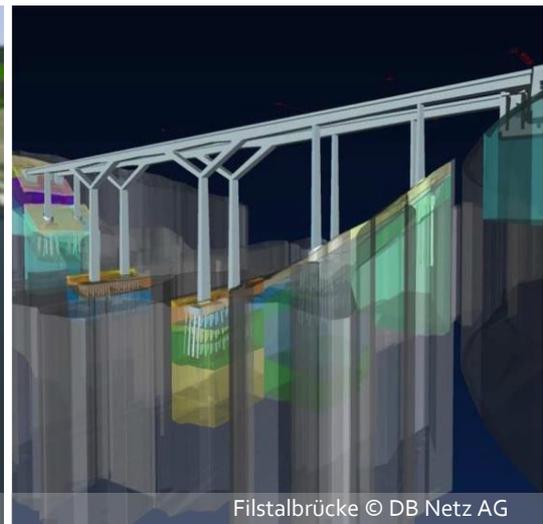


Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von Building Information Modeling im Infrastrukturbau

M. König, J. Amann, A. Borrmann, M. Braun, R. Elixmann, K. Eschenbruch, A. Goetz,
K. Hausknecht, M. Hochmuth, T. Liebich, N. Nejatbakhsh, M. Scheffer, D. Singer



Brücke Petersdorfer See © QLX & DEGES



Filstalbrücke © DB Netz AG



Rastatter Tunnel © DB Netz AG



Talbrücke Auenbach © Obermeyer Planen + Beraten & DEGES

Wissenschaftliche Begleitung der BMVI Pilotprojekte zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbau

Materialsammlung

bearbeitet von

Markus König, Ruhr-Universität Bochum
Julian Amann, Technische Universität München
André Borrmann, Technische Universität München
Matthias Braun, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH
Robert Elixmann, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB
Klaus Eschenbruch, Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB
Alessandra Goetz, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH
Kerstin Hausknecht, AEC3 Deutschland GmbH
Markus Hochmuth, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH
Thomas Liebich, AEC3 Deutschland GmbH
Nazereh Nejatbakhsh, OBERMEYER Planen + Beraten GmbH
Markus Scheffer, Ruhr-Universität Bochum
Dominic Singer, Technische Universität München

im Auftrag

des Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Beim vorliegenden Bericht handelt es sich um ein wissenschaftliches Werk. Bei den dargestellten Abbildungen Dritter handelt es sich um Großzitate nach §51 UrhG. Auf die Urheber wird in der Quellenangabe verwiesen.

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM



Computing
in Engineering



OBERMEYER
PLANEN + BERATEN GmbH



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	McGraw-Hill-Studie zu BIM in Infrastrukturprojekten	6
3	Stand der Wissenschaft und Technik	12
3.1	<i>BIM im Brückenbau</i>	13
3.1.1	3D-Brückenmodellierung	13
3.1.2	BIM-Werkzeuge für die Brückenplanung	14
3.1.3	BIM-gestützte Instandhaltung von Brücken.....	20
3.1.4	As-built Modellierung von Brückenbauwerken	22
3.1.5	BIM gestütztes „Structural Health Monitoring“ von Brückenbauwerken.....	22
3.2	<i>BIM im Straßenbau</i>	23
3.2.1	Softwarewerkzeuge	23
3.2.2	Datenaustausch.....	25
3.3	<i>BIM im Tunnelbau</i>	27
3.4	<i>BIM im Schienenbau</i>	34
3.5	<i>BIM-GIS-Integration</i>	37
3.6	<i>Fazit</i>	42
4	Standards und Richtlinien	44
4.1	<i>BIM Standards im Hoch- und Infrastrukturbau</i>	44
4.2	<i>Notwendigkeit von BIM-Standards im Infrastrukturbereich</i>	46
4.3	<i>Bestehende Standards in angrenzenden Bereichen</i>	47
4.4	<i>Gremien und Organisationen zur Entwicklung von BIM-Standards</i>	48
4.4.1	Arbeiten auf ISO-Ebene	49
4.4.2	Arbeiten auf CEN-Ebene.....	51
4.4.3	Arbeiten auf nationaler Ebene	52
4.4.4	Einbringen deutscher Interessen in internationale Standardisierung.....	57
4.5	<i>Entwicklung der Datenformate für Infrastruktur</i>	58
4.5.1	IFC-Alignment (Trassierungsdaten).....	61
4.5.2	IFC-Road (BIM im Straßenbau).....	64
4.5.3	IFC-Rail (BIM im Schienenbau).....	67
4.5.4	IFC-Bridge (BIM im Brückenbau).....	70
4.5.5	IFC-Tunnel (BIM im Tunnelbau).....	70
4.5.6	buildingSMART Infrastructure Room Arbeitsplan.....	71
4.5.7	InfraBIM Entwicklung in Finnland	72
4.5.8	Teilnahme Deutschlands an den Entwicklungen.....	72
4.6	<i>Entwicklung der Dateninhalte für Infrastruktur</i>	73
4.7	<i>Entwicklung der BIM-Managementstandards</i>	76
4.8	<i>Fazit</i>	79
5	Rechtliche Rahmenbedingungen	81

5.1	<i>BIM und das Preisrecht der HOAI</i>	81
5.2	<i>BIM und das öffentliche Vergaberecht</i>	85
5.2.1	Schrifttum.....	85
5.2.2	Vergaberechtsnovelle 2016	87
5.3	<i>BIM und das Bauvertragsrecht</i>	89
5.3.1	Veröffentlichungen in Deutschland.....	89
5.3.2	Veröffentlichungen außerhalb Deutschlands	92
5.4	<i>Fazit</i>	106
6	BIM-Praxisprojekte	108
6.1	<i>Internationale Infrastrukturprojekte</i>	108
6.1.1	Regional Road 22, Norwegen	108
6.1.2	North West Rail Link, Australien.....	109
6.1.3	Hallandsas Tunnel, Schweden.....	109
6.1.4	Motorway Gdąnsk-Torún, Polen	110
6.1.5	Crusell's Bridge, Finnland	111
6.1.6	Crossrail, UK.....	112
6.1.7	TransCanada Highway, Kanada	113
6.1.8	Metro Doha, Katar.....	114
6.1.9	E16 Nybakk – Slomarka, Norwegen.....	114
6.1.10	Project E6 / Dovre line, Norwegen	115
6.1.11	Südgürtel Graz, Österreich.....	116
6.1.12	M20 Cork to Limerick Motorway, Irland	117
6.1.13	London Power Tunnels, UK	117
6.1.14	High Speed 2 Project, UK.....	118
6.2	<i>Nationale Infrastrukturprojekte</i>	121
6.2.1	BIM bei der Schüsslerplan GmbH	121
6.2.2	BIM bei der Max Bögl Bauservice GmbH und Co. KG	121
6.2.3	BIM bei der SSF Ingenieure AG	122
6.2.4	BIM bei der Obermeyer Planen und Beraten GmbH	123
6.2.5.4	GIS und BIM bei der Obermeyer Planen und Beraten GmbH.....	128
6.3	<i>Fazit</i>	133
7	Zusammenfassung und Entwicklungslücken	135
7.1	<i>Forschung und Technik</i>	135
7.2	<i>Standards und Richtlinien</i>	136
7.3	<i>Rechtliche Rahmenbedingungen</i>	137
7.4	<i>Praxisprojekte</i>	137
8	Literaturverzeichnis	140

Ansprechpartner

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen
Prof. Dr.-Ing. Markus König
Universitätsstr. 150, 44780 Bochum
E-Mail: koenig@inf.bi.rub.de

AEC3 Deutschland GmbH
Dr.-Ing. Thomas Liebich
Joseph-Wild-Str. 13, 81829 München
E-Mail: tl@aec3.de

OBERMEYER Planen + Beraten GmbH
Dipl.-Ing. Markus Hochmuth
Hansastr. 40, 80686 München
E-Mail: markus.hochmuth@opb.de

Kapellmann und Partner Rechtsanwälte mbB
Dr. Robert Elixmann
Stadttor 1, 40219 Düsseldorf
E-Mail: robert.elixmann@kapellmann.de

Technische Universität München
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann
Arcisstraße 21, 80290 München
E-Mail: andre.borrmann@tum.de

1 Einleitung

Die Methode des Building Information Modeling (BIM) basiert auf der durchgängigen Nutzung digitaler Bauwerksmodelle über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks - angefangen bei der Planung über die Realisierung bis zum Betrieb und den Rückbau. Durch die konsequente Weiterverwendung digitaler Informationen können Planungsfehler vermieden und die Effizienz in allen Phasen gesteigert werden. Insbesondere für den Bauherrn entstehen mit der Verfügbarkeit hochwertiger digitaler Modelle vielfältige Potentiale, u.a. bei der Überwachung des Baufortschritts und der präzisen Kostenermittlung. Damit einher geht eine erhöhte Kosten- und Terminalsicherheit. Darüber hinaus können mit BIM-Modellen die vergleichsweise lange und kostenintensive Betriebsphase sehr gut unterstützt und die Lebenszykluskosten gesenkt werden.

Dieser Bericht fasst den aktuellen Stand der BIM-Technologie für den Schienen-, Straßen-, Brücken- und Tunnelbau sowie deren derzeitige Nutzung im In- und Ausland zusammen. Während für den Hochbau bereits weitgehend ausgereifte BIM-Softwarewerkzeuge und Datenaustauschstandards existieren und die BIM-Methodik bereits für eine sehr große Zahl von Projekten weltweit eingesetzt wurde, sind entsprechende Softwarelösungen für den hier adressierten Infrastrukturbereich zum Teil noch nicht voll entwickelt und entsprechende Projekterfahrungen vergleichsweise rar. Gleichzeitig wird von großen Teilen der Bauwirtschaft, wie auch den häufig staatlichen Auftraggebern, das Potential der BIM-Methodik im Infrastrukturbereich als besonders groß eingeschätzt.

Der Bericht geht im Detail auf die in den vergangenen Jahrzehnten gesammelten Erkenntnisse in der Wissenschaft sowie den aktuellen technischen Stand bei der Umsetzung in Softwareprodukten ein. Daneben werden die zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen beleuchtet und abschließend eine Reihe von nationalen und internationalen Projekten vorgestellt, in denen die BIM-Methode bereits zum Einsatz gekommen ist. Die Untersuchungen beziehen sich dabei auf das breite Feld des Straßen- und Schienenbaus und beziehen dabei im Besonderen den Brücken- und Tunnelbau ein.

Weitere Bereiche des Infrastrukturbaus, wie z.B. der Wasserwegebau, werden nicht explizit adressiert. Die aufgeführten Methoden und Erkenntnisse lassen sich jedoch auf einem abstrahierten Level auch auf zusätzliche Infrastrukturbereiche übertragen.

2 McGraw-Hill-Studie zu BIM in Infrastrukturprojekten

Eine umfangreiche Studie über die Nutzung von BIM in Infrastrukturprojekten auf dem amerikanischen Markt sowie eine detaillierte Analyse der erzielten Vorteile und erkannten Probleme wurden 2011 von der McGraw Hill Construction durchgeführt und 2012 veröffentlicht (McGraw-Hill Construction 2012). Diese Studie stellt somit die aktuellste Untersuchung zur Verbreitung von BIM in Infrastrukturprojekten dar. Im Fokus der Befragung standen im Wesentlichen der Erfahrungsstand sowie die Aussichten der amerikanischen Bauindustrie für die Nutzung von BIM im Infrastrukturbau. Als Partner der Studie ist neben buildingSMART auch Autodesk als kommerzieller Partner zu nennen. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden stets in den Gruppen der Projektplaner, Bauunternehmer und Bauherren klassifiziert. Von 466 befragten Unternehmen nutzen bereits 46% BIM in Infrastrukturprojekten. Die Autoren geben für die Jahre 2009 und 2011 sowie als Ausblick für das Jahr 2013 die Nutzung von BIM in mehr als 50 % der Projekte für die Bereiche Hochwasserschutz; Entsorgungsmanagement; Schiene, Transit & Luftfahrt; Energiesektor; öffentliche Erholungsgebiete; Brücke, Straße & Autobahn; Wasserwirtschaft an. Ein Vergleich der Jahre 2009 bis 2011 zeigt den eindeutigen Anstieg der Nutzung von BIM in allen Bereichen. Zu erkennen ist hierbei auch die einheitliche Prognose, BIM in allen Bereichen verstärkt zu implementieren.

BIM-Nutzung in mehr als 50 % der Infrastruktur-Projekte nach Projekttyp

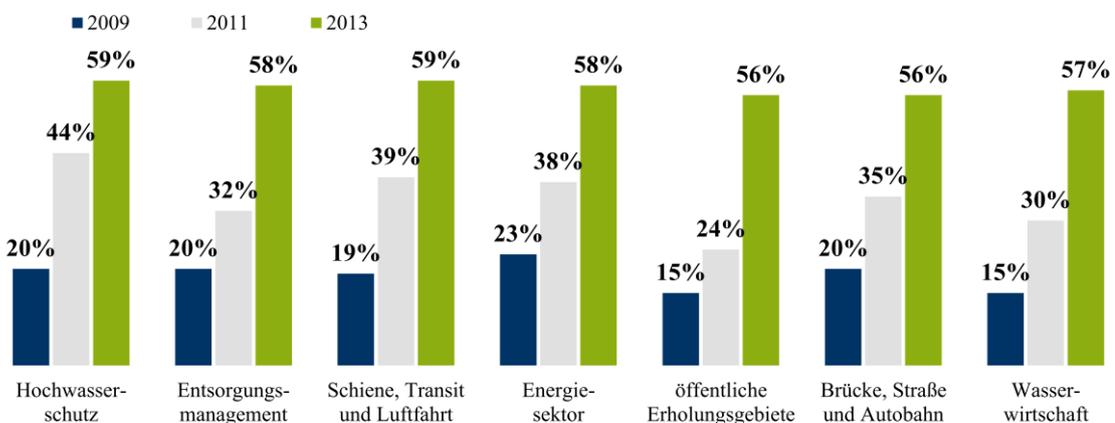


Abbildung 1: Verbreitung von BIM in verschiedenen Infrastrukturbereichen der amerikanischen Bauindustrie (Quelle: McGraw-Hill Construction 2012)

Laut der Studie wird BIM im Infrastrukturbereich bislang noch nicht konsequent als Standardmethode eingesetzt. Insgesamt erklärt nur jedes zweite Unternehmen, Erfahrungen im Einsatz von BIM im Infrastrukturbereich gesammelt zu haben. Dies stellt zwar einen deutlichen Zuwachs im Vergleich zu 2009 dar, zeigt aber auch das vorhandene Potential zum weiteren Ausbau der Anwendung der BIM-Methodik. Dieser Umstand ist auch als eine der wichtigsten Hemmschwellen zur Einführung von BIM innerhalb der Unternehmen zu identifizieren. So gaben zwar 79% der Unternehmen, welche BIM

bislang nicht für den Infrastrukturbereich einsetzen, an, einer Nutzung positiv gegenüber zu stehen. Gleichzeitig wird jedoch auch eine starke Korrelation zwischen erzieltm Nutzen und Erfahrungsstand der Projektbeteiligten genannt. Somit wird ein messbarer Nutzen meist erst nach mehreren abgeschlossenen Projekten erwartet. Zusätzlich nennen die Unternehmen die Notwendigkeit zur verstärkten Zusammenarbeit und die damit entstehenden Abhängigkeiten der Projektbeteiligten als mögliche Risiken. Dennoch prognostizieren die Unternehmen bei steigendem Erfahrungslevel auch einen zunehmenden Nutzen durch die BIM-Methodik.

Bei Unternehmen mit bereits vorhandenen Erfahrungen mit BIM in klassischen Hochbauprojekten gaben insbesondere Planer, Architekten sowie Bauunternehmer an, BIM auch für Infrastrukturprojekte zu nutzen. Bauherren stellen die größte Gruppe der „Nicht-Nutzer“ von BIM im Infrastrukturbereich dar. Als Gründe werden hier die mangelnden Erfahrungen bei der Anwendung von BIM für horizontale Bauwerke und teilweise auch fehlendes Verständnis der BIM-Methodik genannt. Die schnelle und konsequente Etablierung von BIM im Infrastrukturbereich wird dadurch erschwert, da die BIM-Methodik häufig nicht in der Ausschreibung des Projektes durch die Bauherren gefordert wird. Unterstützt wird diese Erkenntnis durch die starke Korrelation von erzieltm Nutzen mit dem Startzeitpunkt der Anwendung von BIM im Projekt. Konkret lässt sich ableiten: Je früher die BIM-Methodik im Projekt etabliert ist, desto größer ist der erzielte Nutzen aller Projektbeteiligten nach Abschluss des Projektes. Somit ist dem Bauherr eine prädestinierte Rolle in der Einführung von BIM zuzuschreiben.

BIM Nicht-Nutzer unterteilt nach Projektrollen

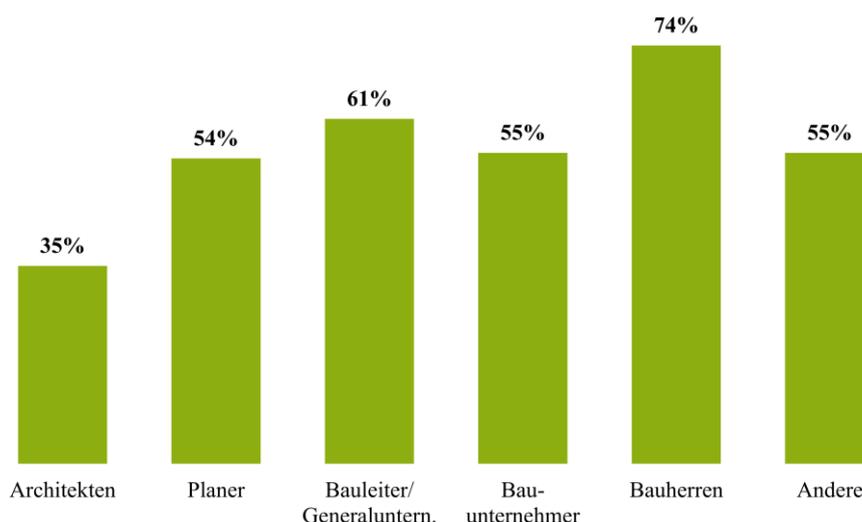


Abbildung 2: Analyse von "Nicht-Nutzern" der BIM-Methodik aufgeschlüsselt nach Projektbeteiligten (Quelle: McGraw-Hill Construction 2012)

Als Hauptgründe für die Nichtnutzung von BIM wurden die befürchteten hohen Schulungskosten, allgemeine Verständnisprobleme sowie etablierte klassische Prozessstrukturen identifiziert. Zusätzlich wird befürchtet, dass sich der Einsatz von BIM in kleineren Projekten nicht rentabel umsetzen lässt.

Auch wenn im Allgemeinen eine anhaltende Verbreitung der BIM-Methodik für den Infrastrukturbereich erkennbar ist, sind bislang nur wenige Erfahrungswerte in den Unternehmen vorhanden. Klar erkennbar ist dies in einem Vergleich der Expertisen von BIM für alle Projektarten mit den spezifischen Erfahrungen im Infrastrukturbereich. Hier stehen die meisten Unternehmen noch am Anfang einer Entwicklung, welche im klassischen Hochbau schon weiter fortgeschritten ist.

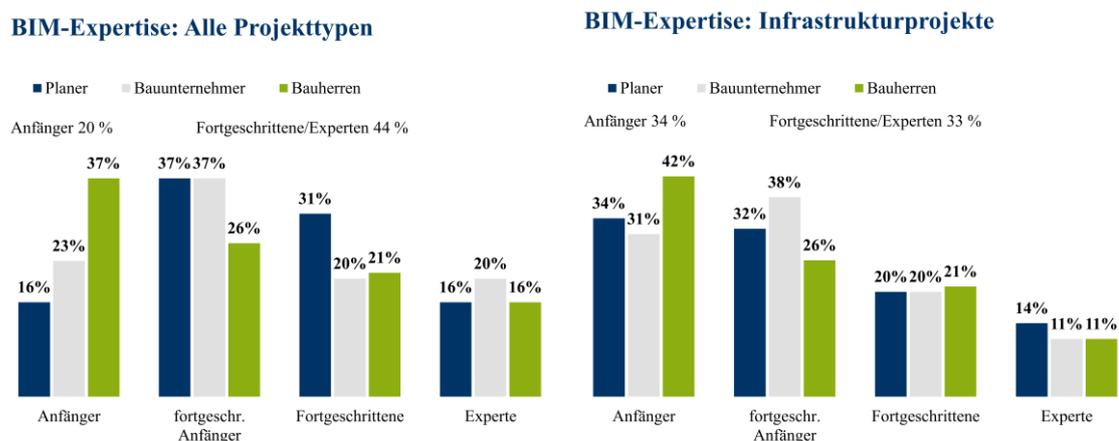


Abbildung 3: Vergleich von BIM-Expertisen zu Erfahrungen in Infrastrukturprojekten aufgeschlüsselt nach Projektbeteiligten (Quelle: McGraw-Hill Construction 2012)

Der Vergleich mit einer im Jahre 2011 durchgeführten Studie zeigt jedoch die deutlich gesteigerte Bereitschaft zur intensiven Anwendung der BIM-Methodik, sowie eine schnellere Adaption in den einzelnen Projekten (siehe Abbildung 4). Der intensive Einsatz von BIM in Infrastrukturprojekten verdoppelt sich zwischen den Jahren 2009 und 2011. Auch die teilweise Nutzung von BIM im Infrastruktursektor nahm in diesem Zeitraum zu. Die schnelle Verbreitung von BIM in Infrastrukturprojekten, verglichen mit klassischen Hochbauprojekten, ist durch gewonnene positive Erfahrungswerte der Unternehmen und Behörden mit der BIM-Methodik begründet.

Zeitliche Entwicklung der BIM-Nutzung in Infrastrukturprojekten

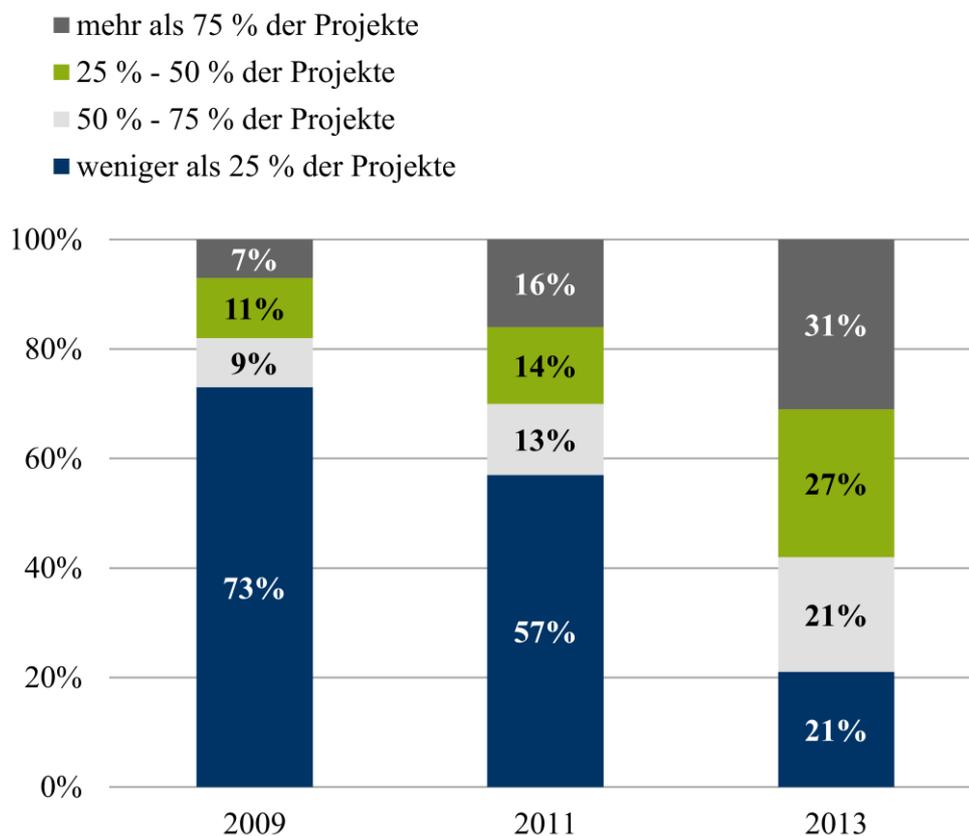


Abbildung 4: Anwendung der BIM-Methodik in den Jahren 2009 und 2011 sowie Prognose für das Jahr 2013 (Quelle: McGraw-Hill Construction 2012)

Das Potential von BIM innerhalb der Wertschöpfungskette der Unternehmen wird als nicht ausgeschöpft erachtet. Nahezu alle Projektbeteiligten erkennen den wirtschaftlichen Nutzen, sehen sich jedoch erst am Anfang einer Entwicklung. Die vollständige Umstellung auf die BIM-Methodik und die Anpassung aller Prozesse wird nur von einigen wenigen Unternehmen als bereits abgeschlossen betrachtet.

Erzielter Nutzen der BIM-Methodik in Infrastrukturprojekten

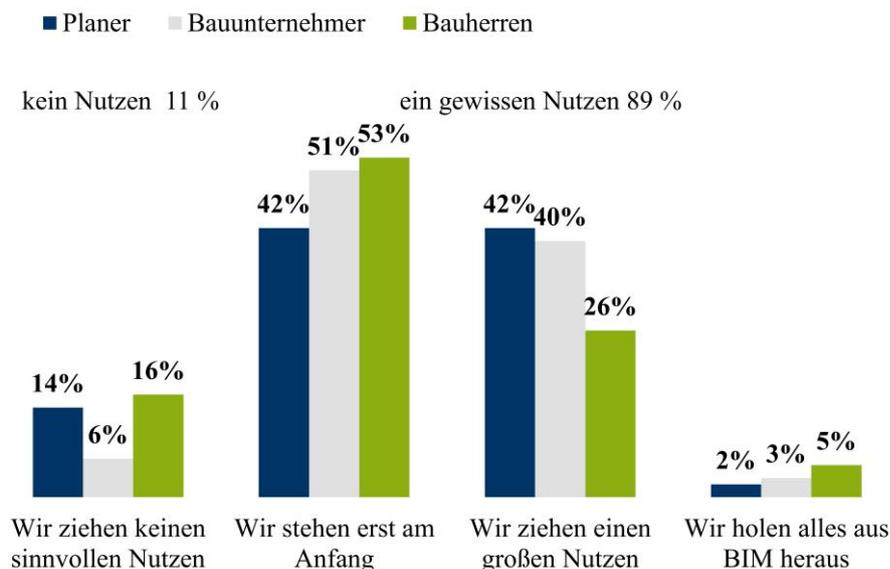


Abbildung 5: Erzielter Nutzen der BIM-Methodik aufgeschlüsselt nach Projektbeteiligten (Quelle: McGraw-Hill Construction 2012)

Die größten Vorteile der BIM-Methodik wurden von den Befragten in einem effizienteren Baustellenflächenmanagement sowie bei der Tragwerksplanung angegeben. Diese Vorteile lagen größtenteils bei den Planern sowie den ausführenden Firmen. Für die Bauherrnseite wurden Vorteile insbesondere beim Vergabeprozess und in der Kostenkalkulation genannt. Die jeweiligen Vorteile hängen somit sowohl stark von den Projektbeteiligten als auch von der Projektphase ab. Die von den Projektbeteiligten stark unterschiedlich genannten Vorteile der BIM-Methodik sowie die klar erkennbaren Unterschiede in den einzelnen Projektphasen unterstreichen die Notwendigkeit der ganzheitlichen Nutzung von BIM durch alle Projektbeteiligten und in allen Projektphasen. Planer, Bauunternehmer sowie Bauherren nannten jedoch auch die Komplexität sowie die vorhandene Erfahrung der Projektbeteiligten als wichtigen Einflussfaktor auf den Erfolg eines BIM-Projektes. Insbesondere Projektplaner gaben zusätzlich ein auf die BIM-Methodik angepasstes Vertragswerk als notwendige Voraussetzung für den Erfolg an.

Die Voraussetzungen einer erfolgreichen und ganzheitlichen Implementierung der BIM-Methodik in allen Bereichen von Infrastrukturprojekten sind laut der Studie gegeben und werden von den Unternehmen erkannt. Dennoch ist die Einführung in vielen Unternehmen aufgrund fehlender Erfahrung und auch fehlendem Verständnis bislang noch rückständig. Hieraus entsteht häufig die Meinung innerhalb der Unternehmen, bestehende und etablierte Prozesse nicht durch neue und teilweise unverstandene Methoden abzulösen. Dieses Verhalten geht einher mit der Forderung einer fundierten

Ausbildung von Absolventen, um diese Lücken zu schließen. Zusätzlich sehen viele die Klärung vertragsrechtlicher Angelegenheiten sowie Fragen zur Vergütung als unabdingbare Voraussetzungen, um Projekte konsequent durch die BIM-Methodik zu realisieren. Positiv ist zu bewerten, dass das Potential zu einem Großteil erkannt wurde und somit ein Interesse der Bauwirtschaft an der Einführung von BIM auch im Infrastrukturbereich gegeben ist. Zusätzlich helfen die bereits gewonnenen Erfahrungswerte in der Praxis bei der Umsetzung, auch wenn hierbei die Spezifikationen von Infrastrukturprojekten noch berücksichtigt werden müssen. Eine dieser Besonderheiten ist die Rolle des Bauherrn, welche in der Regel durch öffentliche Institutionen wahrgenommen wird. Durch das bislang zurückhaltende Fordern von BIM in der Ausschreibung von Projekten bleiben viele Potentiale der Methodik bereits vor Projektbeginn ungenutzt.

3 Stand der Wissenschaft und Technik

Das folgende Kapitel beschreibt den aktuellen **Stand der Technik** und **aktuelle Trends** in der internationalen Forschung für die Anwendung von Building Information Modeling in Infrastrukturprojekten mit Fokus auf **Brücken-, Straßen-, Schienen- und Tunnelbauten**. Die Gliederung orientiert sich an den verschiedenen Infrastrukturbereichen, offenbart jedoch auch die häufigen Überschneidungen der einzelnen Disziplinen. Im Allgemeinen steht in den untersuchten Veröffentlichungen die **Interoperabilität** zwischen verschiedenen Fachdisziplinen und Projektbeteiligten im Vordergrund, wodurch sich Arbeiten in der Regel nicht nur auf einen Bereich spezifizieren lassen.

Das Erstellen von **parametrischen Modellen**, welche sich flexibel und effizient an sich verändernde Randbedingungen oder Projektänderungen anpassen, stellt einen wichtigen Aspekt der digitalen Infrastrukturplanung dar und wird in diesem Kapitel detailliert beschrieben. Der Fokus der Forschung auf die Methodik der parametrischen Modellierung resultiert zum einen aus den bereits gewonnenen Erfahrungen aus klassischen Hochbauprojekten, als auch aus den für vertikale Infrastrukturprojekte zu Projektbeginn meist **unscharfen Projektrandbedingungen**. Die Entwicklung parametrischer Ansätze verspricht große Vorteile, da die Planung sich effizient an neue Informationen oder veränderte Rahmenbedingungen anpassen lässt.

Ingenieurbauwerke für die Infrastruktur sind durch besonders **lange Nutzungszeiten** charakterisiert. Zudem sind **Inspektions- und Wartungsarbeiten** in der Regel im laufenden Betrieb durchzuführen. Potentiale und erste Anwendungsfälle der BIM-Methodik, wie z.B. die Verwendung spezieller Sensordaten, sind in einzelnen Arbeiten beschrieben und werden im folgenden Kapitel aufgegriffen. In Bezug auf diese Thematik werden auch aktuelle Arbeiten zur Erstellung von digitalen Bauwerksmodellen im Bestand sowie **Monitoring-Verfahren** behandelt.

Aktuelle Ansätze für den **Tunnelbau** befassen sich intensiv mit der Definition neuer Standards zur Modellierung von Tunnelbauwerken und den sich daraus ergebenden Fragestellungen zum **Datenmanagement**. Für den **Schienebau** konzentriert sich die aktuelle Literatur auf die Entwicklung bzw. Nutzung von **Laserscanning-Methoden** zur Aufnahme und **Zustandserfassung** der Schienennetze. Diese Verfahren stellen jedoch besondere Anforderungen an die objektorientierte Datenstruktur von BIM-Modellen und ergeben große Schnittmengen zu bereits existierenden **Geoinformationssystemen (GIS)**. Ansätze zum Datenaustausch, sowie **Datenkonsistenz** zwischen **BIM** und **GIS**, existieren und werden kurz erläutert.

3.1 BIM im Brückenbau

3.1.1 3D-Brückenmodellierung

Brücken werden heutzutage üblicherweise im Zweidimensionalen, getrennt nach Grundriss, Schnitt und Ansicht, konstruiert und die Konstruktionsdaten mittels 2D-Plänen und Tabellen ausgetauscht (Lukas et al. 2008). Dennoch ergibt gerade im Ingenieurbau die Nutzung von 3D-Modellierung aufgrund der im Vergleich zum Hochbau häufig komplexeren Geometrien Sinn (Chen et al. 2006; Chen und Shirolé 2006). Die Herausforderungen bei der Modellierung digitaler Bauwerksinformationsmodelle von Brücken sind vielschichtig (Shim, Yun und Song 2011). Zunächst sind Brücken als lineare Bauwerke einzuordnen und damit stark abhängig von der zugrundeliegenden Trassierung. Das parametrische Modellieren von Brücken erlaubt hier die einfache Anpassung an Änderungen der Trassierung, was vor allem in frühen Planungsphasen verstärkt auftritt und auch zu einem späteren Zeitpunkt der Planung nicht gänzlich auszuschließen ist. Weitere äußere Randbedingungen sind das Gelände und die anstehenden Bodenverhältnisse, welche in erheblichem Maße Einfluss auf das Tragsystem von Brücken haben.

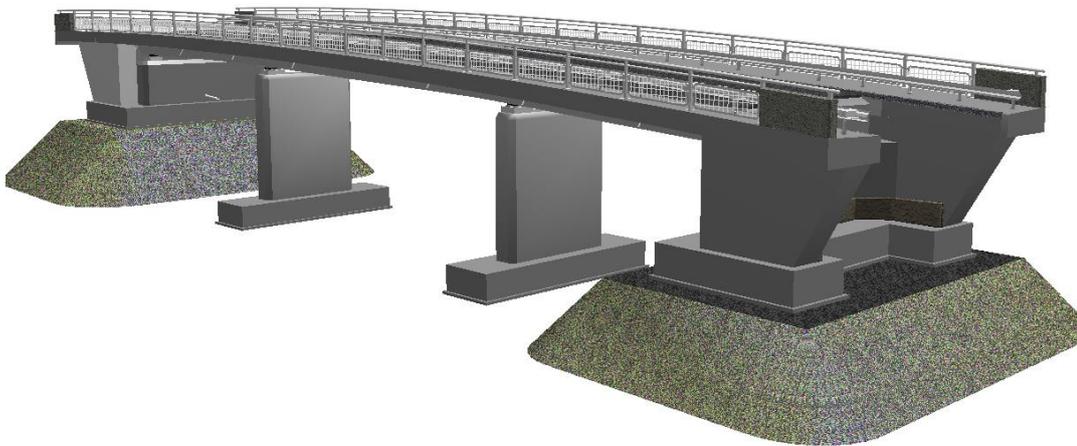


Abbildung 6: Detailliertes 3D-Modell einer Brücke (Quelle: Obergriesser und Borrmann 2012)

Diese Voraussetzungen führen, im Vergleich zum Hochbau, häufig zu komplexerer Geometrie des einzelnen Bauteils. Zu nennen sind hier gekrümmte oder geneigte Flächen und Körper des Brückenüberbaus, die in Folge der Trassenkrümmung, Querneigung, Voutung oder Aufweitung des Brückenquerschnitts entstehen. Auch die Planableitung ist weitaus aufwendiger als im Hochbau, z.B. gekrümmte Schnitte.

Bis in die 2000er Jahre hinein stellten die verfügbaren Softwarewerkzeuge aus dem Bauwesen nur eingeschränkt Funktionen zur Modellierung von Brücken unter den oben genannten Bedingungen bereit. Infolgedessen wurde im Rahmen des Projekts ForBAU intensiv der Einsatz von Softwareprodukten aus dem Maschinen- und Fahrzeugbau auf

ihr Potential für die Modellierung von Ingenieurbauprojekten untersucht (Obergrösser et al. 2008; Borrmann et al. 2009; Schorr et al. 2011).

Ergebnis der Untersuchungen war, dass die dort eingesetzten CAD-Produkte zur parametrischen 3D-Modellierung von Brückenbauwerken, insbesondere zur Abbildung der Abhängigkeiten zur unter- und überführenden Trasse, durchaus sehr gut geeignet sind. Allerdings handelt es sich um rein geometrische 3D-Modelle, welche die für ein echtes BIM-Modell notwendigen Zusatzinformationen zu Bauteiltypen und Bauteileigenschaften nicht vorhalten. Zudem ergeben sich deutliche Einschränkungen hinsichtlich der Einbettung in den Gesamtplanungsprozess. So lassen sich aus den Modellen beispielsweise keine normgerechten Bauzeichnungen ableiten und es fehlen Verbindungen mit baustatischen Berechnungssoftwares. Weitere Einschränkungen liegen im Import von Trassierungsdaten, in der Anbindung an Kalkulationssoftware und in der Nutzung des herstellerneutralen Datenformats Industry Foundation Classes (IFC).

In der Zwischenzeit wurden jedoch bauspezifische Softwarewerkzeuge so weiterentwickelt, dass sie auch die Modellierung von Brücken adäquat unterstützen und den Anforderungen des Bauwesens gerecht werden. Sie sind unter anderem in der Lage normgerechte Bauzeichnungen aus dem Modell zu erzeugen. Auch der Import und Export des IFC-Formats wird im Regelfall grundlegend unterstützt. Insgesamt lässt sich ein zunehmender Reifegrad der Umsetzung von BIM-Funktionalitäten konstatieren. Im folgenden Abschnitt sollen beispielhaft einige Produkte aufgeführt werden.

3.1.2 BIM-Werkzeuge für die Brückenplanung

Weltweit steht eine ganze Reihe von Softwareprodukten zur BIM-gestützten Planung von Brücken zur Verfügung, welche im Rahmen dieser Materialsammlung nicht vollumfänglich beschrieben werden können. Dennoch sollen hier einige wichtige Vertreter vorgestellt werden. Untersuchungen zum Einsatz verschiedener BIM-Werkzeuge für die Planung und Konstruktion von Brücken ist in folgenden Arbeiten zu finden: Johansen (2013); Patapova (2015); Simey (2013); Clevenger et al. (2014). Eine Präsentation aus Sicht der Praxis zum Thema Anwendung von BIM im Brückenbau ist außerdem in Jung (2015) aus Deutschland oder in Tirkkonen (2009) und Siltanylund (2014) aus Finnland zu finden. Ein Vergleich zwischen traditioneller 2D-Planung und BIM-gestützter Planung ist in Fanning et al. (2015) anhand zweier sich ähnelnder Brückenbauprojekte durchgeführt worden.

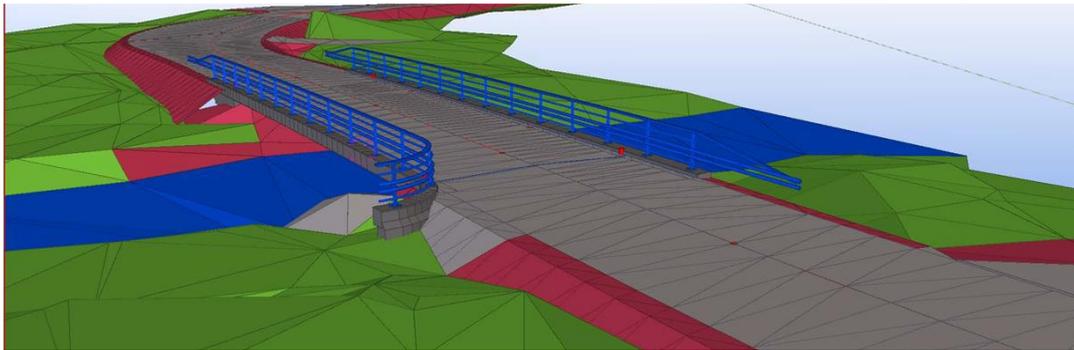


Abbildung 7: BIM-Modell einer Brücke in Finnland (Quelle: Siltanylund 2014)

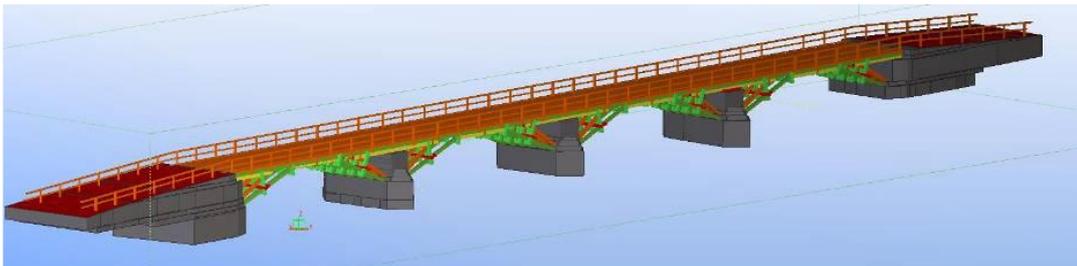


Abbildung 8: BIM-Modell einer Brücke in Finnland (Quelle: Tirkkonen 2009)

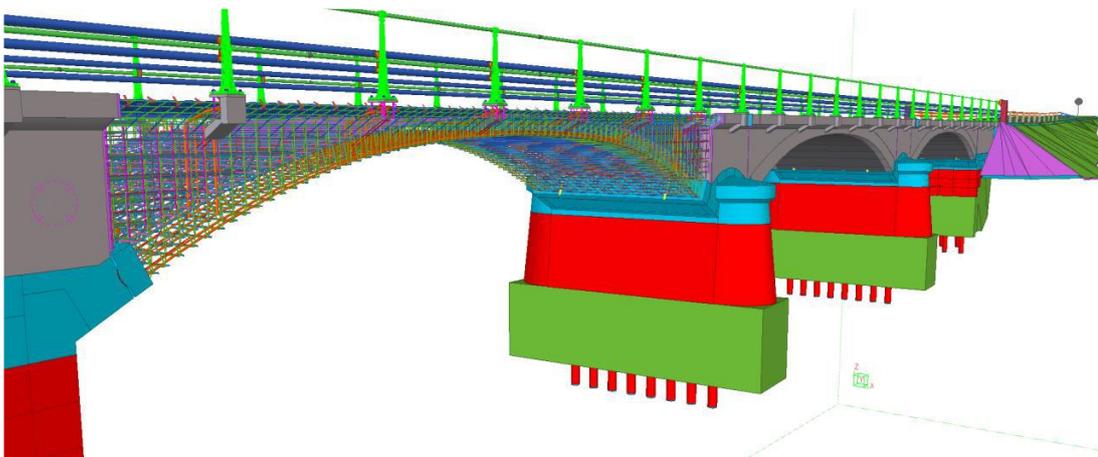


Abbildung 9: BIM-Modell einer Brücke in Schweden mit freigelegter Bewehrung
(Quelle: Simey 2013)

3.1.2.1 Autodesk Revit + Dynamo

Revit ist ein Softwareprodukt aus dem Hause Autodesk. Es wird vor allem für die Planung von Hochbauten verwendet. Dies wird unter anderem bei der Aufteilung der Benutzeroberfläche für Architekten, Ingenieure und Technische Gebäudeausrüstung (TGA) ersichtlich. Mit Hilfe zusätzlicher Tools, wie z.B. kleineren Add-Ins oder dem Aufsatz Dynamo (Dynamo 2014), der die visuelle Programmierung zur Generierung von 3D-Modellen erlaubt, kann Revit für die Modellierung von 3D-Brückenmodellen genutzt werden (Langwich 2015). Chiu et al. (2011) stellt die Nutzung von Revit für die Bauablaufsimulation einer Stahlbrücke vor. Weitere Informationen sind auf der Internetpräsenz von Autodesk zu finden.

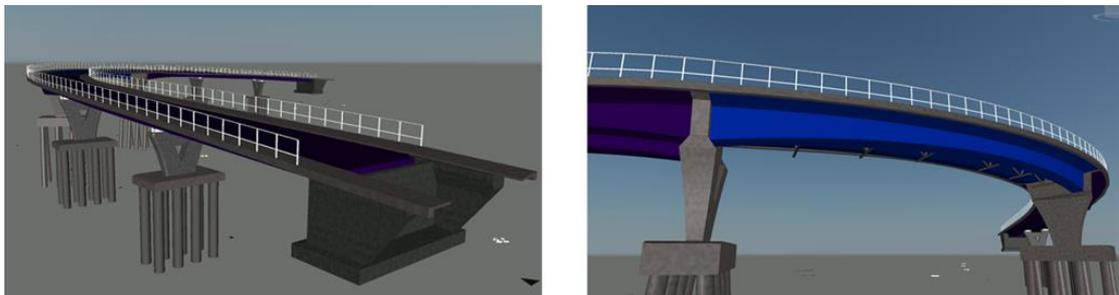


Abbildung 10: Brückenmodellierung in Autodesk Revit und Dynamo (Quelle: Langwich 2015)

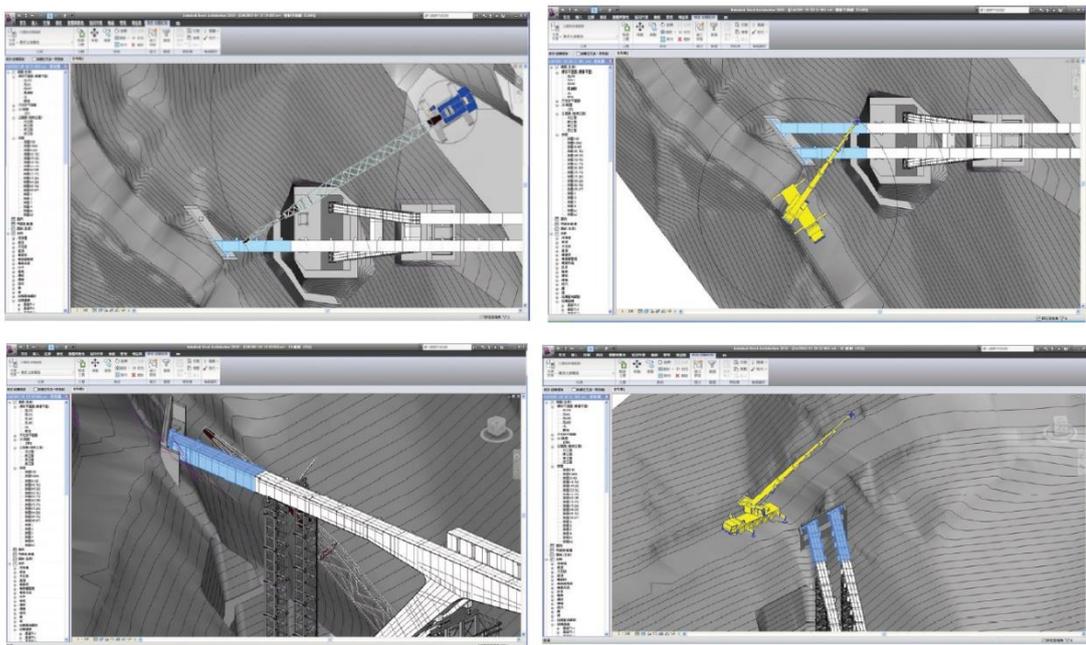


Abbildung 11: Montagesimulation einer Stahlbrücke Autodesk Revit (Quelle: Chiu et al. 2011)

3.1.2.2 Nemetschek Allplan

Nemetschek Allplan ist ein BIM-Softwaretool des deutschen Softwareherstellers Nemetschek mit Sitz in München. Im Unterschied zu Revit ist dieses Softwaretool deutlich auf die Anforderungen des deutschsprachigen Raums zugeschnitten. Der eingesetzte Geometriekern „Parasolid“ besitzt mächtige Funktionalitäten und erlaubt die Modellierung von Freiformflächen, was sich unter anderem bei der dreidimensionalen Schal- und Bewehrungsplanung (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13) oder Planableitung bemerkbar macht. Allplan ist in zwei Versionen für den Hochbau oder Ingenieurbau verfügbar. Weitere Informationen sind auf der Internetpräsenz von Nemetschek zu finden.

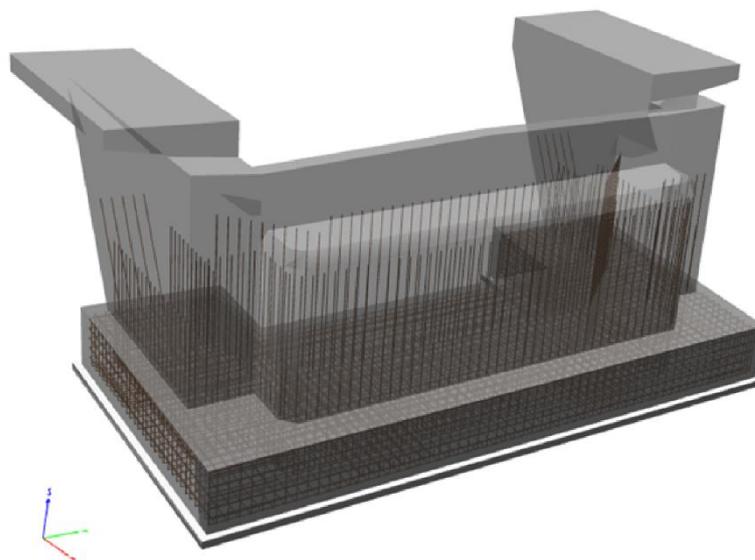


Abbildung 12: Brückenwiderlager mit Bewehrung modelliert in Allplan (Quelle: Obergrießer 2012)



Abbildung 13: BIM Modell der Versamertobelbrücke (Quelle: Nemetschek 2015)

3.1.2.3 Tekla Structures

Tekla Structures (Tekla 2015b) ist ein Softwareprodukt des finnischen Softwareherstellers Tekla. Der Anwendungsfokus von Tekla Structures liegt bei Planungsaufgaben des Konstruktiven Ingenieurbaus und wird weltweit eingesetzt.

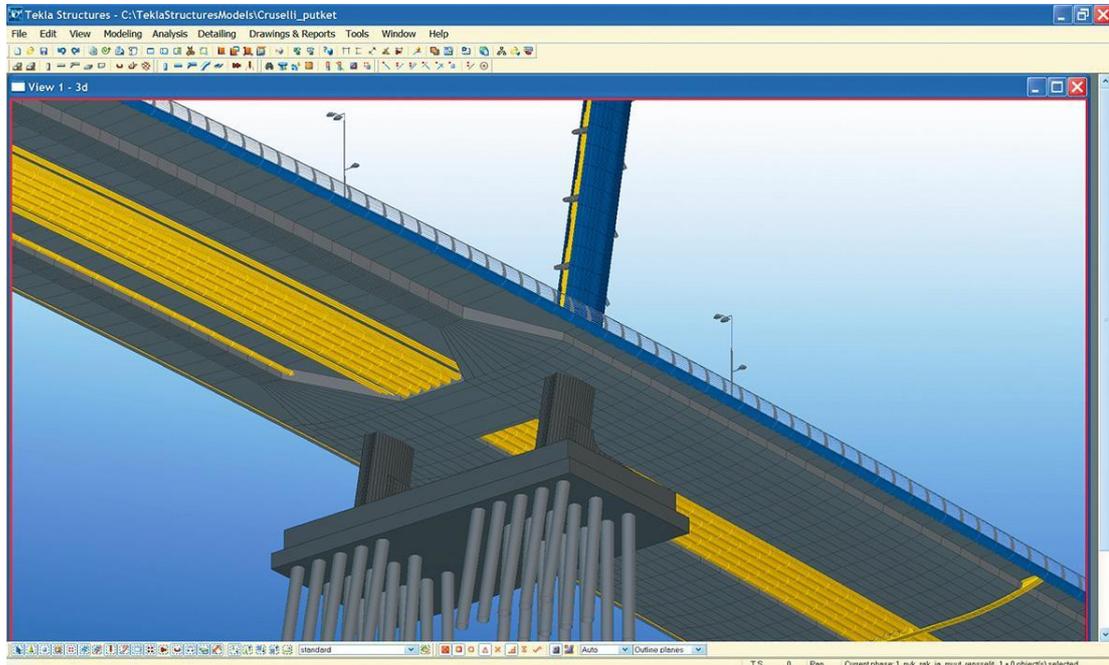


Abbildung 14: Brückenmodell in Tekla (Quelle: Tekla 2015a)

3.1.2.4 Bentley

Die Softwarefirma Bentley verfügt über ein breites Portfolio von Produkten für den Entwurf und die statische Berechnung von Brückenbauwerken. Dazu gehören die Produkte LEAP Bridge, RM Bridge und LARS Bridge, die sich insbesondere hinsichtlich der Brückentypen und der unterstützten baustatischen Nachweise unterscheiden. Durch die Fokussierung auf US-amerikanische Standards spielen diese Produkte in Deutschland nur eine sehr untergeordnete Rolle. Ende der 2000er Jahre verkündete Bentley unter dem Begriff Bridge Information Modeling (BrIM) die Umsetzung des BIM-Konzepts für Brückensoftware, allerdings blieb insbesondere die Schaffung von Interoperabilität auf die eigenen Softwarelösungen beschränkt.

3.1.2.5 Siemens NX

Das CAD-System Siemens NX ist für den Maschinenbau konzipiert und verfügt über umfangreiche Möglichkeiten zum parametrischen Entwurf von 3D-Geometriemodellen. Das Programm beherrscht dabei auch komplexeste Geometrien einschließlich doppelt gekrümmter Freiformflächen. Es wird von einigen Planungsbüros (u.a. SSF Ingenieure, Obermeyer Planen + Beraten.) sowie Baufirmen (u.a. Max Bögl) für die Modellierung von Brückenbauwerken eingesetzt (Wang 2012). Da es sich nicht um eine bauspezifische

Software handelt, sind insbesondere die Ableitung von normgerechten Plänen, sowie die Interoperabilität mit baustatischer Berechnungssoftware, nur sehr eingeschränkt möglich. Mit der AEC Suite, einem bauspezifischen Aufsatz, werden einige der Probleme gelöst, es bleibt jedoch festzuhalten, dass eine vollständige Integration in die Softwarelandschaft des Bauwesens derzeit nicht gegeben ist. Mitunter haben die Nutzer im Bauwesen daher spezifische Softwareentwicklungen an Dritte in Auftrag gegeben, um spezifische Anforderungen zu erfüllen, wie bspw. die Übergabe geometrischer Daten an BIM-fähige AVA-Lösungen (Weinholzer 2015).

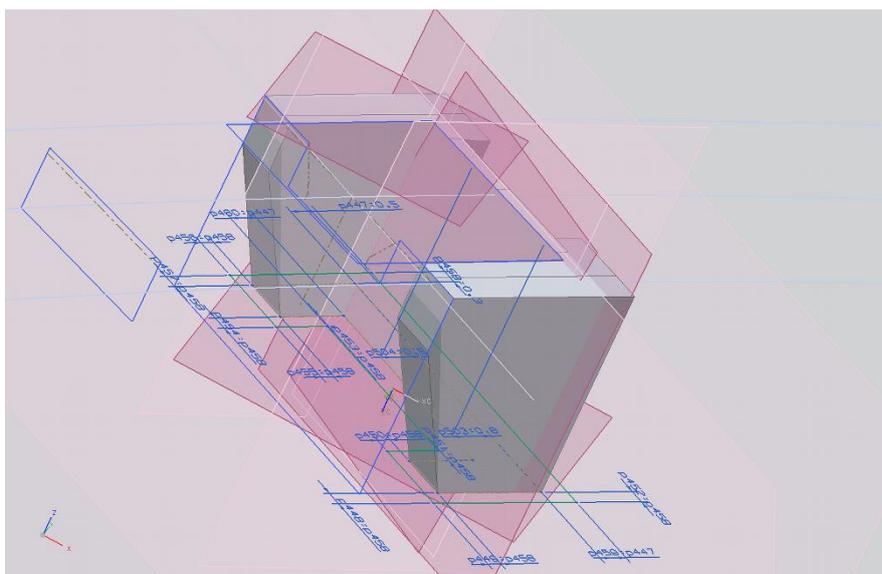


Abbildung 15: In Siemens NX modelliertes, hochgradig parametrisiertes Brückenwiderlager (Quelle: Technische Universität München)

3.1.2.6 Weitere BIM-Lösungen im Brückenbau

Tabelle 1 gibt einen Überblick über weitere BIM-Softwarelösungen für den Brückenbau, auch hier ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 1: Übersicht über ausgewählte Softwareprodukte für BIM im Brückenbau

Name	Anbieter
Advance Bridge	Graitec
Allplan Engineering	Nemetschek
Dynamo	Autodesk
iTWO	RIB
LEAP Bridge, RM Bridge und LARS Bridge	Bentley

NX	Siemens
Revit	Autodesk
RSTAB / RFEM	Dlubal
Scia Engineer	Scia
Sofistik	Sofistik AG
Strakon	DICAD Systeme GmbH
Tekla Structures	Tekla

3.1.3 BIM-gestützte Instandhaltung von Brücken

Der Einsatz von BIM bringt insbesondere für die lange Phase des Betriebs von Brückenbauwerken erhebliche Vorteile. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich hierzu einige konkrete Vorschläge. So wurde in Aruga und Yabuki (2012) ein Informationsmodell zur kooperativen Erhaltungsplanung von Infrastrukturbauwerken vorgestellt, welches in einem weiteren Schritt in das Datenmodell IFC implementiert werden soll. Ein mobiles und modellgestütztes Produktlebenszyklus-Managementsystem für Brücken auf Grundlage des IFC-Datenmodells wurde in Hammad et al. (2006) entworfen. Kubota und Mikami (2013) entwickelten ein Produktdatenmodell, welches speziell auf die Erhaltungsplanung von Brücken zugeschnitten ist.

Für die Nutzung digitaler Brückenmodelle für das Erhaltungsmanagement wurde in Deutschland im Rahmen der Projekte „Nachhaltig Bauen mit Beton“, „ForBAU – die Virtuelle Baustelle“ und „3D-gestütztes Lebensdauermanagement“ ein Prototyp eines 3D-gestützten Bauwerksmanagementsystems entwickelt (Hegger et al. 2009; Schießl et al. 2011; Günthner und Borrmann 2011; Kluth et al. 2008). In diesem System wurde eine Reihe von Funktionalitäten umgesetzt, darunter zur Erfassung eines Bauwerks (logische Bauwerksstruktur, Materialparameter), zur Erfassung des Zustands (Hinterlegen von Inspektionsdaten), zur Zustandsbewertung (bauteilbezogene Benotung) und zur Zustandsprognose. Dabei wurde eine hierarchische Untergliederung des Bauwerks in die Ebenen Bauwerk, Modul, Bauteil, Unterbauteil und Hot Spot vorgenommen. Für die Ermittlung des Zustands des Gesamtbauwerks wurden die Zustandsnoten über die verschiedenen Hierarchieebenen aggregiert. Dabei wurde in einer vereinfachten Annahme der Einfluss des Zustands einzelner Bauteile auf das Gesamtbauwerk durch den Anteil der exponierten Oberflächen modelliert. Außerdem wurde in der Dissertation von Lukas die Optimierung von Instandsetzungszeitplänen städtischer Infrastrukturbauwerke auf Basis von Metaheuristiken untersucht (Lukas 2013).

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat im Rahmen des Programms „Intelligente Brücke“ eine Reihe von Forschungsprojekten durchgeführt. Dazu zählen unter anderem

die Projekte „Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse“ (BASt 2014a) sowie „Entwicklung eines Prototyps zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells“ (BASt 2014b). In beiden Projekten wurden die Verfahren zum Einsatz von digitalen Brückenmodellen für das Erhaltungsmanagement verfeinert und insbesondere um die Möglichkeit der Einbindung von Sensordaten sowie zur ganzheitlichen Bewertung des Bauwerkszustands (u.a. mit probabilistischen Methoden) erweitert.

Ein weiteres im Rahmen von „Intelligente Brücke“ durchgeführtes Projekt trug den Titel „Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID Tags“ (BASt 2013). Im Verlauf des Forschungsprojekts hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von RFID-Detektoren als Korrosionsfrühwarnsystem eine geeignete Methodik für die Optimierung der Brückenprüfungen darstellt. Außerdem wurden durch den Einsatz von 3D-Modellen verschiedene Vorteile festgestellt. Als erstes ist die verbesserte Kommunikation der Beteiligten zu nennen. Die verfügbaren Informationen sind leichter abrufbar und sehr viel schneller inhaltlich erfassbar. Erfasste Schäden können direkt im Modell verortet und im zeitlichen Verlauf zurückverfolgt werden. Dies erleichtert in erheblichem Maße die Vorbereitung auf eine weitere Bauwerksprüfung bzw. die eigentliche Zustandsbewertung und Abschätzung des weiteren Investitionsbedarfs.

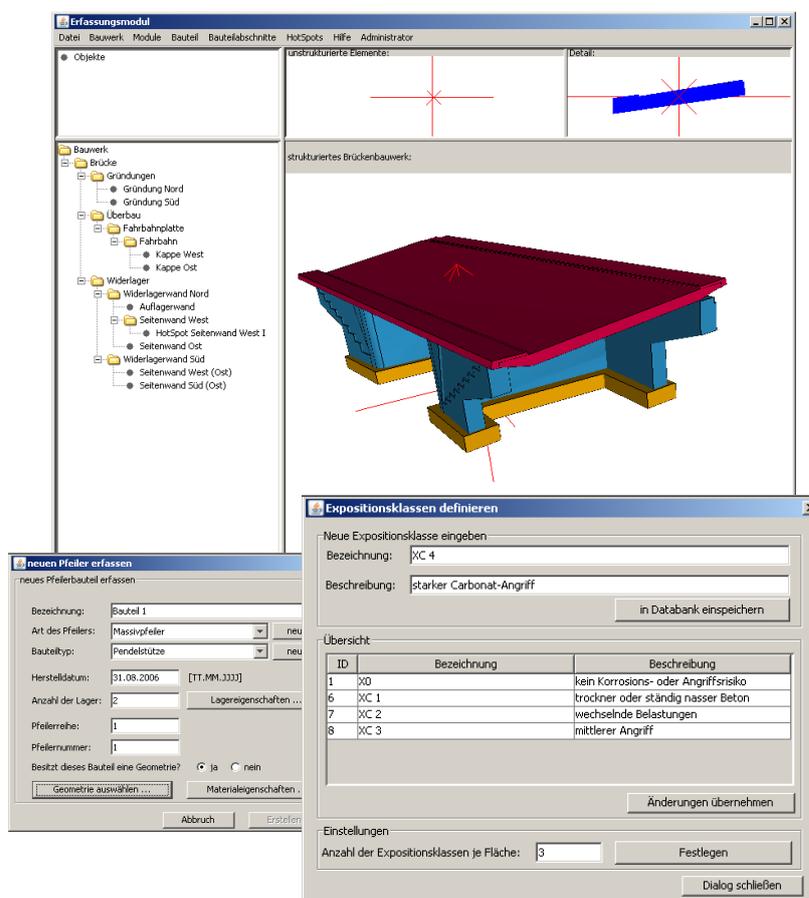


Abbildung 16: Software-Prototyp für das modellgestützte Erhaltungsmanagement
(Quelle: Technische Universität München)

3.1.4 As-built Modellierung von Brückenbauwerken

Eine große Herausforderung der Zustandserfassung besteht darin, dass für Bestandsbrücken in der Regel keine BIM-Modelle existieren, da diese Bauwerke auf Basis traditioneller Planungsmethoden geplant und erstellt wurden. Eine manuelle Nachmodellierung des sehr großen Brückenbestands muss als zu aufwändig eingeschätzt werden. Es existieren aktuell jedoch erste Forschungsansätze, die auf einer automatisierten Erfassung mithilfe von Laserscanning und/oder photogrammetrischen Verfahren beruhen (Abudayyeh und Al-Battaineh 2003; Phares et al. 2004, Tang, Akinci und Garrett 2007, 2007; Arayici 2008; Lubowiecka et al. 2009; Tang, Huber und Akinci 2011; Riveiro et al. 2011; Pătrăucean et al. 2015). Die Weiterverarbeitung der erzeugten Punktwolke zu einem semantisch reichen „as-built“ - wie gebaut – Bauwerksmodell (Tang et al. 2010; Belsky, Sacks und Brilakis 2015), das insbesondere für die Belange des Erhaltungsmanagements geeignet ist, ist eine aktuelle Forschungsfrage, die international in verschiedenen Forschungsprojekten angegangen wird. Die wesentliche Herausforderung liegt darin, aus der Punktwolke automatisiert ein hinreichend detailliertes Oberflächenmodell zu erzeugen und dabei insbesondere die nicht sichtbaren Teile durch logisches Schlussfolgern zu ergänzen. Für die Ergänzung von semantischen Informationen (Klassifikation von Bauteilen) scheint der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz (Expertensysteme, Case-based reasoning, etc.) vielversprechend. Die Methoden sind zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend entwickelt, um sie unmittelbar in der Praxis einzusetzen. Hierzu sind Weiterentwicklungen und umfangreiche Praxistests erforderlich.

Ebenso ist die Ableitung von zur Zustandsbewertung und -prognose notwendigen Struktur- und Systemmodellen aus einem BIM-Modell noch ungeklärt (Dori et al. 2013). Ein alternativer Ansatz ist die Modellierung sogenannter Platzhaltermodelle, die zwar nicht exakt das reale Bauwerk abbilden, aber dennoch ausreichend genau für die Erfassung des Ist-Zustandes einer Brücke modelliert sind. Um dabei den Aufwand der Modellierung stark zu begrenzen, ist hier der Einsatz von parametrischer Modellierung unter Einsatz wissensbasierter Methoden (Singer und Borrmann 2015; Singer 2015) Gegenstand aktueller Untersuchungen.

3.1.5 BIM gestütztes „Structural Health Monitoring“ von Brückenbauwerken

Speziell Großbrücken werden heutzutage mit umfangreicher Sensorik zur Überwachung des Bauwerkszustands ausgestattet, genannt Structural Health Monitoring (SHM) (Glišić et al. 2008). Mit Hilfe dieser Technologie können etwa Schädigungen an Bauteilen wie Risse und Verformungen oder Effekte wie Karbonatisierung und Korrosion frühzeitig erkannt werden. Auf Basis dieser Sensornetzwerke können nach Verarbeitung, Plausibilisierung und Bewertung der Sensordaten detaillierte Aussagen zum aktuellen und prognostizierten Zustand des Bauwerks getroffen werden. Neben Arbeiten in

Deutschland wird auch international der Einsatz von BIM für das SHM von Brücken untersucht. In diesem Zusammenhang dient BIM als zentraler Ablageort an dem leicht auf die erfassten Daten und deren Verarbeitung zugegriffen werden kann (Chen et al. 2014). Auch hier spielt die Übergabe und Speicherung der Daten mittels des offenen Datenformats IFC eine wichtige Rolle. Da IFC standardmäßig nicht die Übergabe von Sensordaten, wie sie im Brückenbau üblich sind, unterstützt, wurden in verschiedenen Arbeiten Erweiterungsmechanismen vorgeschlagen (Rio, Ferrera und Poças-Martins 2013; Yoshida und Yabuki 2009; Dávila Delgado, Brilakis und Middleton 2015).

3.2 BIM im Straßenbau

Im Straßenbau steht das BIM-Konzept noch vergleichsweise am Anfang. Zwar gibt es für einzelne Aufgaben bzw. Lebenszyklusphasen bereits recht ausgereifte Softwareprodukte, die u.a. die 3D-Modellierung und –Auswertung unterstützen. Insbesondere aber der Datenaustausch über die Grenzen einzelner Domänen hinweg wird bislang nur vereinzelt unterstützt.

3.2.1 Softwarewerkzeuge

Die Planung findet in der Regel konventionell auf Basis verschiedener 2D-Ansichten statt (Lageplan, Höhenplan und Querprofile). Die bestehenden Normen und Richtlinien (bspw. zu maximalen Steigungen, minimalen Kurvenradien oder erforderlichen Querneigungen) beziehen sich allesamt auf die entsprechenden 2D-Darstellungen. Auch die geltenden Regeln für die Mengenermittlungen basieren auf Näherungsformeln, die dem 2D-gestützten Arbeiten geschuldet sind. Nichtsdestotrotz erlauben die meisten Softwareprodukte das Erzeugen eines 3D-Modells und dessen Auswertung zur Bestimmung der Volumina von Dämmen und Einschnitten als Grundlage für die Mengenermittlung.

Als wichtigste Eingangsgröße dient ein 3D-Geländemodell, das entweder von den Landesvermessungsämtern bezogen oder im Zuge einer Vermessungskampagne erstellt wird (terrestrisch oder durch Überflug). Der erzeugte Straßenentwurf kann wiederum nach Fertigstellung in entsprechende Vermessungsgeräte als Grundlage für die Absteckung vor Ort eingespielt werden. Einige Systeme bieten zudem die Möglichkeit zur Weitergabe von Trassierungsdaten an entsprechende Brückenmodellierungswerkzeuge. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über einen kleinen Teil der verfügbaren Softwarelösungen am Markt.

Tabelle 2: Übersicht über ausgewählte Softwareprodukte für BIM im Straßenbau

Name	Entwickler
123CAD	123CAD ingenieursoftware
AKSWIN	Robert Männling Bausoftware
AutoCAD Civil 3D	Autodesk
BBSofT	B&B Ingenieurgesellschaft mbH
CARD/1	IB&T GmbH
Carlson Civil	Carlson
Geosi PANORAMA 5	IDC EDV GmbH
GEOvision	K2-Computer Softwareentwicklung GmbH
Infracore	Autodesk
InRoads	Bentley Systems
iTWO Civil	RIB
KorFin	A+S Consult GmbH
MicroStation	Bentley Systems
Novapoint	Vianova Systems
ProVI	Obermeyer
REB	interactive instruments
Smarttrass	QLX
SV Mobil	LEHMANN + PARTNER
VESTRA	AKG Software

Die verschiedenen Softwareprodukte zielen teilweise auf unterschiedliche Lebenszyklusphasen ab. Beispielsweise wird InfraWorks (siehe Abbildung 17) hauptsächlich für die Entwurfsphase genutzt und stellt für eine Detailplanung keine geeigneten Funktionen zur Verfügung. Für die Ausführungsplanung eignet sich beispielsweise die Software AutoCAD Civil 3D (siehe Abbildung 18). Diese kann man ebenfalls für die Detailplanung verwenden, jedoch lassen sich mit InfraWorks in kürzerer Zeit mit geringerem Arbeitsaufwand verschiedene Varianten eruiieren. Die Software SV Mobil der Firma LEHMANN + PARTNER zielt auf die Betriebsphase ab, um Straßenschäden zu dokumentieren und deckt dabei ein großes Spektrum von Anwendungsfällen ab.

3.2.2 Datenaustausch

Für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungen steht zum einen das international relativ weit verbreitete Datenformat LandXML¹ zur Verfügung. Eine bedeutende Einschränkung liegt jedoch darin, dass es sich hierbei nicht um ein standardisiertes und durch ein Gremium gepflegtes Datenformat handelt, sondern um die Eigenentwicklung einer Privatperson. Das Format weist zudem einige Unsauberkeiten bzw. Ungenauigkeiten in der Datenmodellierung auf, sodass für einen erfolgreichen Datenaustausch Zusatzspezifikationen notwendig sind. Es ist zudem inkompatibel mit den GIS-Datenformaten des Open Geospatial Consortiums (OGC). Aus diesen Gründen wurde von OGC die Entwicklung des Formats LandInfraGML initiiert und zeitgleich von buildingSMART die Entwicklung von IfcAlignment (siehe Ziffer 4.5.1) angestoßen. Die beiden Standardisierungsaktivitäten werden untereinander abgestimmt mit dem Ziel, harmonisierte Datenmodelle zu entwickeln, bei denen Konvertierungsprobleme auf ein Minimum reduziert werden können.

In Deutschland besteht darüber hinaus die Möglichkeit, das von der BASt entwickelte Format „Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen“ (OKSTRA) für den Datenaustausch zu verwenden. Hierbei handelt es sich um ein weitgehend ausgereiftes, sehr umfangreiches Datenformat, dessen Beschreibungsmächtigkeit von der Trassierung und dem Straßenaufbau bis zu Lichtverkehrsanlagen und Unfalldaten reicht. OKSTRA fokussiert primär auf den Betrieb und die Instandhaltung, ist aber auch für bestimmte Anwendungsfälle der Planungs- und Ausführungsphase geeignet. Einschränkend ist anzumerken, dass OKSTRA derzeit ein deutschsprachiges Format (mit deutschen Typbezeichnungen) ist, dessen Anwendung auf Deutschland beschränkt ist.

Sowohl LandXML als auch OKSTRA sind nicht in der Lage, detaillierte geometrisch-semanticische Beschreibungen von Ingenieurbauwerken (Brücken, Stützmauern, etc.) zu transportieren. An dieser Stelle sind die von OGC und buildingSMART angestoßenen Standardisierungsbemühungen deutlich nachhaltiger, da hier perspektivisch eine

¹ www.landxml.org

umfassende Beschreibung von Straßen samt den dazugehörigen Bauwerken angestrebt wird und damit auch die entsprechenden Baumaßnahmen in der notwendigen Vollständigkeit beschrieben werden können. Hinzu kommt, dass sowohl im GML- als auch im IFC-Bereich auf eine umfangreiche Sammlung von existierenden Datenstrukturen sowie Werkzeugen (räumliche Analyse, Viewer, Clash-Detection) und Methodiken (z.B. Model View Definition) zurückgegriffen werden kann.



Abbildung 17: Autodesk InfraWorks (Quelle: Autodesk)

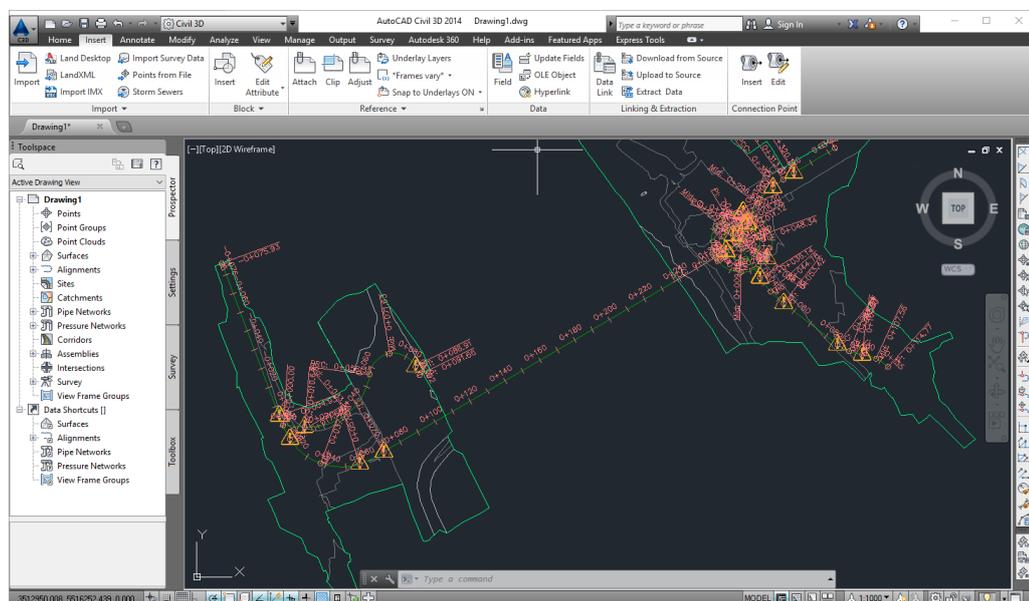


Abbildung 18: Autodesk AutoCAD Civil 3D (Quelle: Technische Universität München)

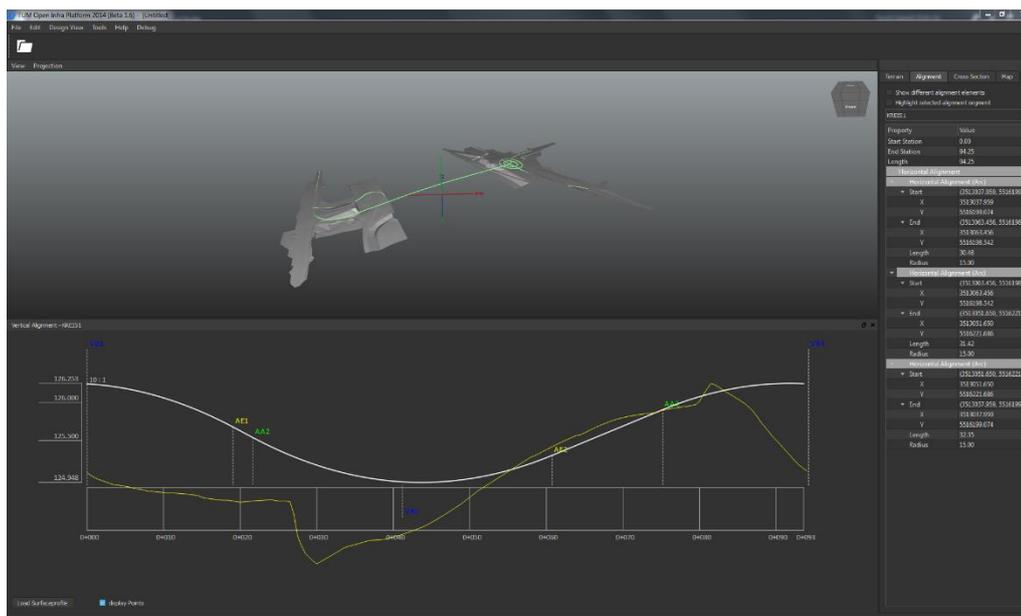


Abbildung 19: TUM Open Infra Plattform erlaubt die Darstellung von Trassierungen in 3D und 2D-Ansichten (Quelle: Technische Universität München)

3.3 BIM im Tunnelbau

Digitales Planen und die Nutzung von 3D-Modellen sind im Tunnelbau noch nicht etabliert. Der Tunnelbau ist ein hochgradig interdisziplinärer Bereich des Ingenieurwesens und stellt verschiedene und teilweise konträre Anforderungen an die Datenhaltung. Müssen, z.B. für die Trassenplanung, exakte räumliche Informationen vorhanden sein, sind die für Setzungsanalysen notwendigen Bodenparameter in der Regel unschärfebehaftet und nur in definierten Bereichen oder durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen gegeben. Zusätzlich ist der Tunnelbau, im Gegensatz zum klassischen Hochbau, als eine sich bewegende Baustelle zu verstehen. Somit ergibt sich neben einer zeitlichen auch eine örtliche Komponente, welche im Modell abgebildet werden muss.

Im Gegensatz zu bisherigen Ansätzen im Rahmen der Gebäudemodellierung müssen für Tunnelprojekte somit auch sehr viele dynamische bzw. zeitabhängige Daten vorgehalten werden. Hierzu können neben Daten der Vorauserkundung, die während des gesamten Tunnelvortriebs durchgeführt wird, auch Ergebnisse zu Setzungen und Maschinendaten gehören. Insbesondere die kontinuierliche Anpassung der Bodenverhältnisse infolge verschiedener Messungen und Simulationen stellt eine große Herausforderung dar.

Ansätze zur Erweiterung der IFC-Klassen um Elemente von Tunnelvortriebsmaschinen sowie inhomogener Baugrundverhältnisse wurden von Yabuki (2008) veröffentlicht. Die entwickelten Strukturen sind jedoch nicht in kommerziellen Softwareprodukten umgesetzt und haben sich somit nicht für den Einsatz in Tunnelbauprojekten etabliert. Dennoch wurde die Idee eines Produktmodells für den maschinellen Tunnelbau, welches Informationen des Maschinendesigns, Prozessinformationen, Projektorganisation,

Messdaten sowie erzielte Erfahrungswerte speichert, fortgeführt (Yabuki, Aruga und Furuya 2013) bzw. aufgegriffen (Hegemann, Lehner und M. König 2012).

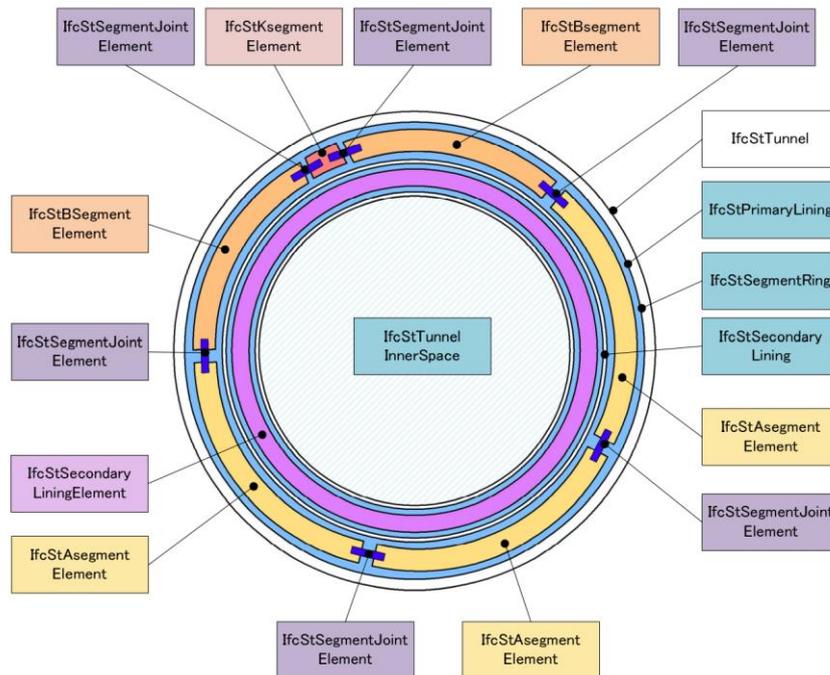


Abbildung 20: Darstellung der IFC-Shieldtunnel Elemente
(Quelle: Yabuki, Aruga und Furuya 2013)

Die Entwicklung eines konsistenten und interoperablen Produktmodells fand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereichs 837 an der RUB besondere Beachtung. Da Fachmodelle im Tunnelbau in der Regel von verschiedenen Fachplanern mit unterschiedlichen Softwarewerkzeugen erstellt werden, stellt die Verknüpfung der Daten eine große Herausforderung dar. Die Verknüpfung der einzelnen Teilmodelle erfolgt im SFB837 geometrisch über eine einheitliche Georeferenzierung und semantisch über eindeutige Identifikatoren der einzelnen Objekte. Dadurch können auch beliebige andere Informationen mit den Objekten verknüpft werden. Beispielsweise können Maschinendaten, wie Pressendrucke oder Vortriebsgeschwindigkeiten, mit einzelnen Tunnelsegmenten verlinkt werden. Auch detaillierte Informationen zu gemessenen Setzungen lassen sich zeitabhängig sehr einfach integrieren.

Die publizierten Arbeiten umfassen Konzepte zur Speicherung von Baugrunddatenmodellen, Maschinendaten, Prozessdaten und Setzungsanalysen (Hegemann, Lehner und M. König 2012). Erweitert wurde dieser Ansatz um ein hybrides Baugrunddatenmodell, das die genannten Anforderungen (z. B. die dynamische Aktualisierung und Versionsverwaltung) unterstützt (Hegemann et al. 2013). In der Publikation von (Schindler et al. 2014) wurde fortführend ein *Tunneling Information Model* (TIM) als Interaktionsplattform für den maschinellen Tunnelbau vorgestellt, welches zusätzlich auch

Informationen über die Bestandsbebauung, Prozessdaten sowie Setzungsmessungen enthält (siehe Abbildung 21).

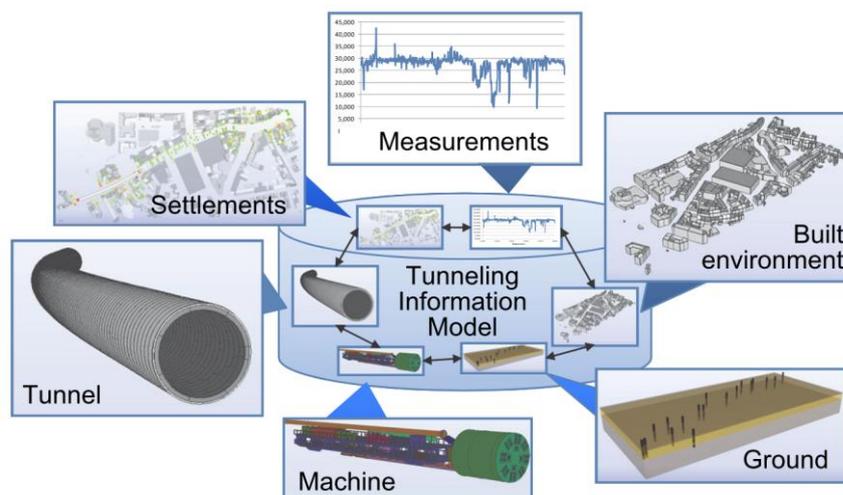


Abbildung 21: Konzept des ganzheitlichen Produktmodells mit seinen verschiedenen Untermodellen (Quelle: Schindler et al. 2014)

Das TIM visualisiert den Projektfortschritt inklusive Sensordaten der Vortriebsmaschine, wie Vortriebskraft oder Stützdruck und beinhaltet eine interaktive Setzungsvisualisierung anhand einer 3D-Darstellung. Die entwickelten Modelle wurden anhand realer Daten der U-Bahnbaustelle Wehrhahnlinie in Düsseldorf verifiziert. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass ein direktes Erstellen von Simulationsmodellen zur Setzungsanalyse aus dem Produktmodell auf IFC-Basis möglich ist (Strascheit et al. 2013). Dies erlaubt schnelle und effiziente Variantenvergleiche unter Berücksichtigung verschiedener Bewertungskriterien und Visualisierungsmöglichkeiten (siehe Abbildung 22). Die entwickelten Konzepte und Werkzeuge sind Prototypen und nicht kommerziell verfügbar.

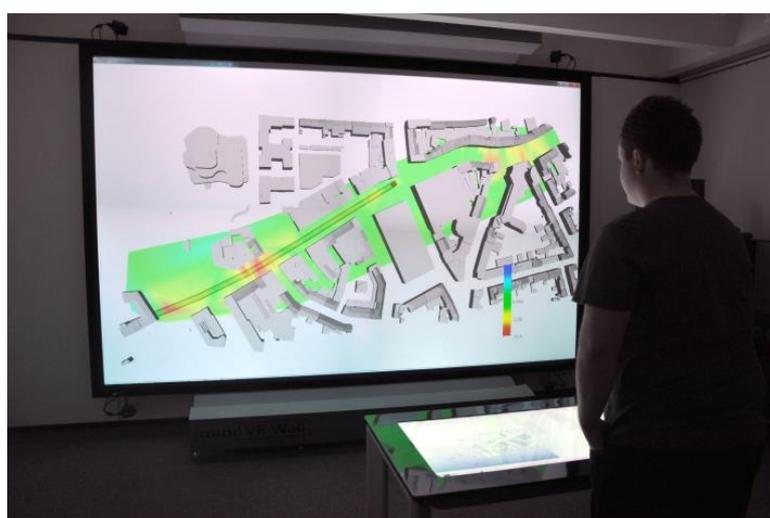


Abbildung 22: Stereoskopische Visualisierung von Setzungen (Quelle: Ruhr-Universität Bochum)

Interoperabilität sowie ein konsistenter Datenaustausch sind für die Durchsetzung einer neuen Methodik unerlässlich. Das Konzept des IFC-Alignment (vgl. Kapitel 4.5.1) wurde dafür in dem Tunnelmodell implementiert (Amann et al. 2013). Daraus ergibt sich ein standardisiertes und für den Datenaustausch zu verwendendes Tunnelmodell. Des Weiteren wurden verschiedene Detaillierungsstufen von Tunnelmodellen unter Berücksichtigung der Skalierbarkeit, konsistenter Semantik und verschiedener Visualisierungskonzepte entwickelt und implementiert (Borrmann und Jubierre 2013).

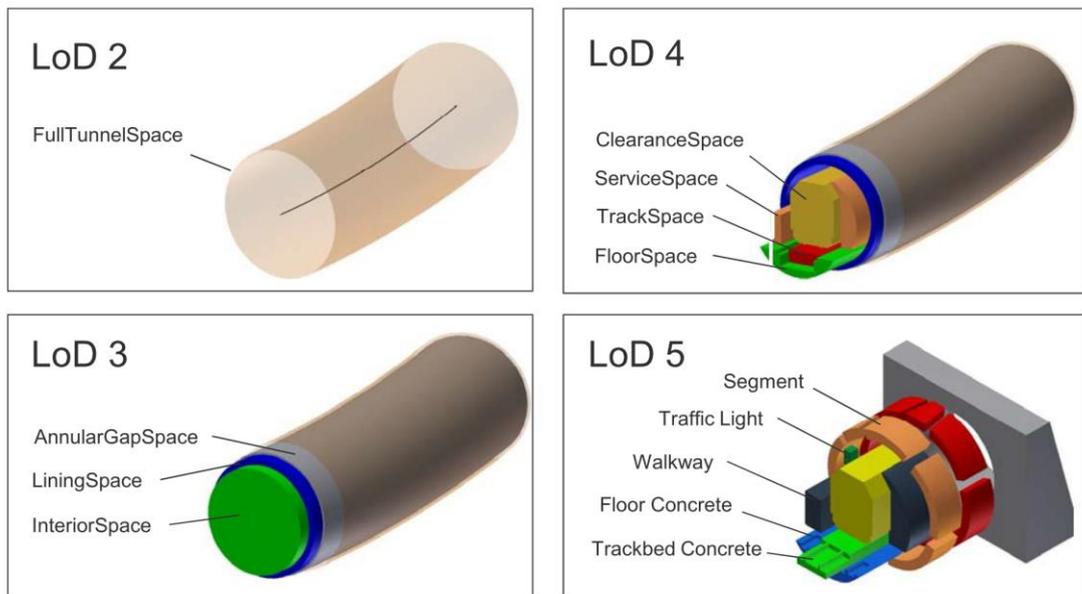


Abbildung 23: Dreidimensionale Darstellung der *Level of Details* (LOD) für ein Produktmodell im maschinellen Tunnelbau (Quelle: Amann et al. 2013)

In Infrastrukturprojekten sind die geografischen Randbedingungen starke Planungs- und Entscheidungskriterien. Neben der Kollisionsprüfung zwischen Tunnel und bestehender unterirdischer Infrastruktur, sind auch Nachhaltigkeitsstudien als Anwendungsfall eines Tunnelmodells möglich. Diese Besonderheit verlangt eine Verknüpfung des digitalen Bauwerksmodells mit Umgebungs- bzw. Bebauungsdaten. Ein Ansatz zur Verknüpfung des IFC-basierten Tunnelmodells mit *Geographic Information System (GIS)*-Daten wurde von (Borrmann et al. 2013) veröffentlicht. In aktuellen Forschungsvorhaben wird der Vergleich von verschiedenen Tunneltrassen auf Basis von parametrischen Modellierungskonzepten untersucht. Durch den Einsatz wissensbasierter Regeln lassen sich Änderungen, wie die Änderung der Trassenneigung aufgrund eines veränderten Geschwindigkeitsprofils, automatisiert umsetzen (siehe Abbildung 24). Neben der daraus resultierenden Erhöhung der Planungsqualität sind auch Zeitersparnisse zu erwarten. Validiert wurden diese Konzepte im Rahmen eines Forschungsprojekts anhand der zweiten Stammstrecke in München (Borrmann et al. 2014; Borrmann et al. 2015). Die entwickelten Konzepte und Werkzeuge wurden prototypisch umgesetzt und sind nicht kommerziell verfügbar.

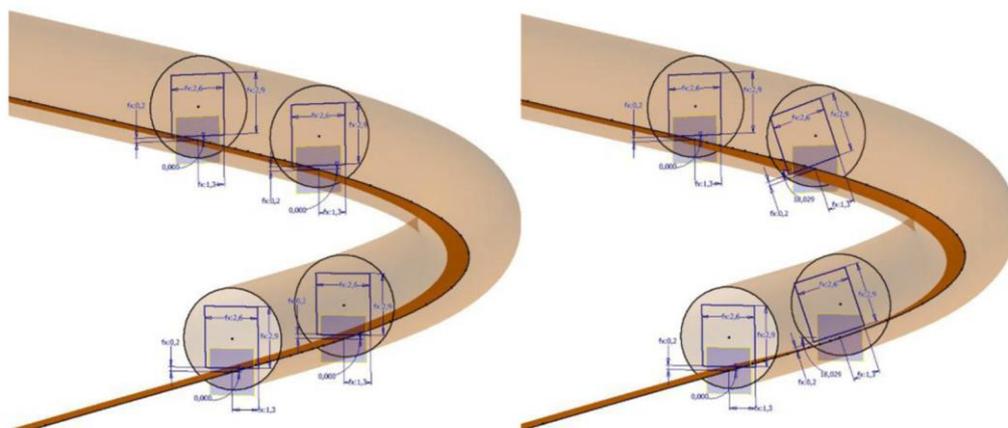


Abbildung 24: Automatische Änderung der Trassenneigung durch ein verändertes Geschwindigkeitsprofil (Borrmann et al. 2015)

Verglichen mit komplexen Projekten aus dem Hochbau und den hier meist verwendeten unterschiedlichen Teilmodellen für Architektur, Tragwerk oder technische Gebäudeausrüstung, sind im Tunnelbau weit weniger komplexe Modelle die Regel. Die Anzahl unterschiedlicher Elemente ist eher gering und auch die sich zyklisch wiederholenden Bauprozesse sind im Vorfeld bekannt. Parametrische Ansätze zur Modellgenerierung bieten sich daher für den Tunnelbau im besonderen Maße an. Da die Konstruktion von Tunnelbauwerken sich stark an definierten Sicherheitsrichtlinien und weniger an architektonischen oder kundenspezifischen Ausführungswünschen orientiert, bietet die regelbasierte Modellierung großes Potential zur Reduzierung des Modellierungsaufwandes. Ein speziell für die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) entwickelter Ansatz der Modellierung ist die parametrische Elementbibliothek der wichtigsten Elemente, wie z.B. Tunnelschale, Sicherungsanker oder Drainagesysteme (Cho et al. 2012). Die einzelnen Elemente der Bibliothek sind in verschiedenen, den koreanischen Standards angepassten, Ausführungsvarianten regelbasiert zusammengefasst. In Abhängigkeit der geologischen Randbedingungen können auch Abstände der Ausbruchsicherung oder Abschlagslängen durch die parametrische Modellierung effizient angepasst werden. Automatisierte Berechnungen der Ausbruchsmasse sowie Mengenermittlung für Materialien sind zur Nutzung und Weiterverarbeitung für das Projektmanagement im Excel-Format exportierbar. Für die frühe Planungsphase wird somit eine effiziente Analyse für diverse Trassierungsalternativen ermöglicht. Die Trassierung ist hierbei als Ausgangspunkt der definierten Regeln bestimmt. Die Autoren erkennen jedoch die wachsende Komplexität der sich auf die Tunnelachse beziehenden Regeln bei steigendem Detaillierungsgrad. Auch müssen für die verschiedenen Nutzungsbestimmungen von Tunneln (Straßentunnel, Schienentunnel oder Abwassertunnel) jeweils spezifische Elemente erstellt werden. Dennoch wird frei verfügbaren Elementkatalogen, wie der *National BIM Library* (NBL), ARCAT, RevitCity, SMARTBIM oder

Autodesk Seek, großes Potential zur Verringerung des Modellierungsaufwand zugesprochen.

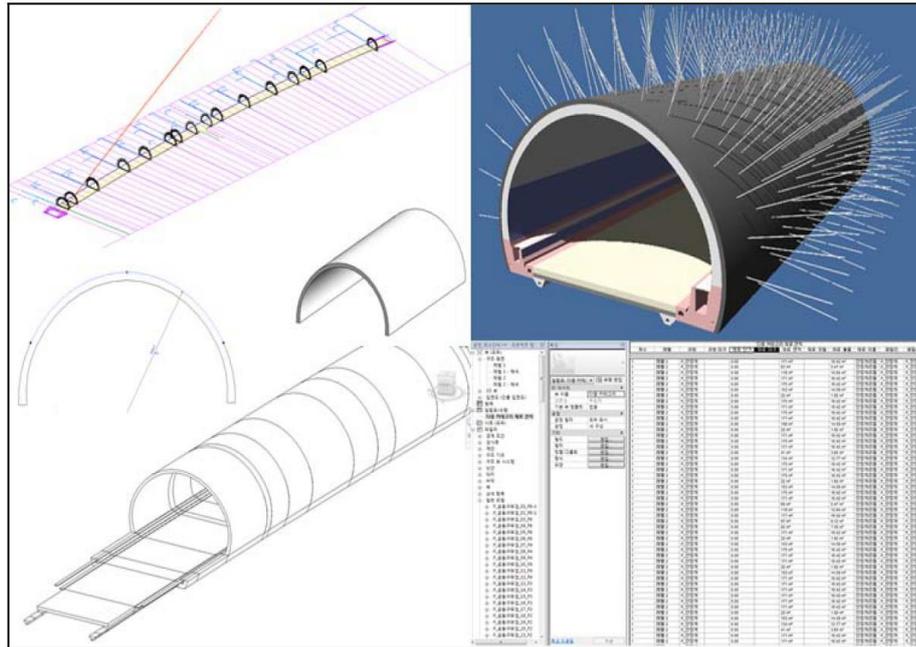


Abbildung 25: Parametrische Modellierung der Trasse (unten rechts). Generiertes Tunnelmodell mit semantischen Informationen (links). Gerenderte Ausführungsvisualisierung (oben rechts). (Quelle: Cho et al. 2012)

Die Anwendung eines parametrisierten Tunnelmodells wurde am Zhizi Tunnel durchgeführt (Wang, Hao und Xiang 2015). Durch die Verknüpfung verschiedener Teilmodelle des Tunnelbauwerks mit Modellen der Topografie und Geologie konnten sowohl die Projektzeit als auch die Projektkosten verringert werden. Hierfür wurden neben der modellbasierten Mengenermittlung sowie der Ausführungsunterstützung durch mobile Geräte (iPad, siehe Abbildung 26) auch statische Analysen durchgeführt. Durch die Aktualisierung des geologischen Profils und eine Neuberechnung des benötigten Bewehrungsgrades der Tunnelschale konnten Materialkosten reduziert werden. Zudem wurden verschiedene Projektvarianten modellgestützt evaluiert, wobei auch die Beeinflussung der Oberfläche und Aspekte des Naturschutzes berücksichtigt wurden. Es konnte gezeigt werden, dass trotz gestiegener Materialkosten der optimierten Trassierung die Gesamtkosten eines Bauabschnitts um 60% verringert werden können.

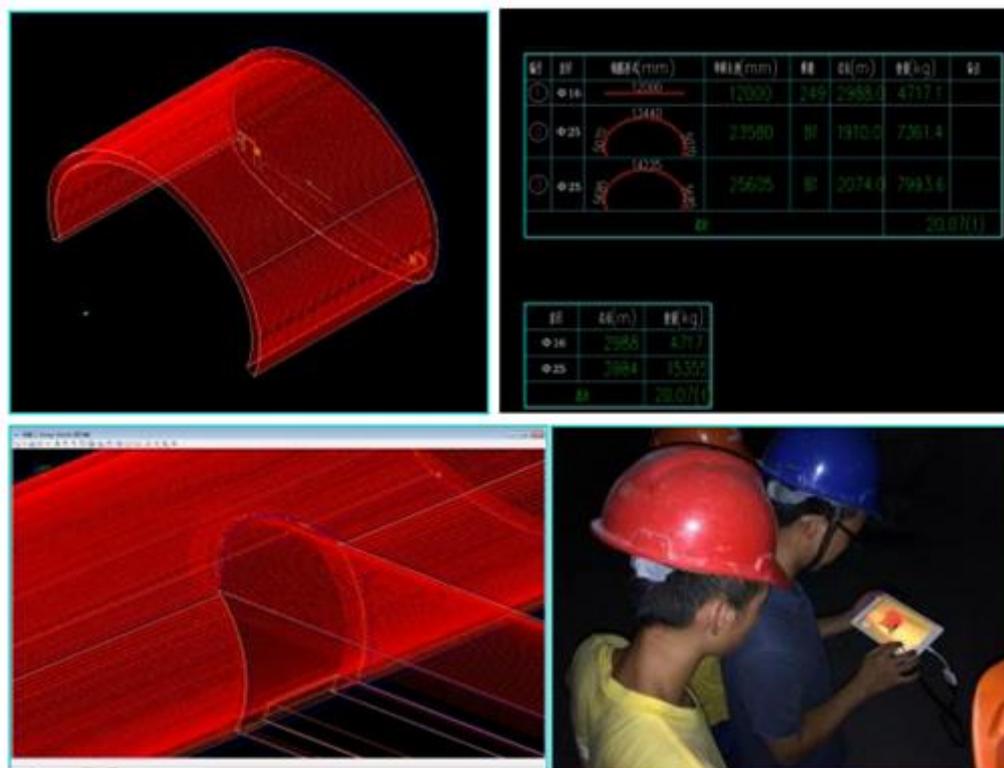


Abbildung 26: Ermittlung der benötigten Bewehrung sowie Visualisierung und Nutzung der Bewehrungspläne auf einem iPad (Quelle: Wang, Hao und Xiang 2015)

Die gesammelten Arbeiten zeigen die aktuellen Entwicklungen zur Nutzung von BIM im Tunnelbau auf, identifizieren jedoch auch Herausforderungen bezüglich konsistenter Datenhaltung und Modellierung. Dennoch existieren bereits Konzepte und Anwendungsfälle zur Unterstützung der Planung und Projektsteuerung im Tunnelbau. Der Informationsaustausch von tunnelbauspezifischen Daten ist Bestandteil aktueller, teils fortgeschrittener Forschungsarbeiten. Durch die Nutzung vorgefertigter Modellbausteine ist eine deutliche Vereinfachung der Modellierungsarbeiten zu erwarten. Dies stellt insbesondere für die frühe Planungsphase (z. B. beim Variantenvergleich) eine effiziente Ergänzung der klassischen Planung dar. Für den Tunnelbau existieren noch keine speziellen BIM-Softwarewerkzeuge. Die BIM-basierte Projektabwicklung im Tunnelbau kann jedoch schon heute durch etablierte allgemeine BIM-Werkzeuge unterstützt werden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht über ausgewählte Softwareprodukte für BIM im Tunnelbau

Name	Anbieter
AutoCAD Civil 3D	Autodesk
HoleBASE SI	Keynetix
Infraworks	Autodesk

iTWO	RIB
MicroStation	Bentley Systems
ProjectWise	Bentley Systems

3.4 BIM im Schienenbau

Für den Bereich der Schieneninfrastruktur existieren kaum spezifische Forschungsarbeiten. Nur wenige Ansätze, die sich konkret auf Schienenprojekte beziehen, sind in der nationalen und internationalen Literatur oder in Konferenzbeiträgen zu finden. Häufig werden Fragenstellungen zur Schieneninfrastruktur in einem Kontext, der auch Brücken- und Tunnelbauwerke umfasst, untersucht. Die sich häufig ergebenden Fragestellungen (beispielsweise zur Trassierungsplanung oder zur parametrischen Modellierung) sind meist deckungsgleich mit bereits für den Straßen- oder Brückenbau diskutierten Ansätzen. Ein für die Schieneninfrastruktur bereits weit verbreitetes Verfahren ist die Zustandserfassung des Schienennetzes durch Methoden des Laserscanning (siehe Abbildung 27 und 28). Hierbei wird die Schienengeometrie durch Züge mit entsprechender Messelektronik mit einer Kombination aus GPS-Positionierung, Videokameras und Laserscanning während des Normalbetriebs mit einer Genauigkeit von $\pm 5\text{ mm}$ auf 200 Streckenmetern aufgezeichnet. Die generierten Daten können auch zur Zustandserfassung und Wartungsplanung verwendet werden. Zusätzlich sind durch den Einsatz von 360° Panorama Kameras auch Umgebungsanalysen sowie die Aufnahme von Bahnhöfen, Fahrleitungen oder Signalbrücken möglich. Aufgrund der räumlichen Ausdehnung der aufgenommenen Strecken muss zur späteren Verwendung eine exakte Georeferenzierung erfolgen.

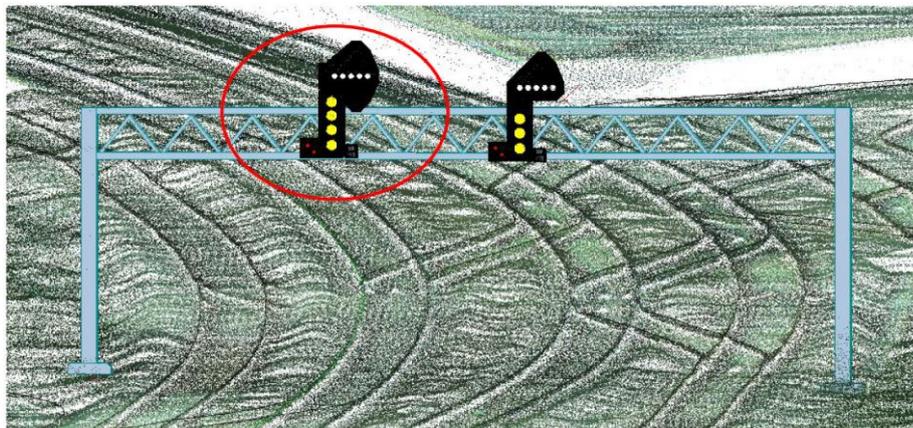


Abbildung 27: Generierung von Signalbrücken aus einer Punktwolkenrepräsentation
(Quelle: Nolan und McGovern 2013)

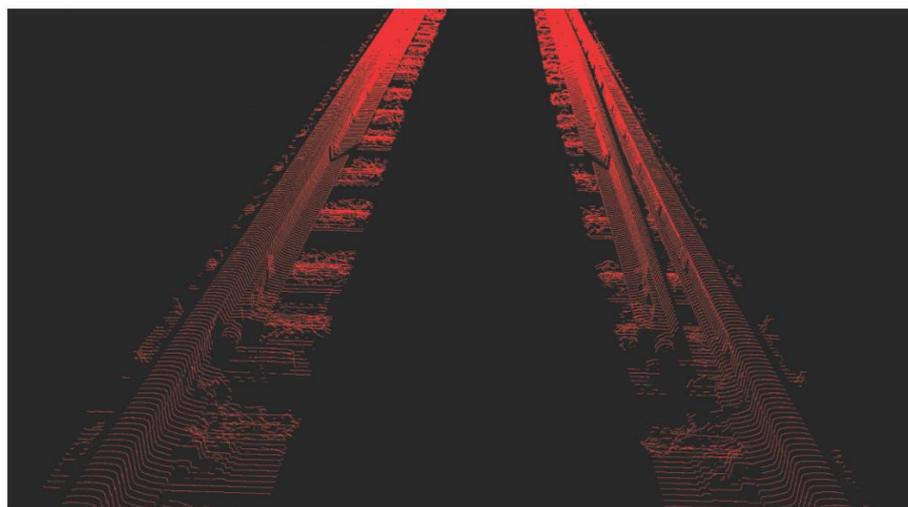


Abbildung 28: Automatisierte Zustandskontrolle von Schienen (Quelle: Burton und Thomas 2015)

Stasis et al. (2012) analysieren die für das Crossrail Projekt gewählten Daten-, Informations- und Prozessdefinitionen und die sich daraus ergebenden Elemente des Projektmanagements. Es wurden drei eigenständige, jedoch verknüpfte, Systeme zur Speicherung von Geodaten, 3D-Modellen, Zeichnungen, Asset-Informationen und der Projektdokumentation implementiert (siehe Abbildung 29). Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung existierten ca. 0,25 Mio. Einträge in der GIS-Datenbank, ca. 1 Mio. 3D-Modelle oder Zeichnungen und ca. 2-3 Mio. Asset-Informationen oder Dokumente. Die Betreuung der einzelnen Systeme wurde von eigenen Projektteams durchgeführt. Verantwortlich für die Datenhaltung war hierbei eine den Projektteams übergeordnete und dem Projektmanagement zugehörige „Informationsabteilung“.

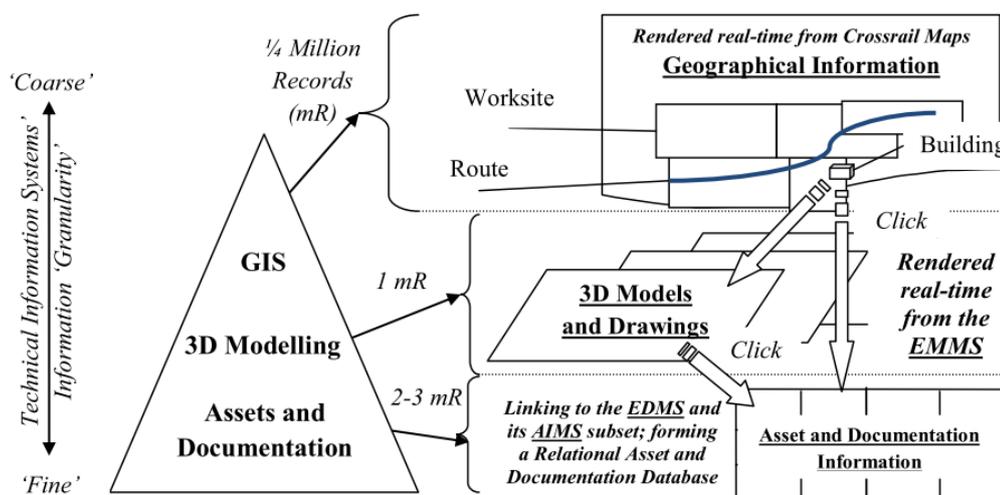


Abbildung 29: Schema des Informationssystems verwendet für das Crossrail Projekt London (Quelle: Stasis et al. 2012)

Zur Sicherstellung der Nutzbarkeit von Asset-Informationen und technischen Dokumenten wurde *Electronic Document Management System* (EDMS) als

configuration item in einer von den einzelnen Firmen unabhängigen Struktur gespeichert. Das Ziel war es, eine konsistente Verwendung der Daten über die verschiedenen Leistungsphasen zu garantieren. Das EDMS verzichtete auf ein System der Rechtevergabe und der eingeschränkten Zugriffe. Stattdessen wurde auf eine strikte Versionierung gesetzt. Zusätzlich wurde ein objektorientierter Ansatz mit einer parametrischen Suchmaschine, also einer Suche nach Positionen oder Kategorien, die auf den Merkmalen statt auf textuellen Beschreibungen basiert, implementiert.

Für die am Projekt beteiligten Unternehmen wurden strenge Vorgaben zur Nutzung und Änderung der Daten gesetzt, welche jeweils unternehmensintern umzusetzen waren. Für Firmen, die nicht über die benötigten Ressourcen oder Kompetenzen verfügten, um die definierten Vorgaben zu erfüllen, wurden Experten der Informationsabteilung zur Verfügung gestellt. Dies stellte den konsistenten und strukturierten Datenfluss über alle Projektbeteiligten und Projektphasen sicher und verringerte den Gesamtaufwand der Datenpflege und Informationsbeschaffung signifikant. Stasis et al. (2012) betont hierbei die Wichtigkeit der im Vorfeld detailliert definierten Prozesse, welche den Nutzer zu einer strukturierten und einheitlichen Arbeitsweise anleitet.

Die eigentliche Nutzung der Datenmodelle erfolgt über eine webbasierte GIS-Schnittstelle, die dem Nutzer Zugriff auf die verknüpften Informationen liefert. Über georeferenzierte Objekte sind die verfügbaren Informationen aller Datenmodelle interaktiv und quasi in Echtzeit für die Nutzer zugänglich. Zusätzlich wurden einfache Werkzeuge zur Auswertung der Informationen oder der Datenfilterung implementiert. Dieser interaktive, grafische Workflow wird von den Autoren als einer der Erfolgsfaktoren bezüglich Zeit- und Kosteneinsparungen genannt.

Die Nutzung von BIM im Schienenbau ist noch nicht sonderlich verbreitet. Es existieren jedoch schon Ansätze zur automatisierten Zustandserfassung der Schienennetze. Das Crossrail Projekt zeigt dennoch die bereits erfolgreiche Anwendung von digitalen Planungskonzepten für die Projektsteuerung. Dieser Erfolg begründet sich maßgeblich auf der detaillierten Vorplanung und Rollenverteilung der am Projekt beteiligten Unternehmen. Neben allgemeinen BIM-Softwarewerkzeugen werden für bestimmte Fragestellungen im Schienenbau schon spezielle Produkte angeboten. Der Einsatz der aufgeführten Produkte ist für den Schienenbau prinzipiell möglich (siehe Tabelle 4). Es konnten jedoch im Rahmen der Materialsammlung keine entsprechenden Veröffentlichungen zum Einsatz dieser Softwareprodukte im Rahmen von BIM-Projekten gefunden werden.

Tabelle 4: Übersicht über Softwareprodukte für BIM im Schienenbau

Name	Anbieter
AutoCAD Civil 3D	Autodesk
iTWO	RIB
MicroStation	Bentley Systems
Power Rail Overhead Line	Bentley Systems
Power Rail Track	Bentley Systems
Rail Track Design and Analysis Software	Bentley Systems
ReCap360	Autodesk
Vehicle Tracking	Autodesk

3.5 BIM-GIS-Integration

Die Entwicklung von der einfachen zweidimensionalen CAD Planung hin zu der Verbindung von 3D-Modellen mit Informationen aus Geographischen Informationssystemen zeigt einen deutlichen Mehrwert in der Datenqualität auf und birgt ein hohes Entwicklungspotential. Dieser wichtige, strategische Datenaustausch mündet in einem integrativen Gesamtplanungsprozess, der das zukünftige Planen in Unternehmen bestimmt. GIS liefert im Projekt schwerpunktmäßig raumbezogene, sozioökonomische und topographische Informationen, die in 3D-Stadtmodelle und Infrastrukturprojekte eingebunden werden. Das Zusammenführen der Daten zielt auf eine repräsentative Simulation der möglichen Planungsszenarien ab. Die Stakeholder können so in den Entscheidungsprozess mit eingebunden werden. Den unterschiedlichen Fachplanern soll von Anfang an ein gemeinsamer Zugang zum Projekt ermöglicht werden, welche als Kommunikationsplattform und Wissensaustauschbasis dient.

Insbesondere im Infrastrukturbereich ergeben sich Probleme aufgrund großer Skalenunterschiede in den einzelnen Teilmodellen. So erstreckt sich die Trassierung im Schienenbau häufig über mehrere Kilometer, wohingegen die Toleranzen für die einzelnen Ausführungsdetails von Gebäuden oder Brücken im Millimeterbereich liegen. Für die verschiedenen Skalierungen haben sich unterschiedliche Ansätze zum Datenmanagement etabliert. Zu unterscheiden sind diese Ansätze durch ihre objektorientierte Datenstruktur bzw. geografisch orientierte Struktur.

Zur Beschreibung der Geoobjekte werden in der Regel die geometrischen Formprimitiven Punkt, Linie und Fläche verwendet. Flächen werden häufig lediglich als Polygone modelliert. Diese flächenorientierte Beschreibung unterscheidet sich deutlich von der

volumenorientierten Modellierung von Bauwerken im Kontext von BIM (vgl. Abbildung 30). Neben der Geometrie (Form, Größe und Lage) der Objekte werden auch die topologischen Beziehungen der Objekte modelliert. Hierzu dienen die topologischen Grundformen: Knoten, Kante und Masche.

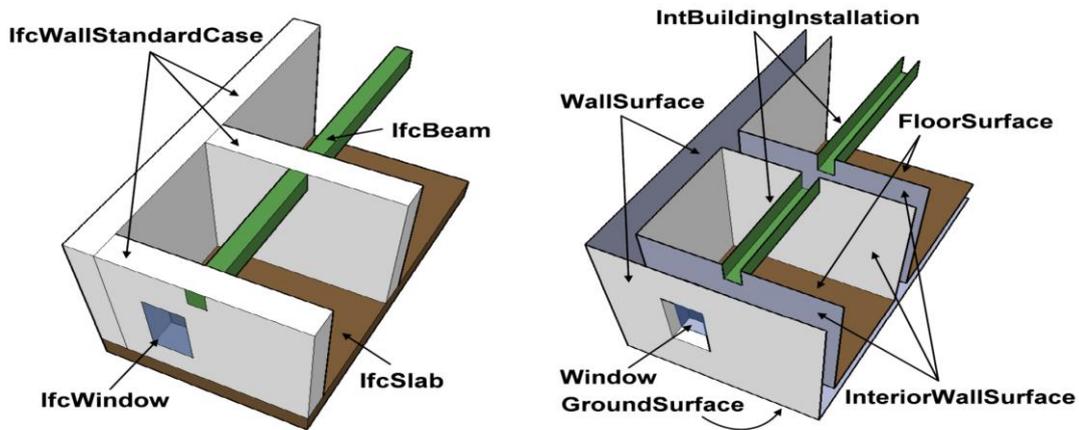


Abbildung 30: Unterschiede in der geometrischen Repräsentation zwischen BIM und 3D-GIS (Quelle: Kolbe, G. König und Nagel 2011)

Die Nutzung von BIM für einzelne Bauwerke mit begrenzten Ausmaßen hat sich in der Industrie als sehr praktikabel erwiesen. Durch die Verknüpfung von semantischen Daten mit einzelnen Objekten unterstützen die 3D-Modelle den Workflow auf intuitive und leicht verständliche Weise. Für horizontale Projekte mit großen geographischen Ausmaßen haben sich die Geoinformationssysteme (GIS), also die Verknüpfung von Informationen mit räumlichen Daten, etabliert. Bei Geoinformationssystemen ist jedes Datenelement auf die Erdoberfläche bezogen.

BIM-Systeme setzen nahezu ausschließlich ein kartesisches Koordinatensystem mit lokalem Nullpunkt ein. Das entstehende lokale Koordinatensystem muss durch Angabe einer Koordinatentransformation in Bezug zu einem Koordinatenreferenzsystem gesetzt werden. Hierzu wird der Nullpunkt mit einem geodätischen Datum verknüpft und ggf. eine Rotation angegeben. Zusätzlich kann eine Höhe angegeben werden, die sich dann auf einen Referenzellipsoid bezieht. Entsprechende Möglichkeiten sind unter anderem auch im IFC-Datenmodell vorgesehen.

Die in Deutschland üblicherweise eingesetzten geodätische Koordinatensysteme zur Beschreibung der Lage sind das Gauß-Krüger-System und das Universale Transversale Mercator (UTM) System². Bei beiden Systemen wird die Erdellipsoid auf mehrere Zylinder projiziert, um so die Darstellung in einem 2D-Koordinatensystem zu

² Der folgende Abschnitt verwendet an mehreren Stellen Textausschnitte aus Wikipedia.

ermöglichen. Dabei kommen verschiedene Projektionen mit unterschiedlichen Zylinderachsen für einzelne Meridianstreifen zum Einsatz, um so die entstehende Verzerrung zu begrenzen (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32).

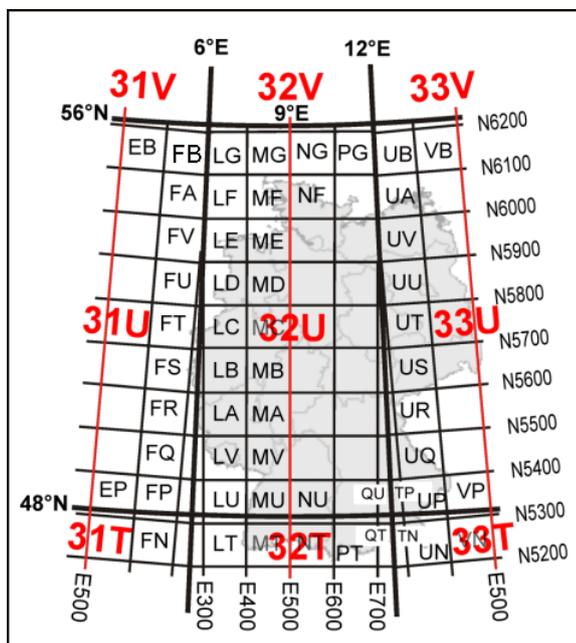


Abbildung 31: Kartenaufteilung in Meridianzonen, Zonenfelder und Gitterquadrate, (Quelle: Antopn (rp) Wikimedia 2005)

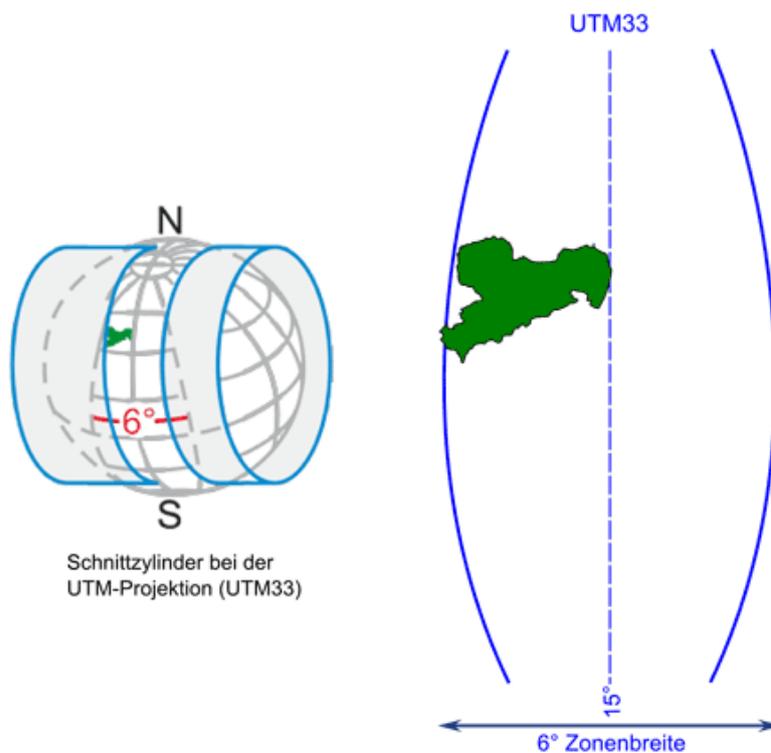


Abbildung 32. Schnitzzylinder und Abbildungszone bei UTM-Koordinaten (Quelle: Landesvermessung Sachsen)

Die wichtigste Eigenschaft, der bei beiden Systemen eingesetzten transversalen Mercator-Projektion, ist ihre Winkeltreue. Gleichzeitig gilt jedoch die Einschränkung, dass Mercator-Projektion nur an den Berührungslinien zwischen Projektionszylinder und Erdoberfläche längentreu ist. An allen anderen Punkten ergibt sich eine Verzerrung der Längen. Damit ist die Projektion auch nicht flächentreu. Die Verzerrungen werden mit Abstand zur Berührungslinie zunehmend größer. Dies muss bei Nutzung des Koordinatensystems durch Anwendung entsprechender Korrekturen für Abstände in Ost-West-Richtung berücksichtigt werden.

In Deutschland und Österreich war bisher die Gauß-Krüger-Projektion die Grundlage der Landesvermessung. Die erforderliche internationale Zusammenarbeit hat der auf Gauß-Krüger basierenden jüngeren Universalen Transversalen Mercator-Projektion (UTM) zur Durchsetzung verholfen, auf die auch in Deutschland umgestellt wird.

Die UTM findet Anwendung in 30 unterschiedlichen Zylinderachslagen für jeweils 6° breite Streifen (maximal 800 km Breite), Gauß-Krüger verwendet doppelt so viele Lagen für Streifen von 3°. Auf diese Weise kann der entstehende Abbildungsfehler³ klein gehalten werden. Die Zonen sind von West nach Ost durchnummeriert. Die Zone von 180° bis 174° westlicher Länge erhält die Kennziffer 1. Die von 174° bis 168° die Kennziffer 2 usw. Der deutschsprachige Raum liegt größtenteils in den Zonen 32 (6° bis 12° östliche Länge) und 33 (12° bis 18° östliche Länge).

Bei⁴ den GK- und UTM-Koordinaten treten Streckenverzerrungen in Horizontalrichtung beim Übergang von der Messebene in die jeweilige Rechenebene auf. Der Gesamtbetrag der Streckenverzerrung setzt sich aus einem Anteil "Projektionsmethode" und aus einem Anteil "Höhe über dem Referenzellipsoid" zusammen. Bei UTM-Koordinaten können im Gegensatz zu GK-Koordinaten auch negative Streckenverzerrungen auftreten, außerdem sind die maximalen Absolutbeträge höher. Dies wird am Beispiel des Freistaats Sachsen erläutert: Sachsen liegt fast vollständig in der UTM-Zone 33, deren Bezugsmeridian 15° östliche Länge ist. Die projektive Streckenverzerrung bei UTM beträgt im Maximum 40cm pro km gemessener Strecke. Dieser Effekt ist bei der Berechnung von Absteckwerten bzw. der Berechnung von Koordinaten aus terrestrischen Messwerten nicht zu vernachlässigen.

Die Nutzung verschiedener Referenzsysteme (Zonen) zur Modellierung eines weit ausgedehnten Bauvorhabens sollte vermieden werden, da relevante Verzerrungen auftreten können. In Zweifelsfall kann das Koordinatensystem einer Zone auch über die Zonengrenzen hinaus verwendet werden, sofern die zunehmenden Verzerrungen eine sinnvolle Nutzung noch erlauben. Grundsätzlich ist die Umrechnung (Transformation)

³ Mit zunehmendem Abstand von der Berührungslinie entstehen Verzerrungen und Abbildungsfehler

⁴ Diese Abschnitt verwendet Textteile von www.landesvermessung.sachsen.de

zwischen zwei verschiedenen Zonen jedoch möglich und wird durch viele GIS-Systeme und Trassierungsprogramme unterstützt.

Abhängig von der Lage des Bauvorhabens im Bezugssystem ergeben sich somit Abweichungen. Das korrekte Zusammenspiel von BIM und GIS-Systemen ist somit nicht immer gegeben, da BIM-Systeme i.d.R. mit lokalen kartesischen Koordinatensystemen arbeiten, d.h. keine Korrekturen vornehmen. Bei der Übernahme von GIS-Daten in BIM-Systeme als Planungsgrundlage sind jedoch entsprechende Korrekturen anzuwenden. GIS-Systeme sowie die meisten Trassierungssoftwareprodukte verfügen über entsprechende Funktionalitäten zur Berechnung der Verzerrung bzw. des sich ergebenden Längenfehlers.

Die Deutsche Bahn verwendet das eigene Koordinatensystem DB_REF. Dabei handelt es sich um ein deutschlandweit gültiges *homogenes* Koordinatensystem und damit um ein dreidimensionales Koordinatensystem, dessen Ursprung der Masseschwerpunkt der Erde ist. Grundlage für das DB_REF ist der geodätische Referenzrahmen ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame). Durch den Entfall der Projektion auf ein 2D kartesisches System ist es möglich, DB_REF als länderübergreifendes Koordinatensystem einzusetzen.

Aktuelle Forschungsprojekte untersuchen die Möglichkeiten zur synchronen Nutzung beider Konzepte (V-Con 2015). Dabei werden detaillierte dreidimensionale Bauwerksdaten und zweidimensionale, Layer-basierte Geodaten zusammengeführt (Karimi und Akinci 2010). Häufig wird dabei von einer getrennten Datenhaltung ausgegangen, d.h., dass Bauwerksmodelle in einem Geoinformationssystem nur räumlich verortet werden (Irizarry, Karan und Jalaei 2013). Für einzelne Fragestellungen werden dabei immer wieder sehr spezielle und inkompatible Datenmodelle entwickelt. Karimi und Ghafourian (2010) stellen ein Datenmodell für die Integration von Geoinformationen und Bauwerksinformationen zur durchgängigen Indoor und Outdoor Navigation vor. Ähnliche Ontologie-basierte Ansätze zur Abfrage von räumlichen Zusammenhängen wurden von Casey und Austin (2002) und El-Diraby und Osman (2011) vorgestellt. Die Definition eines Standards sollte hierbei angestrebt werden (Zobl et al. 2011). Insbesondere die Konsistenz der Daten bei einem Austausch zwischen sich jeweils in stetiger Entwicklung befindlicher Datenformate ist hierbei eine große Herausforderung.

Vielversprechend ist in diesem Zusammenhang das *Memorandum of Understanding*, das zwischen den Standardisierungsorganisationen Open Geospatial Consortium (OGC) und buildingSMART abgeschlossen wurde. Erstes greifbares Ergebnis der vereinbarten Zusammenarbeit ist das gemeinsame konzeptionelle Modell für die Beschreibung von Trassierungen (vgl. Kapitel 4.5.1).

3.6 Fazit

Dieser Abschnitt zeigt den aktuellen Stand der Forschung und Technik im Infrastrukturbau auf. Es wurden Werkzeuge zur Nutzung von BIM im Brücken-, Straßen-, Tunnel- und Schienenbau vorgestellt. Zusätzlich wurde in allen vier Anwendungsgebieten Literatur rund um das **digitalisierte Planen**, Bauen und Betreiben von Infrastruktur sowohl aus nationaler als auch internationaler Sicht aufgeführt.

Für den **Brückenbau** wurde, insbesondere die **Planungsphase** betreffend, die parametrische Modellierung als aktuell wichtiges Thema in der Forschung identifiziert. Arbeiten bezüglich der Erstellung flexibler Modelle, Nutzung von Freiformflächen zur Modellierung komplexer Geometrien sowie der automatisierten Planableitung für gekrümmte Schnitte wurden zusammengefasst und bewertet. Hierbei nimmt der Brückenbau eine Vorreiterrolle für Forschungsarbeiten bezüglich Methoden des digitalen Planens im gesamten Infrastrukturbereich ein. Somit basieren viele Arbeiten anderer Infrastrukturbereiche auf Ansätzen, die im Brückenbau entwickelt wurden. Weitere Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die **Aufnahme** und **Bewertung** der **Bestandsbebauung** im Rahmen von Life-Cycle-Management-Analysen und der Optimierung von Instandhaltungsstrategien. Zur Aufnahme von bestehenden Brückenbauwerken werden in der aktuellen internationalen Forschung Ansätze zur automatisierten Verarbeitung von Laserscanning-Aufnahmen untersucht. Daneben werden auch Konzepte evaluiert, welche anstelle detaillierter 3D-Modelle einfache und auf Wartungsarbeiten angepasste **Platzhaltermodelle** verwenden. Diese Methodik beschränkt die Nutzung der Modelle auf das Wartungsmanagement, ermöglicht jedoch eine schnelle und effiziente Modellierung für eine große Anzahl von bestehenden Brücken.

Im Straßenbau existieren aufgrund der starken räumlichen Ausdehnung bereits diverse Konzepte zur Speicherung von Daten sowie deren **Austausch** (OKSTRA, LandXML). Die verfügbaren Datenformate besitzen jedoch verschiedene Einschränkungen (mangelnde Internationalität, mangelnde Standardisierung, eingeschränkter Umfang). Gleichzeitig unterstützen die auf dem Markt verfügbaren Softwarelösungen meist nur eine spezielle Phase der Projektdurchführung bzw. einzelne Teile der Gesamtbaumaßnahme. Damit sind derzeit die Voraussetzungen für eine ganzheitliche, sich über den gesamten Lebenszyklus erstreckende Nutzung von BIM noch nicht gegeben. Teilaspekte und spezifische Anwendungsfälle werden zwar bereits gut unterstützt, insbesondere die integrierte Betrachtung von Straßen und dazugehörigen Ingenieurbauwerken (Brücken, Tunnel, Stützmauern etc.) ist bislang jedoch nur rudimentär gelöst. Hierzu ist zum einen die Entwicklung entsprechend mächtiger, standardisierter Datenaustauschformate (IFC-Road) notwendig und zum anderen deren korrekte Umsetzung in den Softwareprodukten.

Der Tunnelbau stellt eine Kombination verschiedener Teilgebiete des Ingenieurwesens dar und erzeugt somit starke Überschneidungen in der Forschung zu anderen Bereichen, wie z. B. der Trassierungsplanung. Speziell auf den Tunnelbau bezogene Arbeiten zur Nutzung von BIM behandeln meist Fragestellungen zum strukturierten **Datenmanagement** oder zur Erstellung von **Produktmodellen** und Standards zum konsistenten Datenaustausch. Durch die starke **Interdisziplinarität** von Tunnelbauprojekten finden die im Brückenbau oder der Straßenplanung verbreiteten Konzepte der parametrischen Planung große Aufmerksamkeit. Ansätze zur Aufnahme und Speicherung der vortriebsbegleitenden Daten in ein digitales Modell und die darauf basierenden Auswertungen wurden bereits an realen Projekten durchgeführt und validiert.

Die **Zustandserfassung** von **Schienennetzen** sowie der kompletten Bahnanlagen inklusive Signalbrücken und Oberleitungen sind aktuell im Fokus der Forschung. Hierbei wird insbesondere auf automatisierte Verfahren der Punktwolkenanalyse gesetzt. Für das interdisziplinäre Projekt Crossrail (Tunnel/Schiene) wurde ein für alle Projektbeteiligten und über alle Projektphasen einheitliches Datenmodell konzipiert und erfolgreich angewendet. Hierbei wurde auch auf eine Verknüpfung der **objektorientierten BIM-Datenstruktur** mit einer **raumorientierten GIS-Datenstruktur** zur effizienteren Anwendung der BIM-Methodik gesetzt. Grundlegende Arbeiten zur konsistenten Verknüpfung von BIM- und GIS-Daten sind in der Literatur zu finden. Darüber hinaus hat sich für dieses Konzept noch kein Standard entwickelt, wodurch die in der Praxis angewandten Ansätze stets als projektspezifische „Insel-Lösungen“ zu sehen sind.

In den untersuchten Arbeiten, insbesondere in den Arbeiten mit direktem Praxisbezug, wurde stets die Verbesserung von **Kommunikation** zwischen Projektbeteiligten betont. Die Anwendbarkeit der BIM-Methodik wird stets als positiv bewertet, die Definition und Einführung neuer, die etablierten Arbeitsabläufe verändernder Prozesse wird jedoch als größte Problematik erkannt. Durch die Formulierung von auf die BIM-Methodik fokussierten Zielen und sich davon ableitenden Prozessen lassen sich diese Veränderungen der Arbeitsabläufe mit minimiertem Aufwand etablieren.

Aus den vorgestellten Ansätzen, Berichten und wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird klar, dass trotz besonderer Randbedingungen im Vergleich zum Hochbau auch im Infrastrukturbau etablierte Planungswerkzeuge bereits zur Verfügung stehen, sodass auch hier der Nutzung von BIM über alle Planungsphasen und Disziplinen aus technischer Sicht nichts mehr im Wege steht. Aus der Materialsammlung im Bereich Stand der Forschung und Technik wird zudem deutlich, welche Länder in der Vergangenheit und heute **Innovationsführer der BIM Technologie** sind. Sehr häufig stammen die beschriebenen Veröffentlichungen aus den USA, Skandinavien, UK oder Korea.

4 Standards und Richtlinien

In diesem Abschnitt wird der aktuelle Stand der bestehenden Regeln, Normen und Leitfäden zu BIM im Infrastrukturbereich analysiert. Verglichen mit dem Hochbau, in welchem BIM sich mittlerweile zu etablieren beginnt bzw. in einigen Ländern sich schon voll etabliert hat und teilweise verpflichtend einzusetzen ist, ist der Einsatz von BIM im Bereich der Infrastruktur auch international noch relativ neu. Ebenso sind die Entwicklung und der erprobte Einsatz von BIM-Standards und Richtlinien im Hochbau weiter vorangeschritten als im Infrastrukturbereich.

In den relevanten internationalen Standardisierungsorganisationen wie ISO, CEN und buildingSMART wird derzeit sehr intensiv an BIM-Standards gerade für den Infrastrukturbereich gearbeitet. Der Fokus liegt hierbei deutlich auf internationalen und europäischen Standards, nicht auf nationalen. Auf nationaler Ebene liegen die Konkretisierung und Ausgestaltung internationaler Normen im Fokus sowie spezielle nationale Themen wie Klassifikation, Prozessgestaltung, Dateninhalte, Ausbildung und Qualifikation.

4.1 BIM Standards im Hoch- und Infrastrukturbau

Der Unterschied zwischen Hochbau und Infrastruktur in Bezug auf BIM zeigt sich unter anderem in der Verfügbarkeit bestimmter BIM Software-Tools bei den etablierten Arbeitsweisen mit BIM, in den Definitionen der Detaillierungs- bzw. Fertigstellungsgrade (LOD) für die Modellierung der Elemente der BIM-Modelle, in der Entwicklung offener Standards für Datenformate, Dateninhalte und Merkmalsdefinitionen, sowie in der Festlegung des Informationsaustausches zu bestimmten Datenübergabepunkten.

In allen diesen genannten Punkten ist die internationale Entwicklung von BIM im Hochbaubereich viel weiter fortgeschritten. Im Hochbaubereich gibt es bereits:

Standards für BIM-Datenformate

- Führend IFC (gleichzeitig ISO 16739) als das openBIM Format,
- für spezielle Anwendungsfälle auch
 - gbXML für thermische Berechnungsmodelle,
 - CIS/2 für den Stahlbau und
 - CityGML für Stadtmodelle.

Standards für Dateninhalte

Aufbauend auf den Datenformaten werden die Informationen, die für Datenübergaben inhaltlich gefordert werden, festgelegt.

- Die Methode zur Festlegung von Datenaustauschanforderungen zwischen den Prozessen des Planens, Bauens und Betriebens ist in der ISO 29481-1

„Information Delivery Manual“ festgehalten.

- Die konkreten Dateninhalte dieser Übergaben werden meist national auf Basis internationaler Datenformate festgelegt, wie COBIE für Facility Management in Großbritannien, CAFM Connect für Facility Management in Deutschland (beide basierend auf IFC).
- BIM-Richtlinien enthalten oft als Anhang eine Vorgabe für die Datenbereitstellung, wie NATSPEC in Australien, der VA BIM Guide in den USA, und andere.
- Des Weiteren werden Richtlinien für die geometrische und semantische Detaillierung bei der Erstellung von BIM Modellen publiziert, die den „Level of Detail“, oder auch „Level of Development“, den Detaillierungs- bzw. Fertigstellungsgrad von BIM-Modellen vorgeben, wie die LOD-Richtlinien vom BIM-Forum, USA oder bSNorge Guide in Norwegen.

Richtlinien für Merkmalsdefinitionen

- Internationale Initiativen, wie bSDD von buildingSMART, oder ETIM für die Elektrobranche und eCI@ss für weite Industriebereiche haben die internationale Festlegung von Eigenschaftsdefinitionen und Bauteilklassifikation zum Inhalt.
- Verschiedene nationale Initiativen, wie z.B. Cuneco in Dänemark bzw. CBNL in den Niederlanden, haben zum Ziel, nationale Objekttypbibliotheken zu erstellen. Hierzu gehört auch das britische NBS Tool, das im Rahmen der UK BIM Initiative entstand.

Klassifikationssysteme

Die Dateninhalte werden anhand von Klassifikationsschlüsseln genauer codiert. Teilweise bietet bereits das Datenformat eine Klassifizierung an (wie IFC über den Elementtypenbaum, der BIM-Elemente als Wände, Decken, Luftauslässe, etc. klassifiziert). Weiterführende Klassifikationen werden häufig in nationalen Standards an Hand der ISO 12006-2 erstellt. Beispiele:

- OmniClass (USA) ein Klassifikationssystem mit mehreren Klassifikationstabellen zur genauen Klassifikation von BIM-Elementen,
- UniClass (UK), jetzt in der Erweiterung als UniClass-2,
- SfB (Schweden), eines der ersten elementbasierten Klassifikationssysteme.

Anmerkung: Das in Deutschland am meisten verwendete Klassifikationssystem, die DIN-276 Kostengruppen (Teil 1: Hochbau, Teil 4: Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen) basiert nicht auf der ISO 12006-2. Dieses Klassifikationssystem ist speziell für Kostengruppen erstellt worden und nicht direkt als allgemeine Klassifikation von BIM-Elementen geeignet.

Im Bereich der Prozess- und Informationsmanagement-Standardisierung wird derzeit eine allgemeine, für Hoch- und Tiefbau gültige internationale Norm erarbeitet, die ISO

16750 basierend auf dem Britischen Standard BSI 1192-2. Hier wird die Entwicklung und Einführung bei Hoch- und Infrastrukturbauten zeitlich parallel erfolgen.

In den anderen vorgenannten Bereichen der Standardisierung und Richtlinienarbeit für BIM ist es aber jetzt dringend erforderlich, offene BIM-Standards für den Datenaustausch, die Dateninhalte und Detaillierungsgrade sowie weitere Richtlinien speziell für den Austausch von Infrastrukturdaten zu entwickeln.

4.2 Notwendigkeit von BIM-Standards im Infrastrukturbereich

Infrastrukturprojekte wurden bisher vorwiegend auf nationaler Ebene durchgeführt, Standards, Vorschriften, Genehmigungen wurden daher ebenfalls im nationalen Rahmen festgelegt. Nun wird auch dieses Gebiet immer globaler, große Infrastrukturprojekte werden mittlerweile auch europäisch ausgeschrieben und von europäischen Konsortien ausgeführt. Daher müssen die generellen BIM-Standards für den Infrastrukturbau auch europäisch, oder besser noch international entwickelt werden, die dann hinsichtlich des notwendigen Contents national ergänzt werden.

Als Hauptauftraggeber von Infrastrukturbauten kommt der öffentlichen Hand die besondere Bedeutung zu, einen freien, nicht-einschränkenden Zugang der Auftragnehmer - und hier insbesondere der kleinen und mittleren Unternehmen - zum Markt zu ermöglichen. Dies schließt auch die freie Nutzung geeigneter Softwareprodukte zur Erstellung von BIM-Leistungen mit ein, also openBIM. Hierzu wurde im Stufenplan digitales Planen und Bauen festgehalten:

„In der Ausschreibung sind herstellernerneutrale Datenformate zu fordern, um den Datenaustausch zu ermöglichen.“⁵

Diese herstellernerneutralen Datenformate sollten am besten mit der Erfahrung der neutralen BIM-Standards des Hochbaus und gemeinsam mit den Erfahrungen bei den 3D GIS Systemen, erstellt werden.

Gerade in großflächigen Infrastrukturprojekten besteht eine besondere Anforderung in der Verknüpfung von Geographischen Informationssystemen, GIS, mit den bau-spezifischen BIM Systemen. Diese BIM/GIS Integration ist derzeit ein wesentlicher Forschungs- und Entwicklungsbereich, wobei pragmatische Lösungen, zum Beispiel für die Georeferenzierung von Ingenieurbauwerken, bereits existieren.

⁵ Stufenplan Digitales Planen und Bauen, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015, S.9

4.3 Bestehende Standards in angrenzenden Bereichen

Standards für GIS sind international und europäisch etabliert. Die internationale Organisation „Open Geospatial Consortium“, OGC, entwickelt bereits seit längerem Datenstands für den GIS-Bereich und hat mit der „Geography Markup Language“, gml, den internationalen Basisstandard geschaffen, der gleichzeitig als ISO 19136 genormt ist. Neben dem standardisierten Datenformat gml entwickelt die OGC auch eine Reihe von „Services“, standardisierte Abfragen zur Lieferung von Webinhalten im Kartographiebereich, wie „map services“ zur Abfrage von Karteninhalten in einem definierten Ausschnitt. Derartige Datenabfragen sind im BIM Bereich noch kaum etabliert.

INSPIRE ist ein europäischer Standard für die Bereitstellung von GIS-Daten, der technisch auf gml beruht. Auf Basis des Beschlusses des Europäischen Parlaments „INSPIRE Directive“⁶ wird die Anwendung von INSPIRE derzeit verbindlich in Europa eingeführt. Weitere auf gml beruhende Standards sind CityGML für Stadtmodelle und die gemeinsam mit buildingSMART vorangetriebene Entwicklung des LandInfra GML.

Speziell für den Bereich der Infrastrukturplanung und Trassierung sowie für den Entwurf von Straßen gibt es international die Spezifikation von LandXML⁷. Das Format steht als offenes Format zur Verfügung, wird aber nicht durch eine der etablierten Industrie- oder Standardisierungsorganisationen unterstützt. Daher ist insbesondere die Weiterentwicklung von LandXML nicht gesichert.

In Deutschland wurde im Bereich des Straßenbaus mit OKSTRA, Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen, ein nationaler Standard geschaffen, der in vielen Bereichen, insbesondere in den Bereichen Straßentwurf, Bestandsdokumentation, und Erfassung von Verkehrsdaten heute bereits genutzt wird. Über die Trassierung und die Erfassung der Querprofile können aus OKSTRA Daten Straßenbaukörper generiert werden, obgleich OKSTRA selbst keine Bauelemente und 3D Geometrien als Grundlage von BIM-Datenstandards überträgt. Daher ist eine intensive Beschäftigung mit und Übernahme der Erfahrungen aus OKSTRA bei der Weiterentwicklung von BIM-Infrastrukturstandards anzustreben. Gleichzeitig muss aber erkannt werden, dass gerade im Bereich der allgemeingültigen Datenformate in Zukunft europäische und internationale Standards an Bedeutung gewinnen.

Im Bereich der Schienen entwickelt die Organisationen railML e.V. und International Union of Railways (UIC) offene Standards zum Austausch von Schienendaten, insbesondere von Netzdaten. Mögliche Berührungspunkte zu BIM werden gerade untersucht⁸.

⁶ Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) 14.03.2007

⁷ Weitere Informationen: <http://www.landxml.org/>, aktuelle Version LandXML2.0

⁸ <http://www.railml.org/en/public-relations/news/news-reader/bim-and-railml.html> [angerufen 02.04.16]

4.4 Gremien und Organisationen zur Entwicklung von BIM-Standards

Die Entwicklung internationaler und europäischer BIM-Standards, sowohl für den Hochbau als auch für Infrastruktur, wird von folgenden Organisationen und Gremien vorangetrieben:

- buildingSMART International
- ISO/TC 59/SC 13 „Information about construction works“
- CEN/TC 442 „Building Information Modeling (BIM)“
- DIN Arbeitsausschuss BIM - Building Information Modeling NA 005-01-39 AA

Die Zusammenarbeit dieser genannten Gremien erfolgt folgendermaßen:

Das Ziel von buildingSMART International ist es, die Definition der BIM-Anforderungen und BIM-Standards global voranzubringen, um die Bauindustrie zu befähigen, Leistungen, Prozesse und Kommunikation effizienter umzusetzen. buildingSMART organisiert die Entwicklung der BIM-Standards beginnend mit den Anforderungsdefinitionen über die Entwurfsfassung und Absprache mit Fachexperten bis hin zu der endgültigen Veröffentlichung als buildingSMART Standard. Wichtig dabei ist, dass buildingSMART darüber hinaus die Pflege der Standards übernimmt und Hilfen bei der Umsetzung bietet, wie z.B. ein internationales Zertifizierungsprogramm.

Sobald die Entwurfsfassung eines buildingSMART Standards eine bestimmte Qualität erreicht hat, wird darüber entschieden, ob dieser Standard auch als ein international anerkannter ISO Standard entwickelt werden soll. Ziel ist dabei eine weitgehende Übereinstimmung zwischen buildingSMART und ISO Standards zu erreichen.

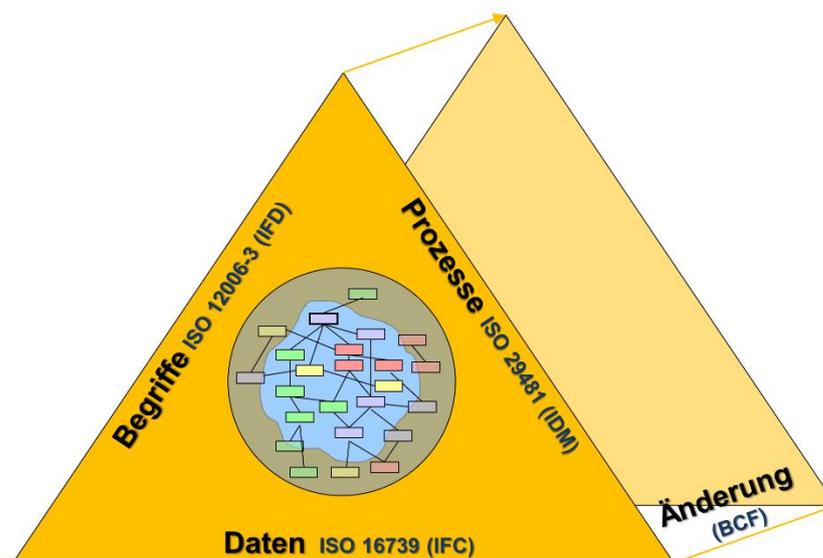


Abbildung 33: Wesentliche BIM-Standards für die Bereiche Daten, Prozesse, Begriffe und Änderungsmanagement (Quelle: buildingSMART & AEC3)

Die folgenden in der Abbildung 33 wiedergegebenen buildingSMART Standards, die in ihrer weiteren Ausgestaltung auch für Infrastrukturprojekte wichtig sind, wurden bereits auch als ISO Standards akzeptiert:

- ISO 16739, Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und dem Anlagen-Management - buildingSMART Standard “IFC”
- ISO 29481-1, Building Information Models - Information Delivery Manual - Part 1: Methodology and format - Bauwerksdatenmodelle - Informationshandbuch - Teil 1: Methodik und Format - buildingSMART Standard “IDM”
- ISO 12006-3, Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information - Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Bauvorhaben - Teil 3: Struktur für den objektorientierten Informationsaustausch - buildingSMART Standard “IFD”

4.4.1 Arbeiten auf ISO-Ebene

Auf der internationalen Ebene werden BIM-Standards im Gremium ISO/TC 59/SC 13 entwickelt⁹. Dieses Unterkomitee „Organization of information about construction works“ hatte ursprünglich Klassifikationssysteme und andere Ordnungssysteme für Bauinformationen entwickelt, bis es im Zuge der Digitalisierung jetzt die internationalen BIM-Normen entwickelt. Hierbei wird eng mit buildingSMART als „Organisation in Liaison“ zusammengearbeitet. Die Abbildung 34 zeigt die Verbindung zu anderen Organisationen.

Derzeit sind in diesem ISO Unterkomitee auch zwei Projektgruppen initiiert worden, deren Aufgabe die eher strategische Organisation der internationalen BIM Normierungsarbeit ist:

- Task Force 1: Terminology
- Task Force 2: Business Planning and Strategy

Aufgabe dieser vom britischen Standardisierungsinstitut BSI geleiteten Gruppen ist es, eine gemeinsame Terminologie für alle BIM Standards zu gewähren und die Empfehlung für die Entwicklung weiterer BIM-Normen und die Zusammenarbeit mit anderen Gremien vorzuschlagen.

⁹ Siehe

http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=49180

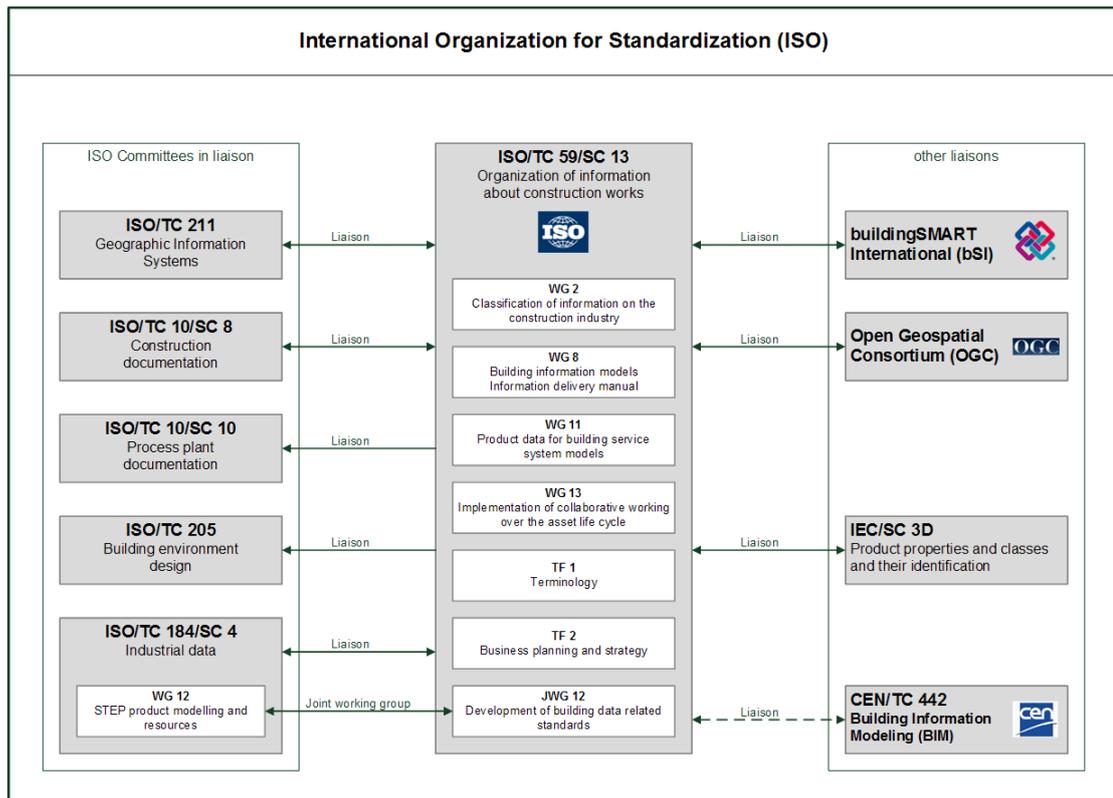


Abbildung 34: Organisation der internationalen BIM-Standardisierung (Quelle: AEC3)

Wichtige ISO BIM-Standards, die in den Arbeitsgruppen dieses Komitees entwickelt oder von Organisationen in Liaison übernommen wurden, sind neben den drei bereits genannten:

- ISO 12006-2 Building construction - Organization of information about construction works -- Part 2: Framework for classification - Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Bauvorhaben - Teil 2: Rahmenvorgaben für Klassifikationssysteme
- ISO 16757-1 und -2 - Data structures for electronic product catalogues for building services – Datenstrukturen für elektronische Produktkataloge in der Gebäudetechnik

und gerade in der Entwicklung

- ISO/WD 19650-1 und -2 - Organization of information about construction works -- Information management using building information modelling - Organisation des Austausches von Informationen über die Durchführung von Bauvorhaben – Informationsmanagement mit der BIM Methode

4.4.2 Arbeiten auf CEN-Ebene

Im April 2015 wurde nach über einjähriger Vorbereitung das neue Technische Komitee 442, CEN/TC 442, zu Building Information Modeling (BIM) gegründet¹⁰. Eines der Ziele des neuen CEN/TC 442 BIM ist es, die bestehenden ISO Standards als Europäische Norm (EN) herauszugeben. Zusätzlich soll der weitere Normierungsbedarf zu BIM im Sinne einheitlicher europäischer Standards geregelt werden.

Das neue CEN/TC 442 ist deshalb so wichtig, weil durch das CEN selbst entwickelte oder von der ISO adaptierte Standards als Europäische Normen (EN) veröffentlicht werden können, und alle EU-Staaten diese EN-Standards dann in ihre nationalen Normen integrieren müssen. Der Geschäftsplan des neuen CEN Gremiums legt als ein erstes Ziel fest, die bestehenden ISO-Normen des ISO/TC 59/SC 13 in Europäische Normen und technische Spezifikationen zu übernehmen.

Aktuell läuft die Voranfrage zur Übernahme der folgenden 3 ISO-Standards in das europäische Normenwerk:

- ISO 16739:2013 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries
- ISO 29481-2:2012 - Building information models - Information delivery manual - Part 2: Interaction framework
- ISO 12006-3:2007 - Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object oriented information

Im September 2015 hat das CEN/TC 442 vier Arbeitskreise ins Leben gerufen:

- CEN/TC 442/WG 1 „*Strategy and Planning*“, deutsch: „Strategie und Planung“
- CEN/TC 442/WG 2 „*Exchange information*“, deutsch: „Informationsaustausch“
- CEN/TC 442/WG 3 „*Information Delivery Specification*“, deutsch: „Prozess- und Informationsanforderungen“
- CEN/TC 442/WG 4 „*Support Data Dictionaries*“, deutsch: „Merkmalsdefinitionen und Server“

Des Weiteren wurde die WG5 als „*Chairman Advisory Group*“ gegründet, deren Aufgabe es ist, die Koordination zwischen den Arbeitskreisen und die gemeinsame Ausrichtung zwischen den Sitzungen des Technischen Komitees operativ zu begleiten.

Die Arbeit der einzelnen Arbeitsgruppen wird jetzt national durch DIN gespiegelt.

¹⁰ http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:1991542&cs=16AAC0F2C377A541DCA571910561FC17F

4.4.3 Arbeiten auf nationaler Ebene

Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat im April 2015 einen Normenausschuss „*Building Information Modelling*“ (NA005-01-39AA) mit untergeordneten Arbeitskreisen gebildet. Dieser spiegelt die internationalen und europäischen Normungsaktivitäten und vertritt dort die deutschen Interessen. Wichtige Standardisierungsaktivitäten sind derzeit die ISO 19650 „*Information management using BIM*“ und die Erweiterung der ISO 16739 „*Information sharing in the construction and FM industries (IFC)*“ für den Infrastrukturbau.

Weiter wird nationale Richtlinienarbeit im Rahmen des VDI-Koordinierungskreises BIM durch die Fachgruppen des VDI geleistet. Die VDI 2552 enthält eine Reihe von Richtlinienentwürfen für die Umsetzung von BIM. Expertenorganisationen, wie insbesondere buildingSMART, unterstützen mit ihrem Fachwissen diesen Standardisierungsprozess. Der Bogen spannt sich von der Definition von BIM unter verschiedenen Aspekten über Begriffe, Datenaustausch und –management, Prozesse bis zu Spezialthemen wie Mengenermittlung und Facility Management.

DIN NA-005-01-39 AA „Building Information Modeling“

Die konstituierende Sitzung des NA 005-01-39 AA „Building Information Modeling“ fand im April 2015 statt. Zu den wesentlichen Aufgaben des neuen Arbeitsausschusses BIM beim Normenausschuss Bau gehören:

- die Spiegelung der Normungsaktivitäten zu BIM bei der ISO/TC 59/SC 13
- die Spiegelung der Normungsaktivitäten zu BIM bei dem CEN/TC 442
- die Zusammenarbeit mit dem VDI bei der Erstellung nationaler Richtlinien
- eigene Aktivitäten zur Normung im BIM Bereich

Der DIN Arbeitsausschuss BIM soll in Deutschland die Wahrnehmung der internationalen und europäischen Normungsarbeit zu BIM stärken und die Interessen Deutschlands in diesen Normungsaktivitäten wahrnehmen.

Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die aktive Mitarbeit bei den Europäischen Normungsaktivitäten zu BIM, da Europäische Normen, CEN/EN, zwangsläufig in das deutsche Normungswerk zu übernehmen sind. Daher ist die Begleitung der Aktivitäten des CEN/TC 442 „BIM“ eine der wichtigsten Aufgaben.

Hierzu wurden die folgenden vier Arbeitskreise des Arbeitsausschusses BIM gegründet:

- AK 01 „Strategie“ zur Spiegelung von CEN/TC 442/WG 01 und ISO/TC 59/SC 13/TF 02
- AK 02 „Informationsaustausch“ zur Spiegelung von CEN/TC 442/WG 02 und ISO/TC 59/ SC 13/JWG 12
- AK 03 „Informationsmanagement mit BIM“ zur Spiegelung von CEN/TC 442/WG 03 und ISO/TC 59/SC 13/WG 08 & WG 13

- AK 04 „Kataloge“ zur Spiegelung von CEN/TC 442/WG 04 und ISO/TC 59/SC 13/WG 02

VDI Richtlinien 2552

Die Entwicklung von VDI Richtlinien ist in der VDI-Fachgesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (VDI GBG) verankert. Der Beirat der VDI GBG wünscht sich eine umfassende Bearbeitung und Außendarstellung des Themas BIM innerhalb der VDI GBG. Die bisherigen Aktivitäten aus den Fachbereichen sollen zusammengeführt werden und mit möglichst allen relevanten Gruppen weiterentwickelt werden. Zu den relevanten Gruppen gehören die Bauwirtschaft, Softwarehersteller, Wissenschaft, Verbände, Planer, Bauherren, Betreiber und die Politik. Im Juni 2013 fand dazu ein VDI-Expertenforum BIM statt. Ergebnis war die Einrichtung des VDI Koordinierungskreises Building Information Modeling (VDI KK BIM) im Dezember 2013. Der VDI entwickelte eine Agenda zur Erarbeitung verschiedener BIM Richtlinien, die sowohl für den Hochbau als auch den Infrastrukturbau gelten sollen. Folgende Richtlinienprojekte wurden durch den VDI KK BIM initiiert und durch den VDI GBG verabschiedet:

- VDI 2552 Blatt 1 – Rahmenrichtlinie
- VDI 2552 Blatt 2 – Begriffe
- VDI 2552 Blatt 3 – Mengen und Controlling
- VDI 2552 Blatt 4 – Modellinhalte und Datenaustausch
- VDI 2552 Blatt 5 – Datenmanagement
- VDI 2552 Blatt 6 – Bauherrenseitige Initiierung und Facility Management
- VDI 2552 Blatt 7 – Prozesse
- VDI 2552 Blatt 8 – Qualifikationen

Die ersten sechs Richtlinienprojekte haben Anfang bis Mitte 2014 die Arbeit aufgenommen. Die Blätter 7 und 8 sind erst Ende 2015 eingerichtet bzw. gestartet worden. Derzeit ist noch ein Blatt 9 für Klassifikationen vorgesehen. An den bisherigen Richtlinienblättern arbeiten mehr als 80 ehrenamtliche Fachexperten. Die Veröffentlichung (Gründruck) der ersten Richtlinien ist für Ende 2016 vorgesehen. Im Folgenden werden kurz die Inhalte der einzelnen Richtlinienblätter vorgestellt. Da die Erarbeitung noch nicht abgeschlossen ist und viele Richtliniengruppen im Sommer 2015 noch einmal neu ausgerichtet wurden, kann jedoch nur der aktuelle Stand wiedergegeben werden. Anpassungen und Änderungen sind sehr wahrscheinlich.

VDI 2552 Blatt 1 – Rahmenrichtlinie

Die Rahmenrichtlinie beschreibt in groben Zügen die Prozesse und Zusammenhänge der BIM-basierten Planung und Ausführung sowie die Integration in den Betrieb. Dies entspricht prinzipiell einem BIM-Referenzprozess, der zum Beispiel auch in der UK Richtlinie PAS 1192 und im BIM-Stufenplan des BMVI verwendet wird. Im Rahmen dieses Richtlinienblattes werden einzelne Aspekte wie das BIM Lasten- und Pflichtheft,

der BIM-Abwicklungsplan, Fachmodelle, Datenübergabepunkte und das Datenmanagement beschrieben. Es wird jedoch angemerkt, dass die Erläuterungen eher zusammenfassend sind und nur einen Einstieg in die Thematik geben sollen. Technische Details werden in den anderen Blättern eingeführt.

VDI 2552 Blatt 2 – Begriffe

Das Richtlinienblatt 2 ist schon sehr ausgereift. Es wurden wichtige Begriffe im Kontext von Building Information Modeling gesammelt. Zu jedem Begriff werden eine Definition und gegebenenfalls eine kurze Erläuterung gegeben.

VDI 2552 Blatt 3 – Mengen und Controlling

Das Richtlinienblatt 3 beschreibt, wie die Vorteile von BIM durch Auftraggeber, Auftragnehmer und weitere Baubeteiligte auf Basis gemeinsam genutzter Mengen, Daten und Controlling-Prozessen genutzt werden können. Es wird im Detail beschrieben, wie Bauwerksmodelle zum Abgleich von Leistungsmengen für die Kostenermittlung, Ausschreibung, Vergabe, Ausführung und Abrechnung unter Berücksichtigung aller Projektphasen verwendet werden können.

VDI 2552 Blatt 4 – Modellinhalte und Datenaustausch

Das Richtlinienblatt 4 umfasst neben dem Datenaustausch auch Details zur Definition von Modellinhalten. Wesentliche Inhalte sind die prozessgesteuerte Definition von Datenübergabepunkten, Datenaustauschformate, Inhalte von Datenübergabepunkten, Fertigstellungsgrade, Qualitätssicherung, Fachmodelle und Bestandsmodell. Die Grundlage für die Definition von Modellinhalten ist die ISO 29481 (IDM – *Information Delivery Manual*).

VDI 2552 Blatt 5 – Datenmanagement

Die Richtlinie definiert Vorgehensweisen zur Strukturierung, Zusammenführung, Verteilung, Verwaltung und Archivierung von digitalen Informationen im Rahmen der integralen modellbasierten Projektabwicklung (Building Information Modeling). Hierzu gehören auch die technischen und organisatorischen Anforderungen zur Umsetzung einer gemeinsamen Datenbasis (engl. Common Data Environment CDE). Die Richtlinie zeigt die Kernaspekte, die bei der Umsetzung eines Common Data Environments (CDE) im Rahmen der Abwicklung von Bauprojekten beachtet werden müssen. Hierbei wurde der gegenwärtige Stand der technischen Möglichkeiten berücksichtigt. Diese Richtlinie ist insbesondere mit der Entwicklung der ISO 19650 abzustimmen.

VDI 2552 Blatt 6 - Bauherrenseitige Initiierung und Facility Management

Ziel dieser Richtlinie ist es, die Daten, die für den Betrieb eines Gebäudes notwendig sind, zu beschreiben, damit eine Berücksichtigung während der Planung und Realisierung und zur Überführung und Nutzung der Daten für das Betreiben des Gebäudes möglich ist.

In dieser Richtlinie werden die Anforderungen an die Erfassung von Gebäudebeständen (digitale Bauakte) und an Planungsleistungen von Neubau und Revitalisierung beschrieben. Die Richtlinie enthält Erläuterungen zu FM-Informationen, Kennzeichnungssystemen, Klassifikationen, Rollen, Modellpflegeprozessen und IT-Systemen.

VDI 2552 Blatt 7 – Prozesse

Die Richtlinienarbeit zum Thema Prozesse hat gerade erst begonnen. Im Rahmen der Richtlinien sollen Referenzprozesse zu verschiedenen BIM-Anwendungsfällen beschrieben werden. Aktuell können noch keine Ergebnisse beschrieben werden.

VDI/buildingSMART 2552 Blatt 8 – Qualifikationen

Diese Richtliniengruppe wurde erst im Dezember 2015 gegründet. Bisher gab es noch keine Sitzung zur Ausarbeitung einer inhaltlichen Struktur. Angedacht sind Themen wie BIM Leistungsbilder, BIM Kompetenzen und BIM Zertifizierung von Personen und Unternehmen.

Zusammenarbeit DIN und VDI

Zur Vermeidung von Doppelarbeiten sollen die Arbeiten zur ISO 19650 und zu den VDI Richtlinien, aber auch ganz allgemein bei der Erstellung von Normen und Richtlinien im BIM Bereich, eng abgestimmt werden (siehe Abbildung 35). Hierauf haben sich die Vertreter des DIN und des VDI geeinigt. Mitglieder des Arbeitskreises DIN NA-005-01-39 sind zu einem großen Teil auch beim VDI in verschiedenen Richtlinien aktiv. Im Gegenzug entsendet der VDI Vertreter in die Arbeitskreise des DIN, um sich auch bei der europäischen und internationalen Standardisierung zu engagieren.

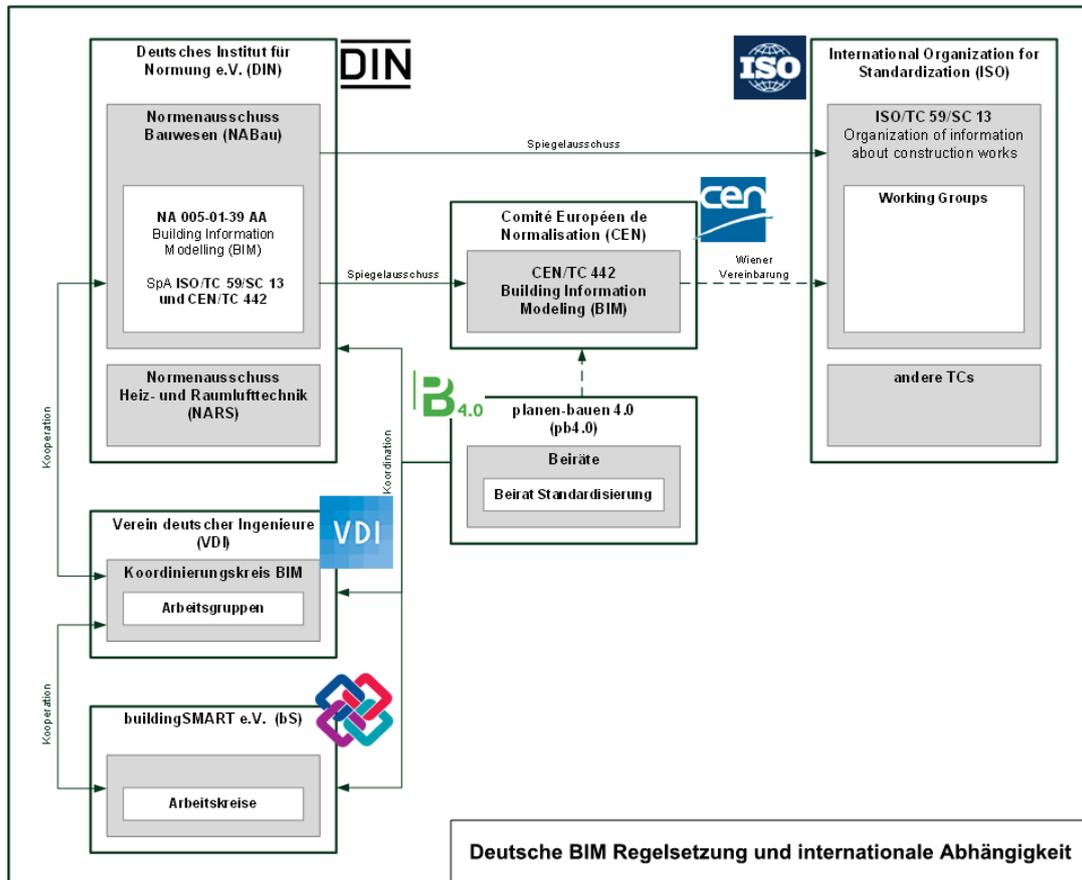


Abbildung 35: Deutsche BIM-Regelsetzung und internationale Abhängigkeit (Quelle: Thomas Liebich)

Eine erste gemeinsame Sitzung der BIM-Arbeitsgremien des DIN und des VDI fand im Februar 2016 auf Einladung des DIN statt. Hierbei wurde die Zusammenarbeit gefestigt und eine Übersicht der aktuellen internationalen und nationalen BIM-Gremien erstellt. Die Abbildung 36 zeigt das gemeinsame Verständnis zu den Beziehungen zwischen den jeweiligen Gremien.

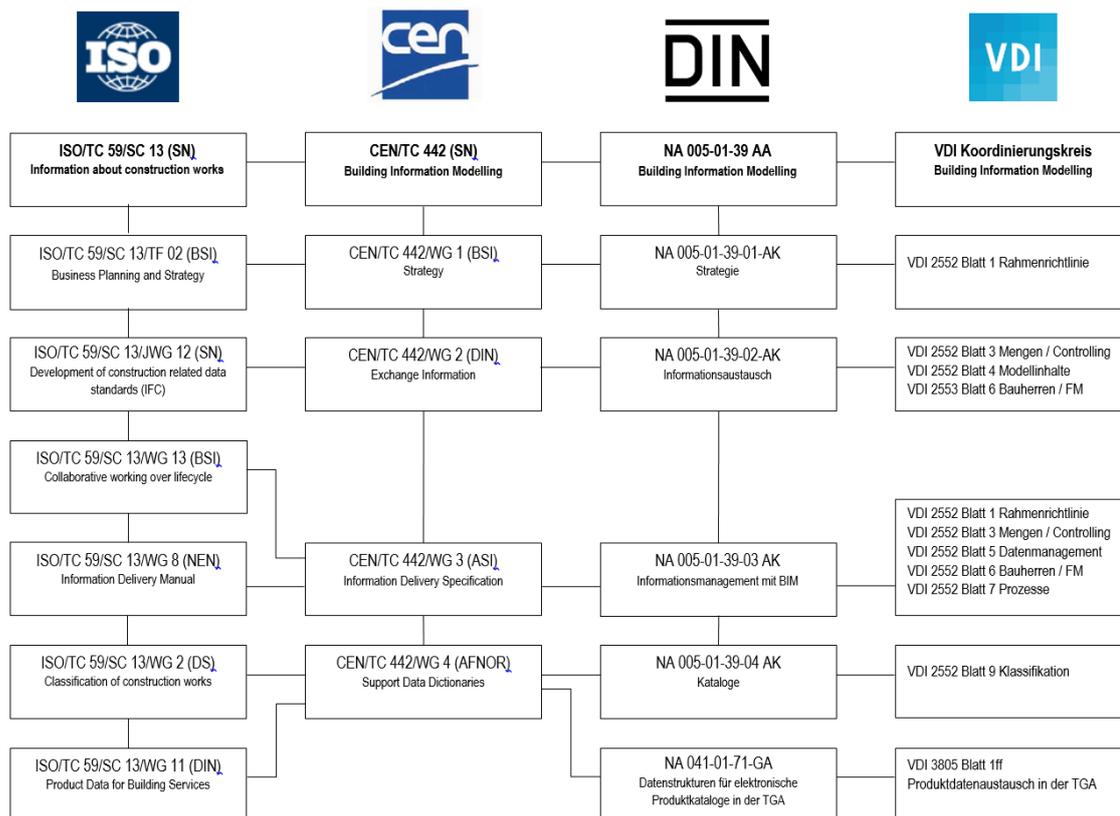


Abbildung 36: Beziehungen zwischen internationalen und nationalen Standardisierungsgremien (Quelle: Thomas Liebich)

4.4.4 Einbringen deutscher Interessen in internationale Standardisierung

Neben den Standardisierungsorganisationen ISO, CEN, DIN und VDI arbeiten auch weitere Organisationen an BIM Infrastrukturstandards. Hierbei spielt buildingSMART International als die Heimat von openBIM eine zentrale Rolle.

Die Arbeit von buildingSMART im Bereich der Standardisierung bezieht sich auf die pränormative Arbeit, der Vorbereitung und Ausarbeitung von internationalen BIM Standards, um bereits zu Beginn der formalen Normierung einen internationalen Konsens erreicht zu haben. Damit wird die spätere Verabschiedung von ISO und CEN Standards sehr beschleunigt.

Die Abbildung 37 zeigt den möglichen Weg der Standardisierung. In buildingSMART International werden auf Initiative der öffentlichen Hände und der Industrie zuerst Industriestandards (buildingSMART Standards) entwickelt, die dann in die ISO Standardisierung eingebracht werden. Diese ISO Standards werden als EN-Normen durch CEN akzeptiert. Damit werden sie automatisch in das nationale Normungswerk übernommen. Im nächsten Abschnitt wird der Stand dieser Entwicklungen im Detail beschrieben.



zum Beispiel

IFC 5 (Infrastructure)

ISO 16739 ed.2

EN ISO 16739 ed.2

DIN EN ISO 16739 ed.2

Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries

Abbildung 37: Möglicher Weg der internationalen Standardisierung für BIM-Normen
(Quelle: Thomas Liebich)

Aus der Abbildung 37 geht ebenfalls hervor, dass eine Einflussnahme auf die Ausgestaltung der internationalen Standards im Vorfeld, während der Erarbeitung bei buildingSMART, erfolgen sollte. Deutschland hat mit angrenzenden Standards, hier insbesondere OKSTRA, Erfahrungen bei der herstellerneutralen Übergabe von Straßenbaudaten. Diese sollten in die internationale Entwicklung mit einfließen, um das Interesse aus deutscher Sicht zu bekunden.

4.5 Entwicklung der Datenformate für Infrastruktur

Die internationale Non-Profit Organisation buildingSMART International, in Deutschland als buildingSMART e.V. aktiv, entwickelt seit Ende der 90er Jahre Standards für BIM. Zuerst bezogen auf das Datenformat und auf den Hochbau, mittlerweile jedoch auch für Inhalte, Prozesse, Änderungsmanagement und auch für den Infrastrukturbereich.

Die allgemeine Entwicklung des internationalen BIM-Standards IFC begann dabei bereits 1996, diese erste Version beinhaltete vorwiegend die Architektur der geplanten Bauwerke. Etwas später kamen die Tragwerksplanung und bald darauf die TGA hinzu. Nach 2000, mit der Publikation von IFC2x, kamen das Facility Management und die Kostenkalkulation hinzu. Mit der derzeitigen Version IFC4 sind die Daten für den Hochbau weitestgehend abgedeckt (siehe Abbildung 38).

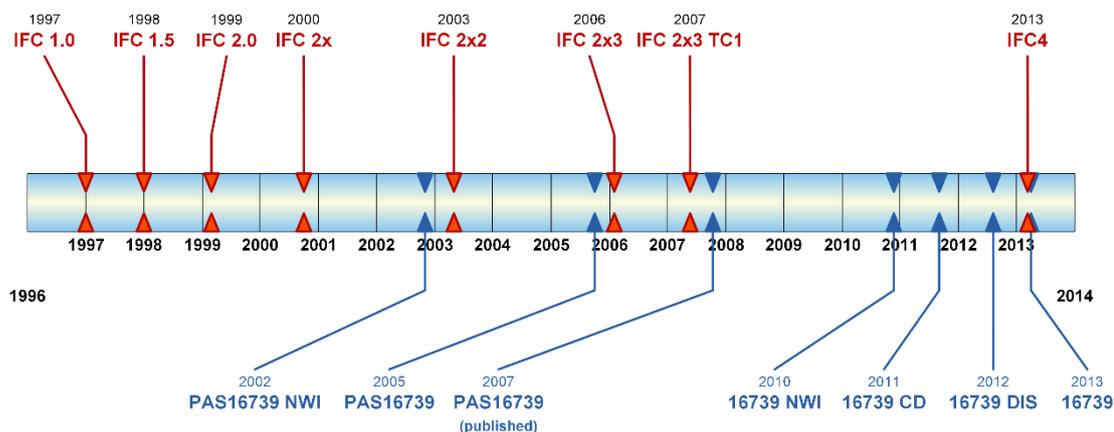


Abbildung 38: Die Zeitachse der IFC (ISO 16739) Entwicklungen (Quelle: buildingSMART)

Seit 2010 gibt es international ein starkes Interesse, die Belange des Infrastrukturbaus mit in den Beschreibungsumfang des IFC Schemas zu integrieren. Auf der organisatorischen Seite bedeutete es, dass ein neues Gremium, der „Infrastructure Room“, zur Koordination dieser Aufgabe gegründet wurde.

Eine der ersten Aufgaben dieses Gremiums war es, die verschiedenen Anwendungsfälle für BIM für Infrastruktur weltweit zu analysieren. Verschiedene bestehende nationale Initiativen wurden in diese Entwicklung und Analyse involviert. Letztendlich wurde ein Plan ausgearbeitet, um die wichtigsten Projekte zur Entwicklung eines BIM-Standards für die Infrastruktur für die kommenden Jahre zu identifizieren.

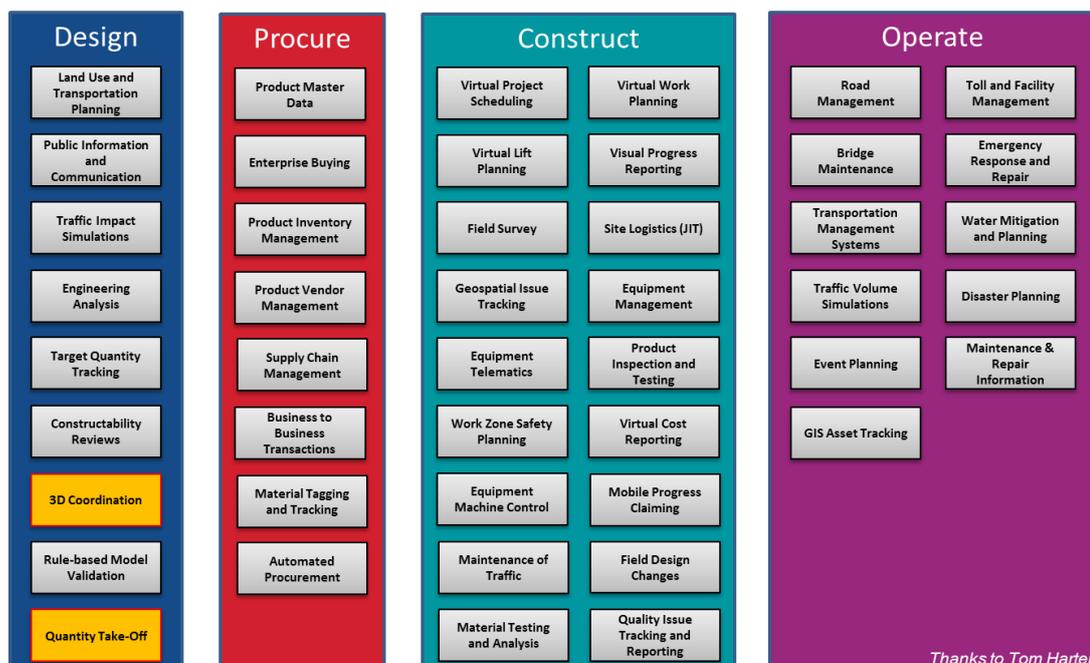


Abbildung 39: BIM Anwendungsfälle im Infrastrukturbau, identifiziert durch den „buildingSMART Infrastructure Room“ (Quelle: buildingSMART)

Mittlerweile hat sich der „Infrastructure Room“ innerhalb von buildingSMART International zur größten Arbeitsgruppe entwickelt. Das Interesse ist weiterhin groß, und einige nationale Initiativen bringen derzeit ihre Standardisierungsvorgaben aktiv ein.

Die derzeit wichtigsten Bereiche für die Weiterentwicklung des IFC-Datenformats sind Brücken, Straßen und Schienen. Der Bereich Brücken bekam frühzeitig eine hohe Priorität, da dieser ziemlich nah an den Hochbaustrukturen ist und da es bereits eine umfangreiche Vorarbeit durch das französische IFC-Bridge Projekt seit einigen Jahren gibt. Gleichzeitig werden in vielen europäischen Ländern und amerikanischen Bundesstaaten sowie in Deutschland Programme aufgelegt, die bestehende Brückeninfrastruktur zu ertüchtigen und zu verbessern.

Straßen und Schienen sind ein wichtiger Teil der Investitionen aller Industrienationen in die nationale Infrastruktur. Demzufolge steht die Erarbeitung offener Standards in diesem Bereich im Vordergrund mehrerer nationaler Initiativen. Zusätzlich sollen die Bereiche Tunnel, Kanäle und Dämme später hinzugefügt werden.

Im ersten Schritt wurden die Gemeinsamkeiten zwischen diesen Bereichen analysiert, ein Businessplan erstellt und Interessengruppen benannt. Denn ohne eine umfangreiche Unterstützung durch die verschiedenen Interessengruppen, die Straßen- und Schienenbauämter, die Infrastruktur- und Umweltbehörden, die Ingenieure und Bauunternehmer und die Infrastruktur-Softwareentwickler kann eine erfolgreiche Entwicklung des BIM-Standards für die Infrastruktur nicht erreicht werden. Auch auf der technischen Seite der Umsetzung von Infrastrukturerweiterungen von IFC wurde zuerst eine Analyse der Grundstruktur und der Abhängigkeiten der verschiedenen Module angefertigt. In der Abbildung 40 ist eine solche generelle Schema-Architektur dargestellt.

Die Trassierung und die Verlinkung zu GIS-Datenbanken wurden als der wichtigste gemeinsame Nenner von Infrastrukturanlagen erfasst. Weitere wichtige gemeinsame Definitionen sind die Geländemodellierung, eventuell einschließlich der Informationen zu den Bodenschichten, und die Erdarbeiten (Aushub und Aufschüttung). Darüber hinaus muss es eine eindeutige Abbildung des lokalen Koordinatensystems (insbesondere für die 3D Körpermodelle der Infrastrukturobjekte) auf das gemeinsame geographische Koordinatensystem geben.

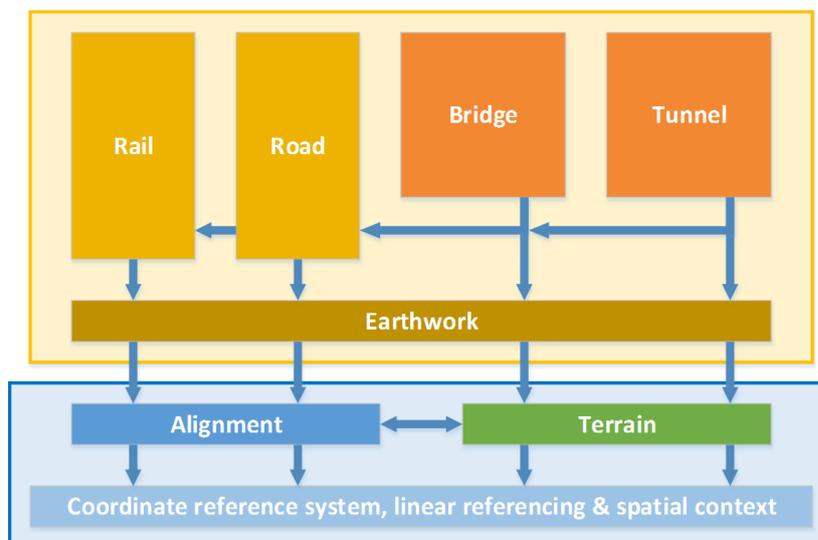


Abbildung 40: Abhängigkeiten zwischen den Modulen für die Infrastrukturbereiche
(Quelle: buildingSMART)

Im Jahr 2014 begann buildingSMART International mit dem ersten BIM-Datenstandard Projekt für Infrastruktur, dem „IFC-Alignment“ Projekt, unterstützt durch die niederländische Straßenbauverwaltung Rijkswaterstaat, das schwedische Zentralamt für Verkehrswesen Trafikverket und das europäische Projekt V-Con. Im Juni 2015 wurde Version 1.0 als finaler buildingSMART Standard veröffentlicht.

4.5.1 IFC-Alignment (Trassierungsdaten)

Das IFC-Alignment-Projekt wurde von einem Team unter der Leitung der buildingSMART Model Support Group (MSG) durchgeführt und durch die Steuerungsgruppe des Infrastructure Room begleitet. Das Projekt wurde dabei als ein gemeinsames Projekt des buildingSMART Infrastructure Room und der „LandInfra Domain and Specification Working Group“ der OGC aufgesetzt. Der resultierende Standard für die Trassierung wird als endgültiger Standard von buildingSMART und OGC gemeinsam übernommen.

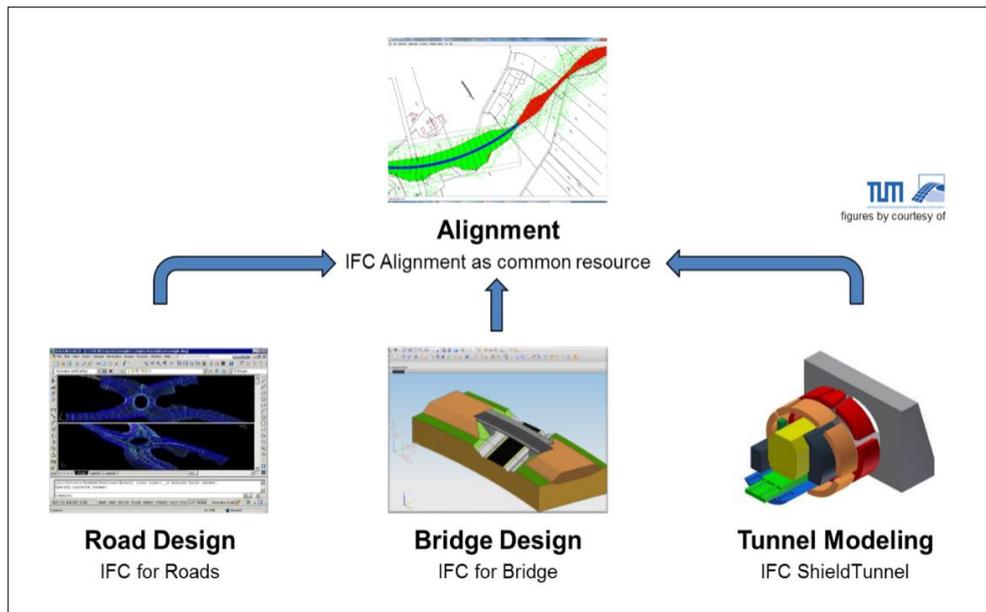


Abbildung 41: Trassierung als gemeinsame Basis für Infrastruktur (Quelle: Technische Universität München)

Das IFC-Alignment 1.0 Projekt hatte dabei die folgenden Ziele, die alle im Projektverlauf erfüllt wurden:

- Austausch der Trassierungsdaten von der Planung zur Bauausführung zum Facility Management
- Verknüpfung der Trassierungsdaten mit weiteren Projektinformationen
- Systemneutraler offener Zugang zu Trassierungsdaten im Bestand
- Archivierung der Infrastrukturmodelle einschließlich der Trassierungsdaten
- Abbildung der Trassierungsdaten auf InfraGML (entwickelt durch OGC), LandXML (aktuelle InfraBIM Version aus Finnland, buildingSMART Finnland (2015)) und auf die neue IFC Version

Diese Ziele wurden innerhalb des neuen IFC-Schemas IFC4 Erweiterung 1 als eine abwärtskompatible Ergänzung umgesetzt.

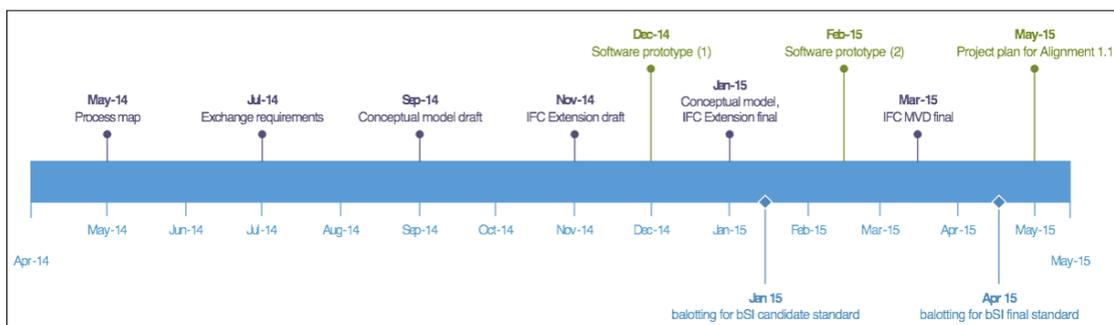


Abbildung 42: Projektplan des IFC-Alignment 1.0 Projekts (Quelle: buildingSMART)

Die detaillierte Beschreibung des IFC-Alignment Projektes zeigt, wie eine internationale Entwicklung eines Datenstandards organisiert werden kann. Das Projekt war erfolgreich, weil es einen exakt definierten Projektumfang gab, der sich auf spezielle Anforderungen konzentrierte. Das war eine gute Voraussetzung für einen schlanken Prozess (Lean Management). Des Weiteren war das kleine technisch versierte Projektteam unter Leitung einer internationalen Expertengruppe ein wichtiger Erfolgsfaktor.

Die nächsten Abbildungen zeigen die ersten prototypischen Umsetzungen des neuen IFC Trassierungsstandards.

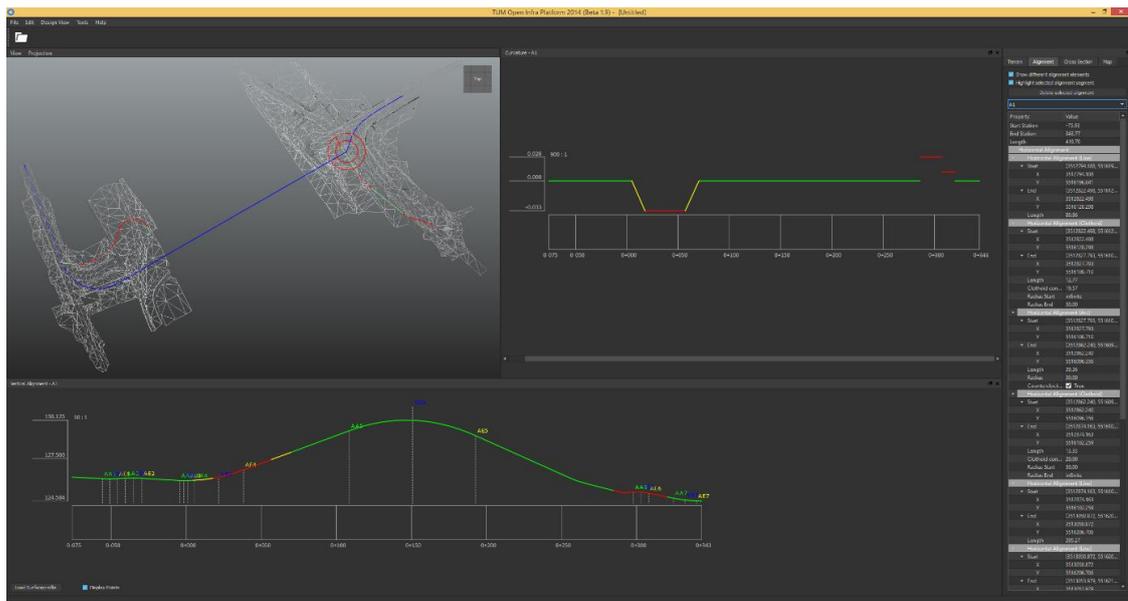


Abbildung 43: Prototypische Umsetzung des IFC Trassierungsstandards
(Quelle: Technische Universität München)

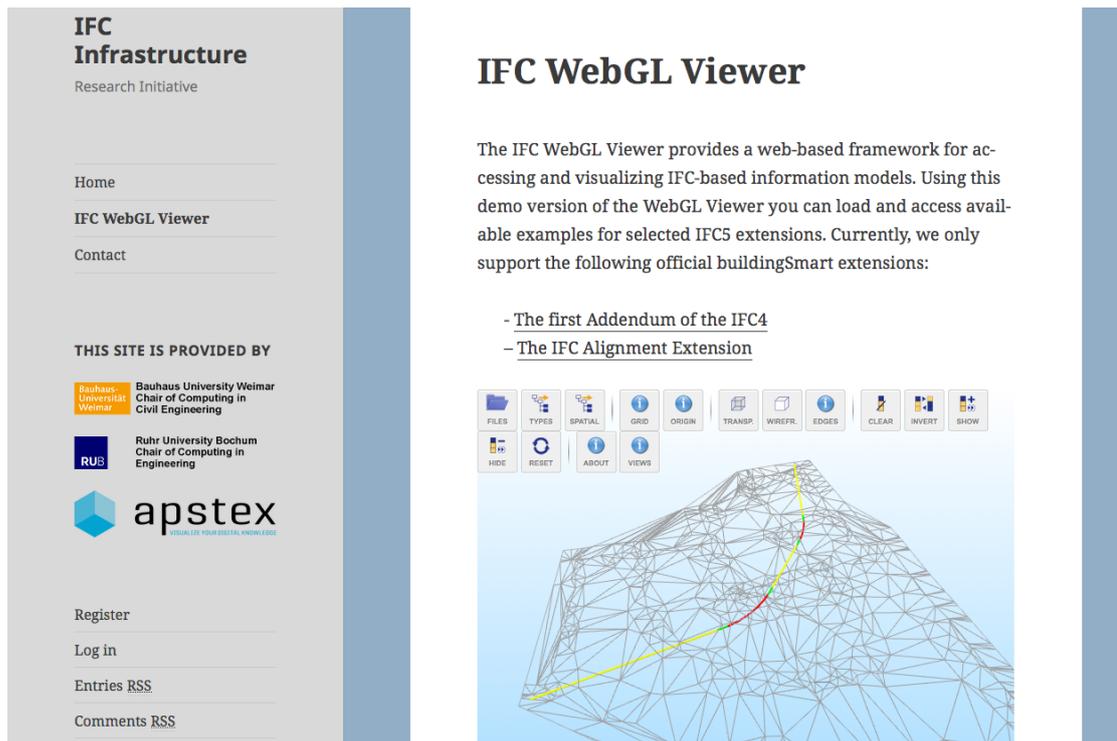


Abbildung 44: IFC-Alignment Implementierung auf Basis eines WebGL-Viewers
(Quelle: Ruhr-Universität Bochum)

Das IFC-Alignment 1.1 Folgeprojekt wurde basierend auf den guten Erfahrungen von 1.0 initiiert, um zusätzliche Bereiche, die in der Version 1.0 noch nicht erfasst wurden, zu bearbeiten:

- Implementierung des Standards in kommerzielle Softwarelösungen durch ein Team von Softwareentwicklern und ihren Hauptkunden
- Hinzufügen von IFC Definitionen für die Positionierung entlang der Trassierung und die spezifischen Ausrundungskurven für die Trassierung der Schienen.
- Unterstützung laufender Projekte und die Nutzung der Trassierungsinformationen innerhalb des künftigen IFC Standards für Straßen, Brücken, Tunnel und Wasserwege

Bereits heute demonstrieren frühe Prototypen die Eignung des buildingSMART Trassierungsstandards für Brückenprojekte. In den USA nutzt beispielsweise eine Machbarkeitsstudie für die Federal Highway Administration (FHWA), durchgeführt vom National Institute of Building Sciences (NIBS), den neuen IFC-Alignment Standard. Ein weiteres Beispiel ist eine Machbarkeitsstudie der Technischen Universität München, um standardisierte Trassierungsdaten in eine Brückenbausoftware zu übernehmen.

4.5.2 IFC-Road (BIM im Straßenbau)

Das nächste große Vorhaben zur Integration der Infrastruktur in den neuen buildingSMART Standard IFC5 ist das IFC-Road Projekt. Momentan befindet es sich auf

der internationalen Ebene in der Projektentwicklungsphase, an der sich auch Deutschland beteiligt – siehe Ziffer 4.5.8).

Der Gesamtumfang wird definiert als „Entwicklung einer Erweiterung des internationalen IFC-Standards für den Datenaustausch in Entwurf, Detailplanung, Kostenkalkulation, Terminplanung und Durchführung von Straßenbau- und Erdarbeiten“. Unter Leitung des buildingSMART Infrastructure Room wurden Stakeholder zur Teilnahme an diesem Projekt eingeladen. In einem ersten Schritt werden existierende internationale Projekte begutachtet.

Das durch das Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) entwickelte IFC-Straßenprojekt ist das bedeutendste Projekt zu diesem Thema. Das gesamte Projekt hat einen Entwicklungsumfang von ca. 4 Mio USD und ist eines der wesentlichsten Projekte im Umfeld der BIM-Standards für den Infrastrukturbau.

Nach einer Analyse existierender Arbeiten und Standards entschied sich KICT, den koreanischen BIM-Straßenbaustandard auf der Basis von IFC4 zu erarbeiten. Damit wurde das Ziel des Projektes präzisiert, einen koreanischen Standard nicht national, sondern basierend auf dem internationalen Standard IFC (IFC5 = ISO 16739:ed.2) zu entwickeln.

Der gesamte fachliche Umfang des Projekts enthält:

- Straßen
- Brücken für Straßen
- Tunnel für Straßen
- Drainagen
- Erdarbeiten
- Signal- und Sicherheitstechnik

Zwar soll in diesem Projekt der gesamte Lebenszyklus der Straßenanlagen betrachtet werden, das Hauptaugenmerk liegt jedoch auf der Übergabe der Ausführungsplanung in die Bauausführung und zu den Baubehörden (siehe folgende Abbildung 45).

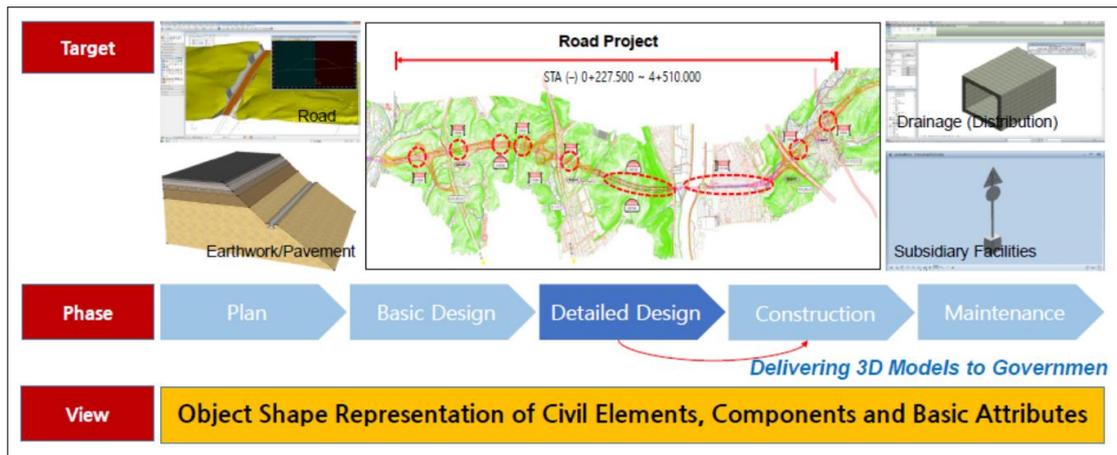


Abbildung 45: Arbeitsbereich des koreanischen IFC-Road Projektes
(Quelle: Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology, präsentiert von H. Moon)

Das Geländemodell, die Modellelemente für den Tiefbau und weitere Objekte der Infrastrukturplanung müssen als 3D Objekte modelliert und mit vordefinierten Eigenschaften ergänzt werden. Ein KICT IFC-ROAD Schema definiert die Struktur für diese Objekte und beinhaltet Referenzdaten für die entsprechenden Eigenschaften. Die wesentlichen BIM-Anwendungsfälle, die unterstützt werden sollen, sind dabei die Visualisierung, die Koordination und Kollisionsprüfung, die Mengenermittlung, sowie die Terminplanung (4D/5D).

Die Entwicklung des KICT-ROAD-Schemas erfolgte in drei Phasen.

1. Auf Basis der IDM Richtlinie (ISO 29481-1) hat das KICT-Projektteam einen Prozess für die gesamte Lebenszyklusphase von Straßenbauprojekten definiert und weiterführend einen ausführlichen Prozess für die Planung und Ausführung detailliert.
2. Der nächste Schritt ist die Analyse, wann welche Informationen benötigt und ausgetauscht werden müssen. Dabei wichtig sind die involvierten Personen - wer gibt die Informationen heraus, wer bekommt sie, der Zweck des Austausches, der Inhalt der Daten und die erforderlichen Eigenschaften oder Detaillierungsgrade der Modellelemente (LOD).
3. Danach wurde die IFC Erweiterung für den Straßenbau, IFC-Roads, in drei Iterationsstufen entwickelt.

Die IFC-Road Definition von KICT beinhaltet gemeinsame Definitionen für die Erweiterung des IFC Schemas (siehe Abbildung 46). Das Datenschema für den Straßenbau schließt folgendes mit ein:

- Räumliche Struktur / Gliederung: passende Strukturen für den Straßenbau, wie die Abbildung des lokalen Koordinatensystems auf das geodätische, Festlegung

der Trassierung, etc.

- Physikalische Strukturen: Straßen, Erdarbeiten, Abwasserkanäle, Stützmauern, Drainagen und unterstützende Einrichtungen durch Modellierung der physikalischen Bauteile und der Beziehungen zur Beschreibung komplexerer Elemente
- Eigenschaften: einheitliche Eigenschaften für jedes Element
- Erdarbeiten-Modell: ein exaktes Geländemodell für die Baustelle mit dem Aushub und der Aufschüttung jeweils als ein Volumenobjekt für die Massenermittlung, Beschreibung des Geländemodells mit den Erdschichten

Das KICT-Projektteam wird am IFC-Road Projekt des buildingSMART International teilnehmen.

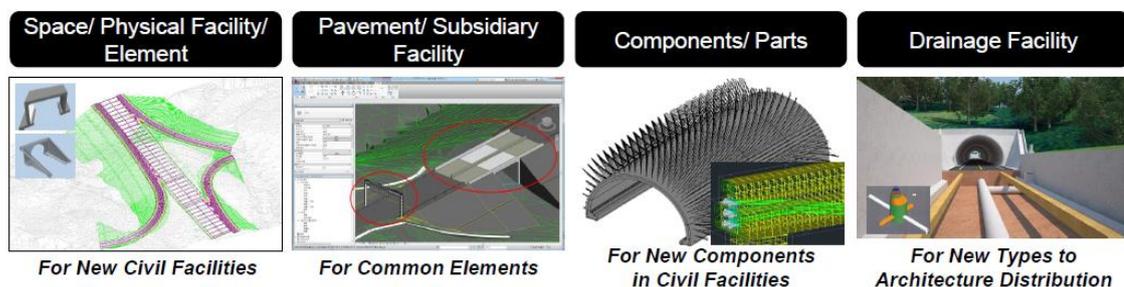


Abbildung 46: Beispiele für die notwendigen Erweiterungen des IFC Standards
(Quelle: Korean Institute of Civil Engineering and Building Technology)

4.5.3 IFC-Rail (BIM im Schienenbau)

Eine relativ neue Entwicklung ist die chinesische Initiative zur Entwicklung eines BIM-Datenmodellstandards für den Schienenbau. Derzeit hat China 112.000 km Schienenstrecken, davon 16.000 km Hochgeschwindigkeitsstrecken (High-Speed-Railway - HSR) bereits gebaut, weitere werden folgen. Zur Unterstützung dieser Zukunftsinvestitionen wurde unter anderem der durchgängige Einsatz von BIM untersucht. Dazu wurde die China Railway BIM Allianz - CRBIM im Dezember 2013 mit dem Ziel gegründet, die BIM-Anwendung im Schienenbau zu fördern. Alle wichtigen Organisationen haben sich zusammengeschlossen, um dieses Projekt zu unterstützen. Der Gesamtumfang der Standardisierungsinitiative liegt bei ungefähr 3 Mio. USD.



Abbildung 47: Organisationen die die China Railway BIM Allianz tragen (Quelle: China Railway BIM Alliance)

Ein Team der Tsinghua Universität in Beijing, welches von der China Railway mit der technischen Durchführung beauftragt wurde, arbeitet an dem BIM Standard für die chinesische Eisenbahn. Nach der ersten Phase der Analyse wurde im Team die Entscheidung getroffen, den neuen chinesischen Standard basierend auf IFC 4 durchzuführen.

Alle drei Schienenbau BIM Standards in China werden auf buildingSMART und den daraus hervorgegangenen ISO-Standards beruhen:

- Part 1 – Railway BIM Klassifikationsstandard (basierend auf ISO 12006-2)
- Part 2 – Railway BIM Datenstandard (basierend auf ISO 16739 / IFC4)
- Part 3 – Railway BIM Datenlieferstandard (basierend auf ISO 29481 / IDM)

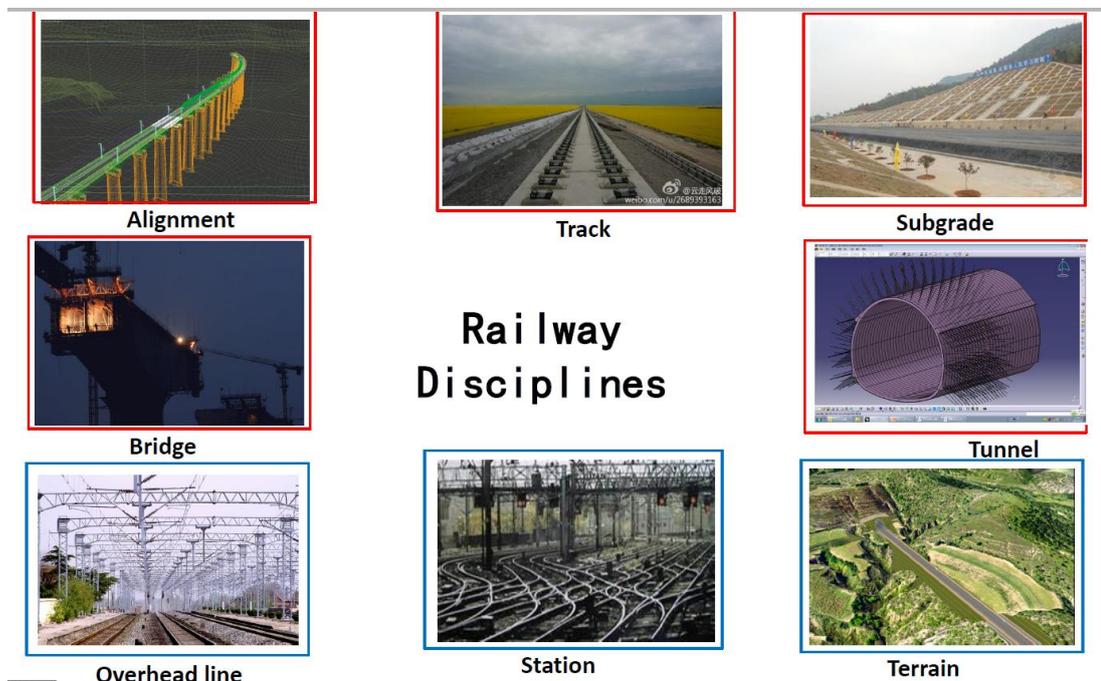


Abbildung 48: Umfang der Teilgebiete des Schienenbaustandards (Quelle: China Railway BIM Alliance)

Der Umfang der IFC-Rail Erweiterung bezieht sich auf alle Bereiche des Schienenbaus (siehe Abbildung 48). Hierbei ergeben sich einige Überlappungen mit Straßenbau und anderen Bereichen, die im Zuge der internationalen Arbeiten an IFC-Road / IFC-Rail gelöst werden müssen. Die chinesischen Erweiterungsvorschläge gehen bis ins Detail der Eigenschaften der Modellelemente für den Schienenbau. Die Abbildung 49 zeigt ein Beispiel für die vorgeschlagene Definition für Bauteilattribute im Schienenbereich.

Name	Data Type	Description
ID	TypePropertySingleValue/IfcLabel	股道编号
EffectiveLength	TypePropertyBoundedValue/IfcNonNegativeLengthMeasure	有效长
IsOutOfGauge	TypePropertyEnumeratedValue/IfcLabel/PEnum_ElementsIsOutOfGauge:YES,NO	是否通行超限列车
IsElectrified	TypePropertyEnumeratedValue/IfcLabel/PEnum_ElementsIsElectrified:YES,NO	是否是电气化线路
IsCWR	TypePropertyEnumeratedValue/IfcLabel/PEnum_ElementsIsCWR:YES,NO	是否是无缝线路
CWRType	TypePropertyEnumeratedValue/IfcLabel/PEnum_ElementCWRType:WITHTEMPERATURESTRESSCWR,AUTODISPERSINGTEMPERATURESTRESSCWR,REGULARDISPERSINGTEMPERATURESTRESSCWR	无缝线路类型。分为温度应力式、自动放散温度应力式、定期放散温度应力式。
LengthOfCWR	TypePropertyEnumeratedValue/IfcLabel/PEnum_ElementLengthOfCWR:ORDINARYCWR,CWRWITHINSECTION,CWRWITHWELDEDTURNOUT	按长轨条长度区分的无缝线路类型。分为普通无缝线路、区间无缝线路、跨区间无缝线路。

Abbildung 49: Vorschlag zur Erweiterung der IFC Merkmalsdefinitionen von CRBIM
(Quelle: China Railway BIM Alliance)

Die folgenden Herausforderungen werden derzeit gesehen und sind als zukünftige Arbeiten konzipiert:

- Weiterentwicklung des chinesischen Schienenbau-BIM-Standards nach den Grundsätzen des internationalen Standards IFC
- Beitrag zur Entwicklung eines ISO Standard basierend auf dem künftigen buildingSMART Standards IFC5
- Integration von weiterführenden Arbeiten anderer Projekte im internationalen Umfeld, wie bei IFC-Alignment, IFC-Road, und IFC-Bridge
- Unterstützung der Weiterentwicklung der BIM-Software für den Schienenbau
- Unterstützung des CRBIM Standards durch die wesentlichen Softwarehäuser
- Entwicklung einer eigenen BIM-Software für den besonderen Bedarf der chinesischen Eisenbahn
- Weitere Erforschung von möglichen BIM-Anwendungen auf unterschiedlichen ingenieurtechnischen Gebieten
- Entwicklung eines Managementsystems für BIM für die Chinesische Eisenbahn

Das CRBIM Projektteam wird am IFC-Rail Projekt von buildingSMART International teilnehmen.

4.5.4 IFC-Bridge (BIM im Brückenbau)

Brücken sind unter den Infrastrukturprojekten die komplexesten Bauwerke mit vielen einzelnen Bauteilen, vergleichbar mit Gebäuden. Daher würde die Erweiterung bzw. die Aufnahme von Brücken in das existierende, ursprünglich an die Gebäudeplanung angepasste IFC Schema, eine natürliche Fortschreibung des Datenformats bedeuten.

Ein erster Ansatz erfolgte durch die Initiative des französischen buildingSMART Chapter mit Unterstützung durch SETRA, CSTB und weiteren französischen Bauunternehmen. Diese IFC-Erweiterung basiert auf IFC2x3 und erfasst brückenspezifische Tragwerke und Bauelemente. Eine wichtige und schwierige Aufgabe war die Positionierung und Herleitung der Formen der Brückenbauelemente entlang der Referenzlinie der Brücke. Diese Herausforderung wird jetzt mit der Definition des IFC-Alignment gelöst.

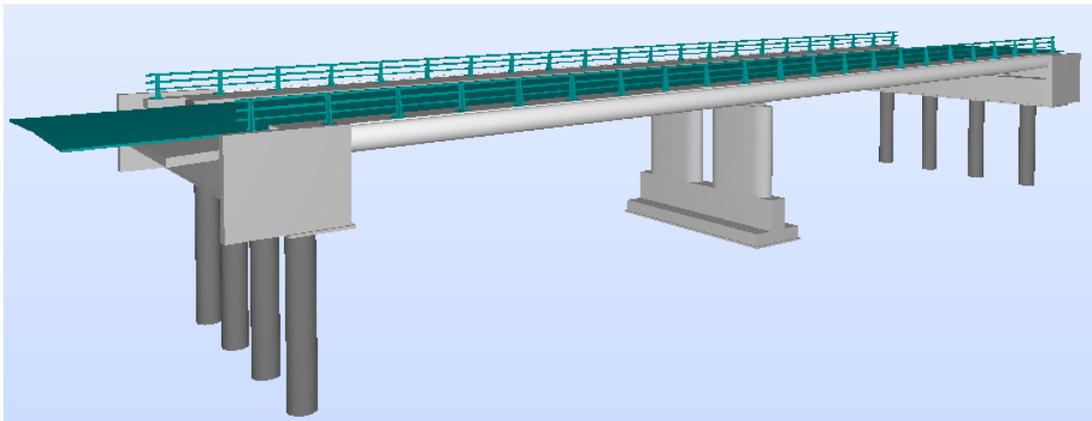


Abbildung 50: Use Cases für den IFC Brückenbaustandard
(Quelle: MINnD, Mobyus, Bouygues)

Parallel arbeitete 2015 eine Gruppe unter Leitung von NIBS, dem *National Institute for Building Science* der USA im Auftrag der FHWA, der *Federal Highway Administration*, an einem BIM-Standard für Brücken, und hierbei den Standardbrücken für die Fernstraßen der USA. Bei dieser Entwicklung wurde ebenfalls auf den existierenden Standard IFC4 gesetzt, wobei nur minimale Weiterentwicklungen vorgeschlagen wurden, im Wesentlichen ließen sich die Anforderungen bereits heute so umsetzen. Beide Entwicklungen sollen nun gebündelt in einen ersten offiziellen IFC-Bridge Standard einfließen.

4.5.5 IFC-Tunnel (BIM im Tunnelbau)

Auch für die IFC Erweiterung für den Tunnelbau erfolgten bereits unterschiedliche Studien. Erste Projekte erfolgten in Japan, ein neues Forschungsprojekt in Deutschland wird diese Arbeit fortsetzen. Anders als für den Straßen-, Schienen- und Brückenbau gibt es keine Projekte für den Tunnelbau bei buildingSMART International. Auch zwei Forschungsprojekte an deutschen Universitäten unterstützen nun die Arbeit zum Thema

IFC Tunnel, konkret die IFC Definitionen für den Tunnelbau, für die Tunnelbaumaschinen und für die Detaillierungsgrade für BIM-Tunnelmodelle.

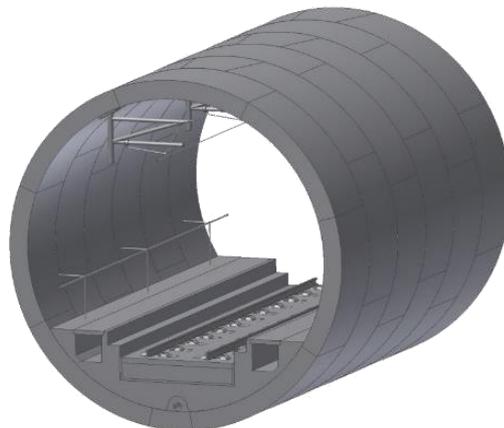


Abbildung 51: Tunnel Segment als Use Case (Quelle: Technische Universität München)

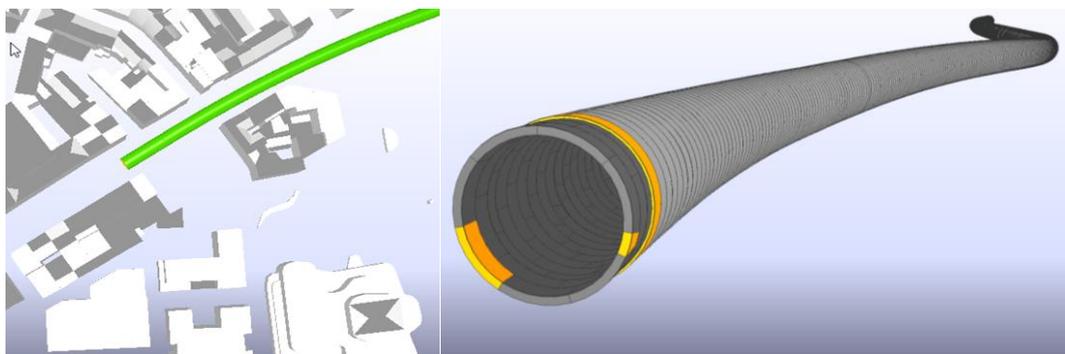


Abbildung 52: Tunnelbauwerksmodell für einen Teilabschnitt der Wehrhahnlinie Düsseldorf (Quelle: Ruhr-Universität Bochum)

4.5.6 buildingSMART Infrastructure Room Arbeitsplan

Neben den aktuellen Projekten, wie IFC-Alignment 1.1 und die Weiterentwicklung von IFC-Bridge, IFC-Road und IFC-Rail, wurden weitere Projekte auf den Arbeitsplan bis 2017 der Arbeitsgruppe Infrastructure Room gesetzt. Zur Unterstützung der aktuellen Projekte ist eine engagierte Beteiligung der Stakeholder von enormer Bedeutung.

- Infra Asset Management: Verbesserung und Stärkung der vorhandenen Standards und Entwicklung neuer offener BIM Standards speziell für die Bewirtschaftung der Infrastrukturanlagen
- Integrated Built Environment Life Cycle Model: Anbindung von BIM und GIS Standards und Systemen für Beschreibung komplexer Systeme der gebauten Umwelt

Neben den laufenden Projekten zur Entwicklung des Infrastrukturstandards innerhalb von buildingSMART International gibt es eine große Anzahl von Entwicklungen entweder durch die regionalen Chapter von buildingSMART oder durch Organisationen und

Konsortien, die mit der IFC Entwicklung verbunden sind und Vorschläge zur IFC Erweiterung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen im Infrastrukturbereich unterbreiten.

4.5.7 InfraBIM Entwicklung in Finnland

Das finnische InfraBIM Projekt hat primär die Verbesserung des Unterhalts der Straßen zum Ziel. Es basiert technisch auf der LandXML-Spezifikation, die weiterentwickelt wurden und nun als Inframodel3 publiziert ist. Da die eigentliche Entwicklung des LandXML Standards von den ursprünglichen Autoren aufgegeben wurde, hat Finnland quasi die Pflege und Weiterentwicklung in eigene Hände genommen.

Das Inframodel3 ist eine offene Methode für den Austausch von Infrastrukturdaten und beinhaltet die Teilmodelle Terrain, Straßen- und Schienen, Straßenaufbau, Wasser- und Abwassersysteme. Inframodel3 wird als Austauschformat seit Mai 2014 von der Finnischen Verkehrsbehörde gefordert.

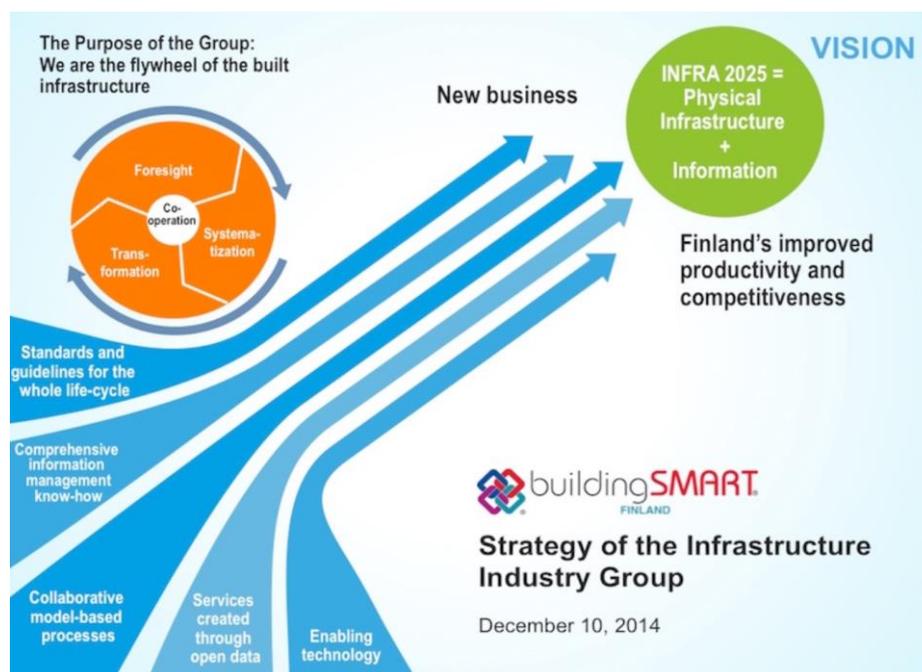


Abbildung 53: Finnland Vision 2025 - offene und software-unabhängige BIM-Standards für die Infrastruktur (Quelle: buildingSMART Finland)

4.5.8 Teilnahme Deutschlands an den Entwicklungen

Obwohl in Deutschland die fachliche Kompetenz bei der Entwicklung, Umsetzung und Validierung von Datenformatstandards durchaus zur Verfügung steht (wesentliche Bereiche der IFC-Entwicklung und Zertifizierung werden durch deutsche Experten betreut), gab es bis 2015 keine direkte Unterstützung und Teilnahme von Vertretern der öffentlichen Auftraggeber bei der internationalen Entwicklung der BIM-Datenstandards.

Erst im Zusammenhang mit der BIM-Initiative des BMVI und dessen „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ sowie der von BMVI geförderten wissenschaftlichen Begleitung von BIM-Pilotvorhaben hat sich das Interesse an der internationalen und europäischen BIM-Standardisierung geändert.

- Die öffentliche Hand sollte dafür Sorge tragen, dass deutsche Experten an den internationalen Standardisierungsprozessen beteiligt sind, um die Erfahrungen der deutschen Standards wie z. B. OKS-TRA in diese Prozesse einzubringen und deutsche Interessen zu wahren. Das BMVI fördert zu diesem Zweck eine deutsche Beteiligung an der Entwicklung von IFC für Straße und Schiene. Dieser Prozess wird voraussichtlich 2017 abgeschlossen sein.

Abbildung 54: Auszug aus dem Stufenplan Digitales Planen und Bauen (Quelle: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI)

Derzeit begleitet im Auftrag des BMVI eine Arbeitsgemeinschaft (TUM, RUB, AEC3) die Standardisierung im Bereich IFC-Road und IFC-Rail und unterstützt hierbei eine deutsche Expertengruppe, die sich aus allen Bereichen (Richtliniengeber, Auftraggeber, Ingenieure, Baufirmen, Softwarefirmen, Hochschulen) des Infrastrukturbaus zusammensetzt. Ziel dabei ist einerseits die Auseinandersetzung mit den internationalen Vorschlägen und andererseits das Einbringen deutscher Interessen und Erfahrungen.

4.6 Entwicklung der Dateninhalte für Infrastruktur

Die Datenformate legen zuerst einmal die einheitliche Struktur der BIM-Daten für Datenübergaben fest. Aber das Datenformat bestimmt nicht den notwendigen Mindestumfang der zu übergebenden Daten.

Im Stufenplan Digitales Planen und Bauen wird gefordert, dass neben den herstellerneutralen Datenformaten auch einheitliche Datenübergabepunkte mit definierten Mindestdateninhalten noch zu formulieren sind.

Diese Mindestdateninhalte werden als Teil der Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) (siehe Stufenplan Digitales Planen und Bauen des BMVI¹¹ sowie zukünftige ISO 19650) vom Auftraggeber definiert, und beinhalten sowohl die notwendige geometrische als auch attributive Detaillierung der BIM-Modelle an den Datenübergabepunkten. Die dahinterstehenden Fachbegriffe sind:

¹¹ http://www.bmvi.de/DE/DigitalesUndRaumentwicklung/DigitaleAgenda/DigitalesBauen/digitales-bauen_node.html

- *Level of Geometry/Detail* (geometrische Detaillierung)
- *Level of Information* (Vollständigkeit der Attributierung)

die häufig als LOD (*Level of Development*) zusammengefasst werden. Diese Begrifflichkeit kommt ebenfalls aus der BIM-Entwicklung im Hochbau.

2008 wurde erstmals das Akronym LOD in einer Veröffentlichung des Amerikanischen Architektenverbandes veröffentlicht. Seitdem wurden die LOD-Definitionen beständig weiterentwickelt, allerdings mangelt es noch immer an konkreten oder gar verbindlichen Festlegungen im Infrastrukturbereich.

Die dänische Firma MT Højgaard ist eine der wenigen, die sich mit diesem Thema beschäftigt hat. In ihrem Bauteilkatalog „*Building Component Catalogue with Level of Development Specification*“ beschreibt bzw. definiert MT Højgaard die Fertigstellung- bzw. Detaillierungsgrade (LOD) für ausgewählte Bauteile und legt Mindestanforderungen für die Eigenschaften (LOI) der einzelnen Bauteile fest. In einem ersten Teil des Kataloges werden die LODs für den Hochbau definiert, in einem zweiten die für den Infrastrukturbereich.

Folgende Bereiche werden aufgeführt: Terrain, Nivellierung, Aushub für Gründungen, Aushub für Rohrleitungen, Straßen, Schienen, Straßen- und Schienenanlagen, Hafendamm/Landungsbrücken, Existierende Rohrleitungen und Drainagen.

Für jeden LOD werden fünf Aspekte hervorgehoben:

- ein grafisches Beispiel der entsprechenden Geometrie dieses LODs
- Geometrie - Beschreibung der geforderten Geometrie
- Objekt - Benennung des Modellelements
- Merkmale - Aufzählung der notwendigen Eigenschaften
- Mögliche Anwendung - Nennung der BIM-Anwendungsfälle

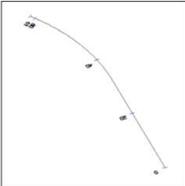
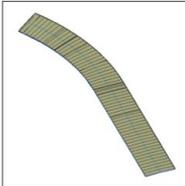
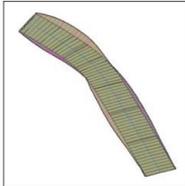
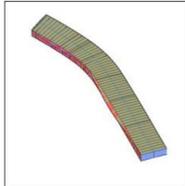
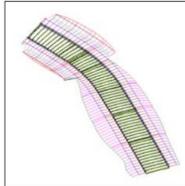
LOD 100	Lod 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400
				
Geometry Centerline of road (2D).	Geometry 2D surface specifying road layout.	Geometry Top surface (3D) with connection to terrain.	Geometry Top and planum surfaces with gradients to terrain.	Geometry Kerb stones, road structure with layouts, ditches with slopes to terrain.
Object Alignment (2D line).	Object 2D surface with level.	Object 3D surface and 3D break lines.	Object 3D break lines and surface.	Object Corridor model with 3D break lines and surface, solids of kerb stone.
Properties Layer, stationing lines, design criteria according to road building standards, horizontal radius.	Properties Layer, area.	Properties Layer, name of surface, level, slope signature, quantities.	Properties Layer, name of surface, level, slope signature, quantities.	Properties Layer, name of surface, 3D lines, name of corridor, level, slope signature, cross-section data, alignment, longitudinal profiles, quantities.
Possible use Planning.	Possible use Area calculation, planning, site layout.	Possible use Overall quantities, machine control, surveying, clash and consistency detection, planning, detection/supervision, site layout.	Possible use Quantities, machine control, surveying, clash and consistency detection, planning, detection/supervision, site layout.	

Abbildung 55: LODs für Straßen (Quelle: MT Højgaard 2015)

Eines der bekanntesten und umfangreichsten Dokumente zur Definition von Fertigstellungsgraden - Level of Development - ist das Dokument des BIMForums. Die Level of Development Specification (Version 2015) des BIMForums ist eine detaillierte Interpretation der LOD Definition des Amerikanischen Architektenverbandes (AIA). Die einzelnen Beschreibungen der Bauelemente bzw. Modellelemente erfolgen nach dem amerikanischen Standard OmniClass™. Hier sind sämtliche Bauteile für den Hochbau sehr genau beschrieben.

Die LODs für Infrastruktur finden noch keine Berücksichtigung. Allerdings sind in der aktuellsten Version vom 30. Oktober 2015 erste Ansätze, die in eine neue Version der Spezifikation einfließen sollen, vorhanden. So zum Beispiel Stahlbeton-Fertigteilträger und Stahlträger für Autobahn- und Eisenbahnbrücken (siehe Abbildung 56).

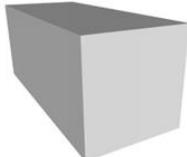
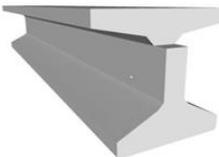
100	See B10		
200	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Type of structural concrete system Approximate geometry (e.g. depth) of structural elements 		
		B1010 – LOD 200 Railroad Bridges Precast Structural I Girder (Concrete)	
300	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Specific sizes and locations of main concrete structural members modeled per defined structural grid with correct orientation Concrete defined per spec (strength, air entrainment, aggregate size, etc.) All sloping surfaces included in model element with exception of elements affected by manufacturer selection <p>Required non-graphic information associated with model elements includes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Penetrations for items such as MEP Finishes, camber, chamfers, etc. Typical details Embeds and anchor rods Aggregate, clear cover Reinforcing spacing Reinforcing Live loads 		
		B1010 – LOD 300 Railroad Bridges Precast Structural I Girder (Concrete)	
350	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reinforcing Post-tension profiles and strand locations Reinforcement called out, modeled if required by the BIMXP, typically only in congested areas Pour joints and sequences to help identify reinforcing lap splice locations, scheduling, etc. Expansion Joints Lifting devices Embeds and anchor rods Post-tension profile and strands modeled if required by the BIMXP Penetrations for items such as MEP Any permanent forming or shoring components 		
			B1010 – LOD 350 Railroad Bridges Precast Structural I Girder (Concrete)
400	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> All reinforcement including post tension elements detailed and modeled Finishes, camber, chamfer, etc. 		
			B1010 – LOD 400 Railroad Bridges Precast Structural I Girder (Concrete)

Abbildung 56: LODs für Stahlbeton-Fertigteilträger für Eisenbahnbrücken (Quelle: BIMForum 2015)

In Deutschland wurden auf wissenschaftlicher Ebene erste Ideen für die Beschreibung von LODs im Infrastrukturbereich entwickelt. An der TU München wurden zum Beispiel für Tunnel LOD Beschreibungen in der Analogie zu CityGML vorgesehen (siehe Abbildung 55). Eine umfassende Festlegung der Dateninhalte für die Datenübergabepunkte im Infrastrukturbau fehlt jedoch in Deutschland, ebenso das zugeordnete Klassifikationssystem für die BIM-Elemente im Infrastrukturbereich.

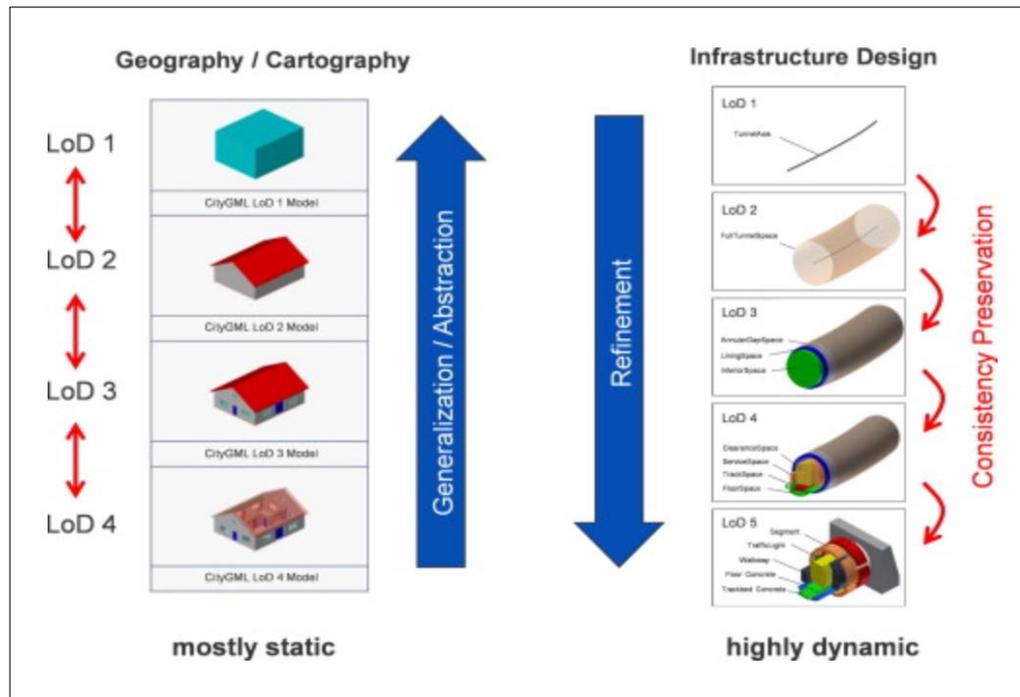


Abbildung 57: Vergleich der LODs für GIS und Infrastrukturbauwerke (Quelle: Borrmann et al. 2015)

4.7 Entwicklung der BIM-Managementstandards

Im Rahmen der ISO/TC 59/SC 13/WG 13 „Implementation of collaborative working over the lifecycle“ wird derzeit international an einem Standard, der ISO 19650, gearbeitet, der wesentliche Teile des BIM-Managements behandelt und sowohl für den Hochbau als auch für den Infrastrukturbau eingesetzt werden kann.

Die Entwicklung der ISO 19650, an der Mitglieder des DIN-005-01-39AA mitwirken, dauert derzeit noch an. Die Grundlage ist dabei die in Großbritannien durch British Standards entwickelte Normenreihe 1192. Diese ist bereits abgeschlossen und wird in Projekten eingesetzt, daher wird sie hier stellvertretend für die ISO 19650 beschrieben.

Die britische BIM Task Force hat in Zusammenarbeit mit dem British Standards Institute eine Reihe von Richtlinien herausgegeben, die sich um das Thema Informationsmanagement behandeln. Die Britischen Norm 1192 stellt die wichtigste normative Grundlagen für die Einführung von BIM Level 2 in Großbritannien dar. Sie wurde in den Jahren 2010-2014 grundlegend überarbeitet und in Hinblick auf die BIM-gestützte Projektabwicklung erweitert. Die Vorgängerversion BS 1192:2007 legte bereits Verfahrensweisen der kollaborativen computergestützten Planung fest, allerdings auf der Basis von konventionellen 2D-Plänen. Die Normenreihe trägt den Titel „Collaborative production of information“. Zunächst sollen hier die englischen Titel der relevanten Teile angegeben werden:

- PAS 1192-2:2013: *Specification for information management for the*

capital/delivery phase of construction projects using building information modelling

- PAS 1192-3:2014: *Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling*
- BS 1192-4:2014: *Fulfilling employers information exchange requirements using COBie – Code of practice*

Die PAS 1192-2:2013 ist eines der wichtigsten Dokumente der britischen BIM-Initiative. Sie regelt die generellen Abläufe in einem BIM-Projekt und trifft Festlegungen in Hinblick auf das Datenmanagement. Bei der Ausarbeitung ist es den Autoren gelungen, allgemeinen Anforderungen an BIM-Projekte in hinreichender Detailtiefe zu spezifizieren, ohne dabei den Bewegungsspielraum konkreter Vorhaben unnötig einzuengen. Projektspezifische Festlegungen werden stattdessen in zusätzlichen Übereinkünften der Handelnden in den konkreten Vorhaben vorgenommen.

Die Spezifikation beinhaltet die graphische Darstellung des sog. „Race Tracks“ (Abbildung 58), die international einen erheblichen Bekanntheitsgrad erreicht hat.

Diese Abbildung beschreibt die generellen Abläufe in BIM-gestützten Planungs- und Bauprojekten beginnend bei der Vergabe über die eigentliche Durchführung der Planung und der Ausführung bis hin zur Übergabe an den Betrieb. Es ist darauf hinzuweisen, dass es die PAS offenlässt, ob Planung und Ausführung von einem Totalunternehmer/-übernehmer im Sinne des *Design-Build* Modells durchgeführt werden oder beide Teile getrennt vergeben werden (*Design-Bid-Build* Modell).

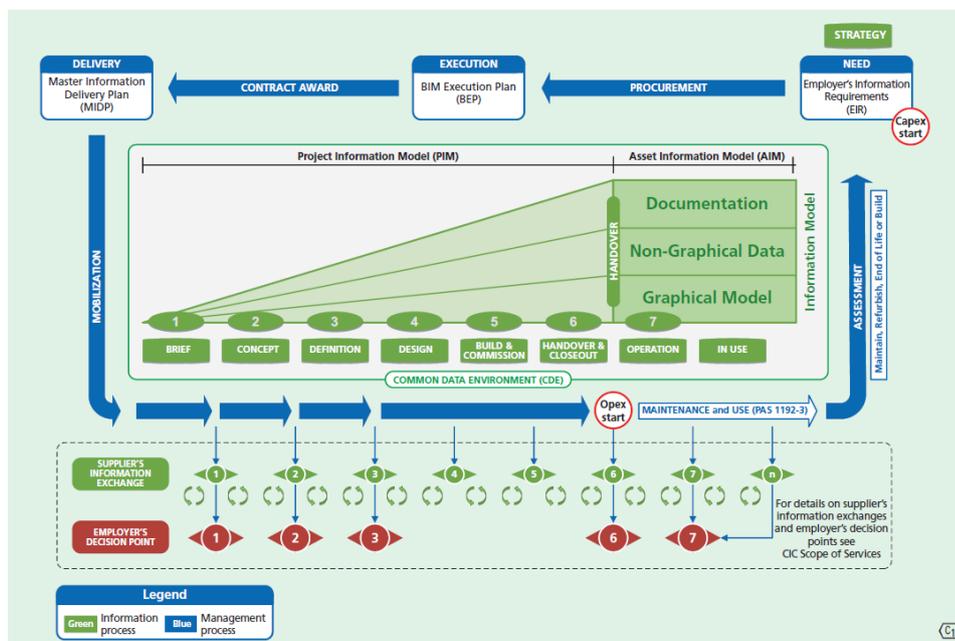


Abbildung 58: Generelle Abläufe in einem BIM-gestützten Projekt dar (Quelle: Mervyn Richards)

Am Anfang stehen die *Employer Information Requirements* (EIR) (dt. Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) oder BIM-Lastenheft). Darin definiert der Auftraggeber die Anforderungen hinsichtlich der von den Auftragnehmern im Laufe des Projekts zu liefernden Informationen. Die EIRs beinhalten Festlegungen zu den drei Kategorien Information Management, Commercial Management und Competence Assessment. Zu allen drei Kategorien listet das PAS 1192-2 die zu minimal festzulegenden Punkte auf. Dazu gehören im Bereich Information Management beispielsweise Festlegungen zu den Levels of Detail der BIM-Modelle, die zu definierten Meilensteinen geliefert werden müssen, zu den zu verwendenden Datenformaten, Koordinatensystemen usw. Die EIRs dienen als Grundlage für die Ausschreibung.

Die Bieter müssen darauf mit der Erstellung eines *Pre-award BIM Execution Plan* (BEP, dt. BIM-Pflichtenheft) reagieren und darin spezifizieren, wie sie die Anforderungen des EIRs umsetzen wollen. Der BEP geht in seiner Detaillierung weit über die EIRs hinaus und geht intensiv auf die einzusetzenden Technologien und die Prozesse ein. Besonderer Wert wird daraufgelegt, dass der Auftragnehmer seine Zuliefererkette (im Sinne digitaler Planungsinformationen) darlegt und deren Fähigkeiten zur Mitwirkung im BIM-Projekt belegt. Die Qualität des *Pre-award BEP* bildet ein wesentliches Kriterium für die Vergabeentscheidung.

Nach erfolgter Vergabe wird der BEP weiter detailliert und ergänzt. Dabei entsteht der Post-Award BEP (dt. BIM-Projektentwicklungsplan). Die zusätzlich anzugebenden Inhalte fallen in die Kategorien Management (u.a. Rollen und Verantwortlichkeiten), Planung und Dokumentation (u.a. vereinbarte Prozesse zur Modellerstellung und -übergabe, Matrix mit Verantwortlichkeiten), Methoden und Prozedere (u.a. Dateinamenskonventionen, Konstruktionstoleranzen, Attributdaten) sowie eingesetzte IT-Produkte (Software, Versionen, Datenaustauschformate, Datenverwaltungssysteme). Ein wichtiger Bestandteil des Post-award BEP ist zudem der *Master Information Delivery Plan* (MIDP), der zusammen mit den einzelnen *Task Information Delivery Plans* (TIDP) die Bereitstellung von Informationen (Umfang und Inhalte von Teilmodellen und weiteren Daten) präzise regelt. Die PAS definiert hierzu eine Reihe von Rollen und beschreibt im Detail deren Aufgaben und Zuständigkeiten im Kontext der Informationserzeugung, -kontrolle und -weitergabe.

In der folgenden Phase der Mobilisierung wird die gesamte Lieferkette (einschließlich aller einzusetzender Softwarewerkzeuge) getestet, bevor die eigentliche Planungsarbeit startet. Auf diese Weise wird deren Funktionsfähigkeit sichergestellt. In dieser Phase sind zudem - wo nötig – Mitarbeiterschulungen durchzuführen.

Im Rahmen der eigentlichen Planungsphase wird dann sukzessive ein Project Information Model (PIM) aufgebaut. Dies stellt die digitale Repräsentation des zu errichtenden Gebäudes dar, besteht aus geometrischen und alphanumerischen Daten und wird sich

i.d.R. aus mehreren Teilmodellen zusammensetzen. Im Allgemeinen kann man das PIM als Building Information Model im Sinne eines koordinierten Gesamtmodells auffassen. An Schlüsselpunkten (i.d.R. nach Abschluss definierter Planungsphasen) werden die Daten dem Auftraggeber als Basis für zu treffende Entscheidungen übergeben. Die entsprechenden Datenübergabepunkte werden als „Data Drops“ bezeichnet und sind in Abbildung 1 mit einer grünen Raute markiert. Die PAS legt fest, dass die Modelldaten im nativen Dateiformat sowie zusätzlich als COBie-File und die dazugehörigen Zeichnungen im PDF-Format zu übergeben sind.

Zu den wichtigsten Festlegungen der PAS 1192-2 gehört, dass im Rahmen der kooperativen Planungs- und Ausführungsprozesse eine gemeinsame Datenumgebung (engl. Common Data Environment, CDE) zu verwenden ist. Dabei handelt es sich um eine technische Lösung, deren Haupteigenschaften in der PAS 1192-2 geregelt sind. Dazu gehört insbesondere, dass allen abgelegten Daten einer der genau definierten Status *Work in Progress*, *Shared*, *Published* und *Archived* zugewiesen werden.

Außerdem sind die zu durchlaufenden Prüf- und Freigabeprozesse für die Transition zwischen den Status genau geregelt. Die PAS gibt zudem einen Vorschlag für zu verwendende Dateinamenskonventionen an.

Des Weiteren gibt die PAS grobe Anhaltspunkte für die im Projekt zu definierenden Detaillierungsgrade der Modelle (hier als *Level of Model Definition* bezeichnet) und orientiert sich dabei an den CIC-Phasen (vergleichbar den HOAI-Phasen). Außerdem wird die Verwendung von Klassifikationssystemen für die konsistente Auszeichnung von Modellelementen auf Basis von Uniclass bzw. NRM gefordert.

4.8 Fazit

Im Zuge der Materialsammlung für den Themenkomplex der Standardisierung wurde eine Reihe von Veröffentlichungen untersucht, die neben dem Thema der Datenformate und Inhaltsstandards auch andere wichtige Bereiche der BIM-Forschung abdecken.

Tabelle 5: Übersicht der gesichteten Dokumente

Kategorie / Thema	Anzahl	Länder	Erschienen
Datenstandards	6	KR, US, FI	2011 - 2014
Richtlinien	1	GB	2013
Prozesse	3	KR, DE, FI	2011 - 2014
Detaillierungs- / Fertigstellungsgrade	4	DE, DK, US	2014 - 2015
Allgemeine Übersicht	5	US, GB	2012 - 2015

Beispiele aus verschiedenen Ländern und von internationalen Standardisierungsgruppen zeigen, dass der vorhandene BIM **Datenstandard IFC4** als ein Fundament für Erweiterungen im Infrastrukturbereich betrachtet wird. Im Laufe der letzten Jahre wurden die anfänglichen Beschränkungen von IFC sowohl hinsichtlich des Schemas, als auch bei der Softwareimplementierung und der Qualität des Austausches überwunden, vor allem auch deshalb, weil eine strengere Zertifizierung entwickelt wurde und angewendet wird.

Die Hauptorganisation **buildingSMART International**, die die IFC Entwicklung unterstützt, wurde kürzlich reorganisiert und professionalisiert und nimmt nun eine internationale Führungsrolle bei der Entwicklung von BIM Standards ein.

Der IFC Standard ist durch die Internationale Standardisierungsorganisation ISO anerkannt - ISO 16739, des Weiteren gibt es Bestrebungen den Standard 2016 für alle Europäischen Mitgliedsländer als CEN ISO 16739 verbindlich zu machen.

Die erste IFC4 Infrastruktur-Erweiterung - **IFC-Alignment** - wurde innerhalb eines Jahres mit einem internationalen Projektteam und einer Expertenrunde fertig gestellt. Es wird nun durch die Softwarehersteller implementiert. **IFC-Road** und **IFC-Bridge** Projektvorschläge sind fertig und weitere Aufgaben auf diesem Gebiet werden bald beginnen, mit **IFC-Rail** als eine weitere wichtige Spezifikation. 2016 werden die wesentlichen Weichenstellungen für einen internationalen Datenstandard für Straße und Schiene getätigt, an denen sich Deutschland aktiv beteiligt.

Für das BIM-Management wird die **ISO 19650** die wesentliche Norm darstellen, wobei ebenfalls damit zu rechnen ist, dass diese als CEN ISO 19650 eine Europäische Norm wird. Gegebenenfalls muss die ISO 19650 durch nationale Ergänzungen, z.B. durch entsprechende VDI Richtlinien weiter detailliert werden. Hierbei sollen nationale **Klassifikationssysteme** für die BIM-Elemente und Attribute, sowie für die Detaillierungsgrade für die Datenübergaben, im Infrastrukturbereich definiert werden.

5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtswissenschaftliche Aufarbeitung von BIM befindet sich in Deutschland in einer Frühphase. Das Schrifttum hierzu ist noch überschaubar. Zu der Anwendung der Methode BIM speziell im Infrastrukturbau existieren, soweit ersichtlich, keine juristischen Fachveröffentlichungen. Auch die rechtswissenschaftlichen Veröffentlichungen aus dem Ausland, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts gesichtet wurden, sind nicht infrastrukturenspezifisch. Dies schmälert allerdings den Erkenntniswert aus den vorhandenen Quellen nicht wesentlich. Zu berücksichtigen ist, dass in Deutschland bei Infrastrukturbauvorhaben im Wesentlichen konventionelle Planer- und Bauverträge verwandt werden. Anders als zum Beispiel der Anlagenbau weisen Infrastrukturbauprojekte keine derart spezifischen Eigenarten auf, die ein von sonstigen Bauvorhaben wesentlich abweichendes Vertragsregime erfordern.

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über das bisher veröffentlichte Schrifttum zu den folgenden Themenschwerpunkten gegeben:

- BIM und das Preisrecht der HOAI,
- BIM und das Vergaberecht und
- BIM und das Bauvertragsrecht.

Im Vergaberechtsteil wird auch auf die neue EU-Vergaberichtlinie (RL 2014/24/EU v. 26.02.2014, ABl. EU L 94/65, im Folgenden: Vergabe-RL) und den Gesetzesentwurf zur Novelle des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (Entwurf eines Gesetzes zur Modernisierung des Vergaberechts, BT-Drs. 18/6281) eingegangen. Zum Bauvertragsrecht wurden nicht nur deutsche Quellen ausgewertet, sondern auch Veröffentlichungen in englischer Sprache, überwiegend aus Großbritannien und den USA.

5.1 BIM und das Preisrecht der HOAI

In wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema BIM wurde in der Vergangenheit wiederholt die Frage aufgeworfen, ob die Erbringung von Planungsleistungen in Form eines BIM-gestützten Planungsprozesses unter Beachtung des Preisrechts der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen v. 10.07.2013, BGBl. I S. 2276, im Folgenden: HOAI) überhaupt sachangemessen und marktgerecht vergütet werden können. Diese Frage war auch bereits Gegenstand öffentlich finanzierter Forschungsgutachten (Eschenbruch et al. 2013).

In diversen älteren Veröffentlichungen wird eine gewisse Skepsis hinsichtlich der Vereinbarkeit von BIM und der HOAI geäußert. *Liebich et al.* betonen in ihrem Forschungsgutachten die Andersartigkeit der Erbringung von Planungsleistungen mittels der Methode BIM und stellen auf die Notwendigkeit einer einheitlichen, koordinierten Leistungserbringung bei der Anwendung der Planungsmethode BIM ab, die etwas

anderes sei als die Summe der Leistungsbilder der HOAI. Für die Erbringung von Planungsleistungen mittels der Planungsmethode BIM seien die HOAI-Leistungsbilder daher nicht geeignet (Liebich, Schweer und Wohlhage 2011, S. 21). Erforderlich sei entweder die ausdrückliche Herausnahme der Erbringung von BIM-Leistungen aus der Preisrechtsbindung der HOAI oder die Schaffung eigener Gebührensätze (Liebich, Schweer und Wohlhage 2011, S. 21, 39). Umfragen ergaben, dass in Fachkreisen erheblich Vorbehalte hinsichtlich der Vereinbarkeit von BIM und der HOAI bestehen (Eschenbruch et al. 2013, S. 27; v. Both, Koch und Kindsvater 2012, S. 158 ff.). Auch in diversen Fachveröffentlichungen wurde die HOAI als nicht für BIM-Leistungen passend bzw. als Hemmschuh für die Verbreitung der Planungsmethode BIM bewertet (Chahrour 2013, S. 47; Tautschnig, Hogge und Gasteiger 2013, S. 42).

Die bisher umfassendste rechtliche Auseinandersetzung mit der Frage der Vergütung von BIM-Leistungen im Lichte des Preisrechts der HOAI erfolgte im Rahmen des Forschungsgutachtens von *Eschenbruch et al.* (Eschenbruch et al. 2013, S. 29). Die Autoren des Gutachtens kommen zu dem Ergebnis, dass die HOAI einer aufwandsangemessenen und marktgerechten Vergütung von mittels der Planungsmethode BIM erbrachten Planungsleistungen nicht entgegensteht. Die Ergebnisse dieses Gutachtens blieben, soweit ersichtlich, seit ihrer Veröffentlichung bis vor kurzem (Klemper 2016, dazu im Nachgang) in der Fachliteratur unwidersprochen (Fischer und Jungedeitering, 2015, S. 16; Eschenbruch und Elixmann 2015a, S. 259 ff.). Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Eschenbruch et al. arbeiten heraus, dass die HOAI als öffentliches Preisrecht die Parteien eines Vertrags nur hinsichtlich der Vereinbarung der Vergütungshöhe für die Erbringung von Leistungen, die als Grundleistungen in den HOAI-Leistungsbildern definiert sind, einschränke. Die HOAI schreibe den Vertragsparteien hingegen nicht vor, welche Leistungen überhaupt zum Gegenstand eines Vertrags gemacht und in welcher Paketierung oder zeitlichen Abfolge sie erbracht werden sollen. Die Autoren weisen darauf hin, dass es durch BIM möglicherweise zu Automatisierungs- und Rationalisierungseffekten innerhalb des Planungsprozesses (etwa in Bezug auf die Erstellung von Mengenermittlungen, Kostenermittlungen oder Leistungsverzeichnissen), zu Zusammenfassungen von Leistungsphasen (z.B. Vorplanung, Entwurfs- und Ausführungsplanung), Verlagerungen von Leistungen in frühere Leistungsphasen oder Verschiebungen der Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Planungsdisziplinen kommen könne. Diese Veränderungen führten allerdings nicht automatisch zu einer prinzipiellen Unanwendbarkeit der HOAI.

Die dem Preisrecht der HOAI unterworfenen Grundleistungen seien methodenneutral formuliert. Für die Anwendbarkeit der HOAI und die Bindung an die darin enthaltenen Mindest- und Höchstsätze sei es daher ohne Belang, mit welchen technischen Hilfsmitteln die dem Preisrecht unterworfenen HOAI-Grundleistungen erbracht werden. Auch spiele

es keine Rolle, ob Leistungen verschiedener Fachdisziplinen bzw. HOAI-Leistungsbilder durch einen Kumulativleistungsträger (Generalplaner) gebündelt oder durch einzelne Fachplaner getrennt erbracht werden. Sofern nicht alle Grundleistungen einer Leistungsphase beauftragt oder einzelne Grundleistungen in frühere Leistungsphasen vorgezogen werden, ermögliche die Vorschrift des § 8 Abs. 2 HOAI eine anteilige Honorarminderung oder -verschiebung.

Wenn bei der Implementierung der BIM-Planungsmethode von dem Planer Leistungen verlangt werden, die über den Inhalt von reinen HOAI-Grundleistungen hinausgehen, könnten diese Mehrleistungen als „Besondere Leistungen“ gesondert vergütet werden. Dies stelle die HOAI 2013 klar, indem sie als Besondere Leistung der Leistungsphase 2 des Leistungsbilds Gebäude und Innenräume (Anl. 10.1 zur HOAI) nunmehr die Besondere Leistung enthält:

„3-D oder 4-D Gebäudemodellbearbeitung (Building Information Modeling BIM)“.

Gemäß § 3 Abs. 3 S. 3 HOAI können die Honorare für Besondere Leistungen frei vereinbart werden. § 3 Abs. 3 S. 2 HOAI betont, dass in den Leistungsbildern aufgeführte Besondere Leistungen auch im Zusammenhang mit anderen Leistungsphasen oder Leistungsbildern vereinbart werden können, bei denen sie nicht genannt sind.

Klemper vertritt demgegenüber die Ansicht, dass mittels der BIM-Planungsmethode erbrachte Planungsleistungen generell als Besondere Leistungen zu qualifizieren seien, die dem Preisrecht der HOAI entzogen sind. Er stützt seine Ansicht auf Wortlaut und Systematik der HOAI. Die BIM-Planungsmethode sei in der HOAI als Besondere Leistung genannt und könne daher per se nicht Grundleistung sein. Grund- und Besondere Leistungen seien sich ausschließende Leistungskategorien. Ferner passten die HOAI-Leistungsbilder mit ihrer phasenweisen Betrachtung inhaltlich nicht zu einem BIM-Planungsprozess, aufgrund von Aufwandsverschiebungen bei einer BIM-gestützten Planung und der in höherem Maße in einem BIM-Projekt von einem Architekten und Ingenieur geforderten IT-Kompetenz (*Klemper* 2016).

Der Kritik von *Klemper* ist zu entgegnen, dass die Methode BIM im Kern ein Hilfsmittel für die Bewältigung der gleichen Aufgaben eines konventionellen Planungsprozesses ist: Es geht in erster Linie um die Planung und Ausführung eines Bauwerks. Dabei ist auch das BIM-Modell letztlich nichts anderes als eine visualisierte Abstraktion der im Kopf des Planers entwickelten Planung (*Eschenbruch und Lechner* 2016, Kap. 7 Rn. 2). Auch können die Autoren aus ihrer Wahrnehmung von derzeitigen BIM-Projekten in Deutschland nicht die These bestätigen, dass die BIM-Planungsmethode zu grundsätzlich unterschiedlichen Planungsabläufen führe, auf die die phasenweise Betrachtung der HOAI nicht passe, ungeachtet möglicher Leistungsverschiebungen im Einzelnen, die es auch heute schon bei konventionell geplanten Projekten gibt. Der Planungsprozess folgt

auch unter BIM im Groben den sich aus der Planungsaufgabe ergebenden Zweckmäßigkeiten, die im Übrigen auch international zu einer ähnlichen Strukturierung des Planungsprozesses geführt haben: Zunächst hat eine Festlegung auf eine grobe Planungsidee zu erfolgen, die Planungsidee ist dann zu einem genehmigungsfähigen Konzept zu vertiefen, welches dann zu einer ausführungsfähigen Lösung fortentwickelt wird (Eschenbruch und Lechner 2016, Kap. 7 Rn. 6). Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Grundleistungen der HOAI-Leistungsbilder die jeweilige Grundleistung rein funktional, also vom Ergebnis gedacht, beschreiben, ohne eine Methode der Leistungserbringung vorzugeben. Die HOAI spricht z.B. schlicht von „*Erarbeiten der Entwurfsplanung*“ (Grundleistung a) der Leistungsphase 3 des Leistungsbilds Gebäude und Innenräume, Anl. 10.1 HOAI) und überlässt es dem Planer, ob er die Entwurfsplanung am Zeichenbrett, mittels CAD-Software oder nach BIM-Methoden erbringt. Wenn daher mittels der BIM-Planungsmethode HOAI-Grundleistungen umgesetzt werden, spricht dies nach dem Sinn und Zweck der HOAI, technikneutral ein Preisrecht für die im Allgemeinen erforderlichen Planungsleistungen zur Planung und Ausführung eines Bauwerks zu statuieren, dafür, die mit BIM-Methoden erfolgende Grundleistungserbringung dem HOAI-Preisrecht zu unterwerfen. Die vollständige Herausnahme der HOAI-Grundleistungserbringung alleine aus dem Grund, weil die involvierten Planer methodisch die Planerstellung und die Zusammenarbeit über BIM-Modelle strukturieren, um jedoch letztlich als Einzelschritte die in den HOAI-Grundleistungen beschriebenen Leistungsziele umzusetzen, wäre ein Bruch mit der Logik der HOAI-Leistungsbilder in ihrer Gesamtschau, der das gesamte Preisrecht ad absurdum führte. Eine sachgerechte Interpretation der HOAI als sinnvolles Ganzes führt daher zu dem Ergebnis, dass die Erbringung von als HOAI-Grundleistungen beschriebene Leistungen mit BIM-Methoden innerhalb der Mindest- und Höchstsätze der HOAI zu vergüten sind und alleine für Zusatzleistungen außerhalb der HOAI-Grundleistungen die Honorare frei vereinbar sind.

Wenn die Erbringung von dem Preisrecht der HOAI unterliegenden Leistungen aufgrund der BIM-Planungsmethode mit deutlich geringerem Aufwand verbunden ist, als es bei einer Leistungserbringung auf konventionellem Wege der Fall ist - denkbar wäre etwa, dass ein Planer alleine mit späteren HOAI-Leistungsphasen beauftragt wird und auf bereits vorhandene Datenmodelle zurückgreifen kann - dann ließe sich auch eine HOAI-Mindestsatzunterschreitung über die Bestimmung des § 7 Abs. 3 HOAI rechtfertigen. Nach § 7 Abs. 3 HOAI ist eine Mindestsatzunterschreitung in einem Ausnahmefall zulässig. Ein eine Mindestsatzunterschreitung rechtfertigender Ausnahmefall im Sinne des § 7 Abs. 3 HOAI kann nach der Rechtsprechung auch ein außergewöhnlich geringer Aufwand begründen (BGH, Urt. v. 22.05.1997 - VII ZR 290/95, veröffentlicht in NJW 1997, 2329).

5.2 BIM und das öffentliche Vergaberecht

5.2.1 Schrifttum

In den bisherigen rechtswissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema BIM werden diverse vergaberechtliche Problemstellungen im Zusammenhang mit der Vergabe von BIM-Leistungen durch öffentliche Auftraggeber i. S. d. § 98 GWB diskutiert.

Eschenbruch et al. problematisieren in ihrem Gutachten (Eschenbruch et al. 2013, S. 37 ff.), dass die Verbreitung der Planungsmethode BIM hochspezialisierte Planungsbüros kleiner und mittlerer Größe sowie große Generalplanungsbüros begünstigen könnte, weil alleine diese möglicherweise derzeit in der Lage seien, von der öffentlichen Hand nachgefragte BIM-Leistungen anzubieten (Eschenbruch et al. 2013). Die Autoren werfen die Frage auf, ob eine Ausschreibung von BIM-Leistungen im Lichte des § 97 Abs. 3 GWB überhaupt rechtlich zulässig ist. § 97 Abs. 3 GWB normiert, dass bei der Vergabe öffentlicher Aufträge mittelständische Interessen vornehmlich zu berücksichtigen sind. Im Übrigen sind nach dieser Vorschrift Leistungen in Teil- und Fachlosen auszuschreiben. Die Verengung des Beschaffungsbedarfs auf die Erbringung von Planungsleistungen mittels der Planungsmethode BIM könnte den Markt in unzulässiger Weise verengen, weil derzeit ein Großteil der kleinen und mittelständischen Planungsbüros möglicherweise nicht in der Lage sei, BIM-gerecht zu planen.

Eschenbruch et al. halten der Ausschreibung von Planungsleistungen als BIM-Leistungen für vergaberechtlich zulässig. Sie weisen darauf hin, dass § 97 Abs. 3 GWB keine umfassende Bevorzugung der mittelständischen Wirtschaft vorgibt und im Übrigen das Vergaberecht nicht der Zementierung vorhandener Marktstrukturen diene. Im Übrigen sei der Auftraggeber in gewissen Grenzen frei, seinen Beschaffungszweck selbständig zu definieren. *Fischer und Jungedeitering* halten hingegen eine Vergabe von BIM-Leistungen an einen Generalplaner für vergaberechtlich grundsätzlich unzulässig unter Verweis auf § 97 Abs. 3 GWB (Fischer und Jungedeitering 2015, S. 16). Prinzipielle Einwände gegen eine gebündelte Vergabe von Planungsleistungen an einen Generalplaner finden indessen keine Stütze im geltenden Vergaberecht. Zwar regelt § 97 Abs. 3 Satz 1 GWB, auf den sich *Fischer und Jungedeitering* implizit beziehen, dass eine Vergabe grundsätzlich nach Fachlosen erfolgen soll, allerdings erlaubt § 97 Abs. 3 Satz 2 GWB die Zusammenfassung von Fachlosen, wenn sich dies mit wirtschaftlichen oder technischen Gründen rechtfertigen lässt. Derartige Rechtfertigungen können und werden in der Praxis gefunden. Die Vergabeentscheidung ist im Einzelfall zu rechtfertigen und im Vergabevermerk festzuhalten. Die BIM-Planungsmethode führt hier zu keinen Veränderungen. Die BIM-Planungsmethode könnte allerdings die Abwägungsentscheidung über einen Generalplanervertrag in einem konkreten Projekt durchaus in die eine oder andere Richtung entscheiden. Denkbar wäre, dass standardisierte BIM-

Planungsabläufe die Zusammenarbeit unterschiedlicher Planungsbeteiligter erleichtert und sich daher auch komplexe Bauvorhaben mit einer Vielzahl von Planungsbeteiligten realisieren lassen, sodass die BIM-Planungsmethode letztlich den Rechtfertigungsdruck für eine Generalplanervergabe erhöht. Andererseits, insbesondere in der jetzigen Übergangsphase, können BIM-Ziele auch zur Rechtfertigung einer Generalplanervergabe herangezogen werden. Vorstellbar ist, dass der öffentliche Auftraggeber als Ergebnis des Planungsprozesses umfassende und über unterschiedliche Fachplanungsdisziplinen verzahnte Daten für die Betriebsphase des Bauvorhabens erlangen will und dieser Beschaffungsbedarf derzeit nur von Generalplanungsbüros befriedigt werden kann. Unter diesen Voraussetzungen ist vorstellbar, dass technisch-wirtschaftliche Gründe eine Generalplanervergabe rechtfertigen können. Beispielsfälle aus der Praxis hierzu gibt es allerdings noch nicht.

Eschenbruch et al. prüfen ferner, ob und inwiefern die Beachtung des vergaberechtlichen Grundsatzes der produktneutralen Beschaffung (vgl. § 7 Abs. 8 VOB/A) die Beschaffung von BIM-Leistungen erschwert. Sie weisen darauf hin, dass die Ausschreibung offener Datenstandards (wie IFC) vergaberechtsfreundlicher sei, allerdings sich auch die Ausschreibung eines bestimmten Softwareprogramms für die Erbringung der ausgeschriebenen Planungsleistungen im Einzelfall vergaberechtlich rechtfertigen ließe, wenn dafür hinreichende sachliche Gründe vorhanden seien. Letzteres sehen *Fischer und Jungedeitering* anders, die eine Ausschreibung eines konkreten Softwareprodukts für grundsätzlich vergaberechtswidrig halten und hierzu auf die Bestimmungen des § 7 Abs. 8 VOB/A verweisen, nach der, soweit es nicht durch den Auftragsgegenstand gerechtfertigt ist, in technischen Spezifikationen nicht auf eine bestimmte Produktion oder Herkunft oder ein besonderes Verfahren oder auf Marken, Patente, Typen eines bestimmten Ursprungs oder einer bestimmten Produktion verwiesen werden darf, wenn dadurch bestimmte Unternehmen oder bestimmte Produkte begünstigt oder ausgeschlossen werden (*Fischer und Jungedeitering* 2015, S. 16). Die Rechtsauffassung von *Fischer und Jungedeitering* steht jedenfalls im Widerspruch zu der Vergabepaxis einzelner Städte und Länder, die einheitliche Datenplattformen für alle Beteiligten von öffentlichen Bauprojekten beschafft haben, für die der Vertragspartner vorgegebenen Lizenzen zu erwerben hat.

Eschenbruch et al. problematisieren weiter die Vorschrift des § 13 Abs. 1 S. 2 VOB/A, nach der schriftliche Angebote zuzulassen sind, sehen jedoch keine Probleme hinsichtlich der Ausschreibung von BIM-Leistungen, weil die Vorschrift sich alleine auf die Form der Angebotsabgabe bezieht.

Eschenbruch et al. führen weiter aus, dass sich durch BIM die Beschaffungsstrategien der öffentlichen Hand nicht grundlegend verändern müssten. Veränderte Leistungen müssten in Verträgen und Leistungsbeschreibungen allerdings aufgenommen werden und

neue Leistungen, wie z.B. ein BIM-Management (als „BIM-Administration“ bezeichnet) seien bei künftigen Ausschreibungen zu berücksichtigen.

Fischer und Jungedeitering weisen darauf hin, dass es bei BIM-Projekten vorteilhaft sei, ausführende Firmen bereits in der Planungsphase einzubeziehen (Fischer und Jungedeitering 2015, S. 15). Vergaberechtlich problematisch sei dann, dass eine ausführende Firma (etwa ein Generalunternehmer) zu einem Zeitpunkt beauftragt werden müsse, zu dem die eigentlichen Ausführungsleistungen wegen der noch unter Einbeziehung der Baufirma zu erarbeitenden Planung gar nicht ausschreibungsfähig seien und aus diesem Grund die Beachtung der Vorschrift des § 7 VOB/A, wonach die ausgeschriebene Leistung eindeutig und erschöpfend zu beschreiben ist, kritisch sei.

Anderl und Marboe vertreten die Auffassung (für das österreichische Vergaberecht), dass die Vorgabe der Erbringung von Planungsleistungen mittels der Planungsmethode BIM unter Verwendung bestimmter technischer Spezifikationen derzeit den Bieterkreis „drastisch“ einschränke und aus diesem Grund vergaberechtlich unzulässig sei, jedoch eine vergaberechtskonforme Ausschreibung möglich sei, wenn der Auftraggeber Softwarelizenzen zur Verfügung stellt oder die Leistungsergebnisse in offenen Datenformaten wie IFC einfordert (Anderl und Marboe 2015, S. 41). Die geäußerte Skepsis an der Ausschreibungsfähigkeit von BIM-Leistungen berücksichtigt nicht hinreichend die Freiheit des öffentlichen Auftraggebers, im Ausgangspunkt zunächst seinen Beschaffungsbedarf eigenständig definieren zu können.

Eschenbruch et al. verweisen diesbezüglich in zutreffender Weise auf die Rechtsprechung des *OLG Düsseldorf*, welches die Grenzen des öffentlichen Auftraggebers bei der Definition seines Beschaffungsbedarfs herausarbeitete (OLG Düsseldorf, Beschl. v. 01.08.2012 - Verg. 10/12, veröffentlicht in *ZfBR* 2013, 63). Danach ist auch eine den Wettbewerb einschränkende Beschaffungsentscheidung auf ein bestimmtes Produkt oder Verfahren zulässig, sofern (1.) die Bestimmung durch den Auftraggeber sachlich gerechtfertigt ist, (2.) vom Auftraggeber dafür nachvollziehbare objektive und auftragsbezogene Gründe angegeben worden sind und die Bestimmung folglich wertfrei getroffen worden ist, (3.) solche Gründe tatsächlich vorhanden (festzustellen und notfalls erwiesen) sind und (4.) die Bestimmung andere Wirtschaftsteilnehmer nicht diskriminiert. In diesen Grenzen darf die Beschaffung theoretisch soweit spezifiziert werden, dass sogar nur noch ein Monopolanbieter in Betracht kommt.

5.2.2 Vergaberechtsnovelle 2016

Gegenwärtig erfolgt eine vollständige Novellierung des GWB-Vergaberechts (§§ 97 ff. GWB). Mit einer neuen Rechtslage ist bis April 2016 zu rechnen. Dann läuft die Umsetzungsfrist der Vergabe-RL für die Umsetzung der Inhalte der Vergabe-RL in das

deutsche Recht ab. Dieses europarechtlich geprägte Vergaberecht nimmt stets eine Vorreiterrolle für das gesamte Beschaffungswesen ein.

Die Vergabe-RL erklärt in Art. 22 Abs. 1 die Kommunikation mittels elektronischer Kommunikationsmittel im Vergabeverfahren, auch für die Angebotsabgabe, nunmehr ausdrücklich zum Regelfall. In diesem Zusammenhang stellt die Vergabe-RL klar, dass öffentliche Auftraggeber im Zusammenhang mit Bauvorhaben die Verwendung digitaler Planungsmethoden vorgeben können. Art. 22 Abs. 4 Vergabe-RL regelt diesbezüglich (vgl. auch Art. 40 Abs. 4 RL 2014/25/EU - Sektorenrichtlinie):

„Für öffentliche Bauaufträge und Wettbewerbe können die Mitgliedstaaten die Nutzung spezifischer elektronischer Instrumente, wie z.B. elektronischer Instrumente für die Gebäudedatenmodellierung oder dergleichen, verlangen. In diesem Fall bieten die öffentlichen Auftraggeber alternative Zugänge gemäß Absatz 5 bis zu dem Zeitpunkt, zu dem diese Instrumente im Sinne von Absatz 1 Unterabsatz 1 Satz 2 allgemein zur Verfügung stehen.“

Alternative Zugänge zu den auftraggeberseits zur Nutzung vorgegebenen elektronischen Instrumenten sind, wie Art. 22 Abs. 4 Vergabe-RL entnommen werden kann, den Bietern allerdings zu ermöglichen, solange die ihm vorgegebenen elektronischen Instrumente noch nicht allgemein verfügbar sind. Art. 22 Abs. 5 Unterabs. 2 lit. b) Vergabe-RL kann dahingehend verstanden werden, dass eine allgemeine Verfügbarkeit des für die Kommunikation erforderlichen elektronischen Instruments bereits dann zu bejahen ist, wenn es dem Bieter möglich ist, das Instrument innerhalb der Fristen des Vergabeverfahrens zu beschaffen. Daraus kann man folgern, dass ein öffentlicher Auftraggeber möglicherweise nicht dazu gehalten ist, die erforderliche BIM-Software unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

Art. 22 Abs. 4 Vergaberichtlinie bezieht sich seinem Wortlaut nach nur auf „*öffentliche Bauaufträge*“ und „*Wettbewerbe*“. Wettbewerbe sind in Art. 2 Abs. 1 Nr. 21 Vergabe-RL definiert als Verfahren, die dazu dienen, „*dem öffentlichen Auftraggeber insbesondere auf den Gebieten der Raumplanung, der Stadtplanung, der Architektur, des Bauwesens oder der Datenverarbeitung einen Plan oder eine Planung zu verschaffen, deren Auswahl durch ein Preisgericht aufgrund vergleichender Beurteilung mit oder ohne Vergabe von Preisen erfolgt*“. Dass der Richtlinienggeber die BIM Methode im Bereich der Planervergaben nur bei sogenannten Wettbewerbsverfahren im Sinne von § 15 VOF zulassen wollte, erscheint allerdings wenig wahrscheinlich.

Aktuell befindet sich ein von der Bundesregierung vorgelegter Entwurf eines Gesetzes zur Modernisierung des Vergaberechts im Gesetzgebungsverfahren (im Folgenden: GWB-E). Der GWB-E enthält keine ausdrückliche Vorgabe zur Ausschreibung von BIM. In diesem wird aber ebenfalls der Grundsatz der elektronischen Kommunikation in § 97 Abs. 5 GWB-E verankert, der durch eine noch nicht bekannte Verordnung gemäß § 113

GWB-E konkretisiert werden wird. In der Begründung zum Entwurf heißt es zu § 97 Abs. 5 GWB-E:

„Mit der Pflicht zur Umstellung auf den Einsatz von IKT im Vergabeverfahren ist nicht die Pflicht zur Verwendung spezifischer Programme oder Hilfsmittel der IKT, wie z.B. Programmen zur Gebäudedatenmodellierung (so genannte BIM-Systeme), verbunden. Die Entscheidung über den Einsatz solcher spezifischer Programme oder Hilfsmittel der IKT treffen allein die Auftraggeber.“

Die Begründung betont zutreffend die Freiheit des Auftraggebers, selbst zu entscheiden, ob und inwieweit er auf BIM in geeigneten Fallkonstellation zurückgreifen will.

5.3 BIM und das Bauvertragsrecht

Die Methode BIM ist in einigen Staaten bereits etabliert. In Deutschland ist man jedoch noch von einer flächendeckenden Anwendung bei Bauprojekten entfernt. Vertragsstandards haben sich noch nicht etabliert. Es erscheint daher lohnenswert, auch einen Blick auf die kautelarjuristische Praxis außerhalb Deutschlands zu werfen.

Unter anderem wird die Methode BIM in Großbritannien und in den USA schon länger in der Breite angewendet. Die Quellenanalyse wird daher im Folgenden neben deutschen Quellen britische und US-amerikanische Quellen einbeziehen. Die Analyse beschränkt sich allerdings hierbei auf Veröffentlichungen zu Vertragszusatzbedingungen, die konventionellen Planer- und Bauverträgen als Vertragsanlage hinzugefügt werden können und auf diese Weise die jeweiligen Verträge um BIM-spezifische Regelungen ergänzen. Nicht aufgearbeitet wird die in ausländischen Quellen geführte Diskussion über grundlegend unterschiedliche Vertragsmodelle (zweiseitige Verträge, Mehrparteienverträge).

5.3.1 Veröffentlichungen in Deutschland

Der bauvertragsrechtliche, wissenschaftliche Diskurs zum Thema BIM ist in Deutschland noch nicht sonderlich ausgeprägt. Das bisherige Schrifttum ist entsprechend überschaubar.

5.3.1.1 Bauvertragsrechtliche Einzelprobleme

Liebich et al. kommen in ihrem Forschungsgutachten zu dem Ergebnis, dass in bauvertragsrechtlicher Hinsicht BIM insbesondere Anpassungsbedarf bezüglich der Leistungsbeschreibung auslöst (Liebich, Schweer und Wohlhage 2011, S. 19 ff.). Die Autoren legen als Anhang zu ihrem Gutachten einen Vorschlag für eine BIM-Vertragsanlage vor (Liebich, Schweer und Wohlhage 2011, Anlage 3). Diese Vertragsanlage enthält neben Begriffsbestimmungen (Ziff. 1.2) insbesondere Definitionen von

Fertigstellungsgraden (Ziff. 3) und den Vordruck einer sog. „*Modellelementtabelle*“, in der projektspezifisch die von den Modellautoren zu bestimmten Leistungsphasen geschuldeten Fertigstellungsgrade festgelegt werden können (Ziff. 4). Ferner enthält die Vertragsanlage einige knapp gehaltene Verfahrensregeln (Ziff. 2) bzgl. Hinweis- und Koordinierungspflichten bei erkannten Modellkollisionen, Nutzungsrechten an Modelldaten, Datei-Konventionen und dem Modellmanagement (bezeichnet als BIM-Management). Es ist nicht bekannt, ob die BIM-Vertragsanlage bereits in der Praxis eingesetzt wurde.

Eschenbruch et al. setzen sich im Rahmen ihres Forschungsgutachtens mit einer Vielzahl bauvertragsrechtlicher Rechtsfragen, die sich bei der Einführung von BIM stellen, auseinander (Eschenbruch et al. 2013, S. 53 ff.). Sie befassen sich zunächst mit den Vorzügen unterschiedlicher Vertragssysteme. Sie legen dar, dass im internationalen, rechtswissenschaftlichen Diskurs zur Förderung eines besonders kooperativen Miteinanders der Planungs- und Baubeteiligten neue Vertragsmodelle im Zusammenhang mit der BIM-Projektentwicklung diskutiert werden, die beinhalten, dass die Projektbeteiligten sich gemeinsam im Rahmen eines Mehrparteienvertrags binden. Sie weisen auf die Nachteile solcher Vertragskonstrukte hin und kommen zu dem Ergebnis, dass an den etablierten, zweiseitigen Verträgen festgehalten werden sollte. Hierzu führen Sie aus:

„Zwar könnte der Abschluss von Mehrparteienverträgen eine stärkere kooperative Projektentwicklung sichern, speziell unter dem Blickwinkel eines BIM-Einsatzes. Derartige Modelle haben sich aber schon bisher in der Praxis nicht durchsetzen können, weil:

- *die Zusammenführung mehrere Vertragspartner in einem Vertrag schon bei Vertragsabschluss erhebliche Komplexitäten mit sich bringt, denn selten sind alle Vertragsebenen zum selben Zeitpunkt vergabereif.*
- *Die Zusammenfassung von Vertragsparteien unterschiedlicher Disziplinen führt zu Erschwernissen bei der vergaberechtlichen Umsetzung entsprechender Vertragsmodelle. Schon bei PPP-Konzepten hat sich gezeigt, dass sich anbietende Unternehmen einzelner Wirtschaftszweige nicht ohne weiteres nach dem Belieben eines öffentlichen Auftraggebers zusammenführen lassen. Die Praxis hat deshalb nur noch Konsortien gesucht. Die Zusammenführung der Konsortialangebote in einer öffentlichen Vergabe führt jedoch zu der Gefahr unwirtschaftlicher Lösungen und zu einer schwer lösbaren Wertungssystematik.*
- *In der Vertragsabwicklung erweisen sich derartige Mehrparteiensysteme als äußerst unflexibel. Bei Änderungen müssen Verträge insgesamt nachverhandelt werden (siehe Projektbeispiel Elbphilharmonie). Eine Möglichkeit des öffentlichen Auftraggebers, sich von einzelnen Vertragsparteien zu lösen, die nicht vertragsgemäß arbeiten bzw. nicht mehr hinreichend leistungsfähig sind, ist stark erschwert.*

Wegen der Inflexibilität haben sich diese Mehrparteienlösungen in der Praxis nicht durchsetzen können, und zwar weder im privaten, noch im öffentlich-rechtlichen Sektor.“

Als Lösungsansatz für die Schaffung einheitlicher Standards für die Erbringung BIM-gestützter Leistungen schlagen die Autoren eine Bündelung der entsprechenden Regelungen in einer für alle Projektbeteiligten einheitlichen Vertragsanlage vor („Besondere Vertragsbedingungen BIM“) (Eschenbruch et al. 2013, S. 54 ff.).

Ferner befassen sich die Autoren u. a. mit Fragen der Leistungsabgrenzungen zwischen den Leistungen der Projektbeteiligten (Eschenbruch et al. 2013, 60 ff.), dem Eigentum am Gebäudedatenmodell (Eschenbruch et al. 2013, S. 63 ff.), einem möglichen Bedeutungszuwachs der Sicherung des Know-hows von Projektbeteiligten (Eschenbruch et al. 2013, S. 64 ff.), Anpassungsbedarf bei der VOB/B (Eschenbruch et al. 2013, S. 66 ff.), Haftungsfragen (Eschenbruch et al. 2013, S. 68 ff.) sowie Fragen des Urheberrechts (Eschenbruch et al. 2013, S. 72 ff.). Die Mitautoren *Eschenbruch und Grüner* fassten die Ergebnisse des unter Ihrer Beteiligung erstellten Forschungsgutachtens nochmals in einem Aufsatz in der *Neuen Zeitschrift für Baurecht* zusammen (Eschenbruch und Grüner 2014, S. 402 ff.).

Fischer und Jungedeitering greifen die Ergebnisse des Gutachtens von *Eschenbruch et al.* auf und stellen unter Verweis auf den „*BIM-Leitfaden für Deutschland*“ von *Egger et al.* (Egger et al. 2013) auf die besondere Bedeutung eines Projektabwicklungsplans als zentrales Dokument ab (Fischer und Jungedeitering 2015, S. 15). Sie problematisieren ferner die Vorschrift des § 3 Abs. 1 VOB/B, die den Auftraggeber dazu verpflichtet, die für die Ausführung notwendigen Unterlagen dem Auftragnehmer rechtzeitig zu übergeben, und die auf die Übergabe digitaler Plandaten nicht passe. Augenscheinlich stoßen sich *Fischer und Jungedeitering* an dem Wortlaut des § 3 Abs. 1 VOB/B, der von „Ausführungsunterlagen“ spricht und in diesem Zusammenhang Daten nicht erwähnt. Dies lässt indessen unberücksichtigt, dass anerkannt ist, dass der Begriff der Ausführungsunterlagen im Sinne von § 3 Abs. 1 VOB/B weit zu verstehen ist und alle planerischen Hilfsmittel umfasst, die der Auftragnehmer benötigt, um die ihm in Auftrag gegebenen Leistungen rechtzeitig und mangelfrei erbringen zu können. Zu den Ausführungsunterlagen zählen neben schriftlichen Unterlagen auch alle mündlichen Angaben, sofern z.B. sich die notwendigen Informationen nicht alleine aus den schriftlichen Plänen ergeben (Havers 2015 § 3 Rn. 17 m.w.N.). Zu den einem Unternehmer zu übergebenden Ausführungsunterlagen im Sinne des § 3 Abs. 1 VOB/B können daher auch Datenmodelle gehören. Ein Anpassungsbedarf der VOB/B an die Methode BIM besteht daher nicht.

Eschenbruch und Elixmann thematisieren in einer weiteren Veröffentlichung die bauvertragsrechtlichen Themenstellungen Vertragssysteme, Arbeitsorganisation/Abwicklungsdetails, Rechte an Daten, Haftung, BIM-Management sowie Vergütung und

nehmen hierbei eine vergleichende Betrachtung zwischen ausgewählten ausländischen BIM-Vertragsmusterklauseln vor (Eschenbruch und Elixmann 2015a, S. 249 ff.).

Boldt greift schließlich die im internationalen Umfeld geführte Diskussion über Mehrparteienverträge und BIM auf unter Verweis auf einen in Großbritannien wohl bereits erfolgreich eingesetzten „*Multi Party Contract*“: das Vertragsmuster „*Standard Form of Contract for Partnering, PPC2000*“, veröffentlicht von der *Association of Consultant Architects Ltd* (Boldt 2015, S. 292).

5.3.1.2 Der BIM-Manager

Bereits *Eschenbruch et al.* setzten sich im Rahmen ihres Forschungsgutachtens mit der Erforderlichkeit und dem Inhalt des BIM-Managements auseinander (Eschenbruch et al. 2013, S. 54 ff.; vgl. auch Eschenbruch und Elixmann 2015a, S. 249 ff.). Sie vertraten die Auffassung, dass die Leistungen des BIM Managements von unterschiedlichen Projektbeteiligten übernommen werden können, ließen allerdings eine Präferenz für den Projektsteuerer erkennen. Dem schlossen sich *Fischer und Jungedeitering* an (Fischer und Jungedeitering 2015, 9, 13 ff.).

Eschenbruch und Elixmann legten einen Vorschlag eines in fünf Leistungsphasen gegliederten, detaillierten Leistungsbilds des BIM-Managers vor (Eschenbruch und Elixmann 2015b, S. 745).

5.3.2 Veröffentlichungen außerhalb Deutschlands

In der englischsprachigen Literatur finden sich zahlreiche Veröffentlichungen, die die Vor- und Nachteile einer BIM-basierten Projektabwicklung beschreiben. Im Mittelpunkt vieler dieser Abhandlungen steht die Frage, inwiefern BIM als ein Instrument zur Vermeidung von Streit über Haftungsfragen und Nachträge dienen kann (Gibbs et al. 2015, S. 177 ff.; Retz und Lodgen 2009). Die hierzu vertretenen Meinungen können im Rahmen dieses Forschungsauftrags nicht im Einzelnen vorgestellt werden. Die Grundtendenz dürfte sein, dass sich auch durch die Planungsmethode BIM an der Haftung des einzelnen nichts ändert. Korrespondierend zu seinem Leistungsumfang ergibt sich die Reichweite der Haftung eines jeden Projektbeteiligten. Jeder bleibt für seine Leistungen verantwortlich. Solange eine Zusammenarbeit der Projektbeteiligten in Form von getrennten Fachmodellen erfolgt, wie es die Reifegradstufe „*Level 2 Building Information Modeling*“ nach britischem Verständnis bzw. dem deutschen Äquivalent, dem „*Leistungsniveau 1*“ im Sinne des Stufenplans Digitales Planen und Bauen des BMVI, erfolgt, ist eine Zurechnung der Haftungsbeiträge zu dem einzelnen Projektbeteiligten möglich. Eine Umfrage unter Berufshaftpflichtversicherer in Großbritannien ergab in diesem Zusammenhang auch, dass gegen eine Zusammenarbeit unter der Verwendung von BIM-Planungsmethoden in Form der Reifegradstufe „*Level 2 Building Information Modeling*“ keine versicherungsrechtlichen Bedenken bestehen (vgl. CIC, Best Practice

Guide for Professional Indemnity Insurance When Using Building Information Modeling, 2013). In BIM-Projekten ist allerdings derzeit auch eine Art und Weise der Zusammenarbeit zu beobachten, die davon geprägt ist, dass mehrere Planungsbeteiligte in wenig strukturierter Form über ein einheitliches Bauwerksmodell, das auf einer Online-Projektplattform abgelegt ist, zusammenarbeiten. Klar ist, dass je weniger strukturiert die Zusammenarbeit ist, desto schwerer wird es, nachträglich die Leistungsbeiträge von Planungsbeteiligten und damit die Verantwortlichkeit für Planungsfehler nachzuvollziehen. Aus haftungsrechtlicher Perspektive, aber auch im generellen Interesse, komplexe Zusammenarbeitsprozesse steuern zu können, ist es daher wichtig, die Zusammenarbeit der Planungsbeteiligten einem geordneten Prozess zu unterwerfen.

Diese Materialsammlung beschränkt sich auf eine Untersuchung von im Ausland gebräuchlicher Vertragsmuster und verweist im Übrigen auf die Quellenangaben im Literaturverzeichnis. Die nachfolgende Darstellung differenziert zwischen der Rechtslage in Großbritannien und den USA.

5.3.2.1 Großbritannien

5.3.2.1.1 Strategien und BIM Level Definitionen

In Großbritannien wird seit der Verabschiedung der „*2011 Government Construction Strategy*“ (Cabinet Office 2011; auf diese hinweisend etwa Newbery 2012, S. 272; Gibbs et al. 2015, S. 169f.; Frame 2012, S. 524) die Einführung der BIM-Planungsmethode gefördert, verbunden mit dem Ziel, die BIM-Planungsmethode bei allen öffentlich finanzierten Bauvorhaben ab 2016 verbindlich in dem Umsetzungsgrad „*Level 2 Building Information Modeling*“ vorzuschreiben. Die verschiedenen BIM-Implementierungsgrade werden in Level angegeben, auf welche nachfolgend kurz eingegangen wird (dazu auch Gibbs et al. 2015, 169).

Level 2 BIM beschreibt einen BIM-Implementierungsgrad, bei dem die Projektbeteiligten ihre Planungsleistungen durch die bauteilbezogene Modellierung von jeweils eigenen Modellen erbringen, die über ein gemeinsames Datenformat ausgetauscht werden. Was Level 3 BIM konkret bedeuten soll, ist noch nicht klar definiert. Bei Level 3 BIM soll jedenfalls eine noch enger vernetzte, internetgestützte Zusammenarbeit der Projektbeteiligten im Vordergrund stehen (vgl. Royal Institute of British Architects 2012). Level 2 BIM wird im Rahmen der übergreifenden Strategie der britischen Regierung für die Digitalisierung der britischen Bauindustrie als ein Durchgangsstadium für Level 3 BIM betrachtet. Die ÖNORM A 6241-1¹² definiert „*BIM Level 3*“ als „*vollständig integraler, gemeinschaftlicher Prozess der Modellierung eines virtuellen Gebäudemodells in Übereinstimmung mit der Ausführung für die Datenpflege über den gesamten*

¹² Dazu <https://www.austrian-standards.at/produkte-leistungen/kostenlose-downloads/supplements-zu-normen/oenorm-a-6241-1/> (abgerufen am 22.10.2015).

Lebenszyklus, in einem gemeinsamen, zentralen Datenmodell unter Einarbeitung von Sachdaten für weiterführende Informationen, die als zusätzliche Dimensionen beschrieben werden.“

Mittlerweile existiert zudem ein strategischer Plan der britischen Regierung, in dem ein Level 3 BIM näher beschrieben wird (Department for Business, Innovation and Skills 2015). Dieses Strategiepapier ist sehr generisch gehalten, ermöglicht aber nichtsdestotrotz Rückschlüsse auf zukünftige Entwicklungen. Als zentrale Elemente für eine weitere Digitalisierung des Immobiliensektors werden dort die nachfolgenden Punkte benannt:

- Einführung internationaler „Open Data“ Standards, z.B. IFC, CoBIE, etc.
- Etablierung eines neuen vertraglichen Rahmens, der Konsistenz gewährleisten, Verwirrung vermeiden, und offenes, kollaboratives Arbeiten fördern soll.
- Schaffung eines gemeinschaftlichen Arbeitsumfelds.
- Einweisung des öffentlichen Sektors in die BIM Technik.
- Förderung des einheimischen und internationalen Wachstums.

Eine genaue Definition eines Level 3 BIM ist damit nach wie vor nicht verbunden. Viele Punkte bleiben zudem unklar, wie etwa der angesprochene vertragliche Rahmen, zu dem sich in dem Dokument keine weiteren Informationen, als die eben dargestellten finden. Es wird allerdings deutlich, dass die britische Regierung dem Ganzen eine hohe Priorität beimisst und sichtlich gewillt ist, Anstrengungen zur weiteren Förderung von BIM zu unternehmen.

5.3.2.2 Verschiedene Vertragstypen und BIM

Als ein Baustein der öffentlichen BIM-Strategie entwickelte das *Construction Industry Council (CIC)*, ein Interessenverband der britischen Planungs- und Bauindustrie, in Zusammenarbeit mit der *Building Information Modeling (BIM) Task Group* (das ist eine öffentlich geförderte Einrichtung zur Unterstützung der BIM-Einführung in Großbritannien) BIM-Vertragszusatzbedingungen, die Bauverträgen hinzugefügt werden können: das ***CIC BIM Protocol***.

Hierzu existieren ergänzend ein Leistungsbild für das Informationsmanagement („*Outline Scope of Services for the Role of Information Management*“), ein Leitfaden für Auftraggeber zur Definition der BIM-Anforderungen für Ausschreibungen („*Employer’s Information Requirements*“) und Handlungsempfehlungen für Berufshaftpflichtversicherer hinsichtlich der Versicherung von BIM-Leistungen (*Best Practice Guide for Professional Indemnity Insurance When Using Building Information Models*).

Des Weiteren liegen von dem Anbieter für Vertragsmuster *NEC3* Anwendungshinweise mit ergänzenden Klauseln zur Implementierung des *CIC BIM Protocol* in *NEC3*-Vertragsmuster vor („*How to use BIM with NEC3 contracts*“; hierzu Gibbs et al. 2015,

176). NEC3 Verträge sind in Großbritannien bei der Abwicklung von Bauprojekten sehr populär. Dabei sollen die relevanten Bestimmungen des CIC Protocol mittels sogenannter „Z clauses“ in den Vertrag eingefügt werden. Unter einer Z Clause versteht man eine Regelung, die es ermöglicht, den NEC3 Vertrag zu modifizieren. Letztlich beschränken sich die Implementierungsanstrengungen von spezifischen BIM-Regelungen in NEC3-Verträge darauf, das CIC Protocol für maßgeblich zu erklären (Dies hinterfragend etwa Gibbs et al. 2015, S. 176; darauf hinweisend auch Hoar 2013, S. 4). Allerdings verdeutlicht dies die Bedeutung, die dem CIC Protocol zukommt.

Ferner hat das *Joint Contracts Tribunal (JCT)*, welches ebenfalls Musterverträge für Bauvorhaben bereitstellt, im Dezember 2011 seine Vertragsmuster für öffentliche Auftraggeber angepasst. Im Zuge dieser Überarbeitung wurde dafür Sorge getragen, dass ein BIM-Protocol in den Vertrag eingefügt werden kann. Dafür wurden unter anderem der „*Standard Building Contract (SBC) (all versions – Q, AQ, XQ)*“ sowie die „*Standard Building Sub-Contracts*“ angepasst (Frame 2012, S. 524). Für den „*Standard Building Contract*“ ist geregelt, dass das entsprechende BIM Protokoll in die Leistungsbeschreibung des Auftraggebers zu integrieren ist. Eine entsprechende Regelung soll sich auch in den Sub-Contracts finden (näher JCT Public Sector Supplement (2011), Part 3, S. 4 und die vorgeschlagenen Modifikationen bei den einzelnen Vertragstypen; Dokument abrufbar unter <http://www.jctltd.co.uk/public-sector-supplement-download.aspx> (abgerufen am 29.10.2015); hierzu ebenfalls Frame (2012), S. 525). In diesem Zusammenhang wird in der Literatur betont, dass die modifizierten *JCT*-Regelungen keine Antwort auf die Frage geben, was passieren soll, wenn sich der Auftraggeber nicht an seine BIM-spezifischen Verpflichtungen hält. Hier wird vorgeschlagen, dem Auftragnehmer einen Schadensersatzanspruch zuzusprechen (Frame 2012, S. 524). Ein weiterer Vertragstyp, der im Zusammenhang mit BIM Bedeutung erlangt, ist der Mehrparteivertrag mit dem Namen PPC 2000.

Nicht näher eingegangen wird auf die *CIOB Complex Project Contracts*. Hierbei soll es sich um BIM-spezifische Vertragsmuster handeln, die speziell auf Großprojekte ausgerichtet sind. Diese lagen den Autoren leider nicht vor.

5.3.2.3 CIC BIM Protocol

Das *CIC BIM Protocol* wird als das soweit ersichtlich anerkannteste BIM-spezifische Vertragsmuster in Großbritannien nachfolgend näher beschrieben.

Systematik des CIC BIM Protocol

Das *CIC BIM Protocol* ist gedacht als Vertragsanlage zu Planer- und Bauverträgen bei Bauvorhaben mit einer Zusammenarbeitsintensität im Sinne des Level 2 BIM (Construction Industry Council 2013, S. IV). Das Protocol regelt, dass in Fällen von Widersprüchen mit anderen Vertragsunterlagen die Regelungen des *CIC BIM Protocol*

vorgehen (Sec. 2.1). Als weitere Rangfolgeregelung bestimmt das Protocol, dass bei Widersprüchlichkeiten zwischen einem in Übereinstimmung mit dem *CIC BIM Protocol* erstellten Modell mit aus dem Modell abgeleiteten Dokumenten oder sonstigen Informationen das Modell vorgeht (Sec. 2.2).

Im Hinblick auf die Vorrangregelung in Sec. 2.1 ist allerdings anzumerken, dass diesbezüglich gewisse Unstimmigkeiten bestehen können, wenn das *CIC BIM Protocol* im Rahmen eines *JCT* Vertrags angewandt wird. Zwar sieht der *JCT* Vertrag wie eben dargestellt die Möglichkeit vor, ein *BIM Protocol* zu integrieren (zur Anwendbarkeit des *CIC Protocols* bei diesem Vertragstyp siehe oben), allerdings enthält der *JCT DB11-Vertrag* in Clause 1.3 wohl die Bestimmung, dass Regelungen in den Leistungsbeschreibungen des Auftraggebers nicht den vertraglichen Regelungen vorgehen (Der *JCT DB11-Vertrag* liegt den Verf. nicht vor, dazu allerdings Gibbs et al. 2015, S. 176: „[...] *nothing sustained in the Employer's Requirements [...] shall override or modify the Agreement of these conditions*“ [...]). Das *CIC Protocol* soll aber ausweislich der Überarbeitung des *JCT* Vertrags in die Leistungsbeschreibung des Auftraggebers integriert werden (dazu bereits oben). Hier besteht Regelungsbedarf (Gibbs et al. 2015, S. 176). Das Beispiel zeigt, dass die einzelne Abstimmung des gesamten Vertragswerks stets von fachkundiger Seite durchzuführen ist und ein einfaches Zusammenfügen verschiedener Module zu Problemen führen kann.

Regelungen zur Zusammenarbeit der Beteiligten

Das *CIC BIM Protocol* beschränkt sich auf rein abstrakt-juristische Regelungen und enthält keine detaillierten Beschreibungen von Leistungen und Verantwortlichkeiten der einzelnen Vertragsparteien. Hinsichtlich der Verantwortlichkeiten der Parteien beschränkt es sich auf einige Kernaussagen, wie dass der Auftraggeber dazu verpflichtet ist, dem *CIC BIM Protocol* vergleichbare Regelungen gegenüber allen Projektbeteiligten zu vereinbaren (Sec. 3.1.1) und sofern diese Aufgabe nicht auf ein Projektbeteiligten übertragen wurde, die zu bestimmten Leistungsphasen geschuldeten Level of Detail (festgelegt im „*Model Production and Delivery Table*“, *Appendix 1*) während des Projekts erforderlichenfalls anzupassen (Sec. 3.1.2 a) und einen „*Information Manager*“ während des gesamten Projekts einzuschalten (Sec. 3.1.2 b).

Die wesentlichen Leistungspflichten des Auftragnehmers („*Project Team Member*“) sind zusammengefasst in Sec 4. Geregelt ist, dass der Auftragnehmer Modelle entsprechend der in dem *Model Production and Delivery Table* vorgegebenen Fertigstellungsgrade zu erstellen hat in Übereinstimmung mit den Attributvorgaben des Auftraggebers („*Information Requirements*“), die Modelle der anderen Planungsbeteiligten entsprechend den vertraglichen Vorgaben zu verwenden und *das CIC BIM Protocol* in Subunternehmerverträge einbeziehen muss.

Wesentliche Leistungsinhalte der Projektbeteiligten sind ausgelagert in zwei Anlagen zum *CIC BIM Protocol*. *Appendix 1: Level of Detail and Model Production and Delivery Table* regelt, zu welchen Leistungsphasen („*stages*“) welche Level of Detail zu erreichen sind. Hierbei zeigte sich im Rahmen einer Befragung mehrerer in der britischen Bauindustrie tätiger Unternehmer, dass diese die Anlage 1 insgesamt als zu wenig detailliert und daher als nicht hilfreich erachteten (Al-Shammari 2014, S. 627). In diesem Zusammenhang ist auch die Rede davon, hier bestehe eine Regelungslücke (Al-Shammari 2014, S. 630).

Appendix 2: Information Requirements beinhaltet technische Spezifizierungen etwa zu der verwendeten Software und des eingesetzten Common Data Environment. Hinsichtlich der Vereinbarung bestimmter Workflows wird verwiesen auf weitere, zu vereinbarende Protocols.

Rechte an Daten

Die Rechte an den hergestellten Modelldaten werden in dem *CIC BIM Protocol* ausführlich und differenziert geregelt (Sec. 6). Die Autoren des *CIC BIM Protocol* sehen diesbezüglich einen besonderen Regelungsbedarf, um den Vorbehalten aus der Planerbranche gegen die BIM-Planungsmethode zu begegnen, die auf der Befürchtung gründen, dass sich durch die Digitalisierung des Planungsprozesses das Risiko einer ungewollten Weitergabe von Know-how an Dritte erhöht. Allerdings finden sich seitens der Bauindustrie auch kritische Stimmen, die in Frage stellen, ob die getroffenen Regelungen effizient und überzeugend sind (Nachweise bei Al-Shammari 2014, S. 627, 630).

Rechte an Planungsdaten werden den Auftraggebern in eng umgrenztem Umfang eingeräumt. Die Kernregelung in diesem Zusammenhang ist Sec. 6.3, wonach der Umfang der Einräumung von Nutzungsrechten an den ausgetauschten Modelldaten gegenüber dem Auftraggeber sich auf den erlaubten Zweck des Vertrags („*permitted purpose*“) beschränkt. Als erlaubte Zwecke sind nach Sec. 1.1.12 solche Nutzungszwecke definiert, die mit dem Projekt zusammenhängen und für die das jeweilige Modell unter Berücksichtigung des für die Leistungsphase anwendbaren Level of Detail hergestellt wurde. Der Umfang der Nutzungsrechtseinräumung wird in weiteren Ziffern von Sec. 6 näher konkretisiert. Ein wichtiger Aspekt ist, dass die Nutzungsrechtseinräumung keine Ergänzung oder Änderung der Modelldaten ohne die ausdrückliche Zustimmung des Modellautors oder die vorherige Vereinbarung dieser Form der Datennutzung in *Appendix 2* erfasst (Sec. 6.5, 6.8). Vorgesehen ist auch ein Recht des Modellautors, dem Auftraggeber das Nutzungsrecht an seinen Modelldaten zu entziehen, wenn dieser seinen Zahlungsverpflichtungen nicht nachkommt (Sec. 6.4). Eine Weiternutzung von Modelldaten eines aus dem Projekt ausgeschiedenen Projektbeteiligten wird in den

Grenzen des vertraglich vorgesehenen Nutzungsumfangs ausdrücklich gestattet (Sec. 6.5.1 b, 6.8.1 b).

Die urheberrechtlichen Regelungen des *CIC im Protokoll* sind recht auftragnehmerfreundlich. Aus Auftraggebersicht sind ein Entzug der Nutzungsrechte im Falle von Zahlungsverzug und die Nichteinräumung eines Änderungsrechts kritisch zu sehen. Im Übrigen besteht die Herausforderung bei der Gestaltung von Urheberrechtsklauseln in BIM-Verträgen darin, unter Zugrundelegung der geplanten BIM-Anwendungsfälle die einzuräumenden Nutzungsrechte enumerativ zu benennen und deren Übertragung ausdrücklich zu vereinbaren. Hierfür ist der konkrete, zukünftige Nutzungszweck der digitalisierten Planungsergebnisse zugrunde zu legen.

Haftung

Das *CIC BIM Protocol* enthält weitgehende Haftungsbeschränkungen in Bezug auf die BIM-Daten. Modellautoren haften nicht für eine fehlerhafte Übertragung von Modelldaten, wenn sie die vereinbarten Regelungen zum Datenumgang beachtet haben (Sec. 5.1). Die Regelungen zum Datenumgang werden in einer weiteren Vertragsanlage vereinbart. Ein grober Mustertext hierfür ist dem *CIC BIM Protocol* als *Appendix 2 (Information Requirements)* beigelegt. Auch haften Modellautoren nicht für Risiken, die aus der Weiterbearbeitung möglicherweise fehlerhafter Daten durch andere Projektbeteiligte erwachsen, wenn diese Weiterbearbeitungen nicht von dem Vertragszweck mehr erfasst sind (Sec. 7.2). Ferner ist die Haftung des Auftraggebers für die Zurverfügungstellung von durch andere Modellautoren erstellte Daten ausgeschlossen (Sec. 7.3).

Kündigung

Schließlich ist in dem Protocol geregelt, dass die Regelungen des *CIC BIM Protocol* (mit Ausnahme der Leistungspflichten des gekündigten Modellautors) auch nach einer Kündigung wirksam fortbestehen (Sec. 8).

5.3.2.3.2 USA

Im US-amerikanischen Rechtskreis sind die Vertragsmuster des *American Institute of Architects (AIA)* und von *ConsensusDOCS* am weitesten verbreitet (Pennsylvania State University 2013; hierzu auch Brunka, 2011, S. 175). Daneben existiert eine unübersehbare Vielzahl von weiteren Vorlagen für die Vereinbarung von BIM-Leistungen, die sich zumeist in bloßen Leistungsbeschreibungen erschöpfen, allerdings zum Teil auch abstrakte Vertragsklauseln enthalten. Unterschiedlichste Universitäten und öffentliche Stellen haben in den USA mittlerweile eigene BIM-Regeln. Eine abschließende Auflistung ist nicht möglich.

Exemplarisch herausgegriffen und nachfolgend beschrieben werden die in dem *BIM Planning Guide for Facility Owners* der *Pennsylvania State University* genannten

Mustertexte (Pennsylvania State University 2013). Dies sind neben den zuvor genannten Mustern des *AIA* und von *ConsensusDOCS* die folgenden Vertragsmuster:

- Penn State BIM Addendum V2.0 BIM Execution Plan,
- USACE Attachment F BIM Project Execution Plan,
- Indiana University BIM Guidelines and Standards,
- State of Ohio Building Information Modeling Protocol,
- VA BIM Guide,
- Los Angeles Community College BIM Standards and BIM Standard Template.

5.3.2.3.1 American Institute of Architects (AIA)

Das *AIA* entwickelte BIM-Musterklauseln, die die konventionellen *AIA*-Musterverträge im Hinblick auf die Vereinbarung der BIM-Planungsmethode ergänzen. Das Basisdokument für die Vereinbarung von BIM ist *AIA Document E203-2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit*. *AIA Document E203-2013* soll als Vertragsanlage zu dem jeweiligen Planer- oder Bauvertrag bei Vertragsschluss einbezogen werden. Dieses Dokument ist gewissermaßen das Scharnier zwischen den abstrakten Regelungen des jeweiligen (Planungs- oder Bau-)Hauptvertrags und den technischen Abwicklungsdetails, die in sog. „*Protocols*“ festgelegt werden, auf die innerhalb von *Document E203-2013* verwiesen wird.

Das *AIA Document E203-2013* enthält lediglich grobe Rahmenregelungen in fünf Artikeln:

- Art. 1 Allgemeine Bestimmungen („*General Provisions*“),
- Art. 2 Übertragung und Eigentum an digitalen Daten („*Transmission and Ownership of Digital Data*“),
- Art. 3 Protokolle zum Umgang mit digitalen Daten („*Digital Data Protocols*“),
- Art. 4 BIM-Protokolle („*Building Information Modeling Protocols*“),
- Art. 5 Weitere Bestimmungen („*Other Terms and Conditions*“).

Es existieren ferner zwei Muster für die zu vereinbarenden Protocols:

- *AIA Document G201-2013 Project Digital Data Protocol Form* und
- *AIA Document G202-2013 Project Building Information Modeling Protocol Form* (*AIA, Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents*, 2013).

Nachfolgend werden die wesentlichen Inhalte des *AIA Document E203-2013* zusammengefasst.

Allgemeine Bestimmungen

Art. 1 enthält einige allgemeine Regelungen zur Implementierung von *AIA Document E203-2013*, z. B. einen Katalog mit Definitionen (Sec 1.4). Beachtenswert ist die Regelung unter Sec. 1.3, nach der Projektbeteiligte mit sämtlichen Ansprüchen auf

zusätzliche Vergütung oder auf Planungszeitverlängerung, die sich aus den Leistungsanforderungen der (ja erst nach Vertragsschluss vereinbarten) Protocols ergeben, präkludiert sind nach 30 Tagen nach Erhalt des jeweiligen Protocols.

Verschwiegenheit und Urheberrechte

Art. 2 enthält einige sehr knappe Regelungen zur Verschwiegenheit und zu Urheberrechten, die den Regelungen des Hauptvertrags vorgehen sollen (Sec. 2.4). Die Vertragsparteien garantieren, dass sie Inhaber der Urheberrechte an den von ihnen übertragenen Daten sind (Sec. 2.1) und es wird klargestellt, dass urheberrechtliche Nutzungsrechte nur in dem für die Projektrealisierung zwingend erforderlichen Umfang eingeräumt werden (Sec. 2.3). Detailregelungen zur Inhaberschaft von Urheberrechten sollen dem Hauptvertrag vorbehalten bleiben (so die Begründung zu Sec. 2.1 in AIA 2013).

Nach Sec. 2.2 sind die Vertragsparteien zu Verschwiegenheit gegenüber Dritten über die im Zuge der Projektabwicklung erlangten digitalen Daten verpflichtet. Ausgenommen ist die Datenweitergabe zum Zweck der Erfüllung des Vertrags an Mitarbeiter oder Erfüllungsgehilfen (sprich Subunternehmer) oder aufgrund gesetzlicher Verpflichtungen oder richterlicher Anordnungen (Sec. 2.2.1).

Protocols

Art. 3 und 4 enthalten Regelungen, die den Prozess der Vereinbarung der Protocols ausgestalten. Inhaltlich geht es bei Art. 3 um die Festlegung, zu welchen Zwecken in dem Projekt allgemein digitale Daten ausgetauscht werden. Diese sollen unter Sec. 3.1 benannt werden. *AIA Document E203-2013* enthält unter Sec. 3.1 eine Tabelle, in der aus vorgegebenen Zwecken die im konkreten Projekt einschlägigen Zwecke ausgewählt werden können. Die Zwecke sind sehr allgemein umschrieben. Vorgesehen ist (Sec. 3.1.1), dass detailliertere Beschreibungen in weiteren Anlagen ergänzt werden können.

Sec. 3.2 regelt, dass die Parteien baldmöglichst nach Vertragsschluss Protocols über den Austausch digitaler Daten vereinbaren sollen. Ein solches Protocol ist das Muster *AIA Document G201-2013 Project Digital Data Protocol Form*. Art. 3 in Verbindung mit *Document G201-2013* das mithin keine BIM-spezifischen Regelungen enthält, sondern Festlegungen zu dem Austausch von Projektinformationen in digitaler Form in dem konkreten Projekt im Allgemeinen.

Art. 3 enthält ferner die Festlegung, dass vorbehaltlich anderweitiger Vereinbarungen der Architekt den Prozess der Erstellung, Verteilung und Verabschiedung von Protocols führt (Sec. 3.2.1.) Ferner greift Sec. 3.4 Haftungsfragen auf. Etwa regelt Sec. 3.4.1, dass Projektbeteiligte sich auf die Richtigkeit von vor Verabschiedung entsprechender Protocols übersandter Daten nicht verlassen können (Armes 2015, S. 351). Schließlich erfolgen in Sec. 3.5 Festlegungen über die Verwendung einer Projektplattform.

Art. 4 regelt die schließlich die BIM-Implementation im Projekt. Innerhalb von Art. 4 sollen die Vertragsparteien die BIM-Anwendungsfälle bestimmen (Sec. 4.2 - 4.4). Enthalten ist ferner die Verpflichtung zur Verabschiedung von Protocols, die die BIM-Projektentwicklung im Einzelnen ausgestalten (Sec. 4.5), verbunden mit konkreten inhaltlichen Vorgaben an ein Protocol (Sec. 4.5.1).

Ein solches BIM-Protocol ist *AIA Document G202-2013 Project Building Information Modeling Protocol Form*. Dort werden die technischen Details zum Umfang des Einsatzes von BIM im Projekt niedergelegt, wie Regelungen zum Modell-Management (siehe Sec. 1.7 mit Verweis auf weitere Protocols) und Festlegungen von Fertigstellungsgraden/LOD's (Sec. 2 und 3). Eine wichtige Regelung in diesem Zusammenhang ist Sec. 3.1, wonach Projektbeteiligte sich immer nur auf die Informationen eines Modells verlassen können, die dem zu dem jeweiligen Zeitpunkt geschuldeten Fertigstellungsgrad entsprechen, d.h., dass sich Projektbeteiligte nicht auf Bauteilattribute verlassen können, die möglicherweise in einem Modell einzelnen Bauteilen bereits zugeordnet sind, weil das Bauteil aus einer Bauteilbibliothek entnommen wurde, aber eigentlich noch nicht zu dem jeweiligen Zeitpunkt geschuldet waren. Das Kernstück des *Document G202-2013* ist die Tabelle *Model Element Table* unter Sec. 3.3. In diese Tabelle werden die Meilensteine und Verantwortlichkeiten für einzelne Modellelemente eingetragen.

In diesem Zusammenhang ist das bereits oben erwähnte Dokument *Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents* zu berücksichtigen. Aus diesem geht hervor, dass hinsichtlich der Verlässlichkeit von Informationen eine Regelung erwogen werden könnte, nach der in Gänze nicht auf bestehende Informationen in einem BIM-Modell zurückzugreifen sein soll (AIA 2013, S. 11.). Hintergrund einer solchen Überlegung ist, dass an einem BIM-Modell – zumindest des Level 3 – viele unterschiedliche Personen arbeiten, die teilweise nicht genau wissen, wer in welchem Umfang auf die von Ihnen eingestellten Informationen in der Lage sein wird zurückzugreifen.

Allerdings ist auch klar, dass bei einem solch extremen Ansatz die Vorteile einer vernetzten Zusammenarbeit nicht mehr beziehungsweise kaum noch bestehen (Armes 2015, S. 351). Seitens des AIA wird daher auch eine vermittelnde Regelung vorgeschlagen. Nach dieser sollen diejenigen Informationen, die als verlässliche Grundlage für eine Weiterarbeit auch anderer Personen dienen können, gesondert hervorgehoben werden. Die Rede ist hier von einem *Authorized Use*.

Grundlage, um diesen *Authorized Use* kenntlich zu machen, soll der eben erwähnte *Model Element Table* sein. Die Verknüpfung des *Model Element Table* mit dem LOD und dem *Model Element Author* ermöglicht es den übrigen BIM-Nutzern, den Grad der Verlässlichkeit einer Information zuerkennen (AIA 2013, S. 11; Armes 2015, S. 351).

Art. 4 des *Document E203-2013* enthält des Weiteren Regelungen zum Management der Modelldaten (Sec. 4.8) und eröffnet die Möglichkeit der Vereinbarung von Modellanforderungen im Hinblick auf Modellnutzungen in der Betriebsphase des Bauvorhabens (Sec. 4.9).

Unter Art. 5 schließlich können die Vertragspartner individuelle Regelungen aufnehmen.

5.3.2.2 ConsensusDOCS 301 BIM Addendum

Das *ConsensusDOCS 301 BIM Addendum* enthält einleitend einige sog. *General Principles*, die den Anwendungsbereich und die Regelungsintentionen des Mustertexts vorgeben. Das *ConsensusDOCS301 BIM Addendum* ist dazu bestimmt, als Vertragsanlage zu den Verträgen mit allen Projektbeteiligten vereinbart zu werden (Sec. 1.3). Mit den darin enthaltenen Regelungen ist ausdrücklich keine Verschiebung von Verantwortlichkeiten bei den am Planungsprozess Beteiligten intendiert (Sec. 1.5).

Das *301 BIM Addendum* enthält neben Begriffsdefinitionen (Art. 2) detaillierte Regelungen zu

- dem Informationsmanagement (Art. 3),
- dem BIM-Execution-Plan (Art. 4),
- Haftungsfragen (Art. 5) und
- und Fragen des geistigen Eigentums (Art. 6).

Informationsmanagement und BIM-Execution-Plan

Das *301 BIM Addendum* regelt zunächst unter Sec. 3.1 die Notwendigkeit der Benennung eines sog. *Information-Manager* und listet unter Sec. 3.2 die von dem Information-Manager zu erbringenden Einzelleistungen auf. Unter Sec. 3.1 sind Ankreuzkästchen vorgegeben, die eine Zuweisung der Rolle des Information-Managers an den Architekten/Ingenieur, dem ausführenden Unternehmen/Bauleiter oder einem sonstigen, zu benennenden Dritten ermöglicht. Unter Sec. 3.2 sind insgesamt 14 Einzelleistungen des Information-Managers aufgelistet. Die dort genannten Leistungen betreffen im Wesentlichen rein administrativ-verwaltende Aufgaben ohne inhaltlichen Einfluss auf den Planungsprozess (z. B. die Verwaltung von Zugriffsrechten und Protokollierung von Zugriffen, die Pflege und Wartung des Speichersystems sowie die Gewährleistung von Datensicherheit).

Sec. 4.1 regelt, dass sich die Projektbeteiligten innerhalb von 30 Tagen ab Vertragsschluss auf einen BIM Execution Plan einigen sollen. Der Information-Manager soll die Zusammenkünfte der Projektbeteiligten organisieren und leiten (Sec. 4.2). Das *301 BIM Addendum* enthält unter Sec. 4.3 detaillierte Vorgaben zu den Inhalten des BIM Execution Plan.

Haftungsfragen

Das *301 BIM Addendum* enthält unter Sec. 5 eine längere Klausel zu Haftungsfragen. In dieser Klausel wird zunächst klargestellt, dass grundsätzlich jeder Projektbeteiligte für die von ihm gelieferten Daten verantwortlich ist (Sec. 5.1) (In diesem Zusammenhang ist auf den oben erläuterten Regelungsvorschlag einer begrenzten Verantwortlichkeit bzw. Verlässlichkeit von Daten des *AIA* hinzuweisen). Die Haftung des einzelnen wird alsdann insoweit eingeschränkt, als Haftungsverzichte für Vermögensfolgeschäden („*consequential damages*“), die aus der Nutzung von im Projektverlauf erstellten Datenmodellen folgen, zwischen sämtlichen Projektbeteiligten vereinbart werden (Sec. 5.2 [b]). Ferner wird die wechselseitige Haftung für Schäden ausgeschlossen, die dadurch entstanden, dass Modelldaten für andere als die nach dieser Vertragsanlage vorgesehenen Nutzungszwecke verwendet wurden (Sec. 5.6). Es wird des Weiteren bestimmt, dass andere Projektbeteiligte sich nur insoweit auf die Richtigkeit von Datenmodellen verlassen können, wie die entsprechende Informationstiefe des Datenmodells nach den gemäß Sec. 4.3.11 zu erfolgenden Festlegungen innerhalb des BIM Execution Plan geschuldet war (Sec. 5.3). Geregelt ist weiterhin, dass jeder Projektbeteiligte dazu verpflichtet ist, von ihm erkannte Fehler unverzüglich anzuzeigen (Sec. 5.5) und eine Haftpflichtversicherung vorzuhalten (Sec. 5.7). Ferner ist ein Anspruch auf Berücksichtigung von durch softwarebedingte Störungen hervorgerufene Behinderungsfolgen vorgesehen, wobei der Anspruch nicht danach unterscheidet, welche Software verwendet wurde und wer diese zur Verfügung gestellt hatte (Sec. 5.8).

Rechte an Daten (Geistiges Eigentum)

Die Urheberrechtsklausel unter Art. 6 der Vertragsanlage sieht vor, dass sich die Projektbeteiligten wechselseitig nicht ausschließliche Nutzungsrechte zur Nutzung der Beiträge anderer Projektbeteiligter zum Zweck der Förderung des Bauprojekts einräumen (Sec. 6.2). Klargestellt wird allerdings, dass sich die Nutzungsrechtsübertragung für die Nutzung von Modelldaten nach Abschluss des Bauprojekts auf bloße Archivierungszwecke beschränkt und weitere Nutzungszwecke gesondert zu vereinbaren sind (Sec. 6.4) (Brunka 2011). Beachtenswert ist, dass die Übertragung von Nutzungsrechten gegenüber dem Bauherrn widerrufen werden kann, wenn dieser seinen Zahlungsverpflichtungen nicht nachkommt und die Berechtigung der offenen Zahlungsforderung durch Gerichts- oder Schiedsgerichtsurteil festgestellt wurde (Sec. 6.7). In diesem Zusammenhang wird ausdrücklich klargestellt, dass keine Ansprüche gegen Projektbeteiligte, die nicht unterlegene Partei in dem Gerichts-Schiedsgerichtsverfahren sind, geltend gemacht werden können.

Attachment F Building Information Modelling (BIM) Requirements

Diese Vertragsanlage enthält im Wesentlichen detaillierte Beschreibungen für die zu erbringenden BIM-Leistungen. Unter Ziff. 5 wird in Bezug auf die Rechte an den BIM-

Daten geregelt, dass diese dem öffentlichen Auftraggeber (*Attachment F* ist ein Muster der US-Militärbauverwaltung) nach Maßgabe der Regelungen nach „*FAR Part 27*“ zustehen. Bei *FAR Part 27* handelt es sich um Musterklauseln für öffentliche Auftraggeber in den USA zur Regelung der Rechte an bei öffentlichen Beschaffungsvorgängen entstandenem geistigem Eigentum (Patentrechte, Urheberrechte) sowie Musterklauseln zum Datenschutz. Weitere rechtliche Aspekte werden in der Vertragsanlage nicht geregelt.

5.3.2.3 Penn State BIM Addendum Version 2.0 und BIM Execution Plan Template

Bei dem *Penn State BIM Addendum Version 2.0* handelt es sich um eine klassische juristische Vertragsanlage. Sie regelt, nach einleitenden Begriffsdefinitionen, in verkürzter, abstrakter Form wesentliche Leistungspflichten der an der BIM-Planung Beteiligten (Planer und Ausführende, bezeichnet als „*Professional*“ und „*Contractor*“). Definiert werden unter anderem Meilensteine in Form abzuliefernder Modelle unterschiedlichen Detaillierungsgrads (Art. 1.2), Überarbeitungszyklen (Art. 1.4.1: spätestens bis zu jedem Modellübergabezeitpunkt), Beschaffenheitsanforderungen (Art. 1.6 unter Verweis auf weitere Dokumente) und Vorgaben zur Qualitätskontrolle (Art. 1.7). Näher geregelt ist des Weiteren die Erstellung und Überarbeitung des BIM-Projektentwicklungsplans (Art. 2) und einer Auflistung aller einzuhaltender Meilensteine (Art. 3).

Die einzigen rein juristischen Themenstellungen außerhalb der Beschreibung von Leistungspflichten und Verantwortlichkeiten sind die Regelungen unter Art. 4 zu Rechten an Daten und zur Haftung für die Richtigkeit erzeugter BIM-Daten. Hinsichtlich der Rechte an Daten ist geregelt, dass alle Modellautoren dem Bauherrn ein ausschließliches Nutzungsrecht an den BIM-Daten einräumen. Das Nutzungsrecht ist beschränkt auf die Nutzung für die Planung und Ausführung des Bauvorhabens und sonstige sich aus dem jeweiligen Vertragsverhältnis ergebende Nutzungszwecke (Art. 4.1). Die Nutzungsrechtseinräumung erfolgt für die Dauer des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks (Art. 4.1.1).

Was die Haftung für die Richtigkeit der BIM-Daten anbelangt, wird betont, dass die jeweiligen Modellautoren nur für eine bei der Planung und Ausführungen von Bauvorhaben verkehrübliche Sorgfalt einzustehen haben (Art. 4.3). Garantien werden nicht übernommen (Art. 4.3.3).

In dem *BIM Execution Plan Template* werden die Leistungspflichten und Verantwortlichkeiten in für einen BIM-Projektentwicklungsplan typischen Weise differenziert dargestellt. Die Passagen aus dem *Penn State BIM Addendum Version 2.0* zu Rechten an Daten und Haftung werden wiederholt (Ziff. 1.1 und 8.6), im Übrigen enthält das *BIM Execution Plan Template* keine weiteren rechtlichen Regelungen.

5.3.2.4 Indiana University BIM Guidelines and Standards

Die *BIM Guidelines* beschreiben im Wesentlichen den BIM-Workflow und enthalten insofern Beschreibungen der geschuldeten Leistungen. Bemerkenswert ist, dass die *Guidelines* Bezug nehmen auf die Methode *Integrated Project Delivery* (IPD). Dies ist ein Konzept für eine integrative Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten, bei der die vertragliche Ausgestaltung über einen Mehrparteienvertrag erfolgt (Einzelheiten zu IPD bei AIA 2007). Im Übrigen beschränken sich die originär rechtlichen Inhalte auf eine Regelung zu den Rechten an den BIM-Daten (Ziff. 5), die sich ihrerseits darin erschöpft, festzuhalten, dass der Bauherr (hier: die Indiana University) Eigentum über sämtliche Projektdaten erlangt und diese nutzen kann.

5.3.2.5 State of Ohio BIM Protocol

Das *State of Ohio BIM Protocol* beschreibt, wie BIM in Bauprojekten implementiert werden kann. Das Dokument enthält auch einen Abschnitt mit Empfehlungen zu einzelnen Vertragsklauseln, die in die Standard-Planer- und Bauverträge des Bundesstaats Ohio eingefügt werden können, sofern BIM in einem Projekt angewendet werden soll. Die zusätzlichen Vertragsbedingungen enthalten neben Begriffsdefinitionen Regelungen zu den Rechten an Daten und Haftungsverzichte (S. 19 f.).

Empfohlen wird eine Vertragsklausel (Ziff. 9.2.2.1), nach der alle im Zusammenhang mit der Leistung des Planers entstandenen geistigen Eigentumsrechte dem Planer verbleiben, der Bauherr geistiges Eigentum vor dem Zugriff Dritter zu schützen hat und die Nutzung durch Dritte nur nach vorheriger Zustimmung des Planers und der Vereinbarung eines Lizenzentgeltes zulässig ist. Im Übrigen wird in den vom State of Ohio BIM Protocol empfohlenen Vertragsbedingungen dem Bauherrn an allen Zeichnungen, Spezifikationen und sonstigen Projektdokumenten ein umfassendes Nutzungsrecht eingeräumt, welches die Nutzung der Informationen für die Fertigstellung des Projektes, planerische Korrekturen, Änderungen und Renovierungen ohne vorherige Zustimmung des BIM-Autors und ohne finanziellen Ausgleich einräumt. Der Bauherr erhält also ein sehr weitgehendes Nutzungsrecht an sämtlichen Projektinformation, welches seine Grenze im Wesentlichen in der Weitergabe von Daten an Dritte findet.

Die Vertragsklauseln zur Haftung für BIM-Daten (Ziff. 11.7.1) sind äußerst zurückhaltend. Klargestellt wird, dass sich ausführende Unternehmen eigentlich gar nicht auf die Richtigkeit der ihnen zur Verfügung gestellten BIM-Daten verlassen können. Die Verwendung der Daten geschieht auf eigene Gefahr (Ziff. 11.7.1.1); Bauherr und Planer übernehmen keine Haftung für die Richtigkeit der Daten (Ziff. 11.7.1.5) und bei Widersprüchen zwischen BIM-Daten und sonstigen Vertragsdokumenten gehen letztere immer vor (Ziff. 11.7.1.8).

5.3.2.6 VA BIM Guide

Der VA BIM Guide beschränkt sich auf eine Beschreibung der Zusammenarbeit der Projektbeteiligten bei Anwendung der BIM-Planungsmethode unter Angabe von Rollen, Verantwortlichkeiten, Modellierungsanforderungen bis zu BIM-Anwendungsfällen. Gesonderte rein rechtliche Aspekte sind in dem Dokument nicht enthalten.

5.3.2.7 Los Angeles Community College BIM Standards and BIM Standard Template

Die Los Angeles Community College BIM Standards beschreiben ebenfalls ausschließlich die Zusammenarbeit der Projektbeteiligten bei BIM-Vorhaben des Los Angeles Community College. Musterklausel für Vertragszusatzbedingungen oder sonstige rein juristische Regelungen enthält das Dokument ebenfalls nicht.

5.4 Fazit

Nach zunächst in älteren Veröffentlichungen geäußelter Skepsis hinsichtlich der Vereinbarkeit der HOAI mit der Planungsmethode BIM, stellen jüngere Veröffentlichungen mögliche Honorarverschiebungen heraus, halten allerdings eine markt- und aufwandsangemessene Vergütung von Architekten- und Ingenieurleistungen auf Basis der HOAI für möglich.

In der bisher veröffentlichten Literatur zu den vergaberechtlichen Implikationen der Planungsmethode BIM werden insbesondere der Grundsatz produktneutraler Ausschreibung, das Erfordernis, Leistungen eindeutig und erschöpfend zu beschreiben und mögliche Marktverengungen durch die Vorgabe der Anwendung der BIM Planungsmethode problematisiert. Beachtenswert ist, dass die derzeit in Umsetzung befindliche Vergabe-RL BIM-Leistungen explizit erwähnt und überdies die Kommunikation mittels elektronischer Kommunikationsmittel zum Regelfall im Vergabeverfahren erklärt.

Bauvertragsrechtliche Fragen im Zusammenhang mit BIM werden in Deutschland derzeit nur vereinzelt und nur in Bezug auf Einzelprobleme diskutiert. Einheitliche Vertragsstandards sind noch nicht ersichtlich. Anders ist dies im englischsprachigen Ausland. Dort existiert bereits eine Vielzahl von BIM-spezifischen Vertragsmustern unterschiedlichen Detaillierungsgrads. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die im Ausland verwendeten BIM-spezifischen Vertragsmuster im Wesentlichen drei Regelungsbereiche adressieren:

1. Die Beschreibung der geschuldeten BIM-Leistungserfolge und der modellbasierten Zusammenarbeit,
2. die Haftung für fehlerhafte Modelldaten und
3. das geistige Eigentum an den Modellinhalten.

Im Hinblick auf die Beschreibung von geschuldeten BIM-Leistungen kann als sinnvolle Beschreibungstechnik aus dem Ausland die Beschreibung von Werkerfolgen in tabellenartiger Form als Auftraggeber-Informationen-Anforderungen übernommen werden (vgl. § 3.3 AIA Document G202-2013, Appendix 1 CIC BIM Protocol). Nicht überzeugend ist, wie z.B. in AIA Document E203-2013 (dort § 4.5) vorgesehen, die Definition der Auftraggeber-Informationen-Anforderungen auf eine Vereinbarung nach Vertragsschluss zu verschieben. Bei einer solchen Vorgehensweise stellt sich schon die Frage, wie die Leistungen durch einen öffentlichen Auftraggeber, der vergaberechtlich die ausgeschriebene Leistung erschöpfend zu beschreiben hat, ausgeschrieben werden soll. Diese Vorgehensweise schafft zudem Störungspotenziale, wenn erst nach Beauftragung wesentliche Leistungsinhalte noch festzulegen sind. Im Übrigen sind BIM-spezifische Leistungen nur äußerst generisch und mit Ausfüllfeldern beschrieben.

Auffallend ist bei einer Vielzahl der Haftungsklauseln in den unterschiedlichen Vertragsbedingungen, dass diese oftmals Haftungsbeschränkungen vorsehen, bei denen zu hinterfragen ist, ob diese in deutschen BIM-Vertragsbedingungen erforderlich sind. Der Grundsatz sollte vielmehr sein, dass sich nach der vertraglichen Verantwortlichkeit des Einzelnen auch seine Haftung richtet und, wie auch bereits bisher, er sich für seine Leistungsbeiträge verantworten muss. In der derzeitigen Baupraxis kommt es gerade bei Großprojekten leider immer wieder zu massiven Störungen aufgrund von Planungsfehlern. Eine Reduzierung von Haftungsverantwortlichkeiten ist vor diesem Hintergrund nicht angezeigt.

Die teilweise sehr ausführlichen Regelungen zu Urheberrechten können als sinnvolle Hilfestellung für Urheberrechtsklauseln in deutschen Vertragsmustern dienen. Urheberrechtsfragen stellen sich im internationalen Kontext weitgehend ähnlich: Der Umfang der Einräumung urheberrechtlicher Nutzungsrechte an der geistigen Schöpfung des Planers ist im Ausland wie in Deutschland zu definieren und in dem Vertrag festzuschreiben.

Insgesamt ist zu resümieren, dass die rechtswissenschaftliche Aufarbeitung der Auswirkungen der Methode BIM auf die Planung und Ausführung von Bauvorhaben und deren rechtliche Regelung in Deutschland noch am Anfang steht.

6 BIM-Praxisprojekte

Einzelne BIM-Ansätze, sogenannte BIM-Anwendungsfälle, werden schon seit einigen Jahren erfolgreich im Rahmen von nationalen und internationalen Infrastrukturprojekten eingesetzt. Auf Basis von veröffentlichten Projektinformationen und durchgeführten Befragungen werden im Rahmen dieses Kapitels ausgesuchte **BIM-Anwendungen** im Bereich Straße, Schiene, Tunnel und Brücke vorgestellt.

6.1 Internationale Infrastrukturprojekte

6.1.1 Regional Road 22, Norwegen

Für die frühe Planungsphase der *Regional Road 22* hat die norwegische Straßenbaubehörde auf den Variantenvergleich durch 3D-Modelle gesetzt. Voraussetzung für die Projektvergabe war die Einreichung von verschiedenen Ausführungsvarianten einer Flussüberquerung in Form von 3D-Modellen. Die konzeptuellen Entwürfe wurden hierbei in bereits bestehende Landschaftsmodelle integriert und mit den existierenden Verkehrswegen verknüpft. Dies war von besonderer Bedeutung für die architektonische Bewertung der Bauwerke und somit auch für ein besseres Verständnis, das die Bevölkerung für das Projektvorhaben bekam. Ohne schon detaillierte Ausführungspläne zu kreieren, wurden zeitsparend die Konzeptmodelle erstellt und zur Bewertung freigegeben. Die hierbei entstehende visuelle Kommunikation wurde von allen Projektbeteiligten als sehr positiv und effizient bewertet. Zusätzlich konnten bereits vor Projektbeginn mögliche Missverständnisse zwischen den Anforderungen und Ideen des Auftraggebers und möglichen bautechnischen Einschränkungen durch den Auftragnehmer behoben werden.



Abbildung 59: Visualisierung einer Brücke auf der Regional Road 22 in der Nähe von Oslo (Quelle: Autodesk Customer Success Story – Multiconsult AS)

6.1.2 North West Rail Link, Australien

Die Stadtverwaltung von Sydney entschied im Jahr 2010, den Einsatz von BIM für die neu aufgelegten Planungen des North West Rail Link vorzuschreiben. Das Projekt umfasste 8 Metro-Stationen und insgesamt 15 km aufzufahrende Tunnelstrecke mit einem Investitionsvolumen von ca. 5,5 Milliarden Euro. Durch die verschiedenen Fachbereiche wurde die BIM-Methodik als Arbeitsprozess etabliert und in regelmäßigen Koordinationsworkshops die einzelnen Fachmodelle zusammengeführt. Bis zum heutigen Stand sehen die Projektbeteiligten eine deutliche Verbesserung in der Zusammenarbeit sowie einen großen Vorteil in der Vermeidung von Abstimmungsfehlern durch die Kollisionsprüfung einzelner Gewerke.

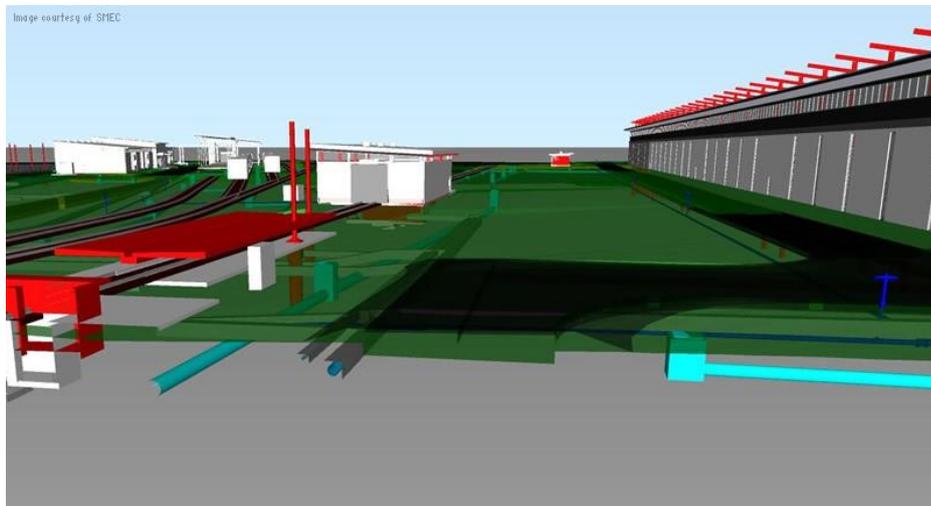


Abbildung 60: Zusammenführung verschiedener Teilmodelle zur Koordination (Quelle: Autodesk Customer Success Story – SMEC)

6.1.3 Hallandsas Tunnel, Schweden

Die BIM-gestützte Planung von Schwedens Hallandsas Tunnel im Jahr 2015 gilt als erstes und am weitesten ausgereiftes offizielles BIM-Pilotprojekt, welches durch das schwedische Zentralamt für Verkehrswesen Trafikverket durchgeführt wurde.

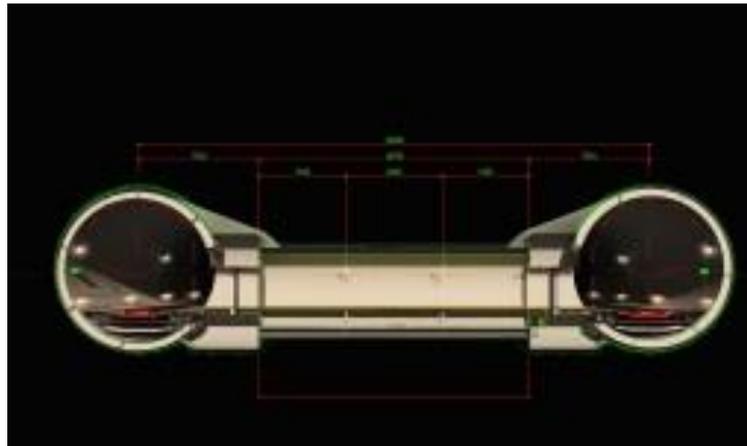


Abbildung 61: Kollisionskontrolle auf Basis von zusammengeführten Teilmodellen¹³
(Quelle: Sweco/ Trafikverket)

Im Zuge des Projekts wurde die Sweco GmbH mit der Erarbeitung der BIM-Strategien und der Koordinierung der unterschiedlichen Projektpartner beauftragt. Das Ziel bestand darin, einen effizienten Einsatz der BIM-Prozesse zu gewährleisten, das Zeitmanagement zu optimieren sowie eine konsistente und ständig aktuelle Datengrundlage für die parallele Planung und Konstruktion von Tunneln und der dazugehörigen Infrastruktur zu gewährleisten. Hierfür wurde mit der Software Bentley 3D / Bentley Navigator ein integriertes 3D-Modell aufgebaut und für einen kollaborativen Planungsprozess über den gesamten Projekt-Lebenszyklus eingesetzt. Die aktuellen Daten und deren Visualisierung im 3D-Modell ermöglichen es, Veränderungen zu simulieren und mögliche Effekte zu antizipieren. Ebenso erleichtern sie die Koordinierung zwischen den Projektbeteiligten und technischen Beratern. Sweco und Trafikverket haben im Zuge des Projekts eine standardisierte 3D-Objektbibliothek aufgebaut, welche einen Wiedereinsatz einzelner Module in späteren Projekten ermöglicht. Das Resultat ist ein Modell, welches Planung und Objekteigenschaften visualisiert, automatische Zeichnungen und Berichte erstellt sowie Simulationen und Analysen erleichtert.

6.1.4 Motorway Gdąnsk-Torún, Polen

Dieses Großprojekt umfasst die Planung und den Bau einer der wichtigsten Transportstraßen in Polen und Europa (Teil der Trans-European Transport Route von Gdąnsk nach Wien). Aufgrund der Dimension des Projekts (gesamte Länge: 152 km) war eine präzise Arbeitsplanung unerlässlich. Die Maschinen wurden mit GPS-Systemen ausgestattet, was eine simultane und präzise Koordinierung mit Hilfe der 3D-Modelle ermöglichte. Des Weiteren wurden 3D-Modelle für Erdmassenausgleichsberechnungen sowie temporäre Straßen-, Infrastruktur- und Baustellensimulationen eingesetzt. Durch

¹³<http://www.nce.co.uk/features/geotechnical/bim-at-swedens-hallandss-tunnel-planning-pioneer/8663146.article>

Anwendung einer eigens hierfür unternehmensintern entwickelten 3D-Visualisierungssoftware war es möglich, Maschinen je nach Wetterlage und Bedarf rechtzeitig an die entsprechenden Baustellen zu liefern. Hierbei hatten alle Beteiligten Zugriff auf die 3D-gestützten Systeme, was eine flexible und zeitnahe Reaktion bei Planungsänderungen ermöglichte. Diese präzise Koordinierung und der flexible Einsatz der Maschinen führten zu einem erheblichen Zeitgewinn. Die beständige 3D-Visualisierung des Baufortschritts verbesserte die Kommunikation zwischen Projektpartnern und Auftraggeber bezüglich Projektstand, Budgetkosten und Zeitplanung.

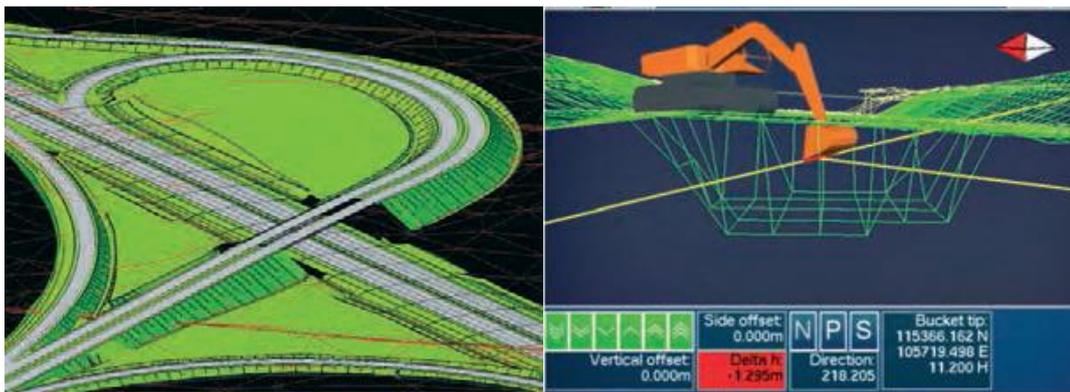


Abbildung 62: Visualisierung und Steuerung von Erdbauarbeiten¹⁴

(Quelle: Gdańsk Transport Company S.A.)

6.1.5 Crusell's Bridge, Finland

Das Modell der Crusell's Bridge in Finnland ist eines der detailliertesten BIM-Projekte derzeit. Im gesamten Planungsprozess wurde BIM eingesetzt. Das 3D- und 4D-Modell beinhalten die gesamte Brücke inklusive aller Bewehrungen und weiterer Details. Das 4D-Modell ermöglicht es zudem, die Konstruktionsweise mit einem hohen Detaillierungsgrad zu visualisieren und dadurch für den Auftraggeber verständlich zu machen. Ebenso kann die Umsetzung und Zielvorstellung vor Beginn des Projekts abgestimmt werden. Nach Fertigstellung wurde die gesamte Brücke per Laserscan aufgenommen und ein einfach handhabbares Modell der Punktwolkendaten an den Auftraggeber übergeben. Das komplette Modell wird für zukünftige Renovierungs- und Reparaturarbeiten weiterverwendet.

¹⁴<http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/bim-projects/bim-a1-motorway.pdf>

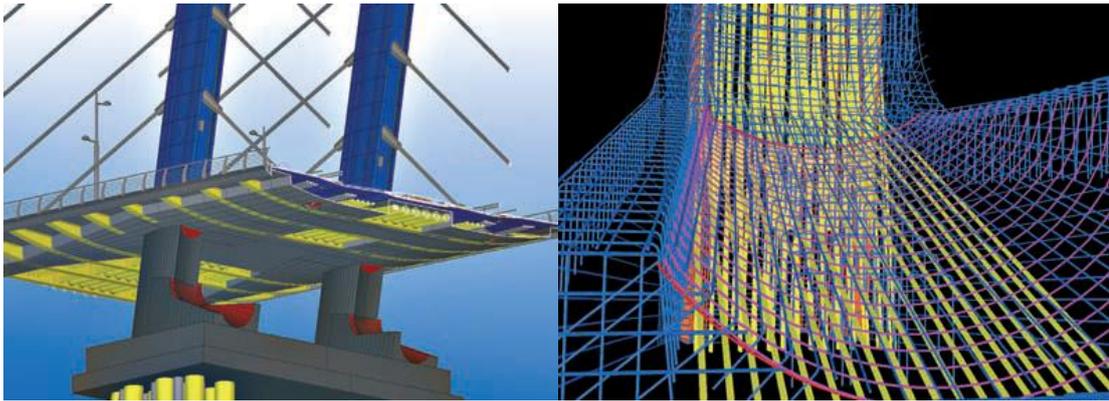


Abbildung 63: Visualisierung der Brückenkonstruktion inkl. Bewehrungsführung¹⁵
(Quelle: Skanska AB)

6.1.6 Crossrail, UK

Das momentan größte Infrastrukturprojekt in Europa verbindet den Osten mit dem Westen Londons über ein unterirdisches Schienennetz. Die deutlich höhere Kapazität der neuen Züge verlangt eine komplette Umstrukturierung des bestehenden U-Bahn-Netzes inkl. Ticketschaltern und Zugängen. Die öffentlichen Erholungsgebiete an der Oberfläche müssen nach Vollendung des Baus wiederhergestellt werden. Ebenso werden archäologische Funde vermutet, die das Zeitmanagement deutlich beeinträchtigen könnten. Die Leistung umfasst zudem die Beurteilung und Einschätzung der eintretenden Setzungen sowie möglicher Schädigungen der bestehenden Infrastrukturen.

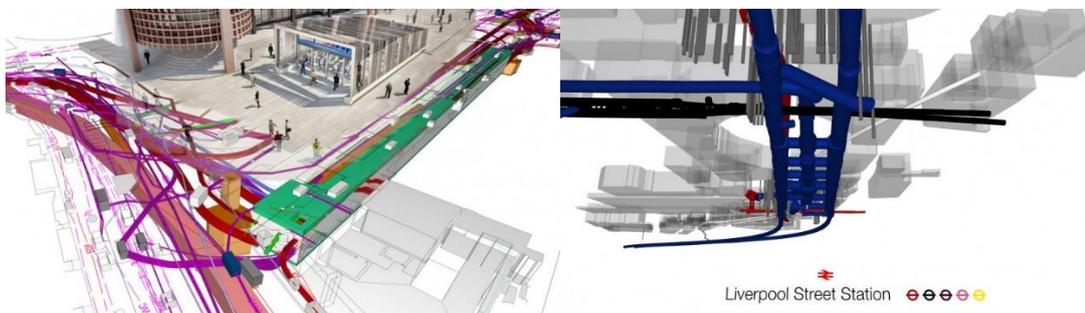


Abbildung 64: Visualisierung von Versorgungsleitungen im Bereich der Liverpool Street Station¹⁶ (Quelle: Crossrail UK)

Das virtuelle Crossrail-Modell inklusive der zu bauenden Umgebung ermöglicht eine explizite Absprache zwischen den Projektpartnern und dem Auftraggeber sowie Zulieferern. Die Planung kann so verbessert und rechtzeitig optimiert werden. Das Modell bietet insbesondere geprüfte, aktuelle und vollständige Informationen für jeden Projektpartner. Einer der Hauptvorteile, die sich durch den Einsatz von BIM ergeben, stellt ein verbessertes Risikomanagement durch die Integration von Planungs- und

¹⁵http://group.skanska.com/globalassets/about-us/building-information-modeling/benefits-of-bim/skanska_bim_building_quality.pdf

¹⁶ <http://www.crossrail.co.uk/construction/building-information-modelling/>

Konstruktionsprozessen dar. Die ständig aktuell gehaltenen Daten führen zu einer verbesserten Zusammenarbeit und wirken redundanten Arbeitsprozessen entgegen. Ebenso wird dem Datenverlust zwischen unterschiedlichen Projektphasen vorgebeugt und das Verständnis über das Bauvorhaben und den aktuellen Bauzustand verbessert.

6.1.7 TransCanada Highway, Kanada

Der TransCanada Highway verbindet Vancouver mit dem Rest von Kanada. Innerhalb des Gateway-Programms war der Ausbau der Fahrbahn, die Renovierung bestehender sowie die Konstruktion neuer Autobahndreiecke und Zubringer vorgesehen. Normalerweise besteht die Schwierigkeit bei der Erweiterung von Fahrbahnen und Autobahnkreuzen darin, diese in die bereits bestehende Infrastruktur einzubinden. Für diese Herausforderung wurde ein BIM-Modell aufgebaut, welches Laserscans und eine große Menge Daten aus Vermessungen enthielt. Der aktuelle Planungsstand konnte so im Modell abgebildet und ein Soll-Ist-Vergleich abgeleitet werden. Durch die im 3D-Modell implementierten Komponenten zur Erfassung der Oberflächen, Strukturen, Volumina und Materialien konnten Auf- und Abtraganalysen direkt kalkuliert werden. Ebenso konnten die Koordinaten für den aktuellen Einsatz der Erdbaumaschinen an die Maschinenführer gesendet werden. Dies erhöhte die Exaktheit von Planungs- und Koordinierungsaufgaben.



Abbildung 65: Visualisierung eines komplexen Verkehrsknotens¹⁷
(Quelle: Mott MacDonald Limited)

¹⁷ <https://www.mottmac.com/article/2440/port-mann-highway1-canada>

6.1.8 Metro Doha, Katar

In der Stadt Doha in Katar wird anlässlich der FIFA Fußball-Weltmeisterschaft 2022 derzeit ein modernes U-Bahn-Netz erstellt. Das im Jahr 2011 ausgeschriebene Milliardenprojekt ist ein integraler Teil des Qatar Rail Entwicklungsprogramms bzw. Qatar Integrated Railway Project (QIRP). Die vier Hauptlinien des U-Bahn-Netzes, ca. 90 km Strecke (50 % Tunnel) und ca. 30 Stationen (24 unterirdisch) umfassend, werden im Zentrum von Doha unterirdisch geführt und am Stadtrand hauptsächlich oberirdisch verlaufen. Die Green Underground Line ist der unterirdische Teil einer der vier Hauptlinien des Metro Doha Projekts. Dafür wurde als BIM-Software ProjectWise von Bentley angewendet, dessen Workflows und Zuständigkeiten entsprechend dem British Standard BS 1192-2 aufgesetzt sind. Als EDV-Anwendung wurde Revit (Autodesk) als interaktives CAD-System genutzt, mit dem alle Dokumente (Berichte, Pläne, Modelle) des Projekts, aber vor allem die Modelle koordiniert wurden. Das Dokumentenmanagementsystem für die Übergabe von offiziellen Einreichungen war Aconex. Das Tender-Design wurde in konventioneller 2D-Planung erstellt. Alle weiteren Phasen der Entwurfs- und Ausführungsplanung erfolgten mittels BIM. Das Modell galt bei der Ausführung als verbindliche Planungsgrundlage und wurde auch an den Auftraggeber weitergegeben. Ob weitere Teilkomponenten des Modells noch für andere Bauprozesse wiederverwendet werden können und sollen, steht noch zur Diskussion.

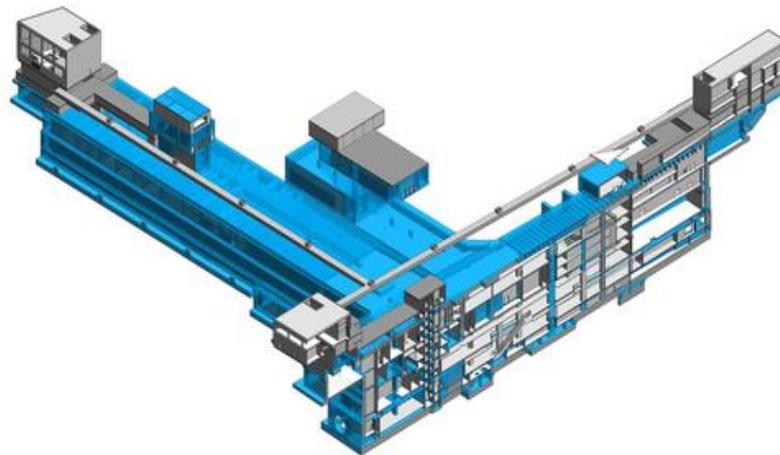


Abbildung 66: Visualisierung einer U-Bahn-Station der U-Bahnlinie „Education Green Line“¹⁸ (Quelle: SSF Ingenieure AG)

6.1.9 E16 Nybakk – Slomarka, Norwegen

Die Autobahnbrücke E16 Nybakk – Slomarka wurde von COWI A/S im Jahr 2012 geplant. Das Gesamtprojekt beinhaltet eine vierspurige Autobahn mit einer Gesamtlänge von 32 km, 5 Kreuzungen, 3 Brücken und 15 Flyovers und stellt bis dato mit einer Bausumme von 7000 Mio. NOK den größten Auftrag von NPRA dar.

¹⁸ <http://www.ssf-ing.de/en/projects/project-details/references/Reference/detail/metro-doha-katar-1.html>

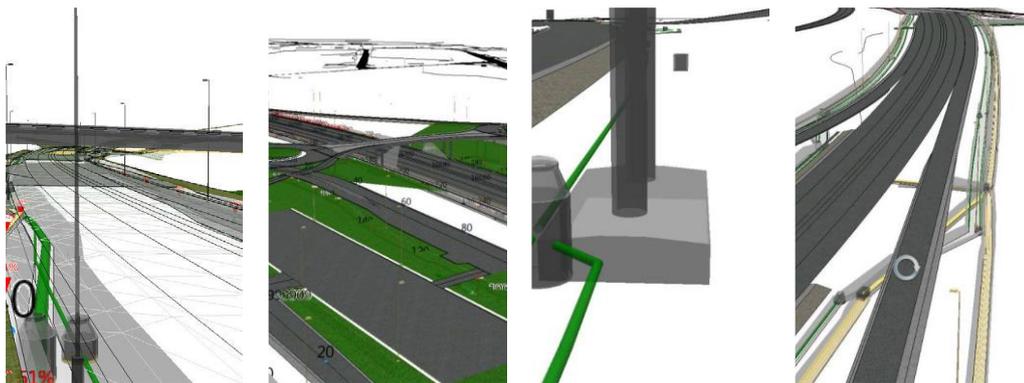


Abbildung 67: Kollaborationsmodell Autobahnbrücke E16¹⁹

(Quelle: COWI A/S)

Bereits im Vorentwurf kamen verstärkt BIM-Methoden zum Einsatz. Eine besondere Herausforderung in diesem Projekt galt der Koordinierung der unterschiedlichen Projektpartner. Das Bauvorhaben betraf grenzübergreifend zwei Provinzen unter Beteiligung von insgesamt drei unterschiedlichen Stadtverwaltungen. Die Daten und Modelle mussten nach Anforderungen des Handbuchs HB V770 übergeben werden. Die für die Planung eingesetzte Software war Autodesk InfraWorks.

6.1.10 Project E6 / Dovre line, Norwegen

Das Projekt E6 / Dovre line ist ein Auto- und Eisenbahn Projekt von COWI. Es umfasst eine vierspurige Autobahn mit einer Gesamtlänge von 22 km und eine 17 km lange Dual-Bahn. Für die Entwurfsphase und die Konstruktionsterminplanung wurde die Software Autodesk NavisWorks und Virtual Map eingesetzt.



Abbildung 68: Kollaborationsmodell Dovre Line¹⁹

(Quelle: COWI A/S)

Vorteile waren eine bessere Kommunikation zwischen allen beteiligten Parteien und ein stärkerer Fokus auf die Disziplinen während des Planungs- und Bauprozesses. Ebenso wurde die Menge nachträglicher Änderungen und Anpassungen durch eine bessere Abstimmung während des Planungsprozesses reduziert (10 % weniger Änderungsaufträge im Vergleich zu herkömmlichen Projekten). Das Resultat ist ein schlankerer, effektiverer Bauprozess und eine einfachere Verwaltung für den Kunden.

¹⁹http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/3_Dahl_BIM%20infrastruktur%20i%20COWI2.pdf

6.1.11 Südgürtel Graz, Österreich

Die PORR AG, eines der größten und traditionsreichsten Bauunternehmen Österreichs und eines der führenden in Europa, hat als Leitsatz „Zukunft innovativ gestalten“ gewählt und setzt in diesem Sinne seit 2011 die modellbasierte BIM-Arbeitsweise in ihren Geschäftsprozessen ein. PORR verwendet die BIM-Methoden in diversen Projekten, um die Planung eines Infrastrukturobjekts in einem digitalen Modell vom Konzept bis zur Fertigstellung zu realisieren.

Beim Eisenbahnprojekt Südgürtel Graz hat PORR mittels BIM ein Modell erstellt, welches es den Planern ermöglicht, Kalkulationsmassen, Einbauten, Arbeitsfortschritte, Terminpläne sowie Abrechnungsunterlagen zu erstellen und sachgerecht zu dokumentieren.

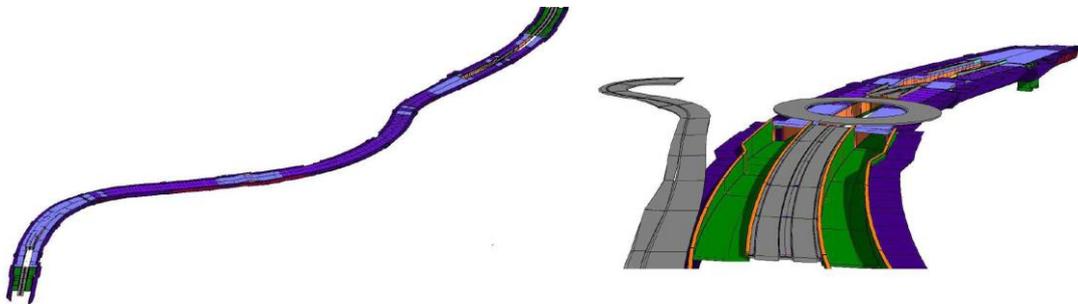


Abbildung 69: BIM-Modell und die daraus entstandene Dokumentation für den Südgürtel Graz²⁰ (Quelle: Porr AG)

Dabei können die Beteiligten von dem Mehrwert beim Einsatz von BIM profitieren: Minimierung von Planungsfehlern, kürzere Entscheidungsprozesse, vernetzter Informationsfluss, Datenkonsistenz, Zeit- und Kostenersparnis. Um die Prozesse und Arbeitsweisen im Unternehmen einzuführen, ist es wesentlich, ein BIM Competence Center als eigene Organisationseinheit und Dienstleister zu schaffen, das das Know-how bündelt und die Strategie definiert und verfolgt. In der PORR-Gruppe wird diese Funktion durch das BIM-Management, eine Gruppe innerhalb der Tochter PORR Design & Engineering GmbH, wahrgenommen. Die über viele Jahre angeeigneten, alten Arbeitsweisen und Kommunikationswege wurden aufgegeben. Dabei spielt die EDV eine wesentliche Rolle in der Vernetzung und Datenübertragung. Es müssen interne Prozesse und Strukturen geändert werden, da die bloße Anschaffung von Soft- und Hardware nicht ausreicht. Die Akzeptanz der Anwender (Mitarbeiter) ist der Schlüssel für eine erfolgreiche BIM-Einführung und muss vor allem durch Praxiserfahrung erreicht werden. BIM wurde für die Kontrolle der Kalkulationsmassen, die Dokumentation des Arbeitsfortschritts, die Aktualität der Terminplanung sowie zur Überwachung des Leistungsfortschritts eingesetzt.

²⁰ http://www.fcp.at/sites/default/files/pdf_imported/news/2014-07_bim5_bim_in_der_infrastruktur.pdf

6.1.12 M20 Cork to Limerick Motorway, Irland

Die vorgeschlagene Cork-Limerick Motorway umfasst etwa 80 km einer neuen Autobahn zwischen Blarney und Patrickswell. Mittels BIM hat ARUP im Rahmen dieses Projekts eine Variantenstudie durchgeführt. Die Verknüpfung von CAD-Daten (2D und 3D) mit Terminplänen (4D = Zeit) ermöglicht die Entwicklung von interaktiven Simulationen der Konstruktionsarbeiten. Bestehende und geplante Leistungen können einfacher modelliert und koordiniert werden, was insbesondere bei der Einbindung von externen Projektpartnern positiv zum Tragen kommt. Auf Basis realer Infrastrukturmodelle werden Auf- und Abtragskalkulationen optimiert und die Ausführungsplanung kann akkurat, basierend auf realen Daten, umgesetzt werden.

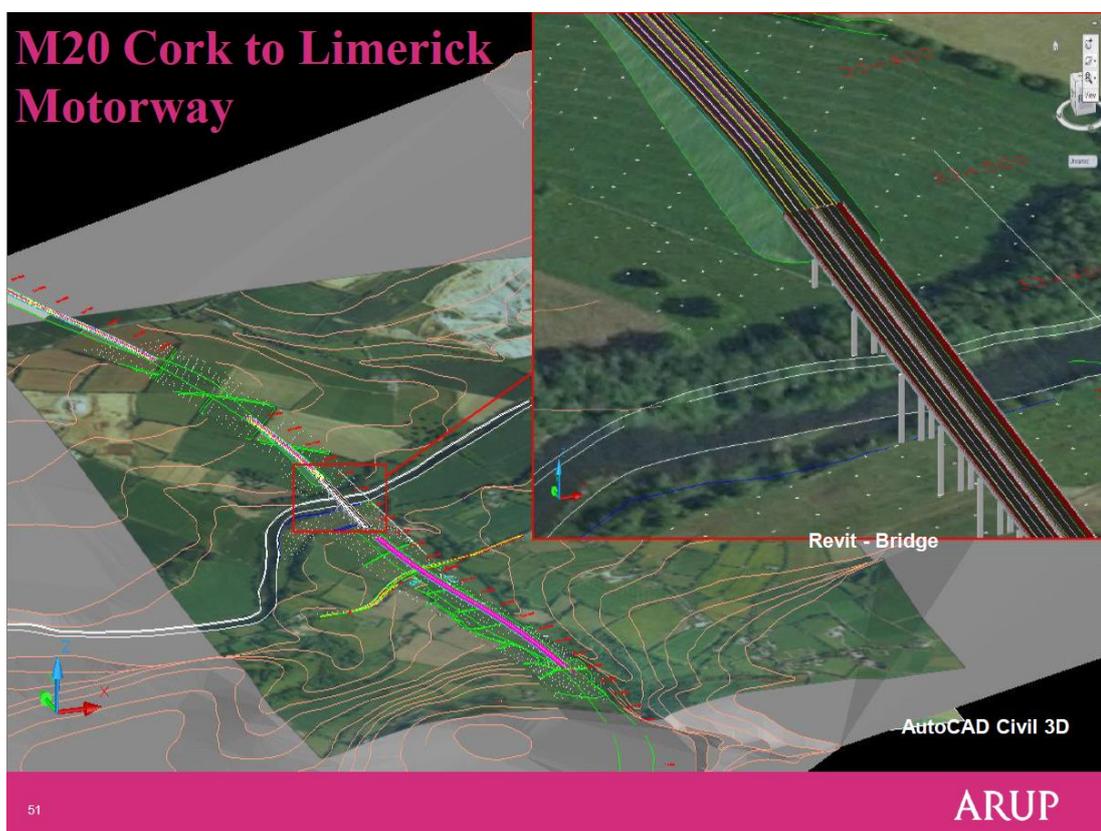


Abbildung 70: Zusammenführung von Brückengeometrie und digitalem Geländemodell²¹ (Quelle: ARUP)

6.1.13 London Power Tunnels, UK

Das Projekt umfasst die Planung und Konstruktion eines Kabeltunnels in der Metropole London. Eine Vielzahl von Unternehmen aus diversen Disziplinen sind an den insgesamt 16 Arbeitspaketen beteiligt. Die Projektlaufzeit beträgt 7 Jahre. Die Firma ARUP ist für die Durchführung und das Prozessmanagement verantwortlich, was die Koordination von

²¹ <https://www.engineersireland.ie/EngineersIreland/media/SiteMedia/groups/Divisions/structures/3-JD-Presentation-April-2012.pdf?ext=.pdf>

Als zentrale BIM-Ziele für das SCM des Projekts wurden die Nutzung von BIM-Level 2 definiert. Hierbei wird BIM als zentrale Methode zur Organisation und Speicherung von Daten und Informationen über alle Projektphasen festgelegt. Große Probleme ergaben sich durch noch nicht endgültig festgelegte Standards. – Hinzu kamen fehlende Erfahrungswerte der Unternehmen bei der Nutzung von BIM in horizontalen Infrastrukturprojekten.

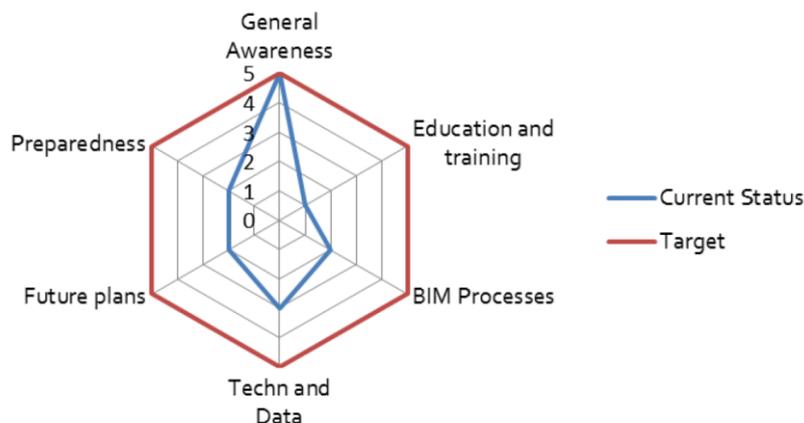


Abbildung 72: Befragung zur Expertise in verschiedenen Aspekten der BIM-Methodik
(Quelle: Mace Limited 2013)

Für die Ausführung wurde neben dem kollaborativen Arbeiten an einem 3D-Modell und dem strukturierten Datenmanagement von semantischen Informationen auch die Verifikation und Validierung der gespeicherten Daten festgeschrieben. Aus dem konsistenten Datenmodell sollen anschließend Investitions- und auch Betriebskosten abgeleitet und kalkuliert werden.

Positive Erfahrungen des Crossrail-Projekts zeigten, dass neben der Notwendigkeit klarer technischer Spezifikationen und Prozessdefinitionen, der Einbeziehung der prozessausführenden Personen eine hohe Wichtigkeit beigemessen werden muss. Die Durchführung umfangreicher Konferenzen und Kongresse schon in der frühen Planungsphase brachte Projektplaner und mögliche ausführende Unternehmen noch vor Auftragsvergabe zusammen. Diese Treffen wurden von den Projektplanern als notwendig betrachtet, um den aktuellen Erfahrungsstand der Industrie für die Verwendung von BIM im SCM zu bewerten und somit mögliche Grenzen in der Anwendung aufzuzeigen. Zusätzlich wurden diese Treffen als erste Schulungsmaßnahmen betrachtet. Durch die frühzeitige Kommunikation von Visionen und Zielen des Projekts konnten mögliche Potentiale, aber auch zu erwartende Probleme erkannt werden.



Abbildung 73: HS2 Workshop zu BIM für das Supply-Chain-Management (Quelle: Mace Limited 2013)

Bekannte Probleme haben häufig direkten Bezug zu unzureichenden technischen Standards und unklaren rechtlichen Rahmenbedingungen. So führen die fehlenden bzw. sich ändernden Standards häufig zu unklaren Definitionen des BIM-Execution-Plans und verhindern damit eine effiziente Umsetzung der Ziele. Auch die im Vertragswerk fehlenden Definitionen zur Erstellung von Modellen und dem dazugehörigen Detaillierungsgrad (Level of Detail) wurden als Hemmschwelle zur Nutzung von BIM erkannt. Insbesondere die fehlenden Standards zum Datenaustausch - hier konkret fehlende IFC-Erweiterungen für den Infrastruktursektor - verhindern das konsequente Umsetzen der Kollaboration und des Datenmanagements. Innerhalb der Unternehmen wurde häufig eine hohe Konzentration von BIM-Kompetenzen bei einzelnen Personen genannt. Auch wurden Bedenken bezüglich der Vernetzung verschiedener Unternehmen im Projektkontext genannt, da weiterhin keine Klarheit über die Nutzungsrechte der generierten Daten und Modelle existiert. Eine der wichtigsten Forderungen der Befragten war die konsequente Umsetzung des digitalen Datenmanagements und somit die Abschaffung der Möglichkeit, Informationen auch in undefinierter Dokumentenform auszutauschen.

6.2 Nationale Infrastrukturprojekte

Veröffentlichungen zu BIM-Anwendungen für Infrastrukturprojekte in Deutschland sind aktuell noch sehr wenig verfügbar. Im Rahmen der Materialsammlung wurden einzelne deutsche Unternehmen der deutschen Bauwirtschaft kontaktiert und interviewt. Die einzelnen Ergebnisse werden im Folgenden aufgeführt.

6.2.1 BIM bei der Schüsslerplan GmbH

Die „Hohe Schaar“ ist ein Brückenbauwerk in Hamburg, bei der die Schüsslerplan GmbH mit der Tragwerksplanung und Objektplanung beauftragt wurde. Die Besonderheit bei diesem Projekt stellt der Kreuzungspunkt zweier Brücken dar. Obgleich das Modell nicht die verbindliche Planungsgrundlage darstellte, konnte BIM gewinnbringend eingesetzt werden: laut eigener Aussage insbesondere in der Außendarstellung vor dem Auftraggeber sowie bei der Fehlerminimierung von Planung und Entwurf. Es verbesserte und vereinfachte die Mengenermittlung und die damit verbundene Kostenschätzung und brachte dem Unternehmen einen Erfahrungsgewinn mit BIM. Teilkomponenten des Modells (u.a. Geländer und Basisbauteile) können wiederverwendet werden.

Ein weiteres Projekt der Schüsslerplan GmbH beinhaltet die Tragwerksplanung einer Brücke aus Stahlbeton in Aachen. Die Besonderheit besteht in einer schiefwinkligen Platte mit variablem Quergefälle und Vorspannung. Hier wurde eine BIM-Software projektbegleitend eingesetzt. Die Vorteile durch den Einsatz von BIM ergaben sich auch hier durch die Visualisierung und den Erfahrungsgewinn mit BIM.

6.2.2 BIM bei der Max Bögl Bauservice GmbH und Co. KG

Bei der Max Bögl Bauservice GmbH und Co. KG wird die Einführung von BIM bereits seit 2003 verfolgt. Die Anwendungsbereiche und der Detaillierungsgrad der Modelle variieren je nach Projekt, werden jedoch in allen Bauphasen zur Projektabwicklung verwendet. In der Akquise- und Angebotsphase steht hierbei die fotorealistische Visualisierung im Vordergrund, um Bauwerke mit ihrer Umgebung darzustellen. Hinzu kommen Bauablaufvisualisierungen, teilweise unter Einbindung der einzusetzenden Bau- und Bauhilfsgeräte sowie die Kostenplanung durch teilautomatisierte Mengenermittlungen. Die Verknüpfung der Modelle mit Flächenterminplänen verbessert das Zeitmanagement und gibt dem Controlling einen aktuellen Stand der Soll-Ist Abweichungen. Durch das firmeninterne Webportal haben alle Beteiligten Zugriff auf das Modell, um erforderliche Daten abzurufen und Baufortschritte zu aktualisieren. Im Infrastrukturbereich können dreidimensionale Modelle mit digitalen Geländemodellen verbunden werden und somit Aufschluss über die Auf- und Abtragsbereiche geben. Weitere Einsätze finden die Modelle in der Baustellen- und Montageplanung beim Brückenbau sowie bei der Massenermittlung von Erdarbeiten.

6.2.3 BIM bei der SSF Ingenieure AG

Hauptsächlich wird bei der SSF Ingenieure AG die Software Autodesk Revit und Siemens NX eingesetzt. Speziell in der Infrastruktur wird für den Entwurf und die Konstruktion von Brückenbauwerken BIM-Software eingesetzt, um insbesondere Neigungen zu berücksichtigen und diese realitätsnah abzubilden.

Ein BIM-Projekt der SSF Ingenieure AG ist die Vorlandbrücke Stralsundquerung Rügen. Hier erfolgte die Planung zwar zweidimensional, einzelne Bauteile wie die Brückene Pfeiler wurden jedoch dreidimensional untersucht und dienten zur Ermittlung der optimalen Bewehrungsverteilung. Das virtuelle Modell dient dabei der Kontrolle, der Untersuchung sowie der Veranschaulichung des finalen Bauprojekts.

Bei einem weiteren Projekt, der Brücke über die B299 Sengenthal, bestand die Aufgabe in der Konstruktion einer einfeldrigen Stahlverbundbrücke über einem bestehenden Kanal. Die erste Herausforderung ergab sich aus in den topografischen Gegebenheiten, die durch bewegtes Gelände, schräge Hanganschnitte und sandigen Boden charakterisiert waren. Hinzu kam die Dimension der Großfertigteile (Länge 47 m) und deren Andienung über eine zu errichtende Baustraße. Das digitale Geländemodell ermöglichte eine exakte Massenermittlung sowie eine virtuelle Visualisierung der Brücke und ihrer Umgebung. Für die Simulation des Bauablaufs wurde das digitale Geländemodell mit dem Modell des Brückenbauwerks verbunden.

Für die Planung eines Überfliegers über die Bundesautobahn A9 am Autobahnkreuz Neufahrn wurde zunächst mit Hilfe von Laserscans ein digitales Geländemodell aufgebaut. Dies hat den Vorteil, dass die lichten Höhen der Bestandfahrbahn exakt erfasst werden können. Das Projekt wurde komplett dreidimensional geplant und alle Verkehrsphasen konnten auf Kollisionen überprüft werden.



Abbildung 74: 3D-Entwurfsplanung des Überfliegers basierend auf dem 3D-Geländemodell (Quelle: SSF Ingenieure AG)

Die Hamburg Port Authority (HPA) plant für die Querung der Süderelbe durch die Hafentunnel den Neubau der Bahnbrücke Kattwyk (BW 220) in Form einer zweigleisigen Hubbrücke. Im Zusammenhang mit diesem Bauvorhaben werden jeweils landseitig (Landseite West = Moorburg; Landseite Ost = Hohe Schaar) für die Andienung der Hafentunnel, die Neuordnung der örtlichen Straßenverkehrsführung und für die Anpassung des Hochwasserschutzes (HWS) umfangreiche Baumaßnahmen erforderlich. Neben den Linienbauwerken (Hafentunnelstrecken, Straßenführungen und Hochwasserschutzwände) handelt es sich dabei u. a. um verschiedene Brückenbauwerke, Stützwände und Betriebsgebäude.

Das hier dargestellte Bauwerk 223 überführt kreuzungsfrei die Kattwykstraße über den Kattwykdamm sowie die neuen Bahngleise der Neuen Bahnbrücke Kattwyk. Die Kattwykstraße bindet im Südosten wieder in den Kattwykdamm ein. An den Widerlagern werden jeweils Rampen mit den Längen 100 m und 32 m vorgesehen. Die eingesetzte BIM-Software für die Ausführungsplanung (Lph. 4 u. 5) war NX (Siemens) als interaktives CAD-System. Das generierte Modell stellte bei der Ausführung die verbindliche Planungsgrundlage dar und wurde an den Auftraggeber weitergegeben. Laut Umfrage ergaben sich hierdurch Vorteile bei der Koordination aller Planungsbeteiligter. Die Übersichtlichkeit ermöglichte eine einfachere Kollisionsprüfung und durch das gemeinsame Arbeiten an einem Modell konnten Fehler vermieden und eine höhere Qualitätssicherung gewährleistet werden. Einheitliche Bauteilkataloge garantierten einheitliche Standards.

6.2.4 BIM bei der Obermeyer Planen und Beraten GmbH

Der Gesamtplaner Obermeyer setzt bereits seit über 50 Jahren auf die computergestützte Planung. BIM gilt als zentrale Arbeitsmethode bei Obermeyer und wird durch spezialisierte Organisationseinheiten im Unternehmen weiterentwickelt und vorangetrieben. Ziel ist eine verstärkte Integration aller Fachplanungen in einem Modell. Dabei werden BIM-Methoden übergreifend für Gebäudeplanungen wie auch für Planungen der Verkehrsinfrastruktur eingesetzt (Hochmuth 2016).

6.2.4.1 BIM-Standards

Um den Einzug von BIM deutschlandweit zu forcieren und allgemeingültige Regelwerke in der Anwendung zu etablieren, setzt sich Obermeyer vermehrt für die Festlegung von Standards und Leitfäden ein. So ist das Unternehmen seit über zehn Jahren in führender Position in der Vereinigung buildingSMART e. V. (früher Industrieallianz für Interoperabilität IAI) vertreten. Oberstes Ziel ist die Entwicklung von integrativen Prozessen innerhalb der Planung. Der damit verbundene durchgängige Datenzugriff ermöglicht fachplanungsübergreifende, nachhaltige und kosteneffiziente Bauprozesse. Des Weiteren hat Obermeyer zusammen mit dem Unternehmen AEC3 im Auftrag des Bundesinstituts

für Bau-, Stadt- und Raumforschung den ersten BIM-Leitfaden für Deutschland verfasst (Hochmuth 2016).

6.2.4.2 BIM-Anwendungen und Technik

Die Anwendung von BIM-Methoden und deren Verknüpfung mit Geoinformationssystemen (GIS) stellen innerhalb der Gesamtplanungsintegration ein wesentliches operatives und strategisches Unternehmensziel dar. Um Potenziale bestmöglich auszuschöpfen forciert Obermeyer ausgewählte Entwicklungsprojekte, wie beispielsweise die integrierte Projektabwicklung auf dem Gebiet der Industriebauplanung zusammen mit der Firma EDAG PS.

Intern wird der Fokus auf die frühe gewerkeübergreifende Betrachtung und die 3D-Koordination gelegt. Dies sind zwei entscheidende Aspekte, die bereits in den ersten Projektphasen die Auswirkungen einzelner Fachplanungen aufeinander darstellen und für alle Projektbeteiligten begreifbar machen können. Hieraus können rechtzeitig Lösungsansätze ermittelt und fehlerhafte Maßnahmen korrigiert werden. Insbesondere bei komplexen Vorhaben ist eine ganzheitliche Betrachtung aller beeinflussenden Parameter von großer Bedeutung. Langfristiges Ziel von Obermeyer ist es, diese diversen Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen zu bündeln und zu analysieren, um bereits zu einem frühen Zeitpunkt das Erstellen einer umfassenden Entscheidungsgrundlage zu ermöglichen. Die stärkere Verknüpfung mit GIS- und Fernerkundungsdaten ermöglicht eine zeitnahe Anpassung an veränderte Planungsbedingungen.

Bei den über 500 verschiedenen Softwareapplikationen, die bei Obermeyer im Einsatz sind, gilt es deren Stärken im Planungsprozess zu analysieren und deren Interoperabilität mit anderen Softwarelösungen zu testen, um fachübergreifend integrative Prozesse zu ermöglichen und einen konsistenten Datenfluss zu garantieren. Ziel ist es, die Stärken der verschiedenen Softwarepakete optimal zu kombinieren, um Synergieeffekte bestmöglich zu nutzen und deren Zusammenspiel für alle Projektbeteiligten zu jeder Phase sichtbar und zugänglich zu machen (Hochmuth 2016).

6.2.4.3 BIM im Infrastrukturbereich bei Obermeyer

Als Kernelement des Modellierungs- und BIM-Prozesses wurde bei Obermeyer ein trassierungsgebundenes, objektorientiertes und parametrisiertes Brückenmodell für den Einsatz im Ingenieurbau entwickelt. Die 3D-Planung ermöglicht die vollständige geometrische Kompatibilität zwischen Trasse, Bauwerk und Bestand im Planungsprozess, die Verfügbarkeit aller implementierten Informationen sowie die daraus resultierende Transparenz und Nachvollziehbarkeit für alle Projektbeteiligten. Der Trassierungsverlauf der Brücke, das Bestandsgelände sowie die Baugrundinformationen werden mithilfe der bei Obermeyer intern entwickelten Software ProVI erzeugt und an das 3D-Modell übergeben. Hierbei gilt es hervorzuheben, dass alle wesentlichen

Brückenbauteile von der Trassierungskurve abhängig sind. Die Verknüpfung von Bauteilen untereinander gilt als eines der wichtigsten Merkmale der parametrischen 3D-Modellierung von Brückenbauwerken und gewährleistet eine konsistente Modellanpassung an neue Randbedingungen. In der Praxis kann auf diese Art und Weise eine geplante Trassierung durch eine neue ersetzt werden, wobei sich im Modell die von der Kurve abhängige Geometrie redundant der neuen Linienführung anpasst. Ein vielversprechender Einsatz dieser Software wird in den folgenden Praxisbeispielen aufgezeigt.

6.2.4.3.1 Praxisbeispiel: Eisenbahnüberführung Gewölbereihe Innere Kanalstraße

Die Deutsche Bahn plante im Bereich der Strecke Köln-Koblenz-Bingen die Ertüchtigung eines im Jahr 1912 errichteten Viadukts, bestehend aus zwölf Gewölbebögen mit einer Gesamtlänge von 200 m. Aufgrund der verkehrstechnischen Lage musste die Brücke bei laufendem Betrieb saniert werden. Die Schwerpunkte im Modellierungsprozess bildeten hier die Bestandsaufnahme (3D-Scan-Aufmaß des Bestandsbauwerkes) sowie die Optimierung einer einheitlichen Schalungsgeometrie aller Bestandsbögen (3D-Planung der neuen Gewölbe und Ableitung der Schalplanung aus dem 3D-Modell).

Auf die vom Auftraggeber vorgesehene Stabilisierung der Stahlbetonvorsatzschalen wurde verzichtet. Stattdessen wurden die neuen Gewölbe mit durchlaufenden, jeweils biegesteif an die Kämpfer angeschlossenen Sohlplatten ausgebildet. Für die Modellierung der hieraus resultierenden komplexen Geometriestruktur wurden die vorhandenen Bögen an definierten Punkten vermessen und mit der entsprechenden Software Freiformflächen erzeugt, die dann als Bestandsgeometrie für die Konstruktion der neuen Gewölbebögen genutzt werden konnten. Die exakte Passform der neu generierten Geometrien wurde mithilfe der Scandaten eines kompletten Brückenbogens verifiziert. Darüber hinaus wurden aus dem 3D-Modell die zu verbauenden Materialmassen ermittelt und QM-zertifizierte 2D-Pläne abgeleitet.

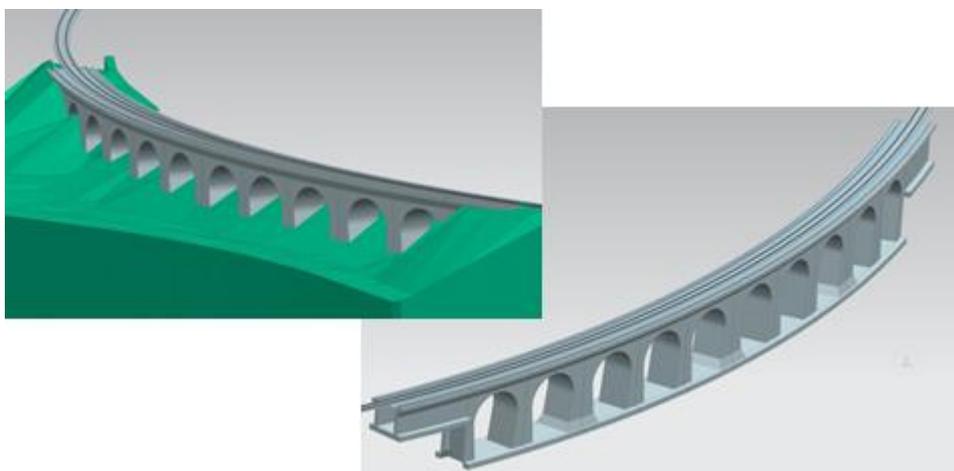


Abbildung 75: Bauwerksmodell der Inneren Kanalstraße in Köln (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

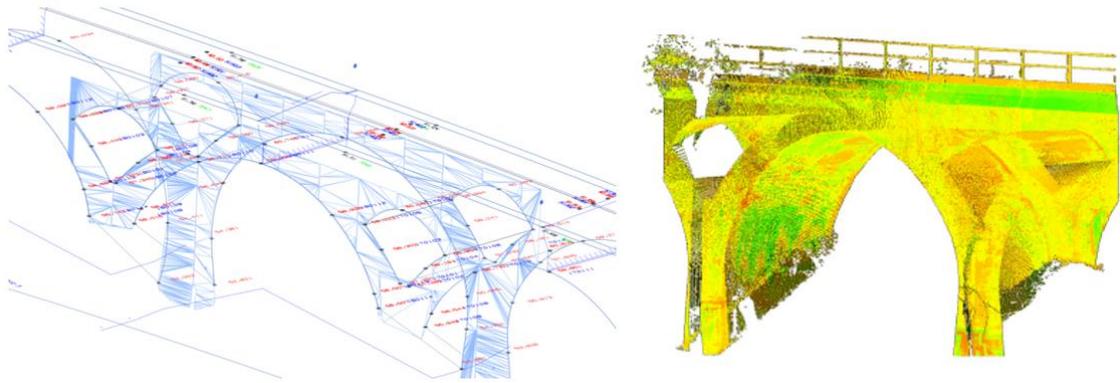


Abbildung 76: Aufmaß eines Bogens der inneren Kanalstraße in Köln (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH, Ing.-Büro Dr. Sauer mann-Orlicek-Rohen GmbH)

6.2.4.3.2 Praxisbeispiel: Erdinger Ringschluß

Im Zuge des Erdinger Ringschlusses wird der bestehende S-Bahnhof Erding aufgelassen und durch einen neuen Bahnhof in geänderter Lage ersetzt. Dieser liegt etwa 700 m nördlich des bestehenden Bahnhofs Erding im südwestlichen Bereich des derzeitigen Fliegerhorstareals.

Das Stationsbauwerk ist in weitgehender Tunnellage als Verzweigungsbahnhof konzipiert und sieht im Streckenast des Erdinger Ringschlusses zwei Bahnsteige für die S-Bahn vor. Im Verlauf der Walpertskirchener Spange wird in einer weiteren Baustufe ein Außenbahnsteig für den überregionalen Verkehr in Richtung Mühldorf errichtet. Am nördlichen Bahnsteigende befindet sich das Verbindungsbauwerk des Verzweigungsbahnhofs. Die Bahnsteige liegen etwa 9 m unter Gelände. Im Bereich des südwestlichen Bahnsteigabschnitts vor der Anton-Bruckner-Straße wird der Tunnel auf etwa 65 m Länge geöffnet.

Die Bahnsteigzugänge sind jeweils an den Bahnsteigenden vorgesehen. Den Hauptzugang bilden die Aufgänge „Busbahnhof“ an den nördlichen Bahnsteigenden. Hier sind auch die Bahnsteige der S-Bahn und des überregionalen Verkehrs miteinander verbunden. Die Aufgänge erhalten neben Festtreppen auch zwei Aufzüge für die barrierefreie Erschließung. Damit ist auch der barrierefreie Übergang zwischen den Bahnsteigen gewährleistet. Vorteile der Modellierung waren eine übersichtlichere und bessere Koordination aller Planungsbeteiligten, eine einfachere Kollisionsprüfung sowie das Vermeiden von Fehlern durch die Arbeit an einem Modell (auch für komplexe Geometrien).

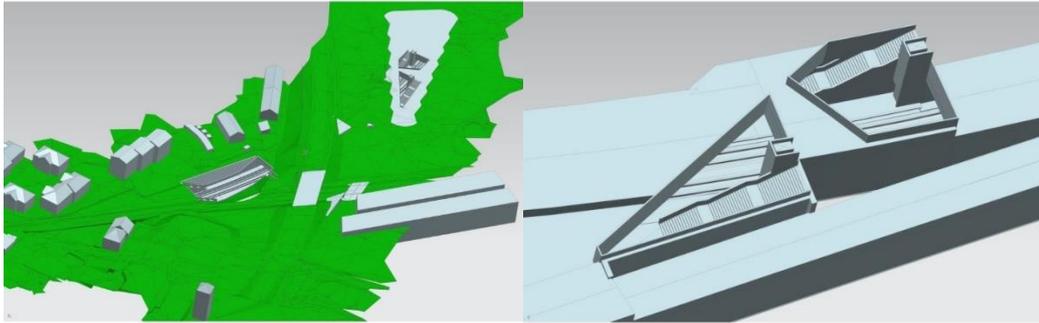


Abbildung 77: Station mit Bebauung und DGM, Detail Zugang 1 (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

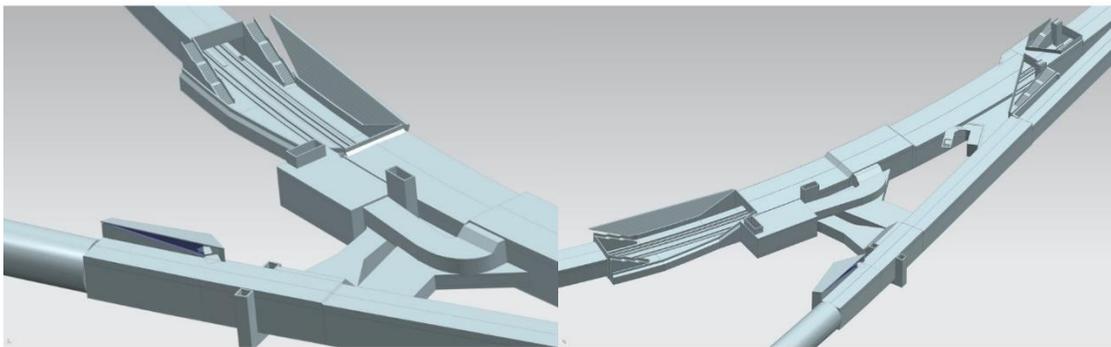


Abbildung 78: Detail Zugang 2, Station ohne Bebauung und DGM (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

6.2.4.3.3 Praxisbeispiel: Zweite S-Bahn-Stammstrecke in München

Obermeyer ist als Gesamtplaner für alle Leistungsphasen bei der Planung der zweiten S-Bahn-Stammstrecke in München engagiert. Dies beinhaltet zudem die Koordinierung aller beteiligten Fachplaner. Die Aufgabe umfasst die Planung zum Neubau einer zweigleisig, parallel zum Bestand verlaufenden S-Bahn-Stammstrecke mit einer Gesamtlänge von ca. 10 km, davon ca. 8 km Tunnelstrecke sowie drei unterirdische Haltepunkte in ca. 40 m Tiefe. Aufgrund der Erschütterungsempfindlichkeit wird in diesen Bereichen der Tunnel in bergmännischer Bauweise erstellt. Basis für das Projekt stellt ein detailliertes 3D-Modell dar, welches in der Lage ist, alle relevanten Arbeitsprozesse und Informationen abzubilden, Massen zu ermitteln und die Planung des Bauablaufs abzubilden. Eine große Herausforderung in der Planung bestand in der Anbindung der unterirdischen Station Hauptbahnhof an das Empfangsgebäude des Bahnhofs über einen zentralen Zugang. Dies erfordert die Herstellung einer rund 45 m tiefen Baugrube in Schlitzwand-Deckelbauweise im Grundwasser, ohne den Bahnverkehr im Hauptbahnhof zu behindern. In der Planung verfolgt Obermeyer hier den Ansatz einzelner Teilmodelle, das heißt, jeder Planer ist für seine geplanten Bauteile verantwortlich und jedes Teilmodell enthält nur jene Bauteilobjekte und Informationen,

die für die jeweilige Disziplin notwendig sind. Beispielsweise mit Autodesk NavisWorks können Kollisionsprüfungen erfolgen und Teilmodelle zusammengefügt werden.

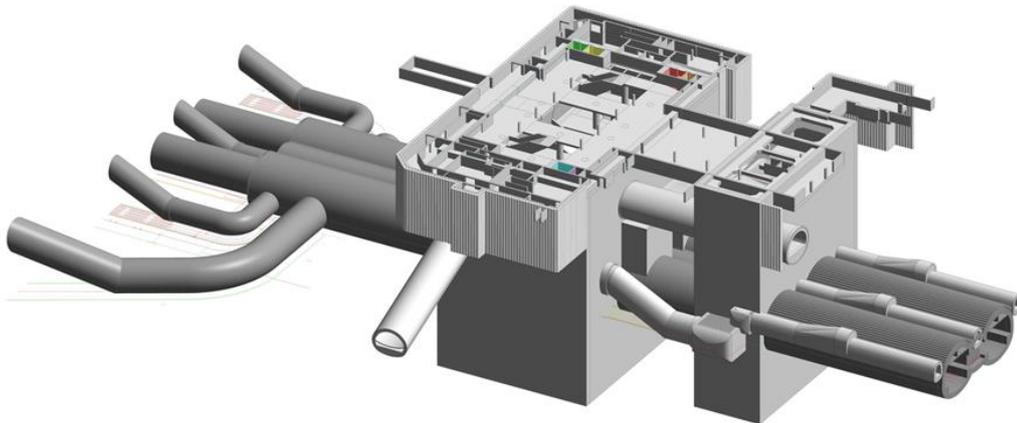


Abbildung 79: Bauwerksmodell zweite S-Bahn-Stammstrecke München, Nukleus am Hauptbahnhof (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

6.2.5.4 GIS und BIM bei der Obermeyer Planen und Beraten GmbH

6.2.4.4.1 Praxisbeispiel: Eisenbahnneubauplanung in Algerien

Das Groupement OBERMEYER BERNARD wurde von der Algerischen Eisenbahngesellschaft Société Nationale des Transports Ferroviaires (SNTF) beauftragt, auf 640 km eine Vorentwurfs-, eine Einreich- sowie eine Ausschreibungsplanung für eine Hochgeschwindigkeitsstrecke im Algerischen Hochplateau durchzuführen. In der ersten Phase sollten die Korridore der in Frage kommenden Eisenbahntrassen untersucht und miteinander verglichen werden. Die Grundlagenerhebung sowie die Koordination der Vermessung lag bei der Planungsgesellschaft Obermeyer. Zu verbinden waren fünf Städte, die in Ost-Westrichtung auf dem Hochplateau liegen (siehe Abbildung 80). Die Ost-Westtrasse des Hochplateaus wurde durch einen Nord-Südanschluß über das Atlasgebirge nach Norden hin an die Mittelmeertangente angeschlossen.



Abbildung 80: Hochgeschwindigkeitsstrecke im Algerischen Hochplateau (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

Die Gegebenheiten des zu untersuchenden Landschaftsraums wurden mit Hilfe von Satellitendaten, topographischen Karten aus verschiedenen Jahrgängen, geologischen Karten, sowie durch eine halbautomatische Landnutzungsklassifizierung aus Satellitendaten erfasst. Verifiziert und ergänzt wurden die digitalen Daten durch Geländebegehungen mit einem mobilen Geographischen Informationssystem (GIS). Analoge Pläne (Blaupausen) der örtlichen Behörden wurden georeferenziert und ins Datenmodell übernommen. In der ersten Planungsphase wurden Shuttle-Radar-Topography-Mission (SRTM)-und Advanced-Spaceborne-Thermal-Emission-and-Reflection (ASTER)-Geländemodelle als Planungsgrundlage verwendet. Die Daten wurden im GIS vorgehalten und für die Planer, die mit der Trassenplanungssoftware ProVI die Eisenbahnachse trassierten, georeferenziert aufbereitet. Grobe Entwässerungsberechnungen wurden im GIS vorgenommen. Nach Festlegung des Vorzugskorridors durch den Auftraggeber wurde ein Teil des Digitalen Geländemodells (DGM) photogrammetrisch aus militärischen Luftbildern erstellt. Die Feingeoreferenzierung des DGM wurde durch die Vermessung von Passpunkten erreicht. Die Vermessungsgrundlagen für die Einreich- und Ausschreibungsplanung wurden durch eine eigens organisierte Helikopterbefliegung erhoben. Das digitale Geländemodell wurde mittels Laseraufnahme (1,1 Mio. Laserpunkte je km²) und die Flächencharakteristik mittels Luftbildern (Pixelsize 25 cm) ermittelt.

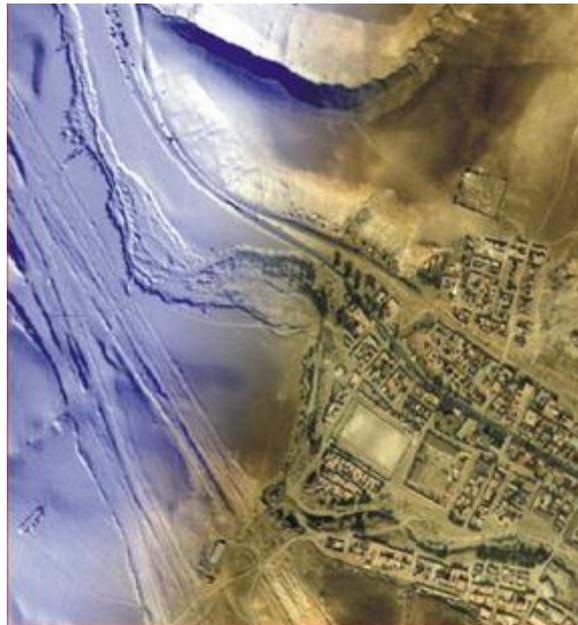


Abbildung 81: Verknüpfung von Laseraufnahmen und Luftbildern zur Erstellung eines digitalen Geländemodells (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

Durch die Überlagerung der Laser-Luftbilddaten mit geologischen sowie mit topographischen Karten wurden die Befliegungsdaten mit weiteren Informationen veredelt. Die Luftbilddaten wurden zur Klassifizierung der Flächennutzung verwendet (siehe Abbildung 81). Über die Verschneidung der bewerteten Flächennutzung mit dem Landverbrauch der geplanten Bahntrasse sowie der Bauwerke konnte der Flächenverbrauch bewertet und optimiert werden.

Mittels des geographischen Informationssystems, der Trassierungssoftware ProVI, der Tunnelberechnungs-, Brückenkonstruktionssoftware sowie der Gebäudeplanungssoftware Revit wurden auf der gesamten Strecke von 640 km, fünf Tunnel, 151 Eisenbahnbrücken, 173 Straßenbrücken, 18 Personenbahnhöfe, drei Frachtbahnhöfe, 31 Überholbahnhöfe sowie Betriebsgebäude und ein Betriebskonzept geplant und entsprechend der Ausschreibungsvorgaben dem Auftraggeber übergeben (siehe Abbildung 82).

Für die Algerische Staatsbahn wurde abschließend ein Animationsfilm über die gesamte geplante Eisenbahnhochgeschwindigkeitsstrecke erstellt. Nur auf der Grundlage der Gesamtplanungsintegration (GIS und BIM) war der Planungszeitraum von drei Jahren für alle drei Planungsphasen einzuhalten.

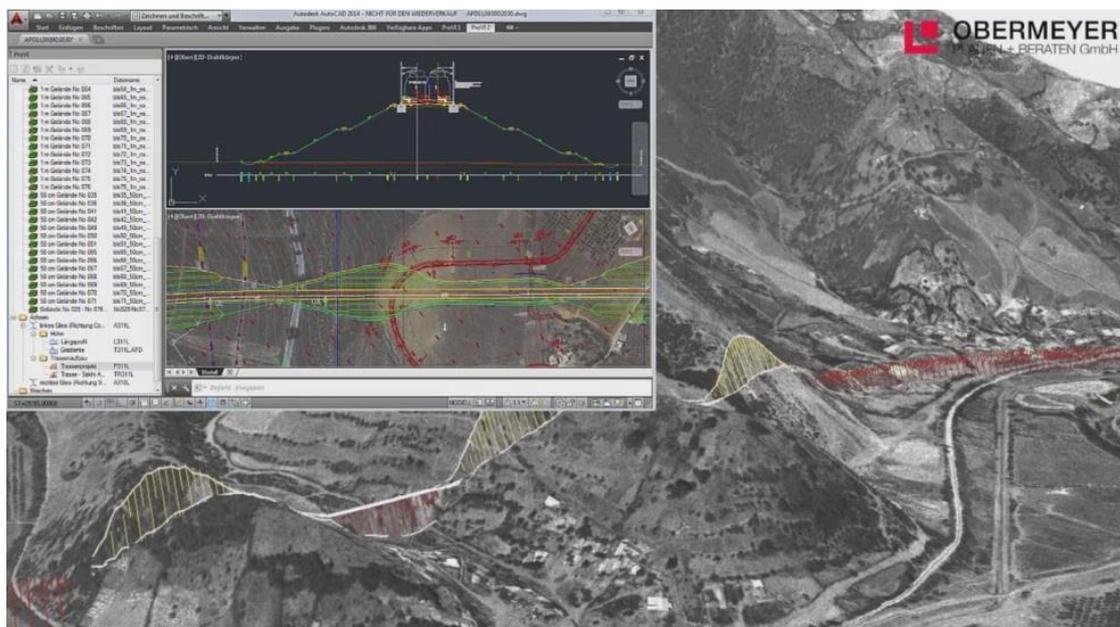


Abbildung 82: Visualisierung der geplanten Trasse (Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

6.2.4.4.2 Praxisbeispiel: Naturstromspeicher Gaildorf

Die MBS Naturstromspeicher GmbH beauftragte Obermeyer mit der Gesamtkoordination eines Speicherkraftwerks und zugehöriger Windenergieanlage. Zwei Pumpturbinen wurden mit vier Windanlagen kombiniert. Die Windtürme übernehmen gleichzeitig die integrierte Funktion des Wasserspeichers. Je Turm werden ca. 40.000 m³ Wasser gespeichert. Die Türme sind mit einer ca. 5 km langen Druckleitung mit dem Pumpspeicherwerk und dem Wasserunterbecken verbunden. Zur Standortsuche ist die Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS) Voraussetzung, um mit den räumlichen Grundlagendaten sowie den notwendigen Planungsparametern Standorte für die Naturstromspeicher zu finden. Die Standorte der Naturstromspeicher wurden mittels Google Earth visualisiert (siehe Abbildung 83). Mittels dieser Methode konnte die betroffene Bevölkerung optimal informiert werden. Abschließend wurde ein Animationsfilm für den betroffenen Raum erstellt²². Auch in diesem Projekt wurde das Zusammenspiel zwischen GIS & BIM in vorbildlicher Weise praktiziert.

²² <https://www.youtube.com/watch?v=dVK-q9-QlxE>



Abbildung 83: Visualisierung der Naturstromanlage in Google Earth
(Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

6.2.4.4.3 Praxisbeispiel: Machbarkeitsstudie Straßenbahnplanung sowie Bebauung Vogelweideplatz, München

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie sollte die Verlängerung einer Straßenbahnlinie sowie ein städtebaulicher und landschaftsplanerischer Ideenwettbewerb im Münchner Osten untersucht werden. Die einzelnen Bauten sollten zwischen 40 m und knapp unter 90 m hoch werden. Die mit BIM geplante städtebauliche Strukturplanung sowie die Straßenbahnplanung erfolgten auf Grundlage von Daten aus dem Geographischen Informationssystem (GIS). Im GIS wurden die verschiedenen Planungen zusammengeführt. In Google Earth wurden die Planungen integriert und mit dem Auftraggeber diskutiert. Mit der Trassierungssoftware ProVI, der Gebäudeplanungssoftware Revit und der GIS-Software können Flächen bewertet und bilanziert werden. Somit ist eine abschließende Optimierung jederzeit möglich (siehe Abbildung 84).



Abbildung 84: Straßenbahnstudie und Stadtplanungsmodell in Google Earth
(Quelle: Obermeyer Planen + Beraten GmbH)

6.3 Fazit

Selbst wenn von einem flächendeckenden Einsatz von BIM im Infrastrukturbau derzeit nicht geredet werden kann, so wird aus den im vorherigen Abschnitt aufgeführten nationalen und internationalen Praxisprojekten dennoch ersichtlich, welches **Potential** der Einsatz der **BIM-Methode in der Praxis** birgt. Aus Zahl und Herkunft der Projekte ist ebenso zu erkennen, wer in der Vergangenheit die Entwicklung der BIM-Methode bis in die Praxis hinein vorangetrieben hat. Auf internationaler Ebene sind dies die **skandinavischen Länder, die USA und Großbritannien, in Deutschland innovativen mittelständischen Unternehmen**, die sich durch die frühzeitige Entwicklung einen Wettbewerbsvorteil erarbeitet haben.

Im Rahmen der genannten Praxisprojekte wurde eine Reihe von Vorteilen identifiziert. So hat sich gezeigt, dass durch das Arbeiten mit und am digitalen Bauwerksmodell **Planungsfehler frühzeitig erkannt und behoben** werden können. Zudem ermöglichen die eingesetzten Modelle exakte **Massenermittlungen** und damit **Kostenplanungen**, was sich in späteren Phasen durch eine reduzierte Anzahl an Nachträgen und Änderungsaufträgen bemerkbar macht. Weitere wichtige Erkenntnis der Praxisprojekte ist die Tatsache, dass die BIM-Methode in erheblichem Maß den Informationsfluss verbessert. Dies schlägt sich in einem tieferen Projektverständnis, einer **verbesserten Kommunikation und Koordination** aller Projektbeteiligten sowie kürzeren Ent-

scheidungsprozessen nieder. Darüber hinaus bilden BIM-Modelle eine gute **Diskussionsgrundlage für Verhandlungen und Abstimmungen** zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber.

Die eingesetzten Softwarelösungen sind vielfältig und je nach Projekt in unterschiedlichem Detaillierungsgrad vorhanden. Welche Software eingesetzt wird, hängt stark von den vorher definierten Zielen und Planungsphasen des Projekts ab. Auch hier ist der allgemein anhaltende Trend zu immer **spezielleren Softwarelösungen**, welche immer detailliertere Spezialaufgaben lösen, aber gut in den Gesamtplanungsprozess integriert sind, sichtbar. Langfristig muss auch hier der konsistente Einsatz eines kombinierten Modellsystems über alle Phasen der Bauplanung hinweg gewährleistet werden. Erst der nachhaltige und langfristige Einsatz der Modelle, sowie deren Weiterentwicklung ermöglicht es, BIM langfristig und effizient für den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes oder der Infrastruktur nutzbar zu machen.

Größter **Nutznieser ist der Bauherr**, der fachplanungsübergreifend gebündelte Informationen zu jeder Bauphase zur Verfügung gestellt bekommt. Insbesondere bei öffentlichkeitswirksamen Bauvorhaben, wie beispielsweise dem Crossrail-Projekt in London, birgt der Einsatz digitaler Methoden einen nicht zu unterschätzenden Vorteil. **Bürger können aktiv einbezogen werden, Entscheidungen transparent** dargelegt und notwendige Maßnahmen auch für Laien erklärt werden. Aber auch für Gesamtplaner bringt der Einsatz von BIM-Methoden einen enormen Effizienzgewinn. Insbesondere dem Aufbau von Standardbibliotheken als auch der vermehrten Einbindung von Serverlösungen kommt hierbei in Zukunft eine große Bedeutung zu. Zeitgleich braucht es branchenübergreifende Regelwerke und Standards, die veraltete CAD-Richtlinien ablösen und Hemmschwellen beim Einsatz von BIM minimieren.

7 Zusammenfassung und Entwicklungslücken

Die Anwendung von Building Information Modeling im Infrastrukturbereich ist im Gegensatz zum klassischen Hochbau noch nicht so weit verbreitet und etabliert. Im Rahmen der durchgeführten Rechercharbeiten wurden über 100 verschiedene Quellen gesichtet und zusammengefasst. Des Weiteren wurden diverse Interviews durchgeführt und umfangreiche praktische und wissenschaftliche Erfahrungen der ARGE InfraBIM berücksichtigt. In den folgenden Abschnitten werden die Erkenntnisse zusammengefasst und bestehende Entwicklungslücken aufgezeigt.

7.1 Forschung und Technik

Die wissenschaftlichen Publikationen zu BIM im Infrastrukturbereich beschäftigen sich unter anderem mit Fragestellungen der parametrischen Modellierung von linearen Bauwerken. Auf Basis von Parametern, Abhängigkeiten und Zwangsbedingungen können komplexe Geometrien sehr effizient und flexibel mit entsprechenden Eigenschaften quasi automatisch erzeugt werden. Solche parametrischen Konzepte werden heutzutage auch schon von einigen Softwarewerkzeugen zur Verfügung gestellt. Hierbei spielen auch insbesondere Trassierungsinformationen eine große Rolle, die eine wesentliche Grundlage für die Generierung der entsprechenden Geometrien stellen. Hierzu wurden im Rahmen von Forschungsprojekten entsprechende Konzepte entwickelt, die eine konsistente Beschreibung von Trassierungsinformationen und Geometrien erlauben. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Fertigstellungs- bzw. Detaillierungsgrade (LODs) und deren Abbildungen untereinander entwickelt. Des Weiteren wurden auch spezielle Modellinhalte zur Abbildung von Infrastrukturbauwerken spezifiziert, die jedoch aktuell noch nicht allgemein verfügbar sind.

Andere Fragestellungen beschäftigen sich mit speziellen BIM-Anwendungsfällen. Hier können Entwicklungen zur Erfassung von Schäden (Structural Health Monitoring) oder die Anbindung von speziellen Simulationstools (z.B. Setzungssimulation im Tunnelbau) genannt werden. Es wird hierbei häufig auf Erfahrungen aus dem klassischen Hochbau zurückgegriffen, was sich auch in den Forschungsarbeiten sowie den Anwendungsfällen erkennen lässt. Die im Hochbau eingesetzten Softwarelösungen für bestimmte Anwendungsfälle sind jedoch nicht immer direkt für den Infrastrukturbereich anwendbar. Insbesondere die Verwendung von verschiedenen Spezialsystemen (z.B. Strukturanalyse und Mengenermittlung) könnte noch verbessert werden. Große Probleme bereiten dabei nicht vorhandene Datenaustauschformate, die unterschiedliche Strukturierung der Bauwerke und auch die im Vergleich zum Hochbau großen Abmessungen.

Ein wesentlicher Unterschied zum Hochbau besteht in der sehr umfangreichen und notwendigen Integration von Geodaten (z.B. Geländemodelle, Stadtmodelle, Bodenschichten). Geoinformationssystem und Bauwerksmodelle sind für unterschiedliche Anwendungen konzeptioniert worden und ein entsprechender Datenaustausch ist aktuell nicht immer verlustfrei möglich. Einzelne Forschungsarbeiten und Softwaresysteme betrachten bzw. unterstützen eine solche GIS-BIM-Integration bereits. Jedoch handelt es sich dabei in der Regel um eine unidirektionale Kopplung, d.h. Änderungen müssen immer sehr aufwendig synchronisiert werden.

Deutlich zu erkennen ist, dass insbesondere der Schienenbau noch wenig adressiert wurde und aktuell in den wissenschaftlichen Fokus rückt. Zur Modellierung von Brücken existieren aktuell die meisten Forschungsarbeiten.

Eine weitere wichtige Fragestellung, die eine wesentliche Rolle in der Grundlagenforschung der nächsten Jahre spielen wird, ist die Entwicklung von Industrie 4.0 Technologien, die es erlauben, auf Basis der digitalen Modelle eine Teilautomatisierung der Fertigung umzusetzen. Damit einher geht eine weitere Qualitätssteigerung und Kostenreduzierung. Hierzu sind vielfältige komplexe Fragen u.a. zur mobilen Baurobotik zu erforschen.

Im Rahmen der Forschung und Technik ergeben sich auf Basis der vorgenommenen Materialsammlung somit folgende Entwicklungslücken:

- Parametrische Modellierungskonzepte
- Konsistente Definition von Fertigstellungs- bzw. Detaillierungsraden (LODs)
- Konzepte zur Beschreibung und Wiederverwendung von Modellinhalten
- Effiziente Datenmodelle zur Speicherung komplexer Geometrien
- Konzepte zur Integration von Simulations- und Analysemodellen
- Zusammenführung von Geo- und Bauwerksinformationen
- Ausarbeitung von Industrie 4.0 Konzepten zur automatisierten Fertigung

7.2 Standards und Richtlinien

Die Entwicklung von Standards und Richtlinien für BIM im Infrastrukturbereich hat weltweit gerade begonnen. Hierbei muss jedoch ganz deutlich zwischen standardisierten Datenaustauschformaten (z. B. IFC) und Modellinhalten unterschieden werden.

Die Weiterentwicklung der Formate für den Datenaustausch im Infrastrukturbereich wird maßgeblich durch buildingSMART International vorangetrieben. Hierzu wurde der „Infrastructure Room“ gegründet, der eine Roadmap für die Entwicklung von IFC5 im September 2015 konkretisiert hat. Die Arbeiten werden durch eine Vielzahl von Ländern unterstützt. Auch das BMVI unterstützt die Entwicklung von offenen Standards für den Bereich Schiene und Straße seit Ende 2015 maßgeblich. Ergebnisse sind jedoch nicht vor

2018 zu erwarten. Hervorzuheben sind hier die Initiativen aus Korea und China, die Standards für Straße und Schiene vorantreiben. Daneben werden verschiedene andere Formate, wie z.B. Inframodel3 aus Finnland, entwickelt, die auch schon in verschiedenen Projekten angewendet werden.

Allgemein gültige Fertigstellungs- bzw. Detaillierungsgrade (LODs) für Infrastrukturbauwerke werden noch wenig entwickelt. Aktuell werden LODs nur Projekt- bzw. Unternehmens-spezifisch definiert. Somit ist eine breite Wiederverwendbarkeit noch nicht gegeben. Die Erfahrungen aus dem Hochbau haben jedoch gezeigt, dass offene Datenaustauschformate und standardisierte LODs in Abhängigkeit von bestimmten Anwendungsfällen für die Verbreitung von BIM sehr wichtig sind.

Für Standards und Richtlinien ergeben sich auf Basis der vorgenommenen Materialsammlung folgende Entwicklungslücken:

- Offene hersteller-neutrale Datenaustauschformate
- Vorlagen für Fertigstellungs- bzw. Detaillierungsgrade
- Harmonisierte Standards mit dem GIS-Bereich

7.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Zur Anwendung von BIM im Infrastrukturbereich existieren aktuell keine juristischen Fachveröffentlichungen. Die Veröffentlichungen zu rechtlichen Rahmenbedingungen der BIM-Methode für den Hochbau können jedoch übertragen werden. Die Durchführung von BIM-Projekten ist auf der Basis der HOAI prinzipiell möglich. Generell existieren im Zusammenhang mit BIM in Deutschland noch keine einheitlichen Vertragsstandards.

Für die rechtlichen Rahmenbedingungen ergeben sich auf Basis der vorgenommenen Materialsammlung folgende Entwicklungslücken:

- Standardleistungsbilder für alle Planungsdisziplinen mit Vorgaben an Geometrie und Attributierung zu Abschluss der HOAI-Leistungsphasen unter Berücksichtigung typischer BIM-Anwendungsfälle für Infrastrukturbau-, aber auch Hochbauprojekte
- Musterverträge für die Beauftragung von BIM-Planungsleistungen (möglicherweise Anpassungsbedarf bei z. B. Vertraulichkeit, Schutz geistigen Eigentums, Versicherungslösungen)
- Leistungsbild BIM-Management
- Anpassungen Leistungsbild Projektsteuerung in Bezug auf BIM

7.4 Praxisprojekte

In den letzten Jahren wurde die BIM-Methode schon in einigen Infrastrukturprojekten international und national angewendet. Die Studien von McGraw-Hill zeigt deutlich, dass

der Einsatz von BIM im Infrastrukturbereich ein großes Potential besitzt. Generell ist der Umfang des BIM-Einsatzes ganz klar abhängig von den definierten BIM-Zielen und den sich dann ergebenden Anwendungsfällen. Bislang wurde vor allem die Planungs- und Ausführungsphase betrachtet. Es gibt nur wenige Erfahrungen zur ganzheitlichen Nutzung über den gesamten Lebenszyklus.

Wesentliche BIM-Ziele im Infrastrukturbereich waren:

- Vergleich von verschiedenen Planungsvarianten (z.B. Trassenführungen)
- Verbesserung der Transparenz und Öffentlichkeitsarbeit
- Reduktion von Planungskonflikten
- Verbesserung der Termin- und Kostensicherheit
- Effizientere Planung und Steuerung des Bauablaufs

Wie im Hochbau ergeben sich entsprechend dazu die typischen Anwendungsfälle:

- 3D-Visualisierung des Bauwerksmodells
- Kollisionskontrolle von verschiedenen Teilmodellen
- 4D- und 5D-Bauwerksmodelle
- Dokumentation des Baufortschritts

Im Gegensatz zum Hochbau wurden für den Infrastrukturbereich verschiedene spezielle Werkzeuge in enger Kooperation mit Forschungspartnern entwickelt. Dies sind zum Beispiel parametrische Konzepte zur Generierung von Geometrien oder die Zusammenführung von Geo- und Bauwerksinformationen. Solche Entwicklungen wurden jedoch nur von wenigen innovativen Firmen vorangetrieben. Aktuell ist zu erkennen, dass auch große Softwarehersteller den Bedarf an speziellen BIM-Werkzeugen für den Infrastrukturbereich erkannt haben und entsprechende Software auf den Markt bringen.

Der offene Datenaustausch ist aktuell auf Grund der fehlenden Datenstandards noch nicht sehr stark ausgeprägt. Somit wurden fast ausschließlich keine openBIM Lösungen realisiert. Auch die durchgängige Anwendung der BIM-Methode über mehrere Projektphasen hinweg, wurde nur in einzelnen Projekten umgesetzt.

Im Infrastrukturbereich ist jedoch sehr klar zu erkennen, dass das Potential für den Bauherrn bzw. Auftraggeber sehr groß ist. Insbesondere bei öffentlichkeitswirksamen Bauvorhaben können digitale Modelle sehr gut für den Dialog mit den Bürgern eingesetzt werden.

Es ist weiter klar erkennbar, dass der Einsatz von BIM im Infrastrukturbereich noch am Anfang steht. Es fehlen standardisierte Vorgehensweisen, wiederverwendbare Modellinhalte und teilweise auch geschultes Personal mit einer speziellen Ausrichtung auf den Infrastrukturbereich.

Für die Praxisprojekte ergeben sich auf Basis der vorgenommenen Materialsammlung folgende Entwicklungslücken:

- Dokumentiere Pilotprojekte
- Vorlagen für BIM-Ziele und zugehörige Anwendungsfälle
- Standardbibliotheken für die Modellerstellung
- Geeignete Softwarelösungen mit Unterstützung offener Schnittstellen
- Geschultes Personal

8 Literaturverzeichnis

- Abudayyeh, O. und Al-Battaineh, H. T. 2003. As-Built Information Model for Bridge Maintenance. *J. Comput. Civ. Eng.* 17 (2): 105–12. doi:10.1061/(ASCE)0887-3801(2003)17:2(105).
- AIA. 2007. *The American Institute of Architects: Integrated Project Delivery: A Guide.*
- AIA. 2013. *The American Institute of Architects: Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents.*
- Al-Shammari, M. A. 2014. An appraisal of the protocol that was published by the construction industry council (CIC) to facilitate the use of building information modelling (BIM) on projects. In: *Proceedings 30th Annual ARCOM Conference: hg. v. A. Raiden und E. Aboagye-Nimo.* Portsmouth, UK: Association of Researchers in Construction Management.
- Amann, J., Borrmann, A., Hegemann, F., Jubierre, J. R., Flurl, M., Koch, C. und König, M. 2013. A Refined Product Model for Shield Tunnels Based on a Generalized Approach for Alignment Representation. In: *Proceedings of the ICCBEI 2013, Tokyo, Japan.*
- Anderl, T. und Marboe, P. 2015. BIM-Grundlagen im Vergabe- und Werkvertragsrecht. In: *bauaktuell*, S. 40.
- Arayici, Y. 2008. Towards building information modelling for existing structures. In: *Structural Survey* 26 (3): 210–22. doi:10.1108/02630800810887108.
- Armes, M. 2015. Who did what, why and when? Reliance upon information in a BIM model. In: *Construction Law Journal* 31: S. 351.
- Aruga, T. und Yabuki, N. 2012. Cooperative Information Management of Degradation of Structures in Operation and Management. In: *Cooperative Design, Visualization, and Engineering: 33–40: Springer.*
- BAST. 2013. *Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID Tags: Abschlussbericht.*
- BAST. 2014a. *Intelligente Brücke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse: Abschlussbericht.*
- BAST. 2014b. *Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells: Abschlussbericht.*
- Belsky, M., Sacks, R. und Brilakis, I. 2015. Semantic Enrichment for Building Information Modeling. In: *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.* doi:10.1111/mice.12128.
- BIM Forum. 2015. *Level of Development Specification.*
- Boldt, A. 2015. SimsalaBIM – Kann der Zauber der Technik auch unser Vertragsrecht verzaubern?. In: *NZBau*, S. 292.
- Borrmann, A., Flurl, M., Jubierre, J. R., Mundani, R-P. und Rank, E. 2014. Synchronous collaborative tunnel design based on consistency-preserving multi-scale models. In: *Advanced Engineering Informatics* 28 (4): 499–517. doi:10.1016/j.aei.2014.07.005.
- Borrmann, A. und Jubierre, J. R. 2013. A multi-scale tunnel product model providing coherent geometry and semantics. In: *Proc. of the ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2013: Los Angeles: ASCE.*

- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubaue, A., Steuer, H. und Jubierre, J. R. 2013. Transferring multi-scale Approaches from 3D City Modeling to IFC-based Tunnel Modeling. In: Proc. of the 3DGeoInfo 2013: Istanbul, Turkey: 3DGeoInfo.
- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubaue, A., Steuer, H., Jubierre, J. R. und Flurl, M. 2015. Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications. In: Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 30 (4): 263–81. doi:10.1111/mice.12090.
- Borrmann, A., Schorr, M., Obergruesser, M., Ji, Y., Wu, I-C., Günthner, W., Euringer, T. und Rank, E. 2009. Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects - Potentials and Obstacles. In: Proc. of the ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2009: Austin, USA: ASCE.
- Brunka, C. 2011. The Drawing is Mine! The Challenges of Copyright Protection in the Architectural World. In: University of Illinois Journal of Law, Technology and Policy, S. 169.
- buildingSMART Finland. 2015. Common InfraBIM Requirements YIV 2015.
- Burton, T. und Thomas, M. 2015. Location - New Angles on Data Collection. In: Rail Engineer 129: 80–83.
- Cabinet Office. 2011. Government Construction Strategy.
- Casey, M-J. und Austin, M-A. 2002. Semantic Web Methodologies for Spatial Decision Support. In: Proceedings of International Conference on Decision Making and Decision Support in the Internet Age 2002: DSIage2002. Ireland.
- Chahrour, R. 2013. BIM – Anwendungen und Perspektiven für das Bauprojektmanagement... Zukunftspotential Bauwirtschaft, S. 32.
- Chen, J., Bulbul, T., Taylor, J. E. und Olgun, G. A Case Study of Embedding Real-time Infrastructure Sensor Data to BIM. In: Construction Research Congress 2014: hg. v. D. Castro-Lacouture, J. Irizarry und B. Ashuri, 269–78.
- Chen, S., Li, J-W., Shirolé, A-M., Sweeney, T. und Tangirala, V-K. 2006. Accelerating the design and delivery of bridges with 3D bridge information modeling: pilot study of 3D-centric modeling processes for integrated design and construction of highway bridges: Final Report.
- Chen, S. und A-M. Shirolé. 2006. Integration of information and automation technologies in bridge engineering and management: Extending the state of the art: Transportation Research Board of the National Academies.
- Chiu, C.-T., Hsu, T.-H., Wang, M.-T. und Chiu, H.-Y. 2011. Simulation for Steel Bridge Erection by Using BIM Tools. In: Proceedings of the 28th ISARC: 560–63. Seoul, Korea: ISARC.
- Cho, D-G., Cho, H-H., Cho, N-S. und Kang, K-I. 2012. Parametric modelling based approach for efficient quantity takeoff of NATM-Tunnels. In: Gerontechnology 11 (2). doi:10.4017/gt.2012.11.02.531.00.
- Clevenger, C., M. Ozbek, H. Mahmoud und B. Fanning. 2014. Impacts and Benefits of Implementing Building Information Modeling on Bridge Infrastructure Projects. Zugriff: 14. November 2015. www.mountain-plains.org/pubs/pdf/MPC14-272.pdf.
- Dávila Delgado, J. M., Brilakis, I. und Middleton, C. 2015. Open data model standards for structural performance monitoring of infrastructure assets. In: Proc. of the 32nd CIB W78 Conference: Eindhoven: CIB W78.

- Department of Business, Innovation and Skills. 2015. Digital Built Britain, Level 3 Building Information Modeling: Strategic Plan.
- Dori, G., Wild, M., Borrmann, A. und Fischer, O. 2013. A System Model for Lifecycle Monitoring of Bridges. In: Proc. of the 30th Int. Conf. on Applications of IT in the AEC Industry (CIB-W78).
- Dynamo. 2014. DynamoBIM: Open source graphical programming for design. Zugriff: 17. November 2014. <http://dynamobim.org/>.
- Egger, M., Hausknecht, K., Liebich, T. und Przybylo, J.. 2013. BIM-Leitfaden für Deutschland: Endbericht: BMVBS.
- El-Diraby, T. E. und Osman, H. 2011. A domain ontology for construction concepts in urban infrastructure products. In: Automation in Construction 20 (8): 1120–32. doi:10.1016/j.autcon.2011.04.014.
- Eschenbruch, K. und Elixmann, R. 2015a. Auswirkungen auf das Bauvertragsrecht. In: Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, hg. v. A. Borrmann, C. Koch und J. Beetz, S. 249 (259 ff.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Eschenbruch, K. und Elixmann, R. 2015b. Das Leistungsbild des BIM-Managers. In: BauR, S. 745.
- Eschenbruch, K. und Grüner, J. 2014. BIM – Building Information Modeling. In: NZBau, S. 402.
- Eschenbruch, K. und Lechner, H. 2016. BIM und HOAI. In: BIM und Recht. Hrsg. von K. Eschenbruch K. und S. Leupertz, S. 142 ff. Werner Verlag.
- Eschenbruch, K., Malkwitz, A., Grüner, J., Poloczek, A. und Karl, C. K. 2013. Maßnahmenkatalog zur Nutzung von BIM in der öffentlichen Bauverwaltung unter Berücksichtigung der rechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen - Gutachten zur BIM-Umsetzung.
- Fanning, B., Clevenger, C. M., Ozbek, M. E. und Mahmoud, H. 2015. Implementing BIM on Infrastructure: Comparison of Two Bridge Construction Projects. In: Practice Periodical on Structural Design and Construction: 20 (4): 4014044. doi:10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000239.
- Fischer, P. und Jungedeitering, J. 2015. Die BIM-Methode im Lichte des Baurechts. In: BauR, S. 9 (15, 16).
- Frame, S. 2012. JCT/SBCC approach to building information modelling (BIM). In: Construction Law Journal, S. 524.
- Gibbs, D., Lord, W., Emmitt, S. und Ruikar, K. 2015. Building information modeling. In: Construction Law Journal, S. 167, 169, 177 ff.
- Glišić, B., Posenato, D., Inaudi, D. und Figini, A. 2008. Structural health monitoring method for curved concrete bridge box girders. In: The 15th International Symposium on: Smart Structures and Materials & Nondestructive Evaluation and Health Monitoring.
- Günthner, W. A. und Borrmann, A. 2011. Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. VDI-Buch. Heidelberg, New York: Springer.
- Hammad, A., Zhang, C., Hu, Y. und Mozaffari, E. 2006. Mobile Model-Based Bridge Lifecycle Management System. In: Computer-aided Civil Engineering 21 (7): 530–47. doi:10.1111/j.1467-8667.2006.00456.x.

- Havers, M. Kommentierung von § 3 VOB/B. In: K. Kapellmann und B. Messerschmidt, VOB Teil A und B 2015, München.
- Hegemann, F., Lehner, K. und König, M. 2012. IFC-based product modeling for tunnel boring machines. In: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: hg. v. G. Gudnason und R. Scherer, 289–96: CRC Press.
- Hegemann, F., Manickam, P., Lehner, K., Koch, C. und König, M. 2013. Hybrid Ground Data Model for Interacting Simulations in Mechanized Tunneling. In: Journal of Computing in Civil Engineering. 27 (6): 708–18. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000291.
- Hegger, J., Dressen, T., Schiessl, P., Zintel, M., Mayer, T., Kessler, S., Rank, E. et al. 2009. Beton - Nachhaltiges Bauen im Lebenszyklus. In: Bauingenieur 8: 304–12.
- Hoar, C. 2013. New developments in NEC3. In: Construction Newsletter Nov/Dec: 3, 4.
- Hochmuth, M. 2016. Parametrisierter Brückenentwurf. In: Bautechnik, 93: 162–169. doi: 10.1002/bate.201600016.
- Irizarry, J., Karan, E. P. und Jalaei, F. 2013. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. In: Automation in Construction 31:241–54.
- Johansen, J. 2013. BIM in Bridge Design. Masterthesis, NTNU Trondheim.
- Jung, R. 2015. BIM im Brückenbau: Stand der Technik und Ausblick. Zugriff: 14. November 2015. http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=File.download&id=2382&name=Jung_150121_Jung_150122_BIM+Anwendertag+LAP+Jung.pdf.
- Karimi, H. A. und B. Akinci. 2010. CAD and GIS integration. Boca Raton: CRC Press.
- Karimi, H. A. und Ghafourian, M. 2010. Indoor Routing for Individuals with Special Needs and Preferences. In: Transactions in GIS 14 (3): 299–329. doi:10.1111/j.1467-9671.2010.01198.x.
- Klemper, R. 2016. BIM und HOAI. In: Baurecht 2016, S. 426.
- Kluth, M., Borrmann, A., Rank, E., Mayer, T. und Schiessl, P. 2008. 3D building model-based life-cycle management of reinforced concrete bridges. In: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2008, 291.
- Kolbe, T. H., König, G. und Nagel, C. 2011. Advances in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Springer Berlin Heidelberg.
- Kubota, S. und Mikami, I. 2013. Development of Product Data Model for Maintenance in Concrete Highway Bridges. In: Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 5–34: 1–12. doi:10.1155/2013/148785.
- Langwich, O. 2015. Brückenkonstruktion 2.0(15). Zugriff: 2. November 2015. <http://revit-family-planner.blogspot.de/2015/04/brueckenkonstruktion-2015.html>.
- Liebich, T., Schweer, C-S. und Wohlhage, L. 2011. Die Auswirkungen von Building Information Modeling (BIM) auf die Leistungsbilder und Vergütungsstruktur für Architekten und Ingenieure sowie auf die Vertragsgestaltung: Schlussbericht: BBSR/BBR.

- Lubowiecka, I., Armesto, J., Arias, P. und Lorenzo, H. 2009. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. In: *Engineering Structures* 31 (11): 2667–76. doi:10.1016/j.engstruct.2009.06.018.
- Lukas, K. 2013. Optimierung der Instandsetzungszeitpläne städtischer Infrastrukturbawerke auf Basis von Metaheuristiken. Dissertation, Technische Universität München.
- Lukas, K., Ji, Y., Obergriesser, M. und Borrmann, A. 2008. Parametrische Modellierung von Brückenbauwerken. In: Tagungsband des 20. Forum Bauinformatik.
- Mace Limited. 2013. HS2 Supply Chain BIM Upskilling Study: Government UK. Zugriff: 6. November 2015. <https://www.gov.uk/government/publications/hs2-supply-chain-bim-upskilling-study>.
- McGraw-Hill Construction. 2012. The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology. Hg. v. H. M. Bernstein. SmartMarket Report.
- MT Højgaard. 2015. Building Component Catalogue (Infrastructure) Level of Development Specification (LOD).
- Nemetschek. 2015. Versatobelbrücke. Zugriff: 2. November 2015. http://www.nemetschek.com/fileadmin/user_upload/Illustration/Projektbilder/Allplan_Versamertobelbruecke/versamertobel5.jpg.
- Newbery, F. 2012. BIM and architects' professional risk. In: *Construction Law Journal*, S. 272.
- Nolan, J. und D. McGovern. 2013. How Hybrid 3D Models Boost Productivity and ROI for Britain's Network Rail: Presentation - Webinar.
- Obergriesser, M. und Borrmann, A. „Infrastructural BIM standards - Development of an Information Delivery Manual for the geotechnical infrastructural design and analysis process.“ In: Proc. of the European Conference on Product and Process Modeling (ECPMM). Reykjavik, Iceland.
- Obergriesser, M., Ji, Y., Schorr, M., Lukas, K. und Borrmann, A. 2008. Einsatzpotential kommerzieller PDM/PLM-Softwareprodukte für Ingenieurbauprojekte. In: Tagungsband des 20. Forum Bauinformatik: Dresden, Germany: Forum Bauinformatik.
- Patapova, L. 2015. BIM for Bridges, or is it BRIM?. Zugriff: 2. November 2015. <https://www.aisc.org/uploadedcontent/2012NASCCSessions/B11/>.
- Pătrăucean, V., Armeni, I., Nahangi, M., Yeung, J., Brilakis, I. und Haas, Carl. 2015. State of research in automatic as-built modelling. In: *Advanced Engineering Informatics* 29 (2): 162–71. doi:10.1016/j.aei.2015.01.001.
- Pennsylvania State University. 2013. BIM Planning Guide for Facility: Version 2.0: The Pennsylvania State University. Zugriff: 15. November 2014. <http://bim.psu.edu>.
- Phares, B. M., Washer, G. A., Rolander, D. D., Graybeal, B. A. und Moore, M. 2004. Routine Highway Bridge Inspection Condition Documentation Accuracy and Reliability. In: *Journal of Bridge Engineering*. 9 (4): 403–13. doi:10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:4(403).
- Retz, J. und Lodgen, E. D. 2009. Negotiating and structuring construction contracts. Aspatore WL 1339224.
- Rio, J., Ferrera, B. und Poças-Martins, J. 2013. Expansion of IFC model with structural sensors. In: *Informes de la construcción* 65 (530): 219–28.

- Riveiro, B., Morer, P., Arias, P. und Arteaga, I. de. 2011. Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. In: *Construction and Building Materials* 25 (4): 1726–35. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.094.
- Royal Institute of British Architects. 2012. BIM Overlay to the RIBA Outline Plan of Work.
- Schießl, P., Gehlen, C., Zintel, M., Rank, E., Borrmann, A., Lukas, K., Budelmann, H. et al. 2011. "Nachhaltig Bauen mit Beton" Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung: DAfStb-Heft.
- Schindler, S., Hegemann, F., Alsahly, a., Barciaga, T., Galli, M., Lehner, K. und Koch, C. 2014. An interaction platform for mechanized tunnelling. Application on the Wehrhahn-Line in Düsseldorf (Germany) / Eine Interaktionsplattform für maschinelle Tunnelvortriebe. Anwendung am Beispiel der Wehrhahn-Linie in Düsseldorf. In: *Geomechanik Tunnelbau* 7 (1): 72–86. doi:10.1002/geot.201310015.
- Schorr, M., Borrmann, A., Obergruesser, M., Ji, Y., Günthner, W., Euringer, T. und Rank, E. 2011. Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects - Potentials and Obstacles. In: *Journal of Computing in Civil Engineering* 25 (6): 430–41. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000135.
- Shim, C. S., Yun, N. R. und Song, H. H. 2011. Application of 3D Bridge Information Modeling to Design and Construction of Bridges. In: *Procedia Engineering* 14:95–99.
- Siltanylund. 2014. Bridge BIM Projects. Zugriff: 2. November 2015. www.siltanylund.fi/Siltanylund_Bridge_Bim.pdf.
- Simey, O. 2013. BIM in Bridge Construction: Improving Production Phase Performance in Bridge Construction Through the Use of 3D BIM. Masterthesis, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Singer, D. 2015. Einsatz wissensbaiserte Methoden in frühen Phasen des Brückenentwurfs. In: Tagungsband des 27. Forum Bauinformatik: Aachen: Forum Bauinformatik.
- Singer, D. und Borrmann, A. 2015. A Novel Knowledge-Based Engineering Approach for Infrastructure Design. In: *The Fourth International Conference on Soft Computing Technology in Civil, Structural and Environmental Engineering*: Prague, Czech Republic: CSC.
- Stasis, A., Whyte, J., Stephens, E. und Dentten, R. 2012. Building Information Modelling and Management in Infrastructure Programmes: A Scoping Study in Crossrail. In *TSBE Engineering Doctorate Conference*.
- Strascheit, J., Meschke, G., Koch, C., Hegemann, F. und König, M. 2013. Process-oriented Numerical Simulation of Mechanized Tunneling Using an IFC-based Tunnel Production Model. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 30-31 October 2013, London, UK: hg. v. Dawood und M. Kassem.
- Tang, P., Akinci, B. und Garrett, J. H. 2007. Laser Scanning for Bridge Inspection and Management. report (iabse symp.) 93 (18): 17–24. doi:10.2749/222137807796120283.
- Tang, P., Huber, D. und Akinci, B. 2011. Characterization of Laser Scanners and Algorithms for Detecting Flatness Defects on Concrete Surfaces. In: *Journal of Computing in Civil Engineering* 25 (1): 31–42. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000073.
- Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R. und Lytle, A. 2010. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related

- techniques. In: *Automation in Construction* 19 (7): 829–43.
doi:10.1016/j.autcon.2010.06.007.
- Tautschnig, A., Hogge, A. und Gasteiger, A. 2013. BIM – eine Revolution der Planung?. In: *bau aktuell*, S.42.
- Tekla. 2015a. *Bridge Design by WSP Finland*. Zugriff: 2. November 2015.
<http://www.tekla.com/references/bridge-design-wsp-finland>.
- Tekla. 2015b. *Tekla Structures*. Zugriff: 2. November 2015.
<http://www.tekla.com/de/produkte/tekla-structures>.
- Tirkkonen, T. 2009. *5D-BRIDGE -Finnish bridge BIM*. Zugriff: 14. November 2015.
<http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=3958>.
- V. Both, P., Koch, V. und Kindsvater, A. 2012. *BIM - Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan*. In: *Forschungsinitiative ZukunftBau*. Fraunhofer-IRB-Verl. Stuttgart.
- V-Con. 2015. *Virtual Construction for Roads: Inventory of available information exchange standards*.
- Wang, J., Hao, X. und Xiang, G. 2015. *The Application of BIM Technology in the Construction of Hangzhou Zizhi Tunnel*. In: *3rd international conference on mechatronics, robotics and automation (ICMRA 2015): Shenzhen, China, April 20-21, 2015*, hg. v. P. Yarlagadda. *Advances in Computer Science Research (ACSR) 15*. Amsterdam: Atlantis Press.
- Wang, M. 2012. *3D-Planung von Brückenbauwerken mit Siemens NX 7.5*. Masterarbeit, Technische Universität München.
- Weinholzer, M. 2015. *Herausforderungen der BIM-basierten Projektplanung im Infrastrukturbau: Analyse und Implementierung von Datenaustauschformaten zwischen CAD- und AVA- Systemen*. 1. Aufl. Saarbrücken: AV Akademikerverlag.
- Yabuki, N. 2008. *Representation of caves in a shield tunnel product model*. In: *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*: hg. v. R. Scherer und A. Zarli, 545–50: Taylor & Francis.
- Yabuki, N., Aruga, T. und Furuya, H. 2013. *Development and Application of a Product Model for Shield Tunnels*. In: *Proceeding the 6th Civil Engineering Conference in Asia Region*: 435–47.
- Yoshida, Y. und Yabuki, N. 2009. *Development of a dynamic sensor data model with contexts for data mining from monitoring of infrastructures*. In: *SSMS2009 The 5th International Symposium on Social Management Systems*.
- Zobl, F., Chmelina, K., Faber, R., Kooijman, J., Marschallinger, R. und Stoter, J. 2011. *Multidimensional aspects of GeoBIM data: new standards needed*. In: *Proceedings IAMG 2011 (Salzburg)*.