

Die Intelligente Brücke - Adaptive Konzepte zur ganzheitlichen Zustandsbewertung

Tabea NEUMANN *, Peter HAARDT *

* Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

Kurzfassung. Um ein zuverlässiges Straßennetz aufrechtzuerhalten, ist es notwendig, neue innovative Ansätze in das Erhaltungsmanagement der Brückenbauwerke im Bundesfernstraßennetz zu integrieren und weiterzuentwickeln. Ergänzend zu den turnusmäßigen Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 [1] wird daher ein adaptives Konzept bereitgestellt, das es ermöglichen soll zum einen Zustandsveränderungen frühzeitig zu erfassen und zu bewerten und zum anderen mit Hilfe von erfassten Einwirkungen und Widerständen zukünftige Zustandsentwicklungen zu prognostizieren. Die zu konzipierenden Systeme setzen sich im Wesentlichen aus der Datenerfassung mit Hilfe von Sensorik und den zur echtzeitnahen Verwendung und Bewertung notwendigen Modellen zusammen. Im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte wurden einzelne Bausteine eines solchen adaptiven Systems erarbeitet.

1 Einführung

Das Bundesfernstraßennetz, das mit seiner zentralen Lage im europäischen Wirtschaftsraum die Hauptlast des Straßenverkehrs trägt, beinhaltet derzeit ca. 39.000 Brücken mit einer Brückenfläche von ungefähr 30 Mio. m² [2]. Den größten Anteil am Gesamtanlagevermögen der Brückenbauwerke haben in erster Linie die Betonbrücken (ca. 90% der Brückenbauwerke), die zu einem großen Teil in den 60er und 70er Jahren hergestellt wurden und damit bereits eine Nutzungsdauer von 40 bis 50 Jahren aufweisen (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Grundhafte Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen werden zunehmend erforderlich.

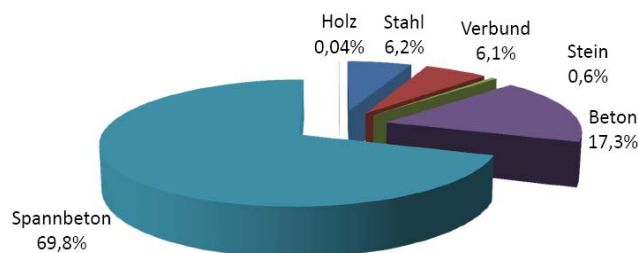


Abb. 1: Bestand an Brückenfläche nach Bauweisen (2012) [2]

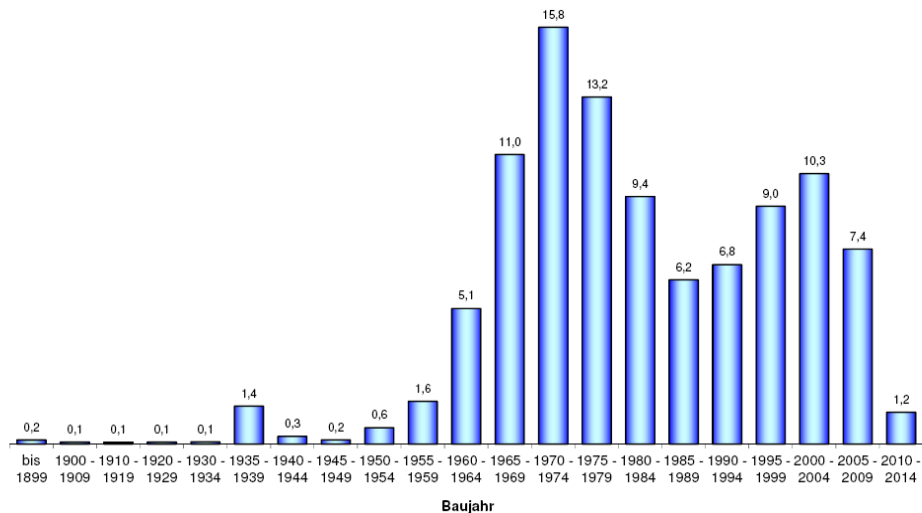


Abb. 2: Altersstruktur der Brücken im Netz der Bundesfernstraßen nach Brückenfläche (2012) [2]

Das Bundesfernstraßennetz ist weitgehend fertiggestellt. Die heute neuzubauenden Brücken werden im Wesentlichen nicht im Zuge neuer Streckenabschnitte errichtet, sondern als Ersatzbauwerke für den alternden Bestand erforderlich. Der Schwerpunkt der Bautätigkeiten im Bundesfernstraßennetz wird auch in den kommenden Jahren in erster Linie im Bereich der Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen sowie Ersatzneubauten liegen.

In den letzten Jahren sind für die Erhaltung des Bauwerksbestandes nicht die nach der Prognose der Bundesverkehrswegeplanung erforderlichen finanziellen Mittel in die Erhaltung der Brückenbauwerke investiert worden. Dies erklärt auch den sich verschlechternden Zustand und den anwachsenden Erhaltungsbedarf. Darüber hinaus muss sich das Bundesfernstraßennetz neuen Herausforderungen stellen. Auf der einen Seite erzeugen insbesondere die weiter anwachsenden Verkehrslasten, aber auch die absehbaren demographischen Veränderungen, die zunehmende Forderung nach nachhaltigen Entwicklungen sowie klimatische Veränderungen, neue Anforderungen. Dem gegenüber stehen auf der anderen Seite die alternde Bausubstanz und das voraussichtlich auch in Zukunft begrenzte Budget für Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen.

Maßgeblich für eine zielorientierte Bauwerkserhaltung sind neben der regelmäßigen Beobachtung und Prüfung des Bestandes eine einheitliche Datenhaltung und standardisierte Bewertungsverfahren zur Zustandsbeurteilung der Bauwerke. Dabei kann in Deutschland zumindest für das Bundesfernstraßennetz auf respektable Grundlagen zurückgegriffen werden.

Die Erhaltungsplanung der Brückenbauwerke ist eine wichtige Aufgabe der Straßenbauverwaltungen der jeweiligen Bundesländer. Auf Länderebene sind standardisierte Datenbanken auf der Basis der Anweisung Straßeninformationsbank (ASB) realisiert, die seit 1998 von den Straßenbauverwaltungen mit Hilfe des Programms SIB-Bauwerke verwaltet werden können. Bauwerksdaten werden auf diese Weise erfasst und ausgewertet. Ergebnisse der regelmäßigen Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 [1] werden kontinuierlich ergänzt. Zustandsnoten, die die Schadensbewertungen hinsichtlich Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit berücksichtigen, werden automatisiert ermittelt. Die Straßenbauverwaltungen der Länder verwenden die Ergebnisse der Bauwerksprüfung als Grundlage für ihre Erhaltungsplanungen.

Auch wenn die aktuelle Vorgehensweise für die Erhaltungsplanung unerlässlich ist, ist es dennoch notwendig neue, innovative Ansätze in das Erhaltungsmanagement zu integrieren, um ein zuverlässiges Straßennetz aufrechterhalten zu können. Die derzeitige

Vorgehensweise ist in erster Linie schadensbasiert und reaktiv. Schäden werden zwar im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksprüfungen entdeckt, allerdings erst wenn sie offensichtlich sind. Dieses Vorgehen stößt an seine Grenzen, insbesondere dann, wenn eine unzureichende Tragfähigkeit infolge steigender Belastungen, strukturbedingter Defizite sowie begrenzter finanzieller Mittel zu berücksichtigen sind. In diesen Fällen werden detailliertere Kenntnisse über den Ist-Zustand und zuverlässigere Prognosen erforderlich, die mit dem derzeitigen Vorgehen – wenn überhaupt – nur in Grenzen zur Verfügung gestellt werden können.

Neue Ansätze für die Zustandserfassungen und Prognosen zur Zustandsentwicklung sind gefragt. Durch genaue Kenntnis über den aktuellen Zustand und prognostizierte Zustandsentwicklungen können Maßnahmen bedarfsgerecht durchgeführt werden. Dies gilt nicht nur für Bestandsbauwerke sondern auch für Neubauten, für die heute ein leistungsfähiges System zur Unterstützung der Erhaltungsplanungen von morgen aufgebaut werden soll [3].

2 Neue Ansätze zur adaptiven, ganzheitlichen Zustandsbewertung

2.1 Allgemeines Vorgehen zur Einbindung neuer Ansätze

Brückenbauwerke sind veränderlichen äußeren Einwirkungen ausgesetzt, denen das Bauwerk bedingt durch u. a. Alterung und Ermüdung eine sich über die Zeit reduzierende Widerstandsfähigkeit entgegensetzt. Die Veränderungen können von Bauwerk zu Bauwerk stark variieren, weshalb Zustandsprognosen zuverlässiger werden je stärker objektbezogene Randbedingungen Berücksichtigung finden.

Ergänzend zur handnahen und visuellen Bauwerksprüfung bietet sich daher der Einsatz von Messtechnik an. Mit Hilfe von messtechnischer Unterstützung können für eine weitergehende Bewertung relevante Informationen zu Einwirkungen, Bauteileigenschaften und –reaktionen und sonstige Parameter zur Erfassung von Bauwerkszuständen und deren Entwicklung erfasst werden. Teilweise wird die Bauwerksprüfung bereits durch Messtechnik unterstützt. Zerstörende und zerstörungsfreie Verfahren bieten hier die Möglichkeit zeitdiskrete Momentaufnahmen zu erstellen. Dies ist insbesondere für Bestandsbauwerke hilfreich, über die wenige Informationen vorliegen (z. B. bzgl. Bewehrungslage und Betondeckung) oder bei denen ein Schaden vermutet wird (z. B. Spannstahlbrüche, Risse in Brückenseilen oder Bewehrungskorrosion). Diese vertiefenden Untersuchungen werden, sofern nicht Bestandteil der Bauwerksprüfung, im Rahmen der objektbezogenen Schadensanalyse (kurz: OSA) durchgeführt [4].

Zeitkontinuierliche messtechnische Untersuchungen und deren Kombination mit zeitdiskreten Messungen haben in den letzten Jahren ebenfalls an Bedeutung zugenommen. Immer häufiger werden Bestandsbauwerke instrumentiert, um mit messtechnischer Unterstützung die Restnutzungsdauer besser abschätzen zu können. Gemessen werden dazu beispielsweise tatsächliche Verkehrslasten über längere Zeiträume oder Bauwerksreaktionen, mit deren Hilfe eine genauere Systemidentifikation bzw. eine Kalibrierung von Rechenmodellen erfolgt. Teilweise werden dafür auch gezielte Probelastungen durchgeführt. Insbesondere im Zusammenhang mit der Nachrechnungsrichtlinie [5] ergeben sich hier neue Anwendungspotentiale. Weiterhin rückt das Monitoring in Verbindung mit der Überwachung von Verstärkungsmaßnahmen in den Vordergrund [6], [7], [8].

Das im Folgenden vorgestellte neue Konzept der Intelligenten Brücke beruht prinzipiell auf einem kontinuierlichen, in die Struktur integrierten Messsystem mit dessen Hilfe eine ganzheitliche Zustandsbewertung über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks

durchgeführt werden kann. In erster Linie ist dieses Konzept auf Neubauten ausgelegt. In einzelnen Aspekten kann es jedoch auch auf Anwendungen bei Bestandsbauwerken übertragen werden.

2.2 Konzeption der Intelligenten Brücke

Neben der Instrumentierung und messtechnischen Ausstattung der Brückenbauwerke ist das Ziel des adaptiven Systems Messergebnisse direkt in ein Analyse- und Bewertungsverfahren einzubinden. Damit wird ermöglicht, unmittelbar Aussagen zum Zustand und dessen Prognose zu erhalten. Dies ist der Schritt von der instrumentierten, ausschließlich erfassenden, hin zur intelligenten Brücke, die darüber hinaus analysiert, bewertet und Tendenzen über zukünftige Entwicklungen erstellt. Entsprechend der Abb. 3 werden dazu verschiedenartige Informationen zusammengeführt.

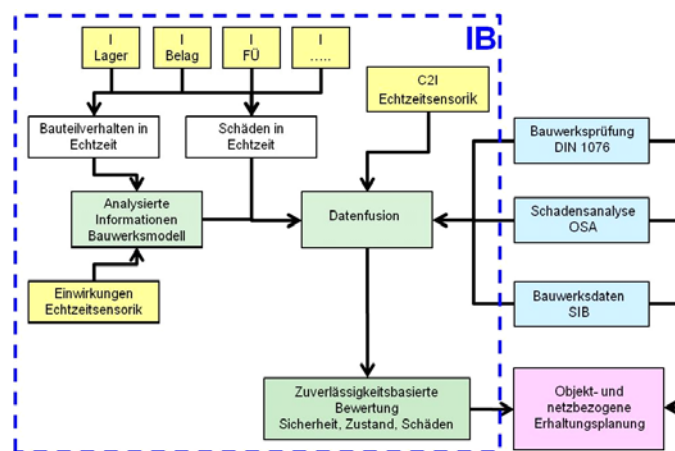


Abb. 3: Struktur der Intelligenten Brücke [9]

Die bereits vorhandenen Informationen aus den Bauwerksdaten, der Bauwerksprüfung und der Schadensanalyse fließen mit den Informationen aus der messtechnischen Erfassung zusammen. Berücksichtigt werden dabei Messdaten zu Bauwerkseinwirkungen und zu unmittelbar erfassten Bauwerksreaktionen und –schäden, aber auch Informationen von sogenannten intelligenten Bauteilen (z. B. instrumentierten Fahrbahnübergängen oder Lagern). Die anschließende Fusionierung dieser Daten strebt eine zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Schäden, Zustand und Sicherheiten an. Das Ergebnis der Bewertung wird wiederum zur objekt- und netzbezogenen Erhaltungsplanung herangezogen.

Auch wenn nicht alle Daten kontinuierlich erfasst werden müssen, soll die Möglichkeit bestehen einzelne Parameter in Quasi-Echtzeit aufzunehmen, damit ggf. relevante Veränderungen unmittelbar an den Betreiber und die Nutzer der Strecke weitergegeben werden können.

Da sich die Bauwerksstruktur in Deutschland durch ein hohes Maß an Individualität auszeichnet, ist es erforderlich ein Konzept der Intelligenten Brücke zu entwickeln, das sich durch Adaptivität auszeichnet und an das einzelne Bauwerk z. B. hinsichtlich der Konstruktion und der System-/Materialeigenschaften angepasst werden kann. Hierbei sind auch bereits vorhandene Schäden oder Konstruktionsmängel zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu derzeit üblichen Monitoring-Einsätzen soll das System der Intelligenten Brücke lange vor dem ersten Schaden oder einer drohenden Beeinträchtigung für das Bauwerk zum Einsatz kommen, bestenfalls wird das Bauwerk mit Inbetriebnahme

als Intelligente Brücke begleitet. Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitsbetrachtungen spielen bei der Umsetzung in die Praxis eine entscheidende Rolle. Angestrebt wird eine Reduzierung der Lebenszykluskosten aus Baulastträgersicht und der Auswirkungen auf die Nutzer und die Umwelt durch Optimierung der Erhaltungsstrategien.

Die Konzeption umfasst eine Vielzahl miteinander verbundener Aspekte, die sich innerhalb der komplexen Struktur der Intelligenten Brücke gegenseitig beeinflussen. Das beschriebene adaptive Konzept zur ganzheitlichen Zustandsbewertung setzt sich aus mehreren verknüpften interdisziplinären Bausteinen zusammen. Eine eindeutige Abgrenzung der einzelnen Bausteine ist nicht immer möglich. Im Wesentlichen kann man jedoch alle Bestandteile und Bausteine einer der drei folgenden Komponentengruppen zuordnen:

- bedarfsorientierte, innovative, selbstorganisierte und energieeffiziente Messtechnik und Datenauswertung („Intelligente Sensorik“),
- adaptive Bauwerksmodellierung verknüpft mit zuverlässigkeitsbasierten Bewertungsmodellen für eine ganzheitliche Systemanalyse („Intelligente Brückenmodellierung“) und
- optimiertes Erhaltungsmanagement unter Berücksichtigung von präventiven Strategien als Ergänzung zur derzeitigen Vorgehensweise („Intelligentes Erhaltungsmanagement“).

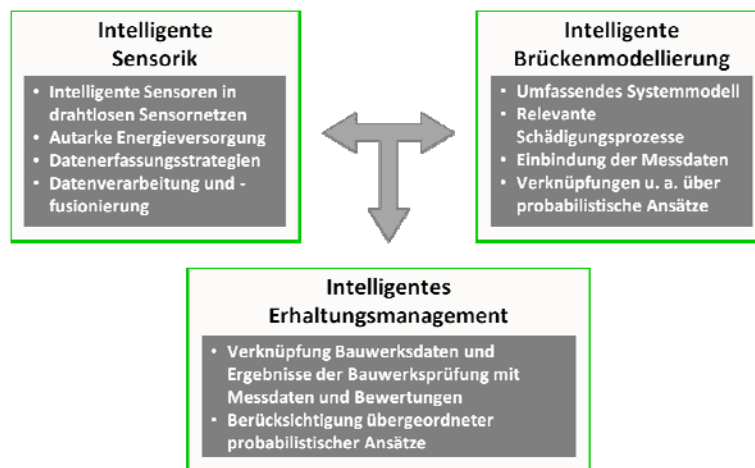


Abb. 4: Komponentengruppen innerhalb des Systems der Intelligenten Brücke [10]

Die mittels intelligenter Sensorik erhobenen und vorverarbeiteten Messdaten fließen in die Modellstrukturen ein, welche ihrerseits einen maßgeblichen Einfluss auf die Anforderung an die Sensorik haben. Beides mündet schließlich in einem fortgeschriebenen Erhaltungsmanagement, in dem die derzeit verwendeten deterministischen Bewertungsansätze soweit möglich durch probabilistische Ansätze ergänzt werden [11].

3 Bausteine der Intelligenten Brücke

Die Feinkonzeption und Realisierung der einzelnen Bausteine wird im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen eingerichteten Schwerpunktthemas Intelligente Brücke vorangetrieben. Dazu wurde ein Projektcluster aus internen und externen Forschungsprojekten gebildet. Neben konzeptionellen Projekten der Ressortforschung werden Produktneuentwicklungen im Nationalen Innovationsprogramm Straße als Antragsforschung realisiert.

In einem ersten Schritt wurden grundsätzliche Fragestellungen der Intelligenten Brücke bearbeitet. Dazu wurde zunächst die prinzipielle Machbarkeit im Rahmen einer umfassenden Literaturstudie geklärt [12]. In einem weiteren Projekt wurde erarbeitet, welche Einwirkungen und Schäden erfasst werden sollten und wie dies mit Hilfe moderner Technologien erfolgen kann [13]. Dabei wurden die Grundlagen sowie der Stand des Wissens und der Technik auch im Bezug auf Sensortechnologien umfassend zusammengestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse einiger derzeit laufender oder abgeschlossener Projekte zu konkreten Einzelfragestellungen vorgestellt.

3.1 Bausteine zur Sensorik

Im Hinblick auf anwendungsoptimierte Sensorik und Sensornetze besteht umfassender Entwicklungsbedarf. Aus diesem Grund bietet sich insbesondere hier die Notwendigkeit besonders innovative Ansätze vor dem Gesichtspunkt einer möglichen Markteinführung im Rahmen der Antragsforschung zu unterstützen. Im Gesamtkonzept der Intelligenten Brücke haben diese Projekte eine Sonderstellung inne.

Im Projekt „Roadtraffic Management System (RMTS)“ wurde ein technisches System für Brücken zur Ermittlung von Einwirkungen, Widerstand und Zustand in Echtzeit entwickelt. Außerdem werden Verkehrszählungen und Achslastermittlungen unterstützt [14].

In zwei weiteren Projekten hat man sich unter dem Aspekt der intelligenten Bauteile mit Lagern und Fahrbahnübergängen befasst. Die Bauteile sind mit robuster Messtechnik ausgestattet, mit deren Hilfe sowohl Einwirkungen auf Brücken aus Verkehr und Temperatur erfasst als auch eine Selbstüberwachung der Funktionsfähigkeit der Bauteile integriert werden können. Neben der Beurteilung des Bauwerkszustandes können diese Informationen zudem direkt hinsichtlich Wartungs-, Reinigungs- und Austauschintervallen der Bauteile in die Erhaltungsplanung eingehen [15], [16].

Projekte zum Themengebiet Sensornetze sind derzeit noch in Bearbeitung. Die Schwerpunkte und die verwendeten Sensoren unterscheiden sich zwar, aber dennoch ist es beiden Projekten gemein, dass ein Baukastensystem aus derzeit verfügbaren oder angepassten Sensoren in ein Sensornetz zur Bauwerksüberwachung eingebunden werden soll. Energieeffizienz, drahtlose Datenübertragung sowie Datenanalyse sind dabei Schlüsselbegriffe [17], [18].

Im Bezug auf die Sensorik im Brückenbau wird neben der Energieautarkie insbesondere den Eigenschaften wie Robustheit, Langlebigkeit und Drahtlosigkeit eine hohe Bedeutung beigemessen. Sensoren in und an Brücken sind neben der Witterung auch mechanischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt. Sensoren, die zum einen in Bauteile eingebettet sind und zum anderen drahtlos ihre Daten übermitteln, ist aus Sicht der Intelligenten Brücke der Vorzug zu geben. Neben der Berücksichtigung am Markt verfügbarer Sensoren wurde im Hinblick auf den Einsatz von RFID-basierten Sensoren eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Im Fokus standen hierbei Sensoren zum direkten Einbau in Stahlbetonbauteile, die zur Bestimmung der Korrosionsaktivität sowie der Bauteilfeuchte und -temperatur verwendet werden können. Die Sensoren sind im Bauteil „verloren“, sie werden vor der Betonage z. B. an der Bewehrung fixiert und können nicht oder nur unter erheblichem Aufwand aus dem Bauwerk entfernt werden. Der Vorteil ist jedoch, dass die Sensoren im Bauteil geschützt sind und auf vulnerable Punkte, die durch Kabelführungen aus dem Bauteil heraus entstehen können, verzichtet werden kann [19].

Eine wichtige Frage im Bezug auf die Auswertung und Beurteilung von Messdaten ist deren Aussagekraft und Plausibilität. Rauschen oder „Ausreißerwerte“ können die verwertbaren Informationen vermindern oder verfälschen. Bei einer hierarchischen Datenverarbeitung, bei der die Messdaten bereits vorverarbeitet werden oder beim Einsatz

von selbstorganisierten Sensornetzen, in denen defekte Sensoren erkannt werden sollen, ist es umso wichtiger die Daten entsprechend zu beurteilen. Diese Prozesse können direkt am Sensor oder Sensorknoten erfolgen, von wo aus die vorverarbeiteten Daten ins System der Intelligente Brücke übertragen werden. Mit Hilfe von Auswertealgorithmen ist es möglich die Daten nicht nur zu plausibilisieren sondern auch zu bereinigen. Für unterschiedliche Messgrößen und Sensoren wurden geeignete Algorithmen und mögliche Modellierungsansätze beschrieben [20].

3.2 Bausteine zur Modellierung

Um die Messdaten im Bezug auf das Brückenbauwerk bewerten zu können, ist es erforderlich die Daten hinsichtlich des Ortes ihres Auftretens zu unterscheiden und entsprechend für die Bedeutung des Gesamtbauwerks zu bewerten. Dieser Systemanalyse wird ein Brückenmodell zugrundegelegt. Zur Verknüpfung der einzelnen Elemente sind weitere Modelle einerseits zur Beschreibung der Tragstruktur andererseits zur Erfassung von Schäden erforderlich, die – wo möglich oder notwendig – probabilistische Ansätze berücksichtigen.

Ein Bauwerksmodell muss die strukturellen Abhängigkeiten bzw. Redundanzen im Tragsystem berücksichtigen und ermöglichen Schadensinteraktionen abzubilden. Mit Hilfe des Modells sollen die Messdaten analysiert und Gefährdungspotentiale identifiziert werden. Übliche Darstellungsformen der Systemanalyse und der Abhängigkeiten innerhalb von Strukturen sind Ereignis- oder Fehlerbäume, die aber in diesem speziellen Anwendungsfall des Brückenbaus unzureichend sind [21]. FE-Modellierungen weisen in der Regel einen sehr hohen Detaillierungsgrad auf, sind jedoch für jedes Bauwerk individuell zu erstellen, strukturelle Abhängigkeiten zwischen Schaden und Bauwerk greifen eng ineinander.

Als Lösungsansatz wurde daher ein neues Systemmodell vorgeschlagen, das sowohl strukturelle Abhängigkeiten als auch Interaktionen zwischen Schädigungen berücksichtigt und so modular aufgebaut ist, dass einzelne Module für mehrere Bauwerke genutzt werden könnten.

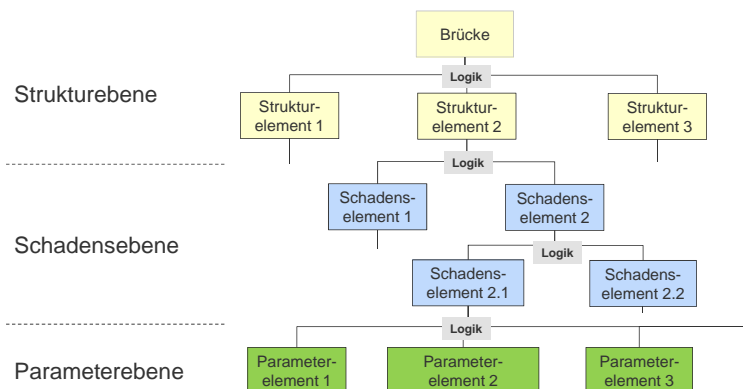


Abb. 5: Konzeptionelle Darstellung: Ausschnitt aus einem Einflussbaum [22]

Der sogenannte Einflussbaum stellt eine Erweiterung des Fehlerbaums um eine flexiblere logische Verknüpfung dar. Er wird hierarchisch über 3 Ebenen aufgebaut: die Strukturebene, die Schadensebene und die Parameterebene. Die Strukturebene bildet die Bauwerkstruktur ab. Geometrien und statische Elemente werden hier hinterlegt, so dass die Untergliederung des Systems Brücke in Bauteilen und Unterbauteilen abgebildet wird. Die Schadensebene beschreibt den Zusammenhang zwischen einem aufgetretenen Schaden und

dem Zustand des betroffenen Bauteils und ermöglicht die Verknüpfung mit den messbaren Eingangsgrößen (d.h. den Parametern), die schließlich in der untersten, der Parameterebene, Eingang finden. Diese Parameter können sowohl der Identifikation einer (Schadens-)Ursache dienen als auch zur Erfassung eines Symptoms. Die Erstellung des Einflussbaums erfolgt von oben nach unten, also vom Gesamtbauwerk zu den einzelnen Bauteilen. Den jeweils untersten Strukturelementen werden jeweils mögliche Schadensbilder zugewiesen, für welche wiederum die notwendigen Parameter definiert werden. Für die Beschreibung aller Ebenen des Einflussbaums wird die graphische Notationssprache Systems Modeling Language (SysML) eingesetzt [22].

Für die sinnvolle Verknüpfung innerhalb und zwischen den einzelnen Ebenen können neben deterministischen, z. B. grenzwertbasierten Bewertungsansätzen, auch probabilistische Modelle eingesetzt werden. Eine solide Grundlage für die zuverlässigkeitsbasierte Betrachtung bietet unter anderem der Probabilistic Model Code [23]. Im Rahmen eines weiteren Teilprojekts sollten die vorhandenen Ansätze, Konzepte und Verfahren zur Verwendung der Messdaten in der Bewertung von Schäden und der Zuverlässigkeitsanalyse von Brückenbauwerken weiterentwickelt und angepasst werden. Zunächst lag der Fokus auf den Schädigungsmodellen und deren Aktualisierung durch ein Bayes'sches Update. Aufgrund der vielen Unsicherheiten, die die Schädigungsmodelle aufweisen, ist hier eine probabilistische Modellierung notwendig. Auf diese Weise können auch Erwartungswerte über Schadensentwicklungen erstellt werden, die in die Erhaltungsplanungen einfließen können [21].

Eine Anbindung an das Bauwerksmodell und damit die Komponenten der räumlichen Zuordnung und Standsicherheit, d. h. die Auswirkungen auf das Tragsystem erfolgt im nächsten Schritt. Wo probabilistische Ansätze z. B. aufgrund fehlender physikalischer Schädigungs- und Verhaltensmodelle fehlen, wird das Bauwerksmodell durch verfügbare deterministische Informationen, z. B. visuelle Bauwerksprüfungen zu einem ganzheitlichen System, das sich kontinuierlich anpassen kann. Eine prototypische Software-Anwendung dazu wird Mitte 2014 erwartet [24].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Vor dem Hintergrund der bevorstehenden Aufgaben und Herausforderungen im Bereich der Infrastruktur, ist es notwendig neue, innovative Technologien zur Beurteilung und Erhaltungsplanung der Infrastruktur einzusetzen. Dies gilt nicht nur für den Bestand sondern auch für Neubauten mit Blick auf zukünftige Generationen der Erhaltungsplanung.

Von der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde das Schwerpunktprogramm Intelligente Brücke eingerichtet, das sich in mehreren Teilprojekten über ein adaptives Konzept zur ganzheitlichen Zustandsbewertung einem Ansatz für ein fortgeschriebenes Erhaltungsmanagement nähert. Über projektübergreifende Workshops und Symposien wird ein Austausch der Forschungseinrichtungen untereinander ermöglicht, so dass eine Abstimmung innerhalb der komplexen Strukturen erfolgen kann. Die einzelnen Teilprojekte werden schließlich in einem Prototyp der Intelligenten Brücke realisiert.

Aufgrund der Konzeption als modulares System ist es möglich, auf den gewonnenen Erkenntnissen aufzubauen und kontinuierlich weiterzuentwickeln. Sowohl im Bereich der Sensortechnologie als auch im Bereich der Schädigungs- und Strukturmodelle sowie der dahinterstehenden Informations- und Kommunikationstechnologie ist in den nächsten Jahren mit Weiterentwicklungen zu rechnen, die das System der Intelligenten Brücke noch leistungsfähiger werden lassen.

Im Laufe des Jahres 2014 werden auf der Internet-Seite der BAST weitergehende und aktualisierte Informationen abrufbar sein.

5 Referenzen

- [1] DIN 1076, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung, Ausgabe November 1999.
- [2] Brückenstatistik 2012, interne Auswertung der Bundesanstalt für Straßenwesen, März 2013.
- [3] Haardt, P.: Intelligente Brücken – Adaptive Systeme zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit, 3. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Esslingen 2013.
- [4] Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten RI-ERH-ING, Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse (OSA), Bundesverkehrsministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- [5] Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie), Bundesverkehrsministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Mai 2011.
- [6] Neumann, T., Krieger, J.: Innovative Monitoring and Evaluation of Aging Infrastructure. Vortrag. Civil Structural Health Monitoring Workshop (CSHM-4), Berlin 2012.
- [7] Siegert, C., Holst, A., Empelmann, M., Budelmann, H.: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, FE 15.0544/2011/LRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung).
- [8] Schnellenbach-Held, M., Peeters, M.: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton, FE 15.0543/2011/LRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung).
- [9] Mittelfristige Forschungsplanung 2011/2015, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2011.
- [10] Neumann, T.: Die Intelligente Brücke – Forschungsansätze und Entwicklungen. Vortrag. Forschungskolloquium: Die Straße im 21. Jahrhundert, Innovationen im Brücken- und Ingenieurbau, Bergisch Gladbach 2012.
- [11] Neumann, T., Haardt, P.: Intelligent Bridges – Adaptive Systems for Information and Holistic Evaluation in Real Time. 6th European Workshop on Structural Health Monitoring, Dresden 2012.
- [12] Schnellenbach-Held, M., Karczewski, B., Kühn, O.: Intelligente Bauwerke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke, FE 15.0509/2011/GRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- [13] Schnellenbach-Held, M., Peeters, M., Miedzinski, G.: Intelligente Bauwerke – Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton, FE 15.0510/2011/DRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- [14] Freundt, U.: Roadtraffic Management System (RTMS). Vortrag. Forschungskolloquium: Die Straße im 21. Jahrhundert, Innovationen im Brücken- und Ingenieurbau, Bergisch Gladbach 2012.
- [15] Butz, C., Mangerig, I.: Kalottenlager und Modular-Dehnfuge – mehr als nur Verbindungselemente im Brückenbau. Vortrag. Forschungskolloquium: Die Straße im 21. Jahrhundert, Innovationen im Brücken- und Ingenieurbau, Bergisch Gladbach 2012.
- [16] Großwig, S., Tusche, J.: Messtechnik in Fahrbahnübergängen für Brücken. Vortrag. Forschungskolloquium: Die Straße im 21. Jahrhundert, Innovationen im Brücken- und Ingenieurbau, Bergisch Gladbach 2012.
- [17] <http://www.ibast.org/>, Dezember 2013.
- [18] <http://www.itc-engineering.de/projekte/referenzen/projekt-ib-iseb/>, Dezember 2013.
- [19] Stoppel, M., Wiggenhauser, H. Einsatzfähigkeit von RFID-basierenden Sensorsystemen für Betonbauteile, FE 89.0266/2011, Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in der Vorbereitung).
- [20] Sawo, F., Klumpp, V., Beutler, F.: Intelligente Bauwerke – Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform, FE 15.0548/2011/GRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung)
- [21] Thöns, S., Straub, D.: Intelligente Bauwerke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen. FE 15.0508/2011/KRB, Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in der Vorbereitung).
- [22] Borrmann, A., Fischer, O., Dori, G., Wild, M.: Intelligente Bauwerke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse, FE 15.0538/2011/ARB, Bundesanstalt für Straßenwesen (Veröffentlichung in der Vorbereitung).
- [23] Probabilistic Model Code. JCSS Joint Committee on Structural Safety. 2006.
- [24] Schneider, R., Fischer, J., Bügler, M., Dori, G., Thöns, S., Borrmann, A., Straub, D.: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells, FE 15.0546/2011/LRB Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung).