

Zusammenfassung zur kumulativen Dissertation

Modeling Damage Information for the Operation Phase of Bridges

**zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Bauhaus-Universität Weimar**

vorgelegt von Mathias Artus
geboren am 05.05.1989 in Jena, Deutschland
interner Doktorand

Weimar, 6. Dezember 2022

Betreuer
Prof. Dr.-Ing. Christian Koch

Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

1. Um die Funktion, Standsicherheit und Dauerhaftigkeit von Brücken zu gewährleisten, werden in regelmäßigen Abständen Inspektionen durchgeführt.
2. Bei diesen Inspektionen werden Zustandsinformationen in Papierformularen festgehalten und später in abstrakte Datenbanken übertragen. Zustandsinformationen meint alle Daten, die für den Zustand eines Bauwerkes ausschlaggebend sind, d.h. Informationen zu Schäden und Mängeln (im Folgenden nur noch als Schäden bezeichnet) in Form von alphanumerischen Werten, Bildern und Beschreibungen.
3. Die Darstellung und der Informationsaustausch von bauwerksbezogenen Zustandsdaten in aktuellen papier- und datenbankbasierten Systemen beschränkt sich auf 2D Pläne, Fotos, Skizzen und Beschreibungen.
4. Durch die manuelle sowie papierbasierte Datenerfassung und -übermittlung stellt sich die Zustandserfassung von Brücken als fehleranfällig und zeitaufwändig dar.
5. Derzeit müssen sich Personen, die an Inspektion und Instandhaltung beteiligt sind, Schäden am Bauwerk auf Basis der Fotos und Beschreibungen vorstellen, um Schlussfolgerungen zu ziehen. Das kann zu Fehlinterpretationen führen. Mit einer dreidimensionalen Visualisierung der Daten können die schadbehafteten Modelle direkt betrachtet, analysiert und bewertet werden.
6. Zudem würde ein digitales geometrisch-semantisches Zustandsmodell von Bauwerken eine automatisierte Datenverarbeitung erlauben.
7. Zielsetzung der Arbeit ist die Erweiterung von bestehenden Building Information Modeling (BIM) basierten Datenmodellen um ein Datenmodell für Zustandsinformationen.

Stand der Wissenschaft

8. BIM stellt eine digitale Methode für die Erzeugung, Bearbeitung, Verarbeitung, Verwaltung und Kommunikation von digitalen Bauwerksdaten über den gesamten Lebenszyklus dar.
9. BIM soll Anwendung über den gesamten Lebenszyklus hinweg für alle Gebäude und Bauwerke finden. Um das zu erreichen, befasst sich die aktuelle Forschung mit der Anwendung von BIM für Infrastrukturbauwerke, wie zum Beispiel Brücken und Tunnel sowie mit Konzepten für die Anwendung von BIM in der Betriebsphase.
10. In der Praxis entsteht bei der Inspektion und Bewertungen von Brückenzuständen ein heterogenes Informationsspektrum, das sich in geometrische und semantische Informationen aufgliedert.
11. Bilder spielen für die Entwurfs-, Planungs- und Bauphase eine untergeordnete Rolle, aber für die Betriebsphase sind sie von zentraler Bedeutung, z.B. Fotos von Schäden. Deshalb wird in dieser Arbeit untersucht, auf welche Weise die Integration von Bildern in BIM verbessert werden kann.
12. 3D Modelle sind von zentraler Bedeutung für BIM. Im Falle von physischen Schäden, wie Rissen oder Abplatzungen, könnten auch geometrische Modelle von Schäden in das BIM-Modell integriert werden. Dies wurde stellenweise schon untersucht, aber es fehlen Definitionen und Konzepte, um unterschiedliche Detailgrade von Informationen - auch Level of Development (LoD) genannt - zu repräsentieren.
13. Ein Schaden am Bauwerk kann durch unterschiedliche Repräsentationen dargestellt werden:

Positionsmarker, Bilder, 2D- oder 3D-Geometrien. Ein Konzept, das es erlaubt diese unterschiedlichen LoDs eines Schadens darzustellen, fehlt bisher und soll in dieser Arbeit untersucht und entwickelt werden.

14. Der Industry Foundation Classes (IFC) Standard ist ein zentrales Element von BIM, das dem standardisierten und herstellerneutralen Austausch von Bauwerksdaten dient.
15. BIM und dem IFC-Standard fehlen ein zentrales Element zur Integration von Schäden und eine Beziehung, um beschädigte Bauteile zu repräsentieren.
16. Der IFC-Standard ist äußerst flexibel und bietet weitreichende Möglichkeiten, zusätzliche Elemente, die bisher nicht explizit Teil des Standards sind, einzubinden und darzustellen.
17. Ein Großteil der Forschung befasst sich mit der automatisch-optischen Erfassung von Zustandsdaten, jedoch nicht mit einer Informationsmodellierung, die gleichzeitig mehrere an der Betriebsphase beteiligte Gewerke berücksichtigt. Um bekannte, wie auch zukünftige Prozesse der Betriebsphase mit BIM zu unterstützen, müssen auch Folgeprozesse, wie zum Beispiel die Tragwerksanalyse, berücksichtigt werden. Dies verlangt ein gewerkeübergreifendes Informationsmodell.
18. Bereits vorhandene Ansätze zur Informationsmodellierung von Schäden vernachlässigen wichtige Aspekte wie zum Beispiel Geometrien, Bilder und Texturen.
19. Es existieren unterschiedliche (Daten-) Formate zur Repräsentation von Bauwerksinformationen, zum Beispiel proprietäre Datenformate, Ontologien und der IFC-Standard.

Eingesetzte Methoden

20. Zur Klassifizierung verschiedener Schadenstypen wurden Schadenskataloge und -definitionen unterschiedlicher Länder analysiert.
21. Zur Einordnung von Häufigkeit und Ausmaß wurden statistische Bestandsdaten des Thüringer Landesamtes für Bau und Verkehr von Brücken und deren Schäden analysiert. Alle Schäden wurden einem Typ zugeordnet und Häufigkeiten sowie Bewertungen ausgewertet. Dies resultierte in 12 Schadenstypen, die für das weitere Vorgehen verwendet wurden.
22. Auf Basis der ausgewählten Schadenstypen wurden Anforderungen an das Datenmodell aufgestellt. Hierbei wurden Parameter der Schadenstypen, Prozesse und beteiligte Akteure bedacht.
23. Alle aus den Anforderungen resultierenden Attribute wurden in Bezug zu reellen und virtuellen Objekten gesetzt. Daraus ergibt sich ein objekt-orientiertes Zustandsinformationsmodell, das unter anderem Klassifizierungen, Messdaten, Geometrien und Bilder enthält.
24. Bestehende Ansätze zur Informationsmodellierung von Zustandsdaten aus der Forschung wurden synthetisiert und erweitert.
25. Um einen Austausch zwischen einzelnen Gewerken zu gewährleisten, wurde ein etabliertes und offenes Format für die spätere Implementierung gewählt.
26. Auf der Basis des IFC-Datenmodells wurde das objekt-orientierte Zustandsdatenmodell implementiert. Dafür wurden zum Beispiel Proxyelemente, Voiding Features (spezielle Form der Abzugskörper), Texturen und externe Referenzen verwendet.
27. Texturen wurden von keiner verfügbaren Software korrekt dargestellt, deshalb wurde eine existierende, quelloffene Software um diese Funktionalität erweitert.
28. Um die Darstellung mehrerer LoDs zu veranschaulichen, wurde auch die Auswahl von Visuali-

sierungskontexten implementiert.

29. In ein abschließenden Test wurde für eine Brücke das zugehörige Zustandsinformationsmodell erzeugt. Auf Basis dieses Modells wurde eine exemplarische und stark vereinfachte statische Analyse durchgeführt.

Ergebnisse

30. BIM eignet sich hervorragend zur Verwaltung, Be- und Verarbeitung sowie zum Austausch von Brückenzustandsdaten während der Betriebsphase.
31. In Anlehnung an den Begriff Building Information Modeling, bezeichnet Damage Information Modeling (DIM) die Einbindung von Zustandsdaten in das existierende Konzept von BIM.
32. Auf Basis des DIM können durch Automatisierungen der Datenerfassung und des Datenaustausches Fehler vermieden werden.
33. Auf Basis des DIM kann durch dreidimensionale Modelle von schadbehafteten Bauwerken die Visualisierung verbessert werden.
34. 12 Schadenskategorien haben sich als die häufigsten und schwerwiegendsten herausgestellt: Risse, Abweichungen von Richtlinien, Schäden an Fugen, Verschmutzungen, Abplatzungen, Materialveränderungen mit/ohne Querschnittsminderung, Durchfeuchtungen, Betonqualitätsmängel, Fehlen von Teilen, Fehler in Zustand oder Funktion von Teilen und Dicken von Betondeckung.
35. Bilder lassen sich weder als semantische noch als geometrische Informationen eingruppiert, wie es BIM definiert. Bilder bestehen aus geometrischen Informationen, den Positionen der Pixel, sowie semantischen Informationen, den Farbwerten für die Pixel. Aus diesem Grund wurde die Gruppe der geometrisch-semantischen Informationen zusätzlich definiert.
36. Ähnlich den unterschiedlichen LoDs während des Entwerfens, Planens und Bauens von Gebäuden, wurden auch verschiedene LoDs für Schäden entwickelt. Diese definieren Anforderungen an die Daten, die im Modell enthalten sein müssen.
37. Es wurden vier Level definiert: DMG-100 bis DMG-400. DMG-100 beinhaltet die Position und semantische Parameter des Schadens. DMG-200 beinhaltet zusätzlich Fotos und Inspektionsberichte. Räumliche Schadensinformationen und Materialdaten sind Teil von DMG-300 und DMG-400 beinhaltet Ergebnisse zu Simulationen oder weiterführenden Analysen.
38. Daten im DIM-Modell sind im Rahmen von BIM für den Austausch zwischen verschiedenen Anwendungen geeignet.
39. Das Datenmodell eignet sich für die (automatisierte) Aufnahme von Zustandsdaten, der Visualisierung des beschädigten Bauwerks und auch Weiterverarbeitung durch nachfolgende Prozesse, wie zum Beispiel statische Analysen oder Schadensprognosen.
40. Trotz der Standardisierung der IFC und existierender Zertifizierung durch buildingSMART, ist die Implementierung der IFC durch verschiedene Softwarehersteller von unterschiedlicher Qualität. Vor allem Texturen und Abzugsgeometrien in Form von Voiding Features werden nicht bzw. nicht von allen Applikationen unterstützt.
41. Durch eine Erweiterung des Modells auf Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, kann die Lebenszeit von Brücken verlängert werden. Dies kann die Anzahl von Ersatzneubauten reduzieren und somit Zement und CO_2 einsparen, was essentiell für die Begrenzung der Erderwärmung ist.