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Die deutsche Brückeninfrastruktur weist einen erheblichen Reparaturstau auf. Viele in den 1960er und 1970er Jahren errichtete Brücken¹ sind angesichts der heutigen Verkehrsbelastung – insbesondere durch schwere Lkw und das gestiegene Verkehrsaufkommen – oft überlastet. Die ursprünglich prognostizierte Nutzungsdauer von ca. 50 Jahren wurde vielfach überschritten (BUND 2024), sodass Neubauten oder dringende Sanierungen erforderlich sind. Der Bundesrechnungshof schätzt, dass ein Drittel der insgesamt 27.915 Teilbauwerke² des Autobahnnetzes sowie jedes siebte Bauwerk an Bundesstraßen modernisiert werden müssen und spricht von einer „Bugwelle“ an zu sanierenden Brücken (BRH 2025b, S. 28). Der Investitionsbedarf für die Brückeninfrastruktur wird auf bis zu 100 Mrd. Euro für rund 16.000 Brücken³ beziffert (Hochwarth 2025a; T&E 2025). Jüngste Brückeneinstürze und -sperrungen (wie in Dresden, Berlin und Magdeburg) unterstreichen die Dringlichkeit des Handlungsbedarfs (Die Zeit 2025). In einer aktuellen Studie wurden für fünf Brücken die volkswirtschaftlichen Schäden einer Vollsperrung berechnet (Henn 2025). Bei einer Sperrung der Norderelbbrücke an der A1 in Hamburg lägen diese etwa bei 334 Mio. Euro pro Jahr. Aufgrund von Umleitungen müssten unter anderem rund 150 Mio. zusätzliche Kilometer mit dem Pkw gefahren werden (Köllermeier et al. 2025).

Das deutsche Brückenmodernisierungsprogramm hat die Sanierung und Ertüchtigung von etwa 10.700 Brückenteilbauwerken auf einem 7.000 km langen Kernnetz der Bundesfernstraßen zum Ziel. Finanziert werden alle zur Realisierung angemeldeten Maßnahmen kontinuierlich durch Bundesmittel, wobei zur Priorisierung und Umsetzung der Maßnahmen eine enge Abstimmung zwischen Bundesverkehrsministerium, Straßenbauverwaltungen der Länder und der Autobahn GmbH vonnöten ist. Dem Bund stehen aus dem Sondervermögen für Infrastrukturmaßnahmen und Klimaneutralität finanzielle Mittel in Höhe von 500 Mrd. Euro für Infrastrukturprojekte zur Verfügung (BRH 2025b; tagesschau.de 2025).

Obwohl noch nicht eindeutig beziffert werden kann, welcher Anteil des Sondervermögens für die Sanierung von Brücken auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene verausgabt wird,

macht der genannte Investitionsbedarf deutlich, dass eine funktionstüchtige, resiliente Brückeninfrastruktur eine hohe gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Bedeutung hat. Voraussichtlich wird der Großteil der zu sanierenden oder neu zu bauenden Brücken in herkömmlicher Bauweise ausgeführt werden. Dabei dürfte es sich vor allem um Bauwerke in Spannbetonbauweise handeln, da dies unter den Bestandsbauten die häufigste Ausführung ist (BMVI 2020a). Aber perspektivisch können innovative Technologien – wie Carbonbeton, modulare Bauweisen, additive Fertigung, dreidimensionale Modellierung (BIM) sowie digitale Zwillinge und KI-gestütztes Monitoring (SHM) – einen wichtigen Beitrag zu einer zukunftsfähigen Infrastruktur leisten. Die Erwartungen, die für die Brückensanierung zur Verfügung stehenden Mittel auch für innovativere Ansätze im Brückenbau⁴ zu nutzen, wurden vielfach artikuliert (Hiltscher/Kunze 2025; Rieken 2025).

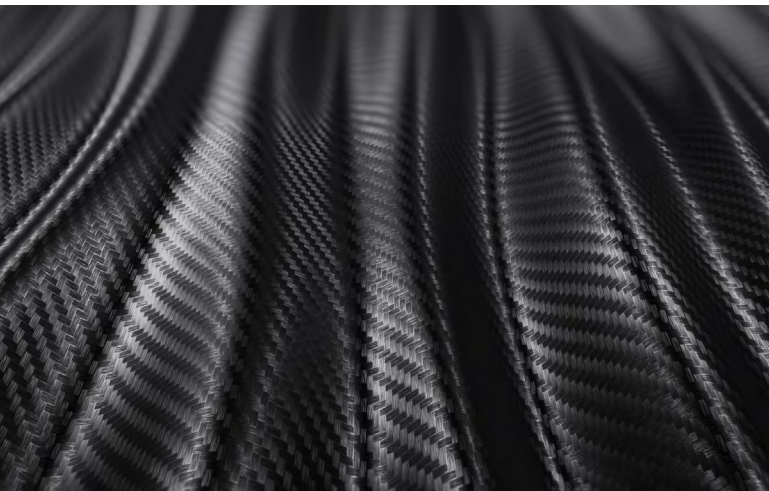
Carbonbeton

Carbonbeton ist ein innovativer Verbundstoff für den Bewehrungen aus korrosionsbeständigen Kohlenstofffasern statt aus Stahl verwendet werden.

Da Carbonbeton etwa viermal leichter und bis zu sechsmal tragfähiger als Stahlbeton ist, können so deutlich leichtere und zugleich tragfähigere Bauelemente hergestellt werden (DBZ 2016). Zudem ermöglicht Carbonbeton, bei der Instandsetzung von Brücken die Schichtdicke der zur Sanierung aufgetragenen Betonschicht auf 2 cm zu verringern, während Stahlbeton für vergleichbare Anwendungen 7 bis 8 cm erfordert. Einerseits spart diese Materialreduktion Ressourcen, andererseits werden aufgrund der Korrosionsbeständigkeit bei Carbonbetonbrücken erheblich längere Lebensdauern erwartet (Ziesche 2025). Carbon kann nicht nur als Bewehrung in Beton verwendet werden, sondern auch zur Vorspannung⁵ von Betonstrukturen. Diese Technologie wird als Carbon Prestressed Concrete (CPC) bezeichnet. Die Vorspannung steigert die Tragfähigkeit zusätzlich und verhindert unerwünschte Verformungen und Rissbildungen selbst bei hohen Belastungen (Hochwarth 2025b). Im Ergebnis lassen sich filigrane, ressourcenschonende Konstruktionen realisieren, was aus architektonischer und ökologischer Sicht von Vorteil ist. Die Herstellung von Carbonfasern verursacht zwar mehr CO₂-Emissionen und Energieaufwand als herkömmlicher Stahl, jedoch wird dieser Nachteil durch eine deutlich reduzierte Materialmenge und die längere Lebensdauer überkompensiert. Der Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE 2023) setzt sich dementsprechend für das nachhaltige Bauen mit Carbonbeton ein. Auch der kürzlich verliehene Nobel Sustainability Academic

1 Die Verantwortung für Brücken ist in Deutschland nach Trägerschaft aufgeteilt: Der Bund verwaltet Brücken an Bundeswasser- und Bundesfernstraßen (Autobahnen und Bundesstraßen), die Länder sind für Brücken an Landesstraßen und Landeswasserstraßen zuständig, und die Kommunen (Gemeinden und Landkreise) unterhalten Brücken auf kommunalen Straßen und Wegen (BRH 2025a).
2 Brücken an Bundesfernstraßen können aus mehreren Teilbauwerken bestehen, beispielsweise hat üblicherweise jede Fahrtrichtung ein eigenes Brückentragwerk. Der Begriff Modernisierung umfasst alle baulichen Eingriffe zur Verstärkung einer Brücke sowie deren Teil- oder gänzliche Erneuerung mit Anpassung an aktuelle technische Standards (BRH 2025b).
3 Die genaue Zahl an Brücken, die saniert, verstärkt oder ersetzt werden müssen, ist nicht bekannt, da beispielsweise kommunale Brücken nicht zentral erfasst werden. Auch die Gesamtzahl aller deutschen Brücken ist nicht bekannt; sie wird auf 130.000 geschätzt (Hiltscher/Kunze 2025).

4 Innovative Bauweisen im Brückenbau werden unter anderem beim Deutschen Brückenbaupreis (Bayika 2025) oder in wissenschaftlichen Beiträgen (Azanaw 2025) beschrieben. Einen Überblick über innovative Bauweisen allgemein bietet auch die TAB-Studie „Innovative Technologien, Prozesse und Produkte in der Bauwirtschaft“ (TAB 2022).
5 Die Vorspannung ist eine künstlich erzeugte Druckspannung und vermindert unter anderem die spätere Rissbildung, erhöht die Tragfähigkeit und verbessert die Steifigkeit (Hochwarth 2025b).



Award 2025⁶ für die Forschung an umweltfreundlichem Carbonbeton ist ein Indiz für das ökologische Potenzial von Carbonbeton (Kästner 2025): Der Preisträger der TU Dresden wurde durch das Komitee für seine führende Rolle bei der Entwicklung von umweltfreundlichem Carbonbeton ausgezeichnet (NST 2025).

Der Einsatz von Carbonbeton wurde bereits in mehreren Praxisprojekten erprobt. Ein frühes Beispiel ist die weltweit erste stahlfreie Carbonbetonbrücke, die 2015 in Albstadt-Ebingen errichtet wurde und mit 15 m Spannweite vollständig vorgefertigt ist (Rechenbach 2017). Weitere Pilotanwendungen, etwa beim Neubau der Oderbrücke Küstrin-Kostrzyn, zeigen das Potenzial vorgespannter Carbonzugglieder, die konventionelle Stahlkabel ersetzen und dabei rund 600 t Material einsparen konnten (BBIK 2025; MIL 2025). Auch modulare Behelfsbrücken aus Carbonbetonfertigteilen wurden erfolgreich unter realen Bedingungen getestet (RWTH 2025). Mit der Veröffentlichung einer neuen Richtlinie zu nicht metallischen Bewehrungen durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) im Jahr 2024 wurden wichtige rechtliche und technische Grundlagen für den Einsatz von Carbonbeton geschaffen. Die bisher erforderliche „Zustimmung im Einzelfall“ entfällt nun, was Planung und Anwendung deutlich vereinfacht (Solidian Kelteks 2025).⁷

Einer weiteren Verbreitung von Carbonbeton stehen unter anderem die noch vergleichsweise hohen Herstellungskosten entgegen. Carbonbeton kostet in der Produktion etwa das 20-Fache von Stahlbeton. Auch in Bezug auf die Recyclingfähigkeit fehlen noch Erfahrungswerte aus der Praxis. Laut Angaben des sächsischen Innovationsclusters C³ kann Carbonbeton mit marktüblichen Recyclinganlagen recycelt und bis zu 98 % der Bewehrung aus Kohlenstofffasern zurückgewonnen werden (Carbon

Concrete Composite o. J.). Jedoch war das Recycling von mit Carbonbeton sanierten Bauteilen der Dresdner Carolabrücke ökonomisch nicht sinnvoll (Ziesche 2025).⁸

Modulare und serielle Fertigbauteile

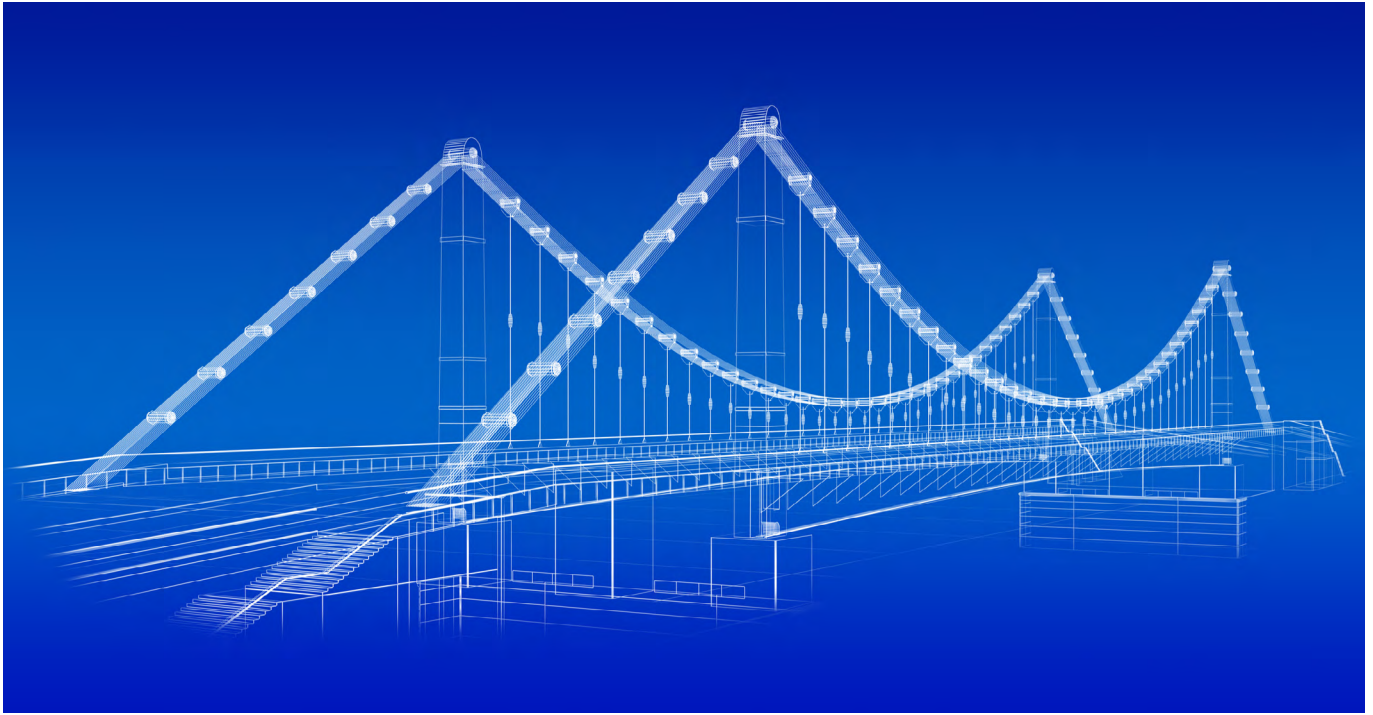
Modulares und serielles Bauen beschreibt Bauweisen, bei denen Bauwerke nicht als Einzelstücke, sondern in industriellen Fertigungsprozessen seriell hergestellt und/oder nach dem Baukastenprinzip modular zusammengesetzt werden (TAB 2022). Die Grenzen zwischen modularer und serieller Bauweise sind dabei fließend, da serielles Bauen ebenfalls häufig auf vorgefertigte Bauelemente zurückgreift. Besonders im Brückenbau bieten diese Ansätze Innovationspotenziale. Typische Brücken bestehen aus sich wiederholenden Elementen wie Überbauten, Trägern oder Pfeilern – ideale Voraussetzungen für industrielle Vorfertigung. Modulare Systeme bieten damit einen vielversprechenden Ansatz, schneller und kostengünstiger zu bauen sowie Prüfungs- und Genehmigungsverfahren zu reduzieren (Bayika 2024). Im Gegensatz zum traditionellen Bau, bei dem ein Großteil der Arbeiten vor Ort erfolgt, wird beim modularen Bauen der überwiegende Teil der Arbeit in einer kontrollierten Fabrikumgebung ausgeführt. Durch die Montage vorgefertigter Brückenmodule, beispielsweise komplette Fahrbahnplatten oder Trägersysteme, lassen sich die Bauzeiten vor Ort deutlich verkürzen und dadurch Verkehrsstörungen reduzieren (BMWSB 2023; CORDIS 2017). Gleichzeitig ermöglicht die standardisierte Fertigung eine konsistente Qualitätssicherung, eine höhere Lebensdauer der Bauelemente, Kosteneffizienz, Ressourcenschonung und eine wirtschaftlich optimierte Lebenszykluskostenbilanz (BBSR 2022; Die Autobahn GmbH des Bundes 2025; Gengnagel/Jürgens 2025).

Pilotprojekte der letzten Jahre zeigen die Vorteile modularer Fertigung eindrucklich (RWTH 2025; VBI 2025). Beispielsweise hat die Autobahn GmbH des Bundes im Autobahnkreuz Hilden Anfang 2025 ein Pilotprojekt gestartet, bei dem vorgefertigte, direkt befahrbare Modulplatten eingesetzt werden. Der Ersatzneubau soll bis Ende 2027 unter Aufrechterhaltung des Verkehrs bei reduzierter Geschwindigkeit fertiggestellt werden. Ziel ist es, durch die Vorfertigung die Bauzeit zu verkürzen und die Eingriffe in den Verkehr zu verringern, was Staus und Umweltbelastungen insbesondere durch CO₂-Ausstoß reduziert (Die Autobahn GmbH des Bundes 2025; Rieken 2025). Die witterungsunabhängige Fertigung und Just-in-Time-Anlieferung tragen zur Erhöhung der Bauqualität und Langlebigkeit der Konstruktion bei (Die Autobahn GmbH des Bundes 2025).

⁶ Mit den Nobel Sustainability Trust Sustainability Awards werden Einzelpersonen, Organisationen und Unternehmen für herausragende Beiträge zur Nachhaltigkeit mit Fokus auf Innovation für saubere Technologien, Klimaschutz und lebenswerte Umwelt basierend auf den UN-Zielen für Nachhaltigkeit geehrt.

⁷ <https://www.bau-klimaneutral.de/artikel/dafstb-richtlinie-betonbauteile-nichtmetallische-bewehrung/>

⁸ Zur Sanierung wurde lediglich in der obersten Bewehrungslage Carbonbeton eingesetzt. Dieser machte insgesamt weniger als 0,01 % des Gesamtgewichts der Brücke aus. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wurde von einem Recycling abgesehen (Ziesche 2025).



Die Grenzen des Ansatzes liegen in der Transportlogistik großer Module, der Anpassungsfähigkeit an komplexe Geometrien sowie in der Notwendigkeit, innovative modulare Verbindungstechnologien zu entwickeln, die die Stabilität und Sicherheit der Brückenkonstruktion gewährleisten. Die Stabilität einer Brücke hängt letztlich davon ab, wie die Module vor Ort zu einem Gesamttragwerk verbunden werden und ob die Lasten dabei kontinuierlich und zuverlässig übertragen werden – was in der modularen Fertigung eine besondere Herausforderung darstellt. Die erfolgreiche Umsetzung erfordert zudem eine enge Zusammenarbeit zwischen Planungsbüros und Bauunternehmen in frühen Phasen (Gengnagel/Jürgens 2025). Spezifische Normen für den modularen Brückenbau existieren nicht, es sind insbesondere die allgemeinen Normen – unter anderem DIN 1072 – zu berücksichtigen. Überwiegend gelten die allgemeinen Bauvorschriften der jeweiligen Landesbauordnungen. Neue Typengenehmigungen⁹ und die Musterbauordnung bieten erste Erleichterungen und tragen in Ansätzen zu einer bundesweiten Harmonisierung bei (Lüttgau et al. 2022).

Modulares und serielles Bauen eröffnen im Brückenbau Potenziale für eine deutlich verkürzte Bauzeit vor Ort, Ressourcenschonung und Qualitätssteigerung durch einen hohen Vorfertigungsgrad. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Fertigteile derzeit oft noch teurer sind als die gängigen Ort betonlösungen und sich wirtschaftlich erst rechnen, wenn Module mehrfach

verwendet werden können. Zudem ist die Verfügbarkeit echter Modulbauteile im Brückenbau und damit einhergehend die konstruktive Vielfalt derzeit noch begrenzt; der modulare Brückenbau ist in der Praxis noch nicht weit verbreitet (Gengnagel/Jürgens 2025; IngenieurGruppe Bauen 2025).

Additive Fertigung (3D-Druck)

Die additive Fertigung, insbesondere der 3D-Druck mit Beton, eröffnet im Bauwesen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Mit speziellen, faserverstärkten Betongemischen lassen sich Schicht für Schicht Bauwerke errichten, was neue architektonische Gestaltungsspielräume bietet und vergleichsweise schnelle Bauprozesse ermöglicht.

Es gibt bereits mehrere Praxisbeispiele: In Deutschland wurde 2020 das erste Wohnhaus mit einem 3D-Betondrucker gedruckt (Goldmann 2020). In den Niederlanden wurde in Nijmegen die erste 3D-gedruckte Betonbrücke für Radfahrer errichtet (fertiggestellt 2021). Die 29 m lange Brücke wurde ohne Bewehrungs-eisen gedruckt. Sensoren überwachen die strukturelle Integrität in Echtzeit. In Venedig entstand eine recycelbare Fußgängerbrücke, die ohne Armierungsstahl und Mörtel auskommt. Die additiv gefertigten Betonbausteine stabilisieren sich durch ihre spezielle Geometrie selbst – inspiriert vom Prinzip alter Steinbrücken – und sind vollständig trenn-, wiederverwend- und recycelbar (Bayika 2021). Additive Verfahren finden zudem Anwendung in der Brückensanierung. So konnte die fast abtrissreife Stahlbrücke „Red Bridge“ in Massachusetts durch Kaltgasspritzen instandgesetzt werden. Korrosionsbedingte Schäden wurden präzise vor Ort ergänzt, ohne die Konstruktion komplett zu ersetzen (Kempkens 2025).

⁹ Typengenehmigungen, auch allgemeine Bauartgenehmigungen genannt, sind spezielle Zulassungen für Bauwerke, die in identischer oder ähnlicher Form an verschiedenen Standorten errichtet werden sollen. Bestimmte bautechnische Details müssen dann nur einmalig bewertet werden, Genehmigungsverfahren werden dadurch beschleunigt und vereinheitlicht. 2022 erteilte etwa das Deutsche Institut für Bautechnik eine Typengenehmigung für die Modulbrücke Bögl. Dabei handelt es sich um ein Brückenbausystem der Firmengruppe Max Bögl. Einzelfallgenehmigungen sind seitdem für diese Bauweise nicht mehr vonnöten (Bayika 2022).



Die Technologie des 3D-Betondrucks von Brücken ist zumindest für kleine Bauwerke praxiserprobt und findet bereits Anwendung in realen Projekten. Sie ist aber noch nicht flächendeckend verbreitet, da zahlreiche Herausforderungen bestehen. So fehlen beispielsweise längerfristig erforschte Erfahrungswerte für die Dauerhaftigkeit von gedrucktem Beton und Richtwerte für Ermüdungslinien. Ebenfalls ungelöst ist bislang die Frage, wie die notwendige Bewehrung im Druckprozess zu integrieren ist, sodass auf eine aufwendige Nachrüstung verzichtet werden kann. Auch Normungs- und Standardisierungsprozesse sind noch nicht abgeschlossen, was dazu führt, dass aufwändige Zulassungsprozesse bislang eine Skalierung von Verfahren bremsen. Weitere Fragen betreffen unter anderem die Entwicklung geeigneter Betonmischungen mit optimalen Fließeigenschaften und die Integration der Technologie in etablierte Bauprozesse. Wirtschaftlich effizient lässt sich daher ein Brückenbau mit additiver Fertigung noch nicht durchführen.

Digitale Zwillinge und KI-gestütztes Monitoring auf Basis dreidimensionaler Modelle

Das BIM ist eine „kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden“ (BMVI 2015). Im Zentrum steht das digitale, dreidimensionale BIM-Modell, in dem sämtliche relevante Bauwerksdaten gebündelt werden und das von Architekt/innen, Ingenieur/innen und Bauunternehmen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes genutzt werden kann: von Planung und Bauausführung über Simulation, Prozessoptimierung und

Monitoring bis hin zum Rückbau (BIM Hamburg 2024).¹⁰ Seit Januar 2021 ist BIM für die Planung von Bundesfernstraßenprojekten,¹¹ wozu auch Brücken gehören, verpflichtend (BMV 2025a; BMVI 2015). Im Mai 2025 wurde beschlossen, BIM für Bau und Betrieb ab Anfang 2026 als Standardverfahren vorzuschreiben (BMV 2025b). Die flächendeckende Anwendung auf Landes- und Kommunalebene befindet sich noch im Auf- und Ausbau.¹²

BIM liefert als digitale Planungsmethode die Grundlage für so genannte digitale Zwillinge von Gebäuden,¹³ mit denen Echtzeitdaten von Sensoren strukturiert dokumentiert, analysiert und zur Prognose genutzt werden können (UniBw M o. J.).¹⁴ Die „KI-Forschungsbrücke“ der TU Dresden erfasst beispielsweise mit 200 Sensoren Temperatur, Neigung, Bewegung¹⁵ und strukturelle Integrität¹⁶ in Echtzeit (MDR Sachsen 2025; TU Dresden 2025). Mittels kontinuierlichen SHM sollen zum Beispiel Degradationsprozesse über lange Zeiträume hinweg beobachtet und anhand des digitalen Zwillings vorhersagbar gemacht werden. Zudem sollen Anomalien frühzeitig erkannt und Instandhaltungsmaßnahmen präventiv geplant werden, bevor Schäden entstehen

¹⁰ <https://www.bimdeutschland.de/>

¹¹ Für die Schieneninfrastruktur des Bundes, Bundeswasserstraßen und Hochbauvorhaben des Bundes existieren jeweils separate Masterpläne und Implementierungs-Roadmaps: BMI/BMVG 2021; BMDV 2022; <https://www.bimdeutschland.de/bim-praxis>; <https://bundesbau.de/themen/was-ist-building-information-modeling/bim-roadmap>.

¹² Eine Übersicht über Initiativen der Bundesländer und Kommunen findet sich bei BIM Deutschland: <https://www.bimdeutschland.de/bim-praxis/initiativen-der-kommunen>, <https://www.bimdeutschland.de/bim-praxis/initiativen-der-bundeslaender>

¹³ <https://www.bimdeutschland.de/bim-wissen>

¹⁴ <https://www.homeport.hamburg/portfolio/smartbridge>

¹⁵ Beschleunigungssensoren registrieren Schwingungen der Brücke (BMV o. J.).

¹⁶ Faseroptische Sensoren messen Dehnungen, anhand derer sich Informationen über die strukturelle Integrität ableiten lassen. Schäden können so frühzeitig erkannt werden (BMV o. J.).

(Köpf 2022; TU Dresden 2025; Wedel et al. 2025a). Es können so präzisere Aussagen zur Tragsicherheit, Gefährdungen durch resonanzbedingte Schwingungen und Restlebensdauer getroffen werden, die weit über traditionelle Überwachungsmethoden hinausgehen (BMVI 2020b; TU Darmstadt 2023; Wedel et al. 2025b).

Mithilfe digitaler Zwillinge kann der optimale Wartungszeitpunkt von Brücken datenbasiert bestimmt werden (Hiltscher/Kunze 2025; Wedel et al. 2025a und 2025b) und bewertende Ingenieur/innen können alle historischen Daten der zu prüfenden Brücke aus dem digitalen Zwilling erhalten (Landkreis Mühldorf 2023). Dies stellt einen Vorteil gegenüber dem derzeitigen dreistufigen System der Brückenprüfung dar, bei dem Brücken alle 6 Jahre einer umfassenden Hauptprüfung unterzogen werden, dazwischen alle 3 Jahre eine einfache Prüfung sowie jährlich eine ausführliche Sichtkontrolle stattfinden (Straßen.NRW 2025). Anhand des digitalen Zwillings kann durch SHM eine kontinuierliche Überwachung erfolgen, wie es bereits prototypisch bei der HafenCityBrücke in Hamburg umgesetzt wird. Sensordaten, zyklische Bauwerksprüfungen und Diagnostik werden dort in einem digitalen Zwilling zusammengeführt (BIM Hamburg 2024).

Der technologische Reifegrad des SHM ist weit fortgeschritten und es gibt bereits viele spezialisierte Messtechnikanbieter von marktgängigen SHM-Teil- und -Komplettlösungen mit zahlreichen Referenzprojekten weltweit.¹⁷ Gleichzeitig müssen im Vergleich zum herkömmlichen Brückenbau umfangreichere technische Voraussetzungen erfüllt werden, was sich unter anderem auch in höheren Initialkosten niederschlägt und die Massentauglichkeit des Ansatzes noch dämpft. So werden zum Beispiel standardisierte, robuste, interoperable Sensornetze für den Langzeiteinsatz, sichere, latenzarme und skalierbare Datenübertragungsinfrastrukturen sowie eine wartungsarme und autarke Energieversorgung¹⁸ für exponierte Standorte benötigt. Die Generierung großer, heterogener Datenmengen durch SHM stellt Infrastrukturbetreiber der öffentlichen Hand vor zusätzliche Herausforderungen des Datenmanagements. Standardisierte Schnittstellen sind notwendig, um die Daten verlässlich für Auswertung und spätere Nutzung bereitstellen zu können (Wedel et al. 2025a). Trotz der höheren initialen Kosten und der zusätzlichen Datenmanagementaufwände geht die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen davon aus, dass SHM durch gezielte Instandhaltungsplanung, Vermeidung von Nutzungsausfällen und Verlängerung der Brückenlebensdauer wirtschaftlich vorteilhaft sein kann (Wedel et al. 2025a).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Intakte Brücken sind das Rückgrat von Mobilität und Handel. Der zu bewältigende Sanierungsstau ist nicht nur eine technische, sondern auch eine gesellschaftliche und politische Herausforderung. Marode Brücken gefährden die Verkehrssicherheit, beeinträchtigen Mobilität, führen zu Staus und verursachen volkswirtschaftliche Schäden in Millionenhöhe.

Die notwendige Investitionswelle bietet Verantwortlichen in Kommunen, Ländern, Bund sowie privaten Infrastrukturunternehmen die Möglichkeit, die Einführung innovativer Lösungen zu beschleunigen und wertvolle Praxiserfahrungen bei der Umsetzung technisch innovativer Ansätze zu sammeln. Dieses Erfahrungswissen kann geteilt werden und dabei helfen, die zahlreichen bestehenden Herausforderungen zu überwinden. Sofern es gelingt, die notwendigen finanziellen, organisatorischen und fachlichen Ressourcen zu bündeln und eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und öffentlicher Hand zu etablieren, könnte Schritt für Schritt eine technologisch ausgereifere Brückeninfrastruktur entstehen, die in Teilen aus den zuvor beschriebenen Technologien besteht. Die eingesetzten Lösungen, wie etwa Carbonbeton für Instandsetzungen oder moderne SHM-Systeme mit prädiktivem Lebenszyklusmanagement, können dazu beitragen, die Lebensdauer bestehender oder neu zu errichtender Brücken zu verlängern und sich dadurch langfristig amortisieren.

Der Staat spielt eine wichtige Rolle bei der Beförderung der Innovationen. Er kann durch den öffentlichen Einkauf innovativer Produkte, Systemlösungen und Dienstleistungen nachfrageorientiert wirken, indem er als Ankerkunde auftritt und damit Marktanreize schafft. Für die Weiterentwicklung innovativer Technologien im Brückenbau braucht es zudem eine gezielte Forschungsförderung. Ein Forschungsansatz besteht etwa darin, mehrere innovative Materialien, Bauverfahren und digitale Systeme miteinander zu kombinieren. So werden im Sonderforschungsbereich TRR 277 „Additive Fertigung im Bauwesen“ (Additive Manufacturing in Construction – AMC) innovative Material-Verfahrens-Kombinationen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten (insbesondere Erforschung recycelbarer Baustoffe) sowie deren Simulation und durchgängige Digitalisierung von der Planung bis zur Bauausführung entwickelt inklusive digitaler Schnittstellen und großformatiger Demonstratoren mit digitalen Zwillingen.¹⁹ Der digitale Zwilling bildet so den gesamten Lebenszyklus ab – vom Entwurf über die Fertigung bis hin zur Betriebs- und Rückbauphase. Weitere Forschungsprojekte fokussieren auf klimaresiliente, nachhaltige und zirkuläre Bauweisen, kombiniert mit digitalem Lebenszyklusmanagement

17 Beispielhaft <https://dewesoft.com/applications/bridge-health-monitoring>, <https://www.gantner-instruments.com/de/anwendungen/infrastruktur-bauwesen/>, <https://www.vallen.de/de/anwendungen/strukturelle-zustandsueberwachung-shm/> sowie Kistler o. J. oder Sisgeo 2024 für Brücken-SHM oder Wölfel o. J. beispielhaft für SHM-basierte Schadensfrüherkennung, Lebensdauerprognose und Optimierung von Windkraftanlagen.

18 Die Energieversorgung wird für die Datenerfassung und -übertragung benötigt. Infrage kommen unter Umständen Off-Grid-Lösungen, die beispielsweise Solarenergie nutzen (Gantner Instruments 2023).

19 <https://amc-trr277.de/>

(digitale Zwillinge, SHM), schnellere Erneuerungsverfahren sowie Ansätze, den alternierenden Bestand an Brückeninfrastruktur effizient zu erhalten und gleichzeitig Klima- und Transformationsziele zu erreichen (Sennah/Billah 2025).

Im Brückenbau können beim Einsatz innovativer Bauweisen Beiträge zur Klima- und Ressourcenschonung geleistet werden, indem auf ressourcenschonendere Alternativen anstelle konventioneller Bauwerke umgestellt wird. Carbonbeton kann im Vergleich mit konventionellem Beton beispielsweise mit geringerem Materialeinsatz für eine längere Lebensdauer eingesetzt werden. Gleichzeitig kann das prädiktive Lebenszyklusmanagement die Lebensdauer einer Brücke deutlich verlängern und dadurch Ressourcen einsparen. Dennoch müssen sich viele der vorgestellten innovativen Ansätze erst schrittweise etablieren und es muss begleitend evaluiert werden, inwiefern sich die ökologischen Potenziale in der Praxis tatsächlich realisieren. Hier könnten Begleitstudien für Klarheit sorgen. Ebenso besteht ein grundsätzlicher Konflikt zwischen dem Ziel, marode Brücken möglichst schnell zu sanieren – wobei möglicherweise auf erprobte Bauweisen zurückgegriffen werden muss – und der zeitaufwendigeren Erprobung innovativer Technologien. Bewährte Verfahren können für kritische, verkehrsrelevante Projekte priorisiert werden, während innovative Bauweisen parallel in Pilot- oder Reallaborprojekten getestet werden. Dies muss im Rahmen einer Gesamtbetrachtung des Brückenmodernisierungsplans bzw. des Bundesverkehrsinfrastrukturplans 2030 (FTIP), der explizit auch Modernisierungs- und Neubauprojekte vorsieht, abgewogen werden.

Regulatorisch könnten innovative Brückenbauverfahren nach dem Vorbild der Experimentierklauseln im Energierecht (§ 119 EnWG²⁰) gefördert werden. Experimentierklauseln ermöglichen es der Bundesregierung, durch Rechtsverordnungen befristete Abweichungen von regulatorischen Vorschriften für Forschungs- und Entwicklungsprogramme zuzulassen, um innovative Technologien praxisnah zu erproben, ohne vorab langwierige Gesetzesänderungen durchlaufen zu müssen. Der Vorteil für innovative Brückenbauverfahren könnte darin liegen, dass solche Klauseln rechtliche Hürden abbauen, regulatorisches Lernen fördern und evidenzbasierte Anpassungen der Normen ermöglichen – etwa bei neuen Materialien, digitalen Zwillingen oder modularen Systemen –, wodurch Innovationen schneller und risikominimiert getestet sowie in die Standardpraxis überführt werden können.

Ebenso können Bauleistungen mit hohem Innovationsgrad auch als Innovationspartnerschaften nach § 19 der Vergabeverordnung (VgV)²¹ beschafft werden. Diese Innovationspartnerschaften sind ein regulatorisches Instrument, um öffentliche



Beschaffung und technologischen Fortschritt zu verbinden. Entwicklung und anschließender Erwerb einer Bauleistung werden in einem Vergabeverfahren kombiniert, wodurch neue Bauverfahren im Brückenbau rechtssicher entwickelt und auch gebaut werden können. Durch die Partnerschaft von öffentlichen Auftraggebern und Unternehmen und unter Einbindung von Forschungseinrichtungen und Prüfstellen wird Innovation gefördert, da Unternehmen Anreize erhalten, in Forschung und Entwicklung zu investieren. Gleichzeitig können während des Entwicklungsprozesses Anpassungen vorgenommen werden, um auf neue Erkenntnisse oder veränderte Anforderungen zu reagieren, sodass die Flexibilität gewahrt bleibt.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Anlässlich des Sanierungszustands der Brückeninfrastruktur und der damit verbundenen Investitionswelle können die hier geschilderten innovativen Lösungsansätze bieten, den Brückenbau zukünftig effizient, ressourcenschonend und langlebig zu gestalten. Hierzu liefert das vorliegende Themenkurzprofil einen Überblick. Da die Entwicklungsreife der unterschiedlichen Innovationen gegenwärtig noch nicht weit genug vorangeschritten ist, um umfangreiche praktische Erfahrungswerte erfassen zu können, erscheint eine detaillierte Analyse durch das TAB gegenwärtig nicht durchführbar. Es empfiehlt sich aber, diese Entwicklungen weiter zu beobachten und gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt vertieft zu analysieren – etwa, wenn weitere Ergebnisse sowie neuere Erkenntnisse zum Umsetzungsstand konkreter Infrastrukturanwendungen sowie der einzelnen technischen und regulatorischen Komponenten vorliegen.

²⁰ „Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 zuletzt am 22.12.2025 geändert

²¹ Vergabeverordnung vom 12. April 2016 (BGBl. I S. 624), zuletzt am 7.2.2024 geändert

Literatur

- Köllermeier, N. et al. (2025): Analyse der Auswirkung von Brückensperrungen im deutschen Fernstraßennetz. PTV Transport Consult GmbH, Karlsruhe
- Azanaw, G. (2025): Revolutionizing Bridge Engineering: A Comprehensive Review of Smart Materials, AI-Driven Structural Optimization, and Resilient Design Innovations. In: American Journal of Materials Synthesis and Processing 10(1), S. 6–17, <https://doi.org/10.11648/j.ajmsp.20251001.12##>
- Bayika (2021): 3D-Druck: Recyclbare Brücke ohne Armierungsstahl und Mörtel. Tragend gedruckt. Bayerische Ingenieurekammer-Bau, https://www.bayika.de/de/aktuelles/meldungen/2021-07-30_3D-Druck-Recyclbare-Bruecke-ohne-Armierungsstahl-und-Moertel.php (13.12.2025)
- Bayika (2022): Allgemeine Bauartgenehmigung für Modulbrücke Bögl erteilt. Zeitintensive Einzelfallgenehmigungen entfallen. Bayerische Ingenieurekammer-Bau, https://www.bayika.de/de/aktuelles/meldungen/2022-07-22_Allgemeine-Bauartgenehmigung-fuer-Modulbruecke-Boegl-erteilt.php (13.12.2025)
- Bayika (2024): Mit modularen Fertigteilsystemen den Brückenbau beschleunigen. Bayerische Ingenieurekammer-Bau, https://www.bayika.de/de/aktuelles/meldungen/2024-12-11_Mit-modularen-Fertigteilsystemen-den-Brueckenbau-beschleunigen.php (13.12.2025)
- Bayika (2025): Deutscher Brückenbaupreis 2025 für herausragende Infrastrukturbauwerke verliehen. Neue Oderbrücke Küstrin-Kostrzyn – Bastionskronenpfad Petersberg – Neue Regenbrücke Roding – Chemnitzer Viadukt. Bayerische Ingenieurekammer-Bau, https://www.bayika.de/de/aktuelles/meldungen/2025-03-20_Deutscher-Brueckenbaupreis-2025-fuer-herausragende-Infrastrukturbauwerke-verliehen.php (13.12.2025)
- BBIK (2025): Innovativer Brückenbau in Deutschland: Preisträger des Deutschen Brückenbaupreises 2025. Brandenburgische Ingenieurkammer, <https://www.bbik.de/artikel/innovativer-brueckenbau-in-deutschland-preistraeger-des-deutschen-brueckenbaupreises-2025/> (13.12.2025)
- BBSR (2022): Serielles und modulares Bauen in der Praxis. Eine Zwischenbilanz im Rahmen der Wohnraumoffensive zur Förderung des seriellen und modularen Bauens. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn
- BIM Hamburg (2024): smartBRIDGE Hamburg. Digitaler Zwilling der Köhlbrandbrücke. <https://bim.hamburg.de/resource/blob/954584/f5e9daee3ef205ca905124ac-2f9298eb/d-20240523-td52-smartbprojektsteckbrief-nsc-data.pdf> (31.7.2025)
- BMDV (2022): Implementierungsstrategie BIM-WSV 2030. BIM Masterplan für die Wasserstraße. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin
- BMI/BMVG (2021): Masterplan BIM für Bundesbauten. Erläuterungsbericht. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, Bundesministerium der Verteidigung, Berlin
- BMV (o. J.): Brücke in die Zukunft: Wie Künstliche Intelligenz hilft, Schäden früh zu erkennen. Bundesministerium für Verkehr, <https://daten.plus/bruecke-in-die-zukunft> (15.12.2025)
- BMV (2025a): Masterplan für die Digitalisierung im Bundesfernstraßenbau. Bundesministerium für Verkehr, <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/masterplan-bim-bundesfernstrassen.html#:~:text=BIM%20wird%20zum%20bundeseinheitlichen%20Standard,bei%20Planungs%2D%20und%20Genehmigungsprozessen%20einsetzen> (20.11.2025)
- BMV (2025b): Phase III der BIM-Implementierung ist gestartet. Bundesministerium für Verkehr, <https://www.bim-bundesfernstrassen.de/news-archiv/detail/phase-iii-der-bim-implementierung-ist-gestartet/> (21.11.2025)
- BMVI (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin
- BMVI (2020a): Stand der Modernisierung von Brücken der Bundesfernstraßen. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin
- BMVI (2020b): Zustandsbewertung von Eisenbahnbrücken und Fahrzeugen mit KI-Methoden zur Auswertung von Sensordaten und strukturdynamischen Modellen – ZEKISS. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfundprojekte/zekiss.html?editorSupport=true%3FpageLocale%3Dde%3FresourceId%3D452902> (31.7.2025)
- BMWSB (2023): Serielles und modulares Bauen 2.0: Spitzenverband der Wohnungswirtschaft GdW legt neue Rahmenvereinbarung vor. Bundesministerium für Wohnen,

- Stadtentwicklung und Bauwesen, <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/DE/2023/10/serielles-bauen.html> (2.10.2025)
- BRH (2025a): Brückenerhaltung im Bundesstraßennetz. Bericht nach § 88 Absatz 2 BHO an das Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Bundesrechnungshof, Bonn
 - BRH (2025b): Schleppende Modernisierung maroder Brücken an Bundesfernstraßen. Bericht nach § 99 BHO. Bundesrechnungshof, Bonn
 - BRH (2025): Bundesfernstraßen: Modernisierung maroder Brücken deutlich im Rückstand. Bundesrechnungshof, <https://www.bundesrechnungshof.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/brueckenmodernisierung.html> (15.7.2025)
 - BUND (2024): Marode Autobahnbrücken: Verkehrsministerium rechnet Zahl klein. BUND-Kurzinfo: Marode Autobahnbrücken. Berlin
 - Carbon Concrete Composite (o. J.): FAQ. <https://carbon-concrete.org/wissensbox/presse/faq/> (2.10.2025)
 - CORDIS (2017): Fast-Beam – Novel modular repair and newbuilding system for concrete bridges – H2020 – CORDIS – European Commission. <https://cordis.europa.eu/project/id/743965/reporting> (29.7.2025)
 - DBZ (2016): Flächiges Gewebe trägt Carbonbetonbrücke, Albstadt-Ebingen. Deutsche Bauzeitschrift, https://www.dbz.de/artikel/dbz_Tragwerk_Architektur_Carbonbeton-bruecke_KnippersHelbig-2626368.html (2.10.2025)
 - Die Autobahn GmbH des Bundes (2025): Pilotprojekt: Brückenbau im Hildener Autobahnkreuz in Modulbauweise, <https://www.autobahn.de/aktuelles/aktuell/pilotprojekt-brueckenbau-im-hildener-autobahnkreuz-in-modulbauweise> (29.7.2025)
 - Die Zeit (2025): Infrastruktur: Bund soll Sanierungsbedarf maroder Brücken deutlich unterschätzen. <https://www.zeit.de/politik/deutschland/2025-04/infrastruktur-marode-bruecken-sanierungsbedarf-autobahn> (7.10.2025)
 - Gantner Instruments (2023): Brückenmonitoring: Ein Schlüssel zur nachhaltigen Infrastruktur der Zukunft. <https://www.gantner-instruments.com/de/blog/bruecken-monitoring-ein-schluessel-zur-nachhaltigen-infrastruktur-der-zukunft/> (18.11.2025)
 - Gengnagel, C.; Jürgens, E. (2025): Serielles Bauen 2.0: Planung, Bauweisen und Nachhaltigkeit. Deutsches Architektenblatt, <https://www.dabonline.de/bautechnik/serielles-bauen-planung-bauweisen-und-nachhaltigkeit/> (7.10.2025)
 - Goldmann, M. (2020): Betondruck: Deutschlands erstes Wohnhaus aus dem 3D-Drucker. Deutsches Architektenblatt, <https://www.dabonline.de/bautechnik/haus-3d-drucker-betondruck-deutschlands-erstes-wohnhaus-gedruckt-beckum-beton-peri/> (25.11.2025)
 - Henn, C. (2025): Marode Brücken: So groß sind die Folgen einer Vollsperrung. Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. <https://www.adac.de/news/bruecken-vollsperrungen-folgen/#hamburg-norderelbbuecke-auf-der-a1-> (13.12.2025)
 - Hiltcher, L.-M.; Kunze, N. (2025): Deutschlands Brücken: Wie Innovationen gegen den Verfall helfen. Tagesschau, <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/konjunktur/bruecken-baustellen-100.html> (1.12.2025)
 - Hochwarth, D. (2025a): Brücken am Limit: Magdeburg und Berlin nur die Spitze des Eisbergs. Marode Infrastruktur. Ingenieur.de, <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/bruecken-im-sanierungsstau-was-berlin-und-magdeburg-zeigen/> (15.7.2025)
 - Hochwarth, D. (2025b): Vorgespannte Carbonbeton-Brücke feiert Deutschland-Premiere. Ingenieur.de, <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/bringt-vorgespannter-carbonbeton-die-wende-im-brueckenbau/> (5.12.2025)
 - IngenieurGruppe Bauen (2025): Kommunaltag Brückenerhaltung: Elisabeth Wuttke über die planerischen Randbedingungen für Modulares Bauen. IngenieurGruppe Bauen, <https://www.ingenieurgruppe-bauen.de/news-kommunaltag-brueckenerhaltung-elisabeth-wuttke-ueber-die-planerischen-randbedingungen-fuer-modulares-bauen/> (25.11.2025)
 - Kästner, K. (2025): Prof. Manfred Curbach erhält Nobel Sustainability Academic Award 2025. TU Dresden, <https://tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/prof-manfred-curbach-erhaelt-nobel-sustainability-academic-award-2025> (25.11.2025)
 - Kempkens, W. (2025): Brücke fast abgerissen – 3D-Druck rettet mit Kaltgasspritzen. Brückensanierung. Ingenieur.de, <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/bau/bruecke-fast-abgerissen-3d-druck-rettet-mit-kaltgasspritzen/> (15.7.2025)

- Kistler (o. J.): Verkehrssicherheit und Schutz der Infrastruktur. Nutzungsdauerverlängerung mit Structural Health Monitoring. Komplettlösungen und Services von Kistler zur Überwachung und zum Schutz der Brückeninfrastruktur. Winterthur
- Köpf, M. (2022): Die Beispiel-Brücke und ihr Doppelgänger. Forschungsprojekt. Süddeutsche Zeitung, <https://www.sueddeutsche.de/bayern/muehldorf-schwindegg-bruecke-1.5679988> (25.11.2025)
- Landkreis Mühldorf a. Inn (2023): Ein europaweit einmaliges Projekt: Die „Digitale Brücke“ in Wörth in der Gemeinde Schwindegg. https://www.lra-mue.de/fileadmin/user_upload/aktuelles/pressemitteilungen/pressemitteilungen_2023/23-06-15_Digitale_Br%C3%BCcke_Schwindegg.pdf (25.11.2025)
- Lüttgau, T. et al. (2022): Vorschläge zur Förderung des seriellen/modularen Bauens. Köln
- MDR Sachsen (2025): 200 Sensoren sagen Alterung voraus – Neue Forschungsbrücke in Bautzen eingeweiht. MDR aktuell, <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/bautzen/bautzen-hoyerswerda-kamenz/bruecke-forschung-ki-openai-eroeffnung-102.html> (18.11.2025)
- MIL (2025): Küstriner Oderbrücke: Wie Carbon die Zukunft des Brückenbaus prägt, Ministerium für Infrastruktur und Landesplanung, <https://mil.brandenburg.de/mil/de/presse/detail/~25-03-2025-die-carbon-oderbruecke-ingenieurkunst-trifft-nachhaltigkeit#> (15.7.2025)
- NST (2025): The Sustainability Award 2025. Nobel Sustainability Trust. <https://www.nobelsustainabilitytrust.org/the-sustainability-award-2025> (15.12.2015)
- Rechenbach, B. (2017): Vom Labor auf die Baustelle. In: Beratende Ingenieure 3/4, S. 25–29
- Rieken, S. (2025): Ein Baukasten als Turbo für den Brückenbau. ZDF heute, <https://www.zdfheute.de/wirtschaft/brueckenbau-modulbau-infrastruktur-deutschland-100.html> (15.11.2025)
- RNE (2023): Bauwende unterwegs: Nachhaltig bauen mit Carbonbeton. Rat für nachhaltige Entwicklung, <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/aktuelles/bauwende-unterwegs-nachhaltig-bauen-mit-carbonbeton/> (25.11.2025)
- RWTH (2025): IMB beteiligt an Brückenbau der Zukunft. Brückenbau der Zukunft: Schnell, nachhaltig und modular. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, <https://www.fb3.rwth-aachen.de/cms/bauingenieurwesen/die-fakultaet/aktuell/meldungen/~blwxob/imb-beteiligt-an-brueckenbau-der-zukunft/> (15.7.2025)
- Sennah, K.; Billah, M. (2025): Bridges of the future: sustainable, resilient, and innovative designs. In: Canadian Journal of Civil Engineering 52(11), S. 2017–2018
- Sisgeo (2024): Die Bedeutung von Structural Health Monitoring (SHM). <https://sisgeo.com/de/news-de/die-bedeutung-von-structural-health-monitoring-shm/> (19.11.2025)
- Solidian Kelteks (2025): Carbonbeton – Von der Forschung zur Revolution im Bauwesen. <https://www.solidian-kelteks.com/de/unternehmen/blog/carbonbeton-von-der-forschung-zur-revolution-im-bauwesen> (7.10.2025)
- Straßen.NRW (2025): Brücken bauen und prüfen mit System. Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, <https://www.strassen.nrw.de/de/brueckenbau-und-brueckensicherheit.html?&contrast=use> (19.11.2025)
- T&E (2025): Ausgebaut! (Autor/innen: Heyl, B.; Richardsen, N.). Transport & Environment, Berlin, https://www.transport-environment.org/uploads/files/20250415_TE_Bruckensanierung.pdf (4.2.2026)
- TAB (2022): Innovative Technologien, Prozesse und Produkte in der Bauwirtschaft. (Autor/innen: Kehl, C. et al.) Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht 199, Berlin, <https://doi.org/10.5445/IR/1000151012##>
- Tagesschau.de (2025): Frisches Geld gegen den Sanierungs-Stillstand. <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/brueckensanierung-milliarde-bundestag-100.html> (2.10.2025)
- TU Darmstadt (2023): Forschungsprojekt ZEKISS – Zustandsbewertung von Eisenbahnbrücken und Fahrzeugen mit KI-Methoden zur Auswertung von Sensordaten und strukturdynamischen Modellen. https://www.iib.tu-darmstadt.de/forschung_iib/forschungsprojekte_iib/aktuelle/zekiss/index.de.jsp (2.10.2025)
- TU Dresden (2025): Brücke in die Zukunft. Bundesminister Wissing eröffnete KI-Forschungsbrücke für TUD-koordiniertes Verbundprojekt in Bautzen, Dresden. (Autor/in: Fejes, M.) <https://tu-dresden.de/tu-dresden/newsportal/news/bridges-of-tomorrow-federal-minister-wissing-opened-ai>

research-bridge-for-tud-coordinated-joint-project-in-bautzen (15.11.2025)

- UniBw M (o. J.): Digitale Zwillinge von Brücken. Universität der Bundeswehr München, <https://www.unibw.de/konstruktiver-ingenieurbau/massivbau/forschung/digitaler-zwilling> (15.11.2025)
- VBI (2025): Deutscher Brückenbaupreis 2025: Die Finalisten stehen fest. Verband Beratender Ingenieure, <https://www.vbi.de/aktuelles/news/deutscher-brueckenbaupreis-2025-die-finalisten-stehen-fest/> (31.7.2025)
- Wedel, F. et al. (2025a): Arbeitshilfe zum Einsatz von Monitoring. Zusammenstellung der Ergebnisse des Projekts „Leitfaden – strategischer Einsatz von Monitoring bei Ingenieurbauwerken“. Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach
- Wedel, F. et al. (2025b): Leitfaden – Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke. Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach, <https://doi.org/10.60850/bericht-b210##>
- Wölfel (o. J.): Structural Health Monitoring für Windenergieanlagen – Zustandsüberwachung von Fundament, Turm und Rotorblatt. <https://www.woelfel.de/branchen/windenergie/structural-health-monitoring.html> (19.11.2025)
- Ziesche, A. (2025): Was passiert mit dem Carbonbeton in der Carolabrücke? MDR, <https://www.mdr.de/nachrichten/sachsen/dresden/dresden-radebeul/carolabruecke-recycling-abriss-carbonbeton-102.html> (2.10.2025)

Herausgeber

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag (TAB)

Bildnachweise

wastesoul/iStock (S. 1); ARTYuSTUDIO/iStock (S. 3);
zooooma/iStock (S. 4); FredFroese/iStock (S. 5);
DKart/iStock (S. 7)

ISSN: 2629-2874

DOI: 10.5445/IR/1000191041

Horizon SCANNING

Das Horizon-Scanning ist Teil der Foresight-Aktivitäten des TAB und wird vom Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH durchgeführt.

www.tab-beim-bundestag.de/horizon-scanning