



Herausgegeben von
Dir. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krieger



1. Fachkongress Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur

**Fachtagung über Planung, Bau,
Betrieb von Brücken, Tunneln, Straßen digital**

Tagungshandbuch 2021

Herausgegeben von
Dir. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krieger

1. Fachkongress

Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur

Fachtagung über Planung, Bau, Betrieb von Brücken,
Tunneln, Straßen digital

Tagungshandbuch 2021

Medienpartner:

Internationales
Verkehrswesen

STRASSEN-
& TIEFBAU

Verkehrsblatt - Verlag

expert›



Technische Akademie Esslingen
Ihr Partner für Weiterbildung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Das vorliegende Werk wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Fehler können dennoch nicht völlig ausgeschlossen werden. Weder Verlag noch Autoren oder Herausgeber übernehmen deshalb eine Haftung für die Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile.

© 2021. Alle Rechte vorbehalten.

expert verlag GmbH

Dischingerweg 5 · D-72070 Tübingen
E-Mail: info@verlag.expert
Internet: www.expertverlag.de

Technische Akademie Esslingen e. V.

An der Akademie 5 · 73760 Ostfildern
E-Mail: bauwesen@tae.de
Internet: www.tae.de

Printed in Germany

ISBN 978-3-8169-3530-8 (Print)
ISBN 978-3-8169-8530-3 (ePDF)

Vorwort

Die Digitale Transformation hat als fortlaufender, durch digitale Technologien getriebener Veränderungsprozess großen Einfluss auf Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Grundlage ist die Digitalisierung, also die Umwandlung analoger Daten in digitale Formate sowie die digitale Abbildung von Prozessen.

Technologische Entwicklungen, wie gestiegene Rechenleistungen und Speicherkapazitäten, begleitet von sinkenden Kosten für Hard- und Software, sind die Voraussetzung für eine ganzheitliche Digitalisierung. Im Zeitalter des Digitalen Wandels sind Daten ein wertvoller Rohstoff für Informationen, neue Technologien, Prozesse und Ideen. Diese können die Produktivität positiv beeinflussen.

Im Vergleich zu anderen Branchen stagniert die Produktivität in der Baubranche allerdings fast vollständig. Ursache hierfür ist unter anderem die geringe Digitalisierung etablierter Abläufe und geringe Neuschöpfung von Verfahren und Prozessen.

Dabei bestehen vielfältige Potenziale der Digitalen Transformation in allen Phasen des Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur. Sie werden in verschiedenen Technologien und Entwicklungen deutlich, deren Kombination die Produktivität sogar um ein Vielfaches steigern können.

Ein Beispiel für solche Entwicklungen ist der Digital Twin – das virtuelle Abbild eines realen Objekts, das sich kontinuierlich über dessen Daten und Informationen aktualisiert und u. a. die Durchführung virtueller Experimente ermöglicht.

In Anbetracht von großen Datenmengen (Big Data) gewinnen zunehmend Smart-Data-Anwendungen, Verfahren der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens an Bedeutung bei der Auswertung von Daten. Die Ergebnisse können über Technologien der Virtual und Augmented Reality visualisiert werden. Sie eröffnen neue Möglichkeiten der Veranschaulichung virtueller Inhalte sowie der Informationseingabe und -bereitstellung. Und die kollaborative Arbeitsweise des Building Information Modelings (BIM) führt die relevanten Bauwerksinformationen zusammen, u. a. zur Optimierung des Lebenszyklusmanagements.

Vor diesem Hintergrund ist das Hauptziel des erstmals stattfindenden Fachkongresses der verkehrsträgerübergreifende Wissens- und Erfahrungsaustausch. In etwa 50 Fachvorträgen werden in parallelen Sessions Technologien und Methoden der Digitalisierung und Digitalen Transformation zu folgenden Themenschwerpunkten diskutiert:

- Asset Management
- Building Information Modeling (BIM)
- Digital Twin
- Smart Data in der Anwendung
- Internet of Things (IoT)
- Künstliche Intelligenz
- Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR)
- Sensorik

Das vorliegende Tagungshandbuch enthält die vorab eingereichten Beiträge zu den Vorträgen und zeigt Potenziale und Herausforderungen digitaler Technologien und präsentiert Konzepte zur Verknüpfung von (zukünftigen) digitalen Entwicklungen mit der Verkehrsinfrastruktur. Darüber hinaus werden aktuelle Anwendungen vorgestellt und ihr Nutzen im Lebenszyklus betrachtet.

Weitere Informationen unter: www.tae.de/go/digitrave

Inhaltsverzeichnis

0.0	Plenarvorträge	
0.1	Digitale Zwillinge für das Lebenszyklusmanagement von Verkehrsinfrastrukturen - Herausforderungen, Ansätze und Anwendungen	*
	Markus König	
0.2	Der digitale Transformationsprozess im Unternehmen – Mehrwerte erzeugen, Menschen mitnehmen	17
	Dipl.-Ing. (FH) Martin Seitner M.Sc., Dipl.-Ing. (BA), Dipl. Sportwiss. Klaus Kunigham, Dipl.-Ing. (FH) Rebecca Probst MBA & Eng.	
0.3	Einsatz von BIM im Asset Management der Straßeninfrastruktur	21
	Prof. Dr. sc. techn. ETHZ, Dipl. Bauingenieur UB Rade Hajdin, Prof. Dr.-Ing. Markus König, Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner, Dr. sc. ETHZ, Dipl.-Ing. Frank Schiffmann, Dr.-Ing. Tim Blumenfeld, DI Dr. techn. Karl Grossauer	
0.4	Vom Büro ins Bauwerk – Kooperationsmöglichkeiten mit Mixed Reality	29
	Leif Oppermann	
1.0	Asset Management	
1.1	Brücken Asset Management – Angewandte Digitalisierung für die Mobilität von morgen	35
	Jens Kühne, Wolfgang Ries	
1.2	Entwicklung der Verkehrseinwirkungen auf Bundesautobahnen	45
	Andreas Socher	
1.3	Brücken Asset Management – Bauwerkscluster: Herausforderungen, Ziele, Auswahl, Modellierung	59
	Achim Geßler, Dr. Benno Hoffmeister, Thorben Geers, Dominik Honerboom, Rainer Jergas	
1.4	Brücken Asset Management – Standardisierung als Treiber im Lebenszyklusmanagement	69
	Stefan Kremling, Jens Kühne	
1.5	Datenablage als Grundlage für den digitalen Zwilling eines Bauwerks – Verwaltungsschale BBox	75
	Thomas Braml, Johannes Wimmer, Stefan Maack, Stefan Küttenbaum, Thomas Kuhn, Maximilian Reingruber, Alexander Gordt, Jürgen Hamm	
1.6	Neue digitale Ansätze und agile Methoden für das Erhaltungsmanagement	85
	Dipl.-Ing. Maximilian Schenk, Dipl.-Ing. (FH) Rebecca Probst MBA & Eng.	

1.7	Integration von BIM (Building Information Management) im kommunalen Asset Management	89
	Alexander Buttgerit, Slawomir Heller	
1.8	Online Sicherheits-Managementsystem für Brücken (OSIMAB)	97
	Yasser Alshaban Alqasem, Andreas Socher, Andreas Jansen	
1.9	OSIMAB – ein leistungsfähiges Cloudsystem zum zentralen Bauwerksdatenmanagement: Prädiktives Erhaltungsmanagement von Brückenbauwerken	103
	Marion Behrens, Dr. Peter-Michael Mayer	
1.10	OSIMAB – Merkmale und Modelle zur Strukturüberwachung einer Spannbeton-Straßenbrücke durch Bauwerksmonitoring	113
	Andreas Jansen, Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler	
1.11	ACE: Anomalieerkennung auf Brückensensordaten mit AutoCorrelationEncodern	125
	Benedikt Böing, Emmanuel Müller	
2.0	Smart Data in der Anwendung	
2.1	InfraBau4.0 – Smarte Algorithmen für die dynamische, semi-automatische Umplanung in Infrastrukturbauprojekten	*
	Marcus Müller	
2.2	GeoValML – Ein interoperables Austauschformat für nahezu beliebige geotechnische Versuchsdaten	133
	Dominik Stütz, Eberhard Kunz	
2.3	Anwendung von Monitoring bei Brücken der Bundesfernstraßen und zukünftige Monitoringstrategien	137
	Iris Hindersmann	
2.4	Intelligentes Monitoring von Brückenbauwerken mit innovativen Sensoren	147
	Dr.-Ing. Till Büttner, Dr.-Ing. Christian Helm	
2.5	Fünf Jahre intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn – Ergebnisse und Erfahrungen	155
	Prof. Dr.-Ing. Ursula Freundt, M.Sc. Erik Werner, Dr.-Ing. Sebastian Böning	
2.6	Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn – Digitale Bauwerkskomponenten: Instrumentierte Lager und Fahrbahnübergänge	167
	Dr.-Ing. Daniel Rill, Dr.-Ing. Christiane Butz, Michael Tahedl, M.Sc.	
2.7	Innovatives Monitoring von Fahrbahnübergängen und Brückenbauwerken zur Verlängerung der Lebensdauer	177
	Luigi Di Gregorio, Antonios Chrysovergis	

2.8	ZfPBau 4.0 – Herausforderungen an die ZfP im Bauwesen im Rahmen der Digitalisierung	187
	Ernst Niederleithinger, Johannes Vrana	
2.9	Kooperative Systeme in Straßentunneln – Potentiale aus der Nutzung der C2X-Kommunikation für die Tunnelüberwachung	191
	Dr.-Ing. Georg Mayer, Regierungsrätin Dipl. Wirt.-Ing. Anne Lehan,	
2.10	Wie autonomes Fahren die Straßen der Städte verändern könnte	205
	Prof. Dr.-Ing. Jan Riel, Prof. em. Kerstin Gothe	
2.11	Entwicklung eines IoT fähigen Sensors zur Zustandsermittlung von Infrastrukturschutzmaßnahmen gegen Naturgefahren für integriertes Wartungsmanagement	213
	Manuel Eicher, Eberhard Gröner, Helene Hofmann	
3.0	Digital Twin	
3.1	KI-gestützte Erstellung digitaler Zwillinge von Infrastrukturanlagen	221
	Dr. Ilka May	
3.2	Den Digitalen Zwilling zum Leben erwecken	229
	Dr. Angelika Kneidl, Sophia Simon, Maximilian Weiß, Victoria Büttner, Jimmy Abualdenien	
3.3	smartBRIDGE Hamburg – prototypische Pilotierung eines digitalen Zwillings	237
	Dipl.-Ing. Christof Ullerich, Dr.-Ing. Marc Wenner, Dr.-Ing. Martin Herbrand	
3.4	smartBRIDGE Hamburg – Aggregation von Zustandsindikatoren aus Inspektions- und Monitoringdaten	247
	Dr.-Ing. Martin Herbrand, Alex Lazoglu, M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, Dipl.-Ing. Christof Ullerich	
3.5	smartBRIDGE Hamburg – Die Rolle von BIM im Konzept des digitalen Zwillings	257
	Frederik Wedel, Daniel Opitz, Christoph Tiedemann, Markus Meyer-Westphal	
4.0	Building Information Modeling (BIM)	
4.1	Digitale Tunnelplanung im städtischen Umfeld - Informationsmanagement mit BIM im Kontext von Geoinformationssystemen und analogen Grundlagen	271
	Dr. Andreas Bach, Nils Schluckebier, M.Sc.	
4.2	Modellbasiertes Erhaltungsmanagement im Verkehrswegebau am Beispiel des Pilotprojekts „Verfügbarkeitsmodell A 10/A 24“	277
	Thomas Tschickardt M. Eng., Anne-Sophie Knappe, B. Sc.	

4.3	Modellbasierte Planung und Ausschreibung im konstruktiven Ingenieurbau am Beispiel eines Tunnels	287
	Ferdinand Weißbrod, M.Eng., Tobias Hein, Dipl.-Ing., Torsten Brungsberg, M.Eng.,	
4.4	BIM für kommunale Verkehrsflächen-Möglichkeiten und aktuelle Herausforderungen	293
	Dr.-Ing. Alexander Buttgerit, Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner, Dr.-Ing. Ute Stöckner	
4.5	Digitales Ökosystem für die durchgängig vernetzte Planung und Realisierung von Infrastrukturbauprojekten – Forschungsprojekt Infra-Bau 4.0	303
	Dr. Birgit Guhse, Denis Feth	
4.6	BIM im Brückenbau – Typische Fragen und praktische Lösungsansätze	309
	Andreas Müller, Michael Frey	
5.0	Verkehr	
5.1	Virtual urban traffic infrastructure for testing highly automated mobility systems	317
	Rene Degen, Harry Ott, Fabian Overath, Florian Klein, Martin Henrich, Dr. -Ing. Christian Schyr, Prof. Dr. Eng. Mats Leijon, Prof. Dr. rer. nat. Margot Ruschitzka	
5.2	Mobile Mapping Anwendung und Potential bei mobilen Arbeitsmaschinen	331
	Lucas Rüggeberg, B.Eng., Prof. Dr.-Ing. Alfred Ulrich	
5.3	Digitaler Zwilling des Verkehrssystems Straße zur Unterstützung eines integrierten, situationsbezogenen Verkehrsmanagements	339
	Sandra Ulrich, David Reisenbichler	
6.0	Künstliche Intelligenz	
6.1	Evolutionäre Algorithmen im Brückenbau	349
	Fabio Baniseth	
6.2	Entwicklung von Bauwerksalterungskurven zur Zustandsprognose von Brücken unter Anwendung von Machine Learning-Verfahren	359
	Dominik Prammer, Alois Vorwagner, Alfred Weninger-Vycudil	
6.3	Drohnenbasierte Erfassung von as-built Modellen zur Automatisierung von Prozessen des digitalen Planens und Bauens im Brückenbau	367
	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Glock, Fabian Kaufmann, M. Eng., Thomas Tschickardt, M. Eng.	

7.0	Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR)	
7.1	Potentiale Immersiver Visualisierungssysteme (AR/VR) für Kommunikationsbedarfe im Lebenszyklus von Bauwerken	377
	Günter Wenzel	
7.2	Integration und Visualisierung von Zustandsdaten in digitalen Bauwerksmodellen – Konzepte und Realisierungen	381
	Martin Schickert, Mathias Artus, Jason Lai, Felix Kremp	
7.3	BIM und VR zur Prozesssteuerung bei Straßeninfrastrukturprojekten	391
	Professor Christof Gipperich, Tobias Kupfer	
7.4	Bauwerksprüfung mittels Virtual/Augmented Reality – Prozessablauf	401
	Marcos Hill, Sonja Neumann, Ralph Holst, Sascha Bahlau	
7.5	Bauwerksprüfung mittels Virtual/Augmented Reality – Strukturen zur Integration von VR/AR im Prüfprozess	409
	Florian Klein, Urs Riedlinger, Leif Oppermann	

* Manuskript lag bei Redaktionsschluss nicht vor.





Technische
Akademie
Esslingen
Ihr Partner für
Weiterbildung



BAUWESEN, ENERGIEEFFIZIENZ UND UMWELT

Besuchen Sie unsere Seminare,
Lehrgänge und Fachtagungen.

Bis zu
70%
Förderung
möglich!



Ein Großteil unserer Seminare wird unterstützt durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds. Profitieren Sie von der ESF-Fachkursförderung und sichern Sie sich bis zu 70 % Zuschuss auf Ihre Teilnahmegebühr. Alle Infos zur Förderfähigkeit unter www.tae.de/foerdermoeglichkeiten

SEMINARE, LEHRGÄNGE, FACHTAGUNGEN

Geotechnik

Verkehrswegebau und Wasserbau

Konstruktiver Ingenieurbau

Bautenschutz und Bausanierung

Umwelt- und Gesundheitsschutz

Energieeffizienz

Baubetrieb und Baurecht

Facility Management

Infos und Anmeldung: www.tae.de





Plenarvorträge

Der digitale Transformationsprozess im Unternehmen – Mehrwerte erzeugen, Menschen mitnehmen

Digitalisierung ist nicht nur eine Frage der Technologie

Dipl.-Ing. (FH) Martin Seitner, M.Sc.

Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten, Deutschland

Dipl.-Ing. (BA), Dipl. Sportwiss. Klaus Kunigham

Kunigham Beratung & Training, Opfenbach, Deutschland

Dipl.-Ing. (FH) Rebecca Probst MBA & Eng.

Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten, Deutschland

Digitalisierung steckt voller Potentiale für die Baubranche. Sie verändert Arbeits- und Herstellprozesse, hilft bei der Strukturierung von Projekten, ermöglicht ein fortschrittliches Assetmanagement und trägt zur Steigerung der Wertschöpfung bei. Sie wird unser Bauwesen nachhaltig verändern und das Ansehen und die Attraktivität der Jobs in der Branche maßgeblich steigern. Die zunehmende Digitalisierung im Bauwesen bedeutet für alle Player aber vor allem eines: Veränderung. Die Dimension dieser Veränderung – von sanfter evolutionärer Weiterentwicklung bis zum harten disruptiven Change – hängt dabei insbesondere vom Status Quo des individuellen eigenen Unternehmens ab, egal ob Behörde, Betreiber, Bauunternehmen oder Ingenieurdienstleister. Die Veränderungen beschränken sich dabei in der Regel keineswegs nur auf die unmittelbare Umsetzung von Bauprojekten, sondern können weit in die grundlegende Identität und Kultur von Unternehmen eingreifen. Digitalisierung betrifft alle Stakeholder des Bauwesens. Veränderungen aufgrund der digitalen Transformation sollten daher fester Bestandteil der strategischen und kulturellen Ausrichtung einer Organisation sein.

Big Data, Sensorik, Robotik, Industrie 4.0, Künstliche Intelligenz – Wenn man sich mit dem Megatrend Digitalisierung befasst, wird man zwangsläufig mit Begriffen wie diesen konfrontiert. Die Aufzählung kann fortgeführt werden mit im Bauwesen mittlerweile etablierten Akronymen wie BIM, CDE, VR/AR, EMS. All diese Begriffe eint, dass sie vordergründig technologisch geprägt sind. Es verwundert daher nicht, dass zunächst die Technologien Gegenstand der ersten Überlegungen sind, wenn man sich mit der Frage befasst, welche Rolle Digitalisierung für den eigenen Verantwortungsbereich haben kann, welche Veränderungen erforderlich sind und welche Maßnahmen vorbereitet und umgesetzt werden sollten. Tatsächlich stellen technologische Fragestellungen einen zentralen und wichtigen Teil im Digitalisierungsprozess dar. Wenn durch digitale Veränderungsprozesse aber wirklicher Mehrwert, wirklich nachhaltige Verbesserung erreicht werden soll, empfehlen sich ganzheitliche Betrachtungen, die weit über Fragen nach Hard- und Software hinausgehen. Wie verändern sich meine Organisationsstrukturen und die damit verbundenen Kommunikationswege? Welche unternehmenskulturellen Auswirkungen gehen mit dem digitalen Wandel einher? Und

wie wirkt sich Digitalisierung auf Arbeitsprozesse und Werkzeuge aus? Selbst eine grundlegende, substanzielle Veränderung des eigenen Geschäftsmodells kann die Folge des digitalen Wandels sein.

Gestaltung des Transformationsprozesses in Organisationen

Digitalisierung hat viele Gesichter und Definitionen. Weder leben wir heute in einer noch völlig analogen Arbeitswelt, noch sind wir vollständig und allumfassend in einer Bauwelt 4.0 angekommen. In großen und kleinen Schritten wird auch im Bauwesen die Digitalisierungsidee vorangetrieben. Die Spreizung im Entwicklungsstand der einzelnen Unternehmen und Organisationen im Bauwesen wird dabei zunehmend größer. Während für die einen Cloud Computing und Robotik, der Einsatz von KI oder die Anwendung von AR-Anwendungen schon heute zum Tagesgeschäft gehört, hängt die Weiterentwicklung bei anderen an maroder IT-Infrastruktur oder an einem abhanden gekommenen Unternehmer- und Pioniergeist in den Entscheidungsebenen. Viele Unternehmen und Behörden befinden sich gemessen an den heutigen

Möglichkeiten noch am Anfang der eigenen digitalen Entwicklung. Um sich der individuellen Vision einer digitalen Zukunft nach und nach anzunähern, müssen die anstehenden Veränderungen geplant und durchgeführt werden. Weiterentwicklungen und Verbesserungen in der Technik, aber auch in den Prozess- und Ordnungsmustern von Organisationen sind damit unumgänglich.

Mit Blick auf Ihr Unternehmen, Ihr Referat, Ihre Abteilung oder Ihren Fachbereich, stellt sich nun die Frage, wie Sie erfolgreich an den Transformationsprozess herangehen können. Wenn in Ihrer Organisation kontinuierliche Weiterentwicklungen unter relativ stabilen Randbedingungen stattfinden, sprechen wir von Veränderungen I. Ordnung. Das bedeutet, wenn die grundsätzlichen Prozess- und Ordnungsmuster einer Organisation, wie z.B. die Abläufe und Prozesse, die Interaktion von Stakeholdern oder die Kultur und Führung in einem Unternehmen klar definiert sind und durch die Veränderung nicht maßgeblich beeinflusst werden. Als Beispiel für eine derartige Weiterentwicklung kann die Änderung des Workflows für die Leistungsmeldung in Bauunternehmen von einer händischen Vorgehensweise in eine digitale angeführt werden.

Eine Organisation sollte darüber hinaus auch in der Lage sein, große Veränderungen, vielleicht sogar Markt- oder Systemveränderungen und Paradigmenwechsel erfolgreich zu bewältigen. Dann sprechen wir von Veränderung II. Ordnung. Ein anschauliches Beispiel für die vorgenannten Markt- und Systemveränderungen im größeren Maßstab stellt die zunehmende Etablierung der Elektromobilität dar. Bei nahezu allen Unternehmen der Automobilindustrie hat dies zu umfassenden Veränderungen geführt, die sich in veränderten Entwicklungsprojekten, neuen Produktionslinien, neuen Anforderungen an die Mitarbeiter:innen bis hin zu einer grundlegenden Erneuerung der Unternehmensausrichtungen zeigen. Im Bauwesen werden heute zahlreiche Infrastrukturgroßpro-

jekte unter Anwendung der BIM-Methodik in enger Verzahnung mit Geoinformationssystemen bearbeitet, was für alle direkt am Projekt Beteiligten signifikante Veränderungen mit sich bringt. Dazu zählen u.a. Veränderungen in den Datenstrukturen, den Kommunikationsformen und der Interaktion im Zusammenwirken der unterschiedlichen Projektpartner über den kompletten Projektzeitraum von der Projektvorbereitung, über Planung und Baumsetzung, bis hin zur Abrechnung und Dokumentation. Damit gehen natürlich auch Veränderungen der Anforderungen an die Qualifikation aller Mitglieder des Projektteams einher. Diese Entwicklung markiert jedoch erst den Beginn einer Veränderung hin zu einer Bauwelt 4.0, die künftig noch stärker von der intelligenten und durchgängigen Nutzung von Daten, veränderten Baumeethoden und neuen Formen des Materialeinsatzes geprägt wird und damit einen wichtigen Beitrag zu nachhaltigen, ressourcenschonenden und effizienten Baumaßnahmen leisten kann.

Veränderungen II. Ordnung gehen in der Regel mit einer „instabilen“ Phase in der Organisation einher, weil die Prozess- und Ordnungsmuster verändert werden und deren leitende Orientierungswirkung in der Organisation zeitweise gemindert ist. Darüber hinaus wird eine Organisation in einer solchen Phase einen spürbaren Teil ihrer Leistungsfähigkeit darauf verwenden müssen, neue Prozess- und Ordnungsmuster auszuhandeln, zu entwickeln und stabil auszubauen. Beispielsweise müssen Mitarbeiter:innen qualifiziert oder entsprechendes Know-how aufgebaut werden. Auch persönliche, menschliche, psychologische und soziale Themen werden in solchen Veränderungsphasen selten ausbleiben. Kurz gesagt, es müssen in vielfältiger Weise Fragen gestellt, Antworten darauf gefunden und auch gegeben werden.

Es empfiehlt sich daher, Veränderungen II. Ordnung mit einem geeigneten Veränderungsmanagement vorzubereiten und zu begleiten.

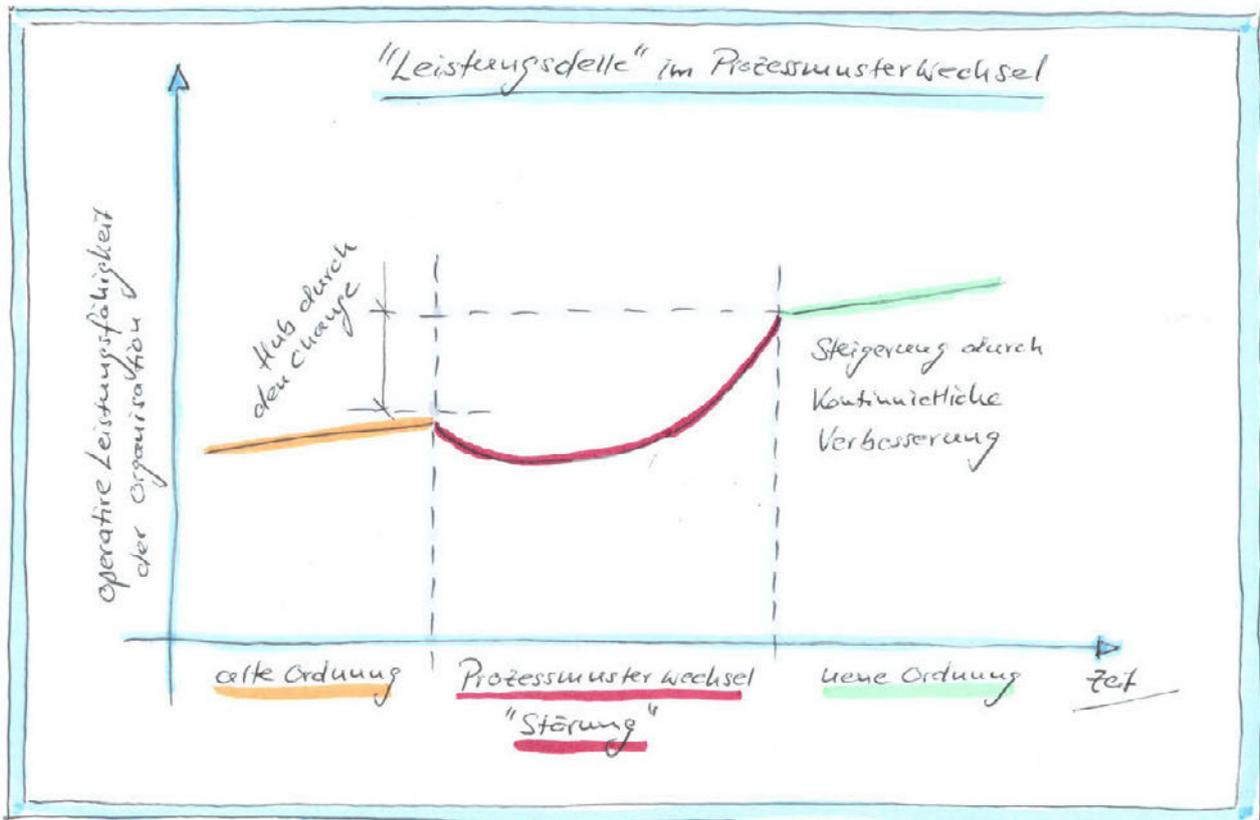


Abbildung 1: Leistungsdelle im Prozessmusterwechsel

Ob in Ihrer Organisation veränderte Anforderungen und die darauf notwendigen Anpassungen zu einer Veränderung I. oder II. Ordnung führen, hängt maßgeblich davon ab, wie groß sich der Unterschied zwischen dem „Ist“ und dem „Soll“ darstellt und wie schnell eine Veränderung erfolgen soll. Diese Analyse kann über geeignete Formate erfolgen, die sich u.a. mit dem Marktumfeld, der Arbeitsorganisation und Führungs- und Kulturthemen des Unternehmens befassen. Es geht also zuerst einmal darum aufzuzeigen, welche konkreten Veränderungsbedarfe anliegen und welche Dringlichkeit vorliegt. Zudem macht es für die Erstellung eines Veränderungskonzeptes einen erheblichen Unterschied, ob eine Organisation z.B. „mit dem Rücken zur Wand“ stehen oder ob sie Zeit, Raum und Ressourcen hat, um einen Veränderungsprozess evolutionär umzusetzen, um weiterhin neuen Anforderungen des Marktes gerecht werden zu können. Es hängt also von den konkreten Zielsetzungen und Randbedingungen ab, wie ein Veränderungskonzept und die darin beschriebenen Strategien aufzusetzen sind. Die heutigen Randbedingungen in Infrastrukturprojekten sind beispielsweise u.a. durch den BIM-Stufenplan des BMVI gekennzeichnet, der eine Umsetzung der BIM-Methode in allen Neuprojekten ab 2021 vorsieht. Sich mit digitaler Transformation im eigenen Unternehmen zu beschäftigen mutet bei Betrachtung der obigen Aspekte ziemlich anstrengend an. Die Entwicklung eines

gemeinsamen Verständnisses für Veränderungen in den Prozess- und Ordnungsmustern, die Erarbeitung eines sinnvollen, attraktiven und realistischen Zielbildes, das Aufzeigen eines plausiblen Weges, wie man mit der Organisation vom „Ist“ zum „Soll“ kommen möchte und die Nutzung der besten Methoden und Beteiligungsformate für die jeweiligen Schritte, gestützt durch ein angemessenes Changemanagement, das alles sind Herausforderungen bei einer erfolgreichen Veränderung. Und dennoch gibt es unabhängig vom einzelnen Unternehmen beste Gründe dafür, diese Anstrengung zu erbringen. Wir bauen seit Jahrzehnten in weitestgehend unveränderten Strukturen mit bestenfalls stagnierender Produktivität im Baugewerbe. Dabei sind Elemente der Digitalisierung wie Automatisierung und künstliche Intelligenz schon heute längst Bestandteil unserer zumindest privaten Lebensrealität. Digitalisierung ist keineswegs das Allheilmittel, sie gibt uns aber eine Chance, Bestehendes zu hinterfragen und weiterzuentwickeln und unser Bauwesen signifikant zu verändern. Lean Construction, Lean Design und IPD sind Ansätze, die in Verbindung mit BIM die Zusammenarbeit am Bau nachhaltig verändern können. Nicht zuletzt kann die Digitalisierung – u.a. als Grundlage für moderne, agile Arbeitsformen – ebenfalls dazu beitragen, die Attraktivität unserer Branche für junge und zu begeisternde Menschen zu steigern. Es würde uns gut tun.

Einsatz von BIM im Asset Management der Straßeninfrastruktur

Prof. Dr. sc. techn. ETHZ, Dipl. Bauingenieur UB Rade Hajdin
Infrastructure Management Consultants GmbH, Zürich, Schweiz

Prof. Dr.-Ing. Markus König
Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe, Deutschland

Dr. sc. ETHZ, Dipl.-Ing. Frank Schiffmann
Infrastructure Management Consultants GmbH, Mannheim, Deutschland

Dr.-Ing. Tim Blumenfeld
Infrastructure Management Consultants GmbH, Mannheim, Deutschland

DI Dr. techn. Karl Grossauer
iC consulenten Ziviltechniker GesmbH, Wien, Österreich

Zusammenfassung

Building Information Modeling-Methoden werden bereits erfolgreich für Planung und Bauausführung im Bereich von Hochbau- und Infrastrukturprojekten eingesetzt. Digitale Gebäudemodelle (BIM) werden bei einer openBIM Umgebung auf Basis offener Standards, wie den Industry Foundation Classes (IFC) ausgetauscht und von verschiedenen Ingenieurdisziplinen aufgabenunabhängig genutzt. Für den Straßen- und Brückenbau werden derzeit verschiedene Erweiterungen der IFC entwickelt, um einen effizienten Datenaustausch zu ermöglichen. Der Einsatz von BIM im Betrieb über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur stand bisher noch nicht im Fokus, verspricht aber eine erhebliche Nutzensteigerung vor allem, aber nicht nur für die Straßenbauverwaltungen. Die für das Asset Management erforderliche Fortschreibung des Zustands und der Auswirkungen der Erhaltungsmaßnahmen gewinnt mit BIM einen Mehrnutzen v. a. durch die genauen geometrischen Informationen. Hierbei ist es notwendig, den bewährten Datenfluss der Asset-Management-Systeme durch BIM-Daten zu erweitern. Dafür wird angestrebt, standardisierte Austauschformate in Anlehnung an IFC zu entwickeln.

1. Einführung

Eine leistungsfähige und sichere Verkehrsinfrastruktur ist die Grundvoraussetzung für gesellschaftlichen Fortschritt: Sie ermöglicht Wirtschaftswachstum, Beschäftigung und Wohlstand und stellt damit das Rückgrat einer modernen Gesellschaft dar. Im Rahmen des Asset Managements werden belastbare Daten benötigt, um daraus Informationen zum aktuellen Zustand der Verkehrsinfrastruktur zu gewinnen und darauf aufbauend, den zukünftigen Zustand vorherzusagen. Diese Daten dienen anschließend als Grundlage für den Entscheidungsprozess zu Zeitpunkt, Umfang und Kosten von Erhaltungsmaßnahmen. In der Integration von BIM in die Prozesse des Asset Managements wird ein erhebliches Potential

gesehen. Einerseits kann aufgrund der realitätsnahen Abbildung der physischen Infrastrukturobjekte die Qualität der Entscheidungen zu Erhaltungsmaßnahmen maßgebend verbessert werden. Andererseits ermöglicht BIM eine Verbesserung der bestehenden Methoden der Datenerfassung und dem Datenaustausch, durch den Austausch von Informationen über die gesamte Lebensdauer der Straßeninfrastruktur ohne Medienbrüche.

Die BIM-Methode hat ihre Ursprünge im Hochbau und wird dort bereits bei einer Reihe von Projekten erfolgreich angewendet. Die flächendeckende Einführung von BIM steht jedoch noch aus. Für den Bereich des Verkehrswegebbaus mit allen Phasen über die Lebensdauer, d. h. Bau, Betrieb, Überwachung und Erhaltung, muss die Art und der Umfang des Einsatzes der BIM-Metho-

de noch spezifiziert werden. Die Rahmenbedingungen in einem hochgradig von öffentlichen Auftraggebern bestimmten Bereich sind zum Hochbau nicht vergleichbar. Besonderer Fokus liegt dabei auf die einheitliche Festlegung, welche Daten in einer Phase der Lebensdauer benötigt sowie in folgende Phase übergeben werden sollten [1].

In den DACH-Ländern werden schon länger Anstrengungen unternommen, die BIM-Methode im Straßenbau einzusetzen [2], [3]. Jedoch zeigte sich im Bereich der Straßeninfrastruktur, dass das nachträgliche Zusammenführen von vorher in unterschiedlichen Lebensphasen getrennt voneinander erarbeiteter Straßeninfrastrukturdaten oftmals fehleranfällig ist. Bisher vorliegende Lösungsansätze finden sich derzeit sehr häufig in Form von BIM-Pilotprojekten. Diese decken nur Teilaspekte über die Lebensdauer ab und beziehen sich vornehmlich auf die Projektierung sowie Planung und Abwicklung von Baumaßnahmen im Sinne einer "digitalen Baustelle". Eine generelle Beschreibung von Prozessen, Datenstrukturen und -flüssen in Straßenbauverwaltungen existiert bisher noch nicht in einer für die Anwendung der BIM-Methode umfassenden und nutzbaren Form. Dabei fehlen insbesondere einheitliche Vorgaben zum Datenaustausch zwischen den an Projektierung und Bau sowie Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung beteiligten Partnern.

1.1 Problemstellung

Bisher wurden im Asset Management die baustofftechnologischen Daten aus dem Bauprozess nur begrenzt in den Fokus gerückt und der Frage nicht nachgegangen, welche Daten für Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung erforderlich sind. Eine Reihe dieser Daten sind jedoch für die Erhaltungsplanung und den Straßenbetrieb nicht nur hilfreich, sondern als Kernelement des Asset Managements unabdingbar.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass nach Fertigstellung eines Straßenbauwerks durch die umfassende Dokumentation des ausgeführten Werkes und der vorhandenen Abnahmeprüfungen eine sehr detaillierte Datenbasis vorliegt, welche über die Lebensdauer derzeit nur in begrenztem Maß oder auch gar nicht genutzt wird. Durch eine oftmals fehlende datenbanktechnische Aufarbeitung dieser Datenbasis und der aktuell nicht vorhandenen Verknüpfung mit jener des Asset Management Systems (AMS) können die entsprechenden Informationen nur mit unverhältnismäßig großem manuellem Aufwand digital zur Verfügung gestellt werden.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsprojektes BIM4AMS [4] sollen daher die über die Lebensdauer der Straßenbefestigungen relevanten baustofftechnischen Daten in ein konsistentes und durchgängiges BIM-Konzept für das Asset Management der Straßeninfrastruktur nutzbringend und

mit den bereits vorhandenen Asset Management Daten verknüpft werden. Hierbei werden Ergebnisse aus dem CEDR-Projekt AMSfree [5] nahtlos um den Aspekt der relevanten baustofftechnischen Daten für Straßenbefestigungen erweitert.

2. Methodik / Lösungsansatz

2.1 Analyse von (Teil-)Prozessen

Zunächst erfolgt eine Prozessanalyse über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur. Dafür wurde der Gesamtprozess des Asset Managements analysiert und dargestellt, wie er in den beteiligten Straßenbauverwaltungen umgesetzt wird. Im Rahmen einer Detailanalysen wurde geprüft, ob ein gemeinsamer Referenzprozess im DACH-Bereich gefunden werden kann. Dabei erfolgte eine klare Abgrenzung von Projektierung, Bau, Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung, um deren unterschiedlichen Datenbedarf zu identifizieren.

Im Weiteren wurden die erforderlichen Datenverarbeitungsmethoden im Asset Management für alle drei Länder geprüft, um die Datenanforderungen festzuhalten. Damit ist gleichzeitig definiert, welche Daten aus dem Bauprozess in die Prozesse über die Lebensdauer mit Betrieb, Überwachung und Erhaltungsplanung übergeben werden müssen. Zwar bestehen im Detail methodische Unterschiede zwischen den drei betrachteten Ländern, es ist aber trotzdem gelungen, ein gemeinsam gültiges Modell abzuleiten. Das Ergebnis ist damit ein allgemeines Prozessmodell über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur in welchem die Datenübergabepunkten einschließlich der entsprechenden Datenspezifikation aus ingenieurtechnischer Sicht für Straßenbefestigungen definiert werden.

2.2 Anwendungsfälle

Das Prozessmodell geht von einem initialen Bestandsmodell aus, in dem die notwendigen geometrischen Angaben mit baustofftechnologischen Daten, Zustandsdaten und weiteren Planungsdaten wie Klima und Verkehr verknüpft sind. Der Datenumfang richtet sich dabei nach den Anforderungen der Überwachung (Zustandserhebung) und Erhaltungsplanung. Der Fokus lag dabei auf den baustofftechnologischen Daten, insbesondere auch auf der Gruppe der sogenannten Performance-Prüfungen der Materialien. Auch wenn diese derzeit noch nicht vollumfänglich in den Datenbehandlungsverfahren zur Erhaltungsplanung integriert sind, ermöglichen diese das Verhalten des Straßenoberbaus als Grundlage für die Erhaltungsplanung und anschließende Entscheidungsfindung besser zu prognostizieren. Aufbauend auf den Ergebnissen der Prozessanalyse wurden dann drei wesentliche Anwendungsfälle innerhalb des Asset Ma-

nagements identifiziert, die mit Hilfe von BIM ergänzt werden sollen (vgl. Abb. 1):

- Update I: Inspektionsdaten (Daten der Zustandserfassung und -bewertung ZEB)
- Update II: Erhaltungsplanung
- Update III: As-built-Modell («wie gebaut»-Modell)

Update I – Inspektionsdaten ZEB

Der Zustand der Straßenbefestigung unterliegt aufgrund der ständigen Belastung durch Verkehr und Klima einer ständigen Beanspruchung und ist damit eine zeitlich veränderliche Kenngröße. Aus diesem Grund werden in den D-A-CH-Ländern regelmäßig und standardisiert netzweite Messkampagnen zur Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Fahrbahnoberfläche durchge-

führt (vgl. [6], [7], [8]), um einen aktuellen Überblick zum Netzzustand zu erhalten. Diese Daten werden bereits heute in den Straßendatenbanken bzw. der Asset Management Datenbasis (AM-Datenbasis) historisiert abgelegt (vgl. [9], [10], [11]) und dienen neben weiteren Daten, u. a. zum Aufbau, der vorhandenen (Schwer-) Verkehrsbelastung oder Klima, bei Analysen zur Modellbildung der Zustandsentwicklung.

Der Datenaustausch zwischen ZEB und AM-Datenbasis über eine IFC-Schnittstelle stellt hierbei eine standardisierte Datenstruktur für die Zustandsdaten im Rahmen einer separaten virtuellen Schicht sicher und ermöglicht bei Bedarf eine Anreicherung des BIM-Modells in Form eines digitalen geometrischen Geländemodells der Fahrbahnoberfläche. Das Bestandsmodell selbst wird somit nicht verändert.

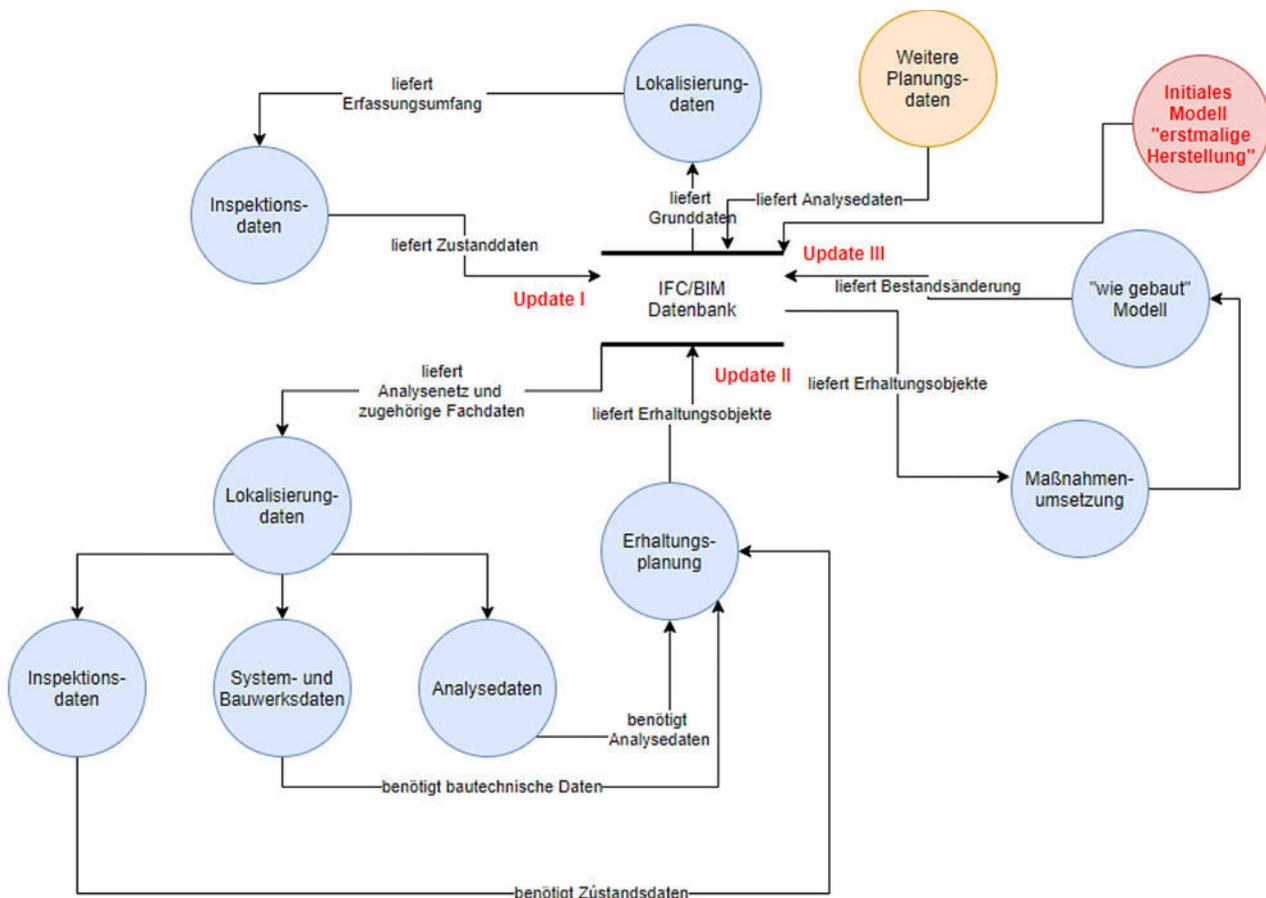


Abbildung 1: Systematik des Datenbedarfs und der Updates

Zusätzlich wird es möglich, weitere relevante Zustandsinformationen des Straßenoberbaus, z. B. Tragfähigkeitsmessungen oder Bohrkernuntersuchungen für die Bewertung der Straßenbefestigung, über die IFC-Schnittstelle auszutauschen.

Mit den aktualisierten Zustandsdaten in Verbindung mit einem Prognosemodell lassen sich dann Aussagen über die aktuelle und zukünftige Erhaltungsbedürftigkeit im Straßennetz treffen.

Im Rahmen der Zustandserfassung wird eine große Menge von Rohdaten erhoben, aus denen Ergebnisdaten im Rahmen eines Auswerteprozesses hergeleitet werden. Im vorliegenden Fall werden jedoch lediglich die abschnittsbezogenen Ergebnisdaten in die AM-Datenbasis übernommen, welche zur weiteren Verarbeitung benötigt werden.

Update II – Erhaltungsplanung

Der Prozessschritt der Erhaltungsplanung erfordert u. a. Inputdaten zum Befestigungsaufbau, zu den baustofftechnologischen Daten, zum Zustand und zu weiteren planungsrelevanten Kenngrößen. Das Ergebnis einer netzweiten Erhaltungsplanung stellt die Finanzbedarfsprognose sowie die Identifikation- und Priorisierung maßnahmenbedürftiger Abschnitte dar. Dies erzeugt vordergründig keine Änderung des Bestandsmodells. Allerdings zeigen die Anforderungen aus der Praxis, dass es notwendig ist, auch hier einen netzweiten Überblick zum anstehenden Erhaltungsprogramm, welches aus maßnahmenbedürftigen Abschnitten besteht, zu generieren und dies als Update II mit aufzunehmen. Die notwendigen Informationen umfassen die Angaben zum betroffenen Abschnitt, zum geplanten Maßnahmenjahr sowie zum vorab zugeordneten Maßnahmentyp. Ein Maßnahmentyp umfasst verschiedene Erhaltungsmaßnahmen mit ähnlichem Umfang bzw. ähnlichen Auswirkungen in Bezug auf Zustand und Kosten.

Update III – As-built-Modell

Im Rahmen der objektbezogenen Projektierung und Bauausführung wird die Baumaßnahme konkretisiert und dann umgesetzt. Dabei kann sich unter Umständen der durch die Erhaltungsplanung vordefinierte Maßnahmentyp nochmals ändern. Durch eine Baumaßnahme wird die Straßenbefestigung z. B. durch den Ersatz einer oder mehrerer gebundener Schichten bzw. aller gebundenen und ungebundenen Schichten gesamthaft erneuert. Damit ändert sich das initiale as-built-Modell und mit dem Update III werden die relevanten Änderungen in das Modell mit übernommen. Neben den geometrischen Änderungen werden auch die neuen baustofftechnischen Daten mit übernommen.

2.3 Definieren von Informationsanforderungen

Die Informationsanforderungen legen die auszutauschenden Inhalte eines digitalen Straßenmodells fest. Neben

den geometrischen Details werden die auszutauschenden semantischen Informationen hinsichtlich der beschriebenen Anwendungsfälle festgelegt. Beim Austauschen eines IFC-Modells kann die Erfüllung der Informationsanforderungen anhand einer vordefinierten Model View Definition (MVD) überprüft werden.

Auf Basis der definierten Anwendungsfälle wurden die relevanten baustofftechnischen Daten spezifiziert, die Informationen zu den einzelnen Schichten des Straßenbaus beinhalten. Für jedes relevante Aufbauelement (z. B. Aufbauschichten einer Straße) wurden semantische Informationen als Merkmale und Merkmalsgruppen nach EN ISO 23386 definiert. Weiterhin erfolgte die Zusammenstellung von Merkmalen und Merkmalsgruppen für die Informationen, die im deutschsprachigen Raum im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung gesammelt werden. In einem IFC-Modell können diese Merkmale als benutzerdefinierte `ifcPropertySets` den jeweiligen Elementen zugeordnet werden.

2.4 Anwendung von Informationscontainern nach ISO 21597

Die Verknüpfung und Überführung unterschiedlicher Datenquellen, Datenmodelle oder -formate ist eine bekannte Herausforderung, die nicht allgemeingültig gelöst werden kann. Der Einsatz der Semantic Web Technology (SWT) bietet die Möglichkeit, Daten aus unterschiedlichen Datenquellen miteinander zu verknüpfen. Um domänenspezifische, semantische Information zu beschreiben, in diesem Fall konkret aus dem Umfeld der Straßeninfrastruktur und dem Asset Management, können entsprechende auf Resource Description Framework (RDF) und Web Ontology Language (OWL) basierende Ontologien entwickelt werden. Der Information Container for linked Document Delivery (ICDD) nach ISO 21597-1 bietet eine Umgebung für die Erfassung und Verlinkung von Daten aus unterschiedlichen Formaten. In diesem Information Container können Datei-basierte Dokumente, z. B. IFC-Modell, Excel-Tabelle, Fotos etc., und die Ontologie miteinander verknüpft werden. Der Austausch von komplexen Daten zwischen den Beteiligten wird somit mittels ICDD erleichtert.

Ein wesentlicher Vorteil ist dabei die vereinfachte Erweiterung von semantischen Informationen zum Bauwerk mittels einer Ontologie. Die bisher veröffentlichten Ontologien für Infrastrukturelemente, z. B. European Road Object Type Library (OTL) [12], [13], können hierfür verwendet bzw. nach den individuellen Anforderungen erweitert werden. Je nach Bedürfnis kann der Nutzer auch eigene Ontologien erstellen. Beispielsweise können die baustofftechnischen Merkmale als Ontologie definiert werden. Die dazu gehörenden Daten können als Instanzen der Ontologie mittels ICDD erfasst und mit IFC Element verknüpft werden. Die zu erfassenden Daten sowie die betreffenden Ontologien innerhalb eines Infor-

mation Containers sind gemäß dem definierten Anwendungsfall festzulegen. Bestimmte Informationen können mit dem SPARQL Protocol und der RDF Query Language (SPARQL) abgefragt werden.

2.5 Umsetzung des Anwendungsbeispiels

Die Umsetzung in Anwendungsbeispielen wird in den hier thematisierten laufenden Forschungsprojekten [4], [5] aktuell vorbereitet. Am Beispiel eines Straßenabschnittes wird die Durchgängigkeit des BIM-Konzepts sowie die Umsetzung von Nutzungsrechten aufgezeigt. Dazu wird ein BIM-Modell auf der Grundlage des aktuellen IFC-Formats (IFC 4) definiert, welches an den Bauherren für die Phasen Betrieb und Erhaltung übergeben wird. Dieses dient als Basis für den Realisierbarkeitstest. Die nachfolgende Abbildung 2 fasst die Vorgehensweise zur exemplarischen Einführung von BIM im Asset Management der Straßeninfrastruktur zusammen. Die grauschraffierten Module beschreiben die Arbeitsschritte innerhalb des Anwendungsbeispiels.

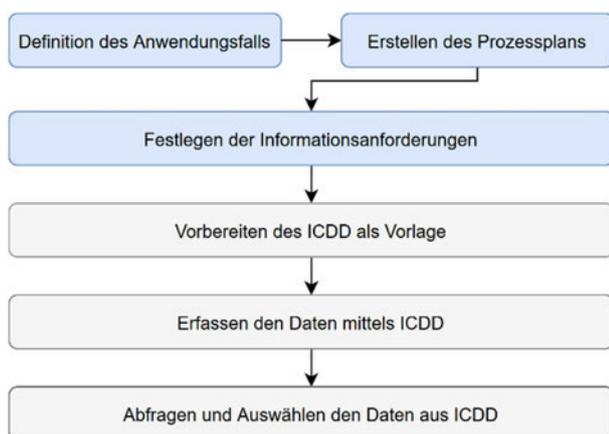


Abbildung 2: Methodik zur exemplarischen Einführung von BIM im Asset Management der Straßeninfrastruktur

3. Datengrundlage

Wie bereits erläutert, liegen die in den BIM-Ansatz zu integrierenden Daten in unterschiedlichen Datenbanken und -formaten vor. Diese umfassen Daten in Verbindung mit dem Bauprozess sowie Daten, die im Rahmen des Asset Managements erzeugt bzw. verwaltet werden. Der relevante Datenumfang ist zudem nicht abschließend und muss erweitert werden können, da gerade auch mit Blick auf die Resilienz der Straßeninfrastruktur, z. B. im Zusammenhang mit dem Klimawandel und Naturgefahren, zusätzliche Inputdaten notwendig werden (vgl. [14]).

Die Umsetzung der beschriebenen Anwendungsfälle setzt ein Zusammenführen bzw. eine Verknüpfung der Daten aus unterschiedlich Quellen voraus. Ein Teil der Daten wird im Rahmen des Bauprozess erzeugt, ein anderer Teil stammt aus Überwachungsaktivitäten (z. B.

Zustands- und Inspektionsdaten) oder aus allgemein zugänglichen Datenquellen (z. B. Wetterdaten).

3.1 Datenhaltung im Bauprozess

In den DACH-Ländern kommen unterschiedliche Projektplattformen bzw. virtuelle Projekträume in der Bauphase als Datenablage zur Anwendung. Diese Projektplattformen/Projekträume stellen die zentrale Datenquelle für alle projekt-spezifischen Unterlagen im Zuge der Errichtung während des Bauprozesses dar. Einige Projektplattformen verfügen bereits über integrierte Viewer zur Darstellung von IFC oder BIM-Modellen in prioritären Dateiformaten (u. a. DWG, RVT).

Die Wahl der Datenhaltungssysteme erfolgt hauptsächlich länder- und projekt-spezifisch (in Deutschland derzeit u. a. aufgrund des föderalen Systems).

Daten werden bisher größtenteils als „Dokumente“ in Form von Plänen, Berichten, Listen, Prüfprotokollen, etc. im Zuge des Bauprozesses generiert und abgelegt. Ein Datenaustausch erfolgt über verschiedene Server oder Cloud-Systeme sowie häufig auch noch in physischer Form als CDs und Pläne.

Eine strukturierte Ablage und somit Weiterverarbeitung der in diesen Dokumenten enthaltenen Daten ist bisher nicht Standard und erschwert wesentlich eine Übergabe von Daten aus dem Bauprozess in den Betrieb und die Erhaltung. Zudem liegen gerade zum letzten Punkt keine strukturierten Anforderungen vor.

3.2 Datenhaltung im Asset Management

Grundsätzlich können die Objekte der Straßeninfrastruktur aufgrund ihrer Eigenschaften in unterschiedliche Objektgattungen, auch Teilsysteme genannt, gegliedert werden. Klassisch wird in Fahrbahnen, Ingenieurbauwerke bzw. Kunstbauten und elektromechanische Anlagen unterschieden. Hinzukommen können u. a. Werkleitungen, Nebenanlagen oder zusätzlich relevante Objekte.

Inventardaten

Inventardaten beinhalten Informationen zu geometrischen Abmessungen der Bauwerke und ihrer Eigenschaften. Hierzu zählen bspw. Lokalisierungsdaten, Aufbau- und Verkehrsdaten. Querschnitts- und Aufbaudaten liegen vor, müssen aber aus den Bestandsdokumenten aus der Bauphase als as-built-Modell für die Weiterverwendung im Betrieb/Erhaltung oftmals extrahiert werden (vgl. Update III).

Inspektionsdaten ZEB

Die Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Fahrbahnoberfläche ist in den D-A-CH- Ländern national standardisiert. Unterschiedliche Regelwerke definieren die relevanten, zu erfassenden Zustandsmerkmale und Messverfahren sowie die Bewertung der Ergebnisse (vgl. Update I mit [6], [7], [8]).

Inspektionsdaten Bauwerke

Die Bauwerksüberwachung von Ingenieurbauwerken ist in den D-A-CH-Ländern ebenfalls national standardisiert. Auch hierfür existieren unterschiedliche Regelwerke, welche die Durchführung von Inspektionen und die dabei durchzuführende Zustandserfassung und -bewertung definieren (vgl. [15], [16], [17]).

Daten zu durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen

Diese Daten umfassen die Informationen zu durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen. Je nach Temporalisierungskonzept (auch Historisierungskonzept genannt) werden in den meisten AM-Systemen die Auswirkungen der Erhaltungsmaßnahmen zu einer Veränderung der Inventardaten führen (vgl. Update III). Die Erhaltungsmaßnahmen selbst werden als eine Aktivität samt deren Art, Ausführungszeitpunkt, Dauer, Betreiber- und Nutzerkosten separat vorgehalten. Dies ermöglicht auch eine statistische Auswertung der Maßnahmen-Einheitskosten und eine Quantifizierung des Erfolgs einer Maßnahmenart.

3.3 Zwischenresümee

In den meisten Straßenbauverwaltungen existieren bestehende Informationssysteme für die Straßenbefestigungen und die Ingenieurbauwerke. In den DACH-Ländern beinhalten diese bereits sehr umfangreiche Fachkataloge, welche eine Grundlage für eine Verknüpfung darstellen. Leider werden diese Potentiale aktuell nicht oder nur unzureichend genutzt und enthalten aus diesem Grund kei-

ne Daten. Eine Verknüpfung von Bauprozess und Asset Management ermöglicht hingegen die Nutzung dieser Potentiale von bereits vorhandenen Informationssystemen.

4. Fallbeispiel

Für die Evaluierung wird das entwickelte Datenmodell prototypisch implementiert und mit Hilfe von Anwendungsfällen am Beispiel eines Straßenbauprojektes aufgezeigt. Dazu sollen zum einen das Einspielen und Visualisieren von Ergebnissen der Zustandserfassungen in das Modell umgesetzt werden. Zum anderen sollen die in den Datenbanken vorhandenen Aufbaudaten und die aus dem Bauprozess generierten baustofftechnischen Daten in das Modell integriert werden.

Die softwaretechnische Umsetzung beinhaltet das Aufzeigen von Möglichkeiten zur Verknüpfung von Daten inklusive der notwendigen Schnittstellen zwischen einer Autorensoftware (z. B. AutoCAD Civil 3D) und den eingesetzten Asset Management Systemen (z. B. BISSTRA, dTIMS, TRA) sowie die Visualisierung von Informationen mittels eines IFC-Viewers. Abbildung 3 zeigt die exemplarische Anwendung des Modells zur grafischen Darstellung von Inspektionsdaten in einem IFC-Viewer. Nach Anwendung und Erprobung der modellierten Anwendungsfälle, sollen die aus den Fallbeispielen gewonnen Ergebnisse in einer Modellierungsrichtlinie zusammengefasst und in Handlungsempfehlungen dokumentiert werden.



Abbildung 3: Exemplarische Darstellung von Zustandsdaten in einem IFC-Viewer

5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde aufgezeigt, wie notwendige Informationen für die Bewertung des Zustands in Lebensdauerbetrachtungen der Straßeninfrastruktur in Form von Informationscontainern nach ISO 21597 bereitgestellt und die Ergebnisse nachprüfbar abgefragt werden können. Zu diesem Zweck wurden Informationscontainer entwickelt, die die Ergebnisse von Brücken- und Straßeninspektionen enthalten. Es wurde unterschieden zwischen Informationen, die direkt in BIM-Modelle einfließen und solchen, die mit externen Datenquellen verknüpft sind.

Weiterhin wurde durch Fallbeispiele gezeigt, wie mit semantischen Informationen und der geometrischen Darstellung umgegangen wird. Aus den bisherigen Ergebnissen des noch laufenden Projektes ist bereits eine deutliche Nutzensteigerung durch die Anwendung von BIM innerhalb des Asset Managements erkennbar.

5.1 Erwartete Nutzensteigerung

Der Nutzen für ein Asset Management System durch die Ergänzung mit BIM samt der baustofftechnologischen Datenbasis und deren temporale Einordnung und örtliche Lokalisierung ist enorm. Die Informationen aus dem Bauprozess, z. B. Schichtdicken, Art des Asphaltmischgutes, oder baustofftechnologische Daten aus Abnahme-

prüfungen, stellen den IST-Zustand des Straßenbauwerks zum Abnahmezeitpunkt dar, d. h. eine initiale Datengrundlage, welche etwaige Analysen über seine Lebensdauer erlauben. Sobald die Prozesse und der Datenfluss klar definiert sind und die jeweiligen Daten in den verknüpften Informationssystemen ohne Redundanzen gepflegt werden, sind die vorhandenen Synergien erheblich. Bereits bekannt ist der entstehende Nutzen bei einer umfassenden Nutzung von Straßeninformationssystemen im Asset Management [18].

Werden jedoch die baustofftechnischen Daten aus dem Bauprozess über einen durchgängigen BIM-basierten Datenaustausch mit dem Asset Management verknüpft, können die derzeit umfangreichen Prozesse der Zusammenführung und Überprüfung von Daten in einem AMS weitgehend reduziert werden und neben der schnelleren Datenverfügbarkeit auch fortgeschrittene Auswertungen und Analysen gerade in Bezug auf Lebensdaueranalysen und der Optimierung des Erhaltungshandelns durchgeführt werden. Darüber hinaus können weitere Analysen der verknüpften Daten neue und umfassende Erkenntnisse zur Dauerhaftigkeit von Bauweisen verwendet werden und damit Erkenntnisse zu deren Weiterentwicklung liefern. Dies führt zu einer genaueren Abschätzung von Risiken und Kosten über die Lebensdauer der Straßeninfrastruktur, möglicherweise über die Betrachtung der Dauerhaftigkeit auch zur Bewertung klimastabiler Bauweisen.

```

SELECT ?core ?roadSegment ?local ?coreLocal
WHERE {
  ?core a ConCore:drillcore ;
  eurotI:containedIn ?roadSegment;
  prov:atLocation ?local .
  ?local prov:value ?coreLocal
}

```

[core]	roadSegment	local	coreLocal
◆ exampleInst:drillcore_1	◆ exampleInst:Roadseg_1	◆ exampleInst:CoresLocation	S km 50.080
◆ exampleInst:drillcore_2	◆ exampleInst:Roadseg_1	◆ exampleInst:CoresLocation	S km 50.080

Abbildung 4: SPARQL Abfrage der Bohrkernkomponenten aus den Inspektionsdaten und die Ergebnisse der Abfrage

5.2 Ausblick

Der Einsatz der SWT ermöglicht mehr Interoperabilität zwischen die Informationen aus den unterschiedlichen Domains. In dem Fallbeispiel zeigt, dass das Erfassen, Zuordnen und Austauschen unterschiedlichen Daten mittels ICDD realisiert wird.

Um das vorhanden AMS mit den relevanten Daten aus den baulichen oder betrieblichen Aktivitäten zu aktualisieren, wird die Übertragung der in ICDD erfasst semantischen Informationen ins AMS als nächster Schritt vorgesehen. Durch bestimmte SPARQL-Abfragen können die benötigten Daten aus ICDD ausgefiltert werden (vgl. Abbildung 4).

Die Übertragung dieser Daten soll durch die automatisiert generierten SQL-Befehle maßgeschneidert für das betreffende AMS realisiert werden. Die automatisierte Integration den Daten von ICDD ins AMS reduzierte der Arbeitsaufwand und Fehleranfälligkeit. Diese Arbeits erleichterung kann mehr Resonanz bei Anwendung der BIM in Kombination von SWT in der Praxis für Betrieb erwecken.

Literatur

- [1] Stöckner, Niever (2018) Building Information Modeling – BIM im Life Cycle Management, Deutscher Straßen- und Verkehrskongress, Erfurt
- [2] König et.al. (2019) InfraBIM - Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau, BMVI, Berlin
- [3] König et.al. (2019) BIM4ROAD - Building Information Modeling (BIM) im Straßenbau unter besonderer Berücksichtigung der Erhaltungsplanung, BAST, Bergisch Gladbach
- [4] Hajdin et.al. (laufend) BIM4AMS – BIM-Erweiterung durch Implementierung der Nutzung baustofftechnischer Daten von Straßen und Brücken im AMS, FFG DACH-Call 2019
- [5] Stöckner et.al. (laufend) AMSFree - Exchange and exploitation of data from Asset Management Systems using vendor free format, CEDR-Call 2018
- [6] The European Road OTL Ontology: online < https://www.roadotl.eu/static/eurotl-ontologies/eurotl_doc/index-en.html >, abgerufen im Apr. 2021
- [7] FGSV (2006) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZTV ZEB-StB). Ausgabe 2006, Best.-Nr. 998, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln
- [8] FSV (2006) RVS 13.01.15: Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien
- [9] VSS 40925 (2018) Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF); Zustandserhebung und Indexbewertung, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich
- [10] OKSTRA (2021) Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen, www.okstra.de
- [11] ASFINAG (2016) IMT Datenbankstruktur – Generelle Vorgaben und Grundlagen, IT-Dokumentation, Wien
- [12] Bundesamt für Strassen (2016) MISTRA Trasse – TRA, Datenerfassungshandbuch, IT-Dokumentation, Ittigen
- [13] Luiten, Böhms, Alsem, Keeffe (2018) Asset information management for European roads using linked data, Proceedings of 7th Transport Research Arena (TRA) 2018, Wien
- [14] Tanasić, Hajdin (2020) Decision support framework for terrestrial transportation infrastructure – Resilience approach, Proceedings of the 11th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2020), Melbourne
- [15] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2017) Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF)
- [16] FSV (2011) RVS 13.03.11: Qualitätssicherung bauliche Erhaltung Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten Straßenbrücken
- [17] ASTRA (2016) KUBA 5 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel – Leitfaden für Inspektoren
- [18] PIARC Technical Committee D.1 - Management of road infrastructure assets (2019) Innovative Approaches to Asset Management: online <https://www.piarc.org/ressources/publications/11/8427e86-31264-2019R19EN-Innovative-Innovative-Approaches-Asset-Management.pdf>, abgerufen im Mai 2021

Vom Büro ins Bauwerk – Kooperationsmöglichkeiten mit Mixed Reality

Leif Oppermann

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT, Sankt Augustin, Deutschland

Zusammenfassung

Die Digitalisierung erreicht das Bauhandwerk und betrifft nun bald den kompletten Lebenszyklus von Gebäuden, Bauwerken und der gesamten Verkehrsinfrastruktur. Neuartige Begriffe machen die Runde: vom digitalen Zwilling, über künstliche Intelligenz bis hin zu Virtual, Augmented und Mixed Reality, sowie kollaborativem Arbeiten auf Basis von BIM-Daten. Doch welche Chancen ergeben sich daraus und wo kriegt man das her? Dieser Kurzbeitrag skizziert meinen im Rahmen des 1. Fachkongress „Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur“ im Juni 2021 an der Technischen Akademie in Esslingen gehaltenen Plenarvortrag. Er versucht aus der Historie der Informatik heraus eine gemeinsame, die Disziplinen übergreifende Perspektive für die Bauwirtschaft und die Informatik zu zeichnen und damit Orientierung zur Digitalisierung zu bieten. Denn die zunehmend geforderte mobile Kollaborationsunterstützung am und im Bauwerk muss nicht auf der grünen Wiese geschaffen werden, sondern kann sich auf eine reiche Forschungstradition in den Bereichen CSCW, HCI und Mixed Reality stützen.

1. Computer am Arbeitsplatz

Die Verwendung von Computern am Arbeitsplatz war in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Innovation, die nur wenigen Anwendern vorbehalten war und gegen die es seit jeher viele Vorbehalte gab [1]. Aus unserem heutigen Arbeitsleben ist der Computer aber natürlich nicht mehr wegzudenken. Mit Ausbruch der Corona-Pandemie wechselten in Deutschland ab März 2020 insbesondere diejenigen Branchen problemlos ins Homeoffice, die über eine gute (und mobile) technische Ausstattung und eine entsprechende Organisation ihrer Prozesse verfügten [2]. Die dahinterstehende Tradition seit Begründung der Informatik in Deutschland in den späten 1960er und frühen 1970er Jahren und ihrer praktischen Anwendung durchlief im wesentlichen drei Wellen: 1.) Büro-Automatisierung, 2.) Group-Ware, und 3.) Social und Ubiquitous Computing [3]. Sie war zunächst hauptsächlich auf Büroarbeiten und eine eher stationäre Verwendung ausgerichtet [4]. Nach Einführung des Personal Computers trat durch die mobilen Endkunden-Geräten jedoch zunehmend eine Verwischung der Grenze zwischen Büro und unterwegs, bzw. zuhause ein. Die Interaktion mit Computern unterschiedlicher Bauart, auch mit Tablets und Smartphones, wurde grundsätzlich überall verfügbar und somit ubiquitär (engl. ubiquitous).

1.1 Von den Grundlagen zum kollaborativen Arbeiten

Unsere Forschungseinrichtung erforscht, gestaltet und begleitet die Digitalisierung der damit einhergehenden Prozesse seit ihrer Gründung 1968. Die mittlerweile über ein halbes Jahrhundert währende Forschungstradition von Fraunhofer FIT steht im Zeichen der partizipativen, menschenzentrierten Innovation und agiert dabei stets in den Spannungsfeldern zwischen Menschen und Technik, Theorie und Anwendung. Als Zeitzeuge und Vorreiter zugleich trägt Fraunhofer FIT aktiv zum Trend des computergestützten Arbeitens bei und hat sich in vielfältigen erfolgreichen Projekten als Verfechter von Kollaborationssystemen erwiesen. FIT macht es sich zur Mission Forschungsergebnisse und Technologien zielführend in neue Perspektiven und Zusammenhänge zu stellen. Ende der siebziger Jahre, noch unter dem Namen GMD, entwickelte die Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung beispielsweise das Rechtsinformationssystem JURIS, das noch heute im Einsatz ist. Zunächst wurden Computer hauptsächlich für administrative Aufgaben eingesetzt und der Blick fiel auf die Maschine selbst. Fehler wurden den Menschen zugeschrieben und man betrachte sie als Faktoren. Erst Ende der 1970er, Anfang der 1980er Jahre änderte sich die Blickweise. Der Mensch rückte zunehmend in den Mittelpunkt und wurde als Akteur betrachtet. Man sprach nun von „Computer-Supported Cooperative Work“ (CSCW), also der Unterstützung der kollaborativen Arbeit von Menschen durch Computer [5].

1.2 Digitalisierung in Architektur, Ingenieurwesen und Konstruktion

Die Arbeitsabläufe in der AEC-Branche (engl. architecture, engineering and construction) erfuhren und erfahrene seit ca. den 1990er Jahren die zweite große Digitalisierungswelle. Die erste Welle war der Übergang weg von Bleistift, Tinte und Zeichentisch bei der Erstellung von Bauzeichnungen hin zu Computer Aided Design (CAD). Hierbei wurden die Arbeitsmittel der Angestellten im Büro zwar grundlegend erneuert, es wurden aber beispielsweise weiterhin Grundrisse und Aufrisse konstruiert und auf dem Bau kam ein Papierplan an; idealerweise der aktuelle. Es gab und gibt große Reibungsverluste beim Phasenübergang in der HOAI und beim Gewerkeübergang auf der Baustelle, sowie Lücken in der Überwachung. Im schlimmsten Fall sind Pläne und Erkenntnisse aus einer früheren Phase, ggf. bedingt durch einen Auftragnehmerwechsel, nicht mehr verfügbar.

Die zweite Welle basiert auf der Methode BIM (Building Information Modelling) und der dahinterstehenden Idee, die Arbeiten über den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken (Planung, Bauausführung, Betrieb, Unterhalt, Rückbau) über zentrale digitale Modelle zu koordinieren. Die daraus resultierenden Kollaborationsprozesse gelten als Zukunft des Bauwesens und sind in den Strategien mehrerer Regierungen, wie beispielsweise in UK [6] oder Deutschland [7], festgeschrieben. Der daraus resultierend „Leitfaden Großprojekte“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur ist nicht zuletzt ein Grund für den TAE-Fachkongress „Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur“. Zu BIM-Daten gehören meist auch dreidimensionale CAD-Modelle, die sich vielfältig aufbereiten und verwenden lassen.

1.3 Geschichten der Informatik

Mit dem Siegeszug des World Wide Web änderte sich ab den 1990er Jahren alles. In Deutschland ergab sich nach der Wiedervereinigung mit dem Bonn-Berlin Umzug ein einzigartiger Digitalisierungsbedarf. Teile der Ministerien verblieben dabei in Bonn, sodass es mit einem bloßen Umzug und der Verschickung von Umzugsgut nicht getan war. Es war nicht mehr ausreichend, Papierakten und Laufmappen mit Boten von einem Büro in das andere bringen zu lassen; neue Prozesse mussten her! Dazu wurden verschiedene Forschungsprojekte initiiert, u.a. das POLITeam-Projekt [8] bei FIT. Im Rahmen dessen wurde zunächst das Prinzip einer digitalen Laufmappe entwickelt. Dieses war jedoch nicht flexibel genug, so dass man letztlich zum Konzept des „Shared Workspace“ kam. Auf diesem Konzept basierend wurde Mitte der 1990er Jahre der BSCW-Server veröffentlicht, der bis heute weiterentwickelt wird und beispielsweise in der Bundesverwaltung und der Bundesanstalt für Straßenwesen zur Projektorganisation Anwendung findet. Die-

ses erste webbasierte Groupware-System half dabei, die Welle der Büroautomation in die Ära der Groupware zu brechen. Im Zuge dieser Revolution war es wichtig zu erkennen, dass es nicht um den einzelnen Anwender auf einzelnen Geräten ging, sondern um einen noch nie dagewesenen Maßstab. Es bestand also nicht die Aufgabe, Arbeitsabläufe und Prozesse einer 1:1-Übersetzung zu unterziehen, sondern den Spagat zwischen Menschen und Technik gegenzusteuern, etwa durch die Vernetzung von Arbeitsplätzen, die Unterstützung von kollaborativem Arbeiten an PCs am und abseits des Arbeitsplatzes. Ein jüngeres Beispiel für den erfolgreichen Einsatz des BSCW ist das System EnArgus.master, das auf Basis der Kooperationsplattform einen leistungsfähigen Überblick über laufende Projekte der Energieforschung und investierte Mittel der staatlichen Förderpolitik bietet und die Bewertung von Technologieentwicklungen erleichtert [9]. Es wurde nach einem erfolgreichen Pilotprojekt in zwei aufeinander aufbauenden Forschungsprojekten des BMWI über mehrere Jahre kollaborativ entwickelt und danach zum dauerhaften Betrieb an den Projektträger übergeben.

1.4 Von CSCW zu Mixed Reality

Der digitale Arbeitsplatz, auf den nun mehrere Personen gleichzeitig zugreifen können, wurde Realität. Mit dem Aufkommen mobiler, drahtloser Geräte beschleunigte sich das Heranreifen des Ubiquitous Computing [10]. Intelligente Geräte wie Smartphones, Tablets, und Brillen sorgten für eine steigende Nachfrage nach mobilen Kollaborationslösungen, oft basierend auf Konsum- und Unterhaltungstechnologien, die vorher nicht im Fokus der CSCW-Betrachtungen standen. Sie bieten nunmehr aber die Möglichkeit für digitale Innovationen und interaktive Arbeitsabläufe abseits des Büros, also im Grunde: immer und überall.

Damit einher geht die zunehmende Nachfrage nach Virtual, Augmented und Mixed Reality Lösungen. Mit dem Erfolg der VR-Brillen im Spiele-Bereich, sowie von AR-tauglichen Smartphones, Tablets und Smart Glasses steigt auch das allgemeine Interesse nach derartigen Anwendungen. Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag veröffentlichte unlängst einen umfangreichen Arbeitsbericht zum Thema [11] und stellt darin auch Bezüge zum Bausektor her. Eigene Vorarbeiten betreffen beispielsweise die Einsatzmöglichkeiten von Smart Glasses [12] und Head Mounted Displays in deutschen Unternehmen [13], sowie die Aufbereitung von Interaktionsmöglichkeiten in virtuellen Umgebungen für die Lehre an deutschen Hochschulen [14]. Aktuell betreiben wir mit dem vom BMVI geförderten 5G-Innovationsprojekt „IndustrieStadtspark“ Anwendungsforschung für 5G unter Verwendung von IoT und Mixed Reality zur Kollaborationsunterstützung abseits des Büros. Auf internationaler Ebene haben Ens et al. unlängst postuliert, dass sich die nächste Evolutions-