

Im Rahmen des sich derzeit vollziehenden Wandels von der segmentierten, zeichnungsorientierten zur integrierten, modellbasierten Arbeitsweise bei der Planung von Bauwerken und ihrer Erstellung werden Computermodelle nicht mehr nur für die physikalische Simulation des Bauwerksverhaltens, sondern auch zur Koordination zwischen den einzelnen Planungsdisziplinen und Projektbeteiligten genutzt. Die gemeinsame Erstellung und Nutzung dieses Modells zur virtuellen Abbildung des Bauwerks und seiner Erstellungsprozesse, das sogenannten Building Information Modeling (BIM), ist dabei zentraler Bestandteil der Planung. Die Integration der Terminplanung in diese Arbeitsweise erfolgt bisher jedoch nur unzureichend, meist lediglich in der Form einer nachgelagerten 4D-Simulation zur Kommunikation der Planungsergebnisse.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die tiefere Einbettung der Terminplanung in die modellbasierte Arbeitsweise. Auf Basis einer umfassenden Analyse der Rahmenbedingungen und des Informationsbedarfs der Terminplanung werden Konzepte zur effizienten Wiederverwendung von im Modell gespeicherten Daten mit Hilfe einer Verknüpfungssprache, zum umfassenden Datenaustausch auf Basis der Industry Foundation Classes (IFC) und für das Änderungsmanagement mittels einer Versionierung auf Objektebene entwickelt. Die für die modellbasierte Terminplanung relevanten Daten und ihre Beziehungen zueinander werden dabei formal beschrieben sowie die Kompatibilität ihrer Granularität durch eine Funktionalität zur Objektteilung sichergestellt. Zur zielgenauen Extraktion von Daten werden zudem Algorithmen für räumliche Anfragen entwickelt.

ISBN: 978-3-86068-416-0

Herausgegeben von der Professur Informatik im Bauwesen, Verlag der Bauhaus-Universität Weimar

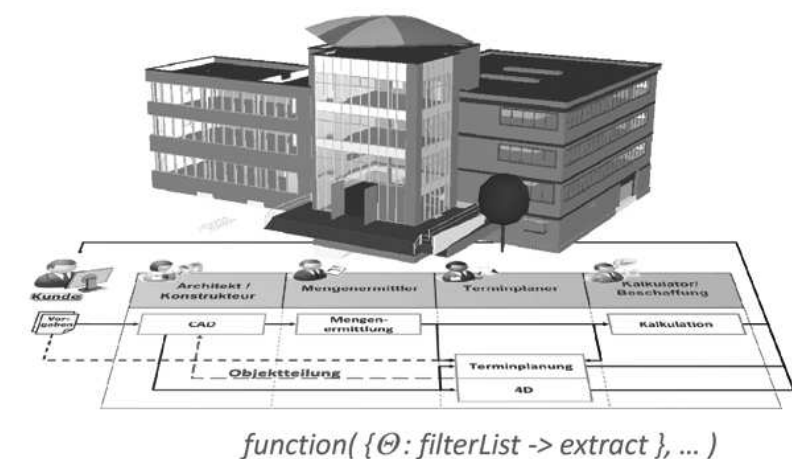
Jan Tulke Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen 4

4

Informatik  
in Architektur und Bauwesen

Jan Tulke

## Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen



Bauhaus-Universität Weimar



Informatik  
in Architektur und Bauwesen 4  
Hrsg. von der Professur Informatik im  
Bauwesen

Jan Tulke

Kollaborative Terminplanung  
auf Basis von  
Bauwerksinformationsmodellen

Verlag der Bauhaus-Universität Weimar

## Impressum

Schriftenreihe Informatik in Architektur und Bauwesen  
Herausgegeben von der Professur Informatik im Bauwesen an der  
Bauhaus-Universität Weimar

Jan Tulke  
Kollaborative Terminplanung auf Basis von  
Bauwerksinformationsmodellen

Umschlag: Katrin Wender

Druck: docupoint Magdeburg GmbH

Verlag der Bauhaus-Universität Weimar 2010

ISBN: 978-3-86068-416-0

Bestellungen:  
verlag@uni-weimar.de  
Fax: 03643/581156

Diese Publikation steht auch online zur Verfügung unter  
<http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2010/1513>

# Kollaborative Terminplanung auf Basis von Bauwerksinformationsmodellen

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor - Ingenieur

an der Fakultät Bauingenieurwesen  
der  
Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Jan Tulke

geboren am 23. April 1978  
in Berlin

Gutachter: 1. Prof. Dr.-Ing. Karl Beucke, Bauhaus-Universität Weimar  
2. Prof. Dr.-Ing. Peter Racky, Technische Universität Darmstadt  
3. Prof. Dr.-Ing. Markus König, Ruhr-Universität Bochum

Eingereicht am: 25. Oktober 2009

Tag der Disputation: 30. April 2010



---

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von Juni 2006 bis Oktober 2009 im Rahmen einer externen Promotion am Lehrstuhl Informatik im Bauwesen der Bauhaus-Universität Weimar. Die thematische Bearbeitung war im Zusammenhang mit meiner Projektleitertätigkeit für die HOCHTIEF AG in das vier Jahre laufende EU Forschungsprojekt „Open Information Environment for knowledge-based collaborative Processes throughout the lifecycle of a building“ (InPro) innerhalb des sechsten EU-Forschungsrahmenprogramms eingebettet. Eine vorhergehende, über dreijährige Berufstätigkeit in der Angebots- und Ausführungsplanung von Großprojekten im Tief-, Tunnel-, Wasserbau bei HOCHTIEF Consult Infrastructure und die damit verbundene Berufserfahrung sowie vorhandenen Kontakte zu praktisch tätigen Fachleuten kamen mir bei der Bearbeitung dieser Dissertation sehr zugute. Hierzu zählte insbesondere auch der direkte Zugriff auf in der Praxis gängige, kommerzielle Softwarepakete sowie auf reale Projektdaten aus dem Bereich virtuellen Bauens der HOCHTIEF ViCon GmbH, bei der ich über die gesamte Bearbeitungszeit hinweg meinen festen Arbeitsplatz hatte. Durch meine Lehrtätigkeit für die HOCHTIEF Akademie im Fach Bauinformatik war es mir darüber hinaus möglich, ein unmittelbares Gefühl für die Bedürfnisse und Anforderungen von Baupraktikern an unterstützende Softwareanwendungen zu erlangen.

Mit der modellbasierten Terminplanung kam ich erstmalig im Herbst 2005 im Rahmen eines Pilotprojektes zur Aufbereitung eines Bauzeitennachtrags mit Hilfe von 4D-Simulationen in Kontakt. Kern des Projektes war die vergleichende Visualisierung mehrere Terminplanalternativen für die Bauausführung auf Basis eines einzigen, dreidimensionalen CAD Modells. Die damalige breite Akzeptanz und hohe Begeisterung für die Projektergebnisse in Verbindung mit den zahlreich angetroffenen Schwierigkeiten und unausgereiften Softwarefunktionalitäten motivierten mich, diese Technologie, trotz der damals schon breiten Widmung in der Forschung, weiter zu verfolgen und ihre konzeptionelle Effizienz und damit Praxistauglichkeit durch neue Ansätze entscheidend zu verbessern.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing Karl Beucke, der bzgl. einer zielgerichteten Durchführung meiner Promotion stets ein wertvoller Ansprechpartner war, sowie der HOCHTIEF AG und hier insbesondere Herrn Wolfgang Katzer für die mir entgegengebrachte persönliche, finanzielle und organisatorische Unterstützung während der gesamten Bearbeitungszeit. Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern am Lehrstuhl, die mir stets mit Rat und Tat zu Seite standen, sowie den beiden externen Gutachtern Prof. Dr.-Ing. Peter Racky, Leiter des Institut für Baubetriebswirtschaft an der Universität Kassel, und Prof. Dr.-Ing Markus König, Leiter des Lehrstuhls für Informatik im Bauwesen an der Ruhr-Universität Bochum, für die Erstellung der Gutachten.

Bei meiner zukünftigen Frau, meiner Familie und meinen Freunden bedanke ich mich außerordentlich für das mir entgegengebrachte Verständnis für den langjährigen Zeitmangel und die häufige Trennung, verursacht durch die nicht unbedeutenden Entfernungen zwischen meinen Wohn- und Arbeitsorten Essen, Weimar, Berlin und Herbrechtingen.

Essen, im Mai 2010  
Jan Tulke





---

# Kurzfassung

Im Rahmen des sich derzeit vollziehenden Wandels von der segmentierten, zeichnungsorientierten zur integrierten, modellbasierten Arbeitsweise bei der Planung von Bauwerken und ihrer Erstellung werden Computermodelle nicht mehr nur für die physikalische Simulation des Bauwerksverhaltens, sondern auch zur Koordination zwischen den einzelnen Planungsdisziplinen und Projektbeteiligten genutzt. Die gemeinsame Erstellung und Nutzung dieses Modells zur virtuellen Abbildung des Bauwerks und seiner Erstellungsprozesse, das sog. Building Information Modeling (BIM), ist dabei zentraler Bestandteil der Planung. Die Integration der Terminplanung in diese Arbeitsweise erfolgt bisher jedoch nur unzureichend, meist lediglich in der Form einer nachgelagerten 4D-Simulation zur Kommunikation der Planungsergebnisse. Sie weist damit im Verhältnis zum entstehenden Zusatzaufwand einen zu geringen Nutzen für den Terminplaner auf.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die tiefere Einbettung der Terminplanung in die modellbasierte Arbeitsweise. Auf Basis einer umfassenden Analyse der Rahmenbedingungen und des Informationsbedarfs der Terminplanung werden Konzepte zur effizienten Wiederverwendung von im Modell gespeicherten Daten mit Hilfe einer Verknüpfungssprache, zum umfassenden Datenaustausch auf Basis der Industry Foundation Classes (IFC) und für das Änderungsmanagement mittels einer Versionierung auf Objektebene entwickelt. Die für die modellbasierte Terminplanung relevanten Daten und ihre Beziehungen zueinander werden dabei formal beschrieben sowie die Kompatibilität ihrer Granularität durch eine Funktionalität zur Objektteilung sichergestellt. Zur zielgenauen Extraktion von Daten werden zudem Algorithmen für räumliche Anfragen entwickelt.

Die vorgestellten Konzepte und ihre Anwendbarkeit werden mittels einer umfangreichen Pilotimplementierung anhand von mehreren Praxisbeispielen demonstriert und somit deren praktische Relevanz und Nutzen nachgewiesen.



---

# Abstract

In context of the current change from a segmented, drawing based to an integrated, model based planning approach for buildings and their construction processes, computer models are no longer used for physical simulations of structural characteristics only, but also as basis for coordination between different design disciplines and stakeholders. Thereby the collaborative compilation and utilisation of such a model which serves as virtual representation, the so called Building Information Modeling (BIM), is within the core of the new planning approach. But currently, construction sequence planning is only insufficiently integration in this new approach and mostly limited to a subsequent 4D-Simulation for communication of scheduling results. Consequently the accruing additional effort for the model use cannot be fully justified by the resulting benefits.

Therefore subject of the present thesis is a deeper integration of construction sequence planning into the model based way of working. Starting from a comprehensive analysis of general conditions and information needs during scheduling, concepts of a linking language for efficient reuse of model data, complete data exchange based on Industry Foundation Classes (IFC) and change management based on object versioning are presented. Data used during scheduling and its inherent relationships are described formally and a functionality of object splitting is developed to ensure the compatibility of data granularity. For the sake of target precise data extraction, algorithms of spatial queries are presented.

All concepts are implemented in an extensive software package and their practical application is demonstrated by several examples.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Computermodelle im Bauwesen . . . . .	1
1.2	Terminplanung im Bauwesen . . . . .	5
1.2.1	Definition der Terminplanung . . . . .	5
1.2.2	Bedeutung der Terminplanung . . . . .	5
1.3	Ziel und Abgrenzung der Arbeit . . . . .	7
1.4	Vorgehensweise . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Prozessanalyse und Stand der Technik</b>	<b>11</b>
2.1	Prozessanalyse . . . . .	11
2.1.1	Zusammenarbeit in der Terminplanung . . . . .	11
2.1.2	Inhalt und Gliederung eines Terminplans . . . . .	13
2.1.3	Methoden zur Bestimmung der Dauer von Vorgängen . . . . .	15
2.1.4	Detaillierungsstufen eines Terminplans . . . . .	17
2.1.5	Festlegung von Bauverfahren und Ressourcen . . . . .	18
2.1.6	4D-Simulation . . . . .	19
	Verknüpfungsaufwand . . . . .	20
	Detaillierungsbedarf . . . . .	23
	Visualisierungsmöglichkeiten . . . . .	25
	Integration und Nutzen . . . . .	27
2.1.7	Hilfsmittel der Terminplanung . . . . .	28
2.2	Marktüberblick . . . . .	29
2.3	Weitere Literatur . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Entwicklungsbedarf</b>	<b>33</b>
3.1	Modellbasierte Zusammenarbeit im Projekt . . . . .	34
3.2	Datenaustausch mit Projektpartnern . . . . .	35
3.3	Schnittstelle zwischen projekt- und unternehmensbezogener Datenverarbeitung . . . . .	37
3.4	Versionierung . . . . .	37
3.5	Verknüpfungsmethodik . . . . .	39
3.6	Visualisierung . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Lösungsansatz</b>	<b>43</b>
4.1	Systementwurf . . . . .	43
4.2	Prozess und Akteure . . . . .	46
4.3	Gliederung in Bauabschnitte . . . . .	49
4.4	Modellbildung . . . . .	51

4.5	Daten . . . . .	56
4.5.1	Domainmodelle und Bearbeitungsmodi . . . . .	56
4.5.2	Gliederung in Teilmodelle . . . . .	57
	Terminplan . . . . .	57
	Kosten . . . . .	58
	CAD-Modell . . . . .	58
	Mengeninformationen . . . . .	58
	Visualisierungsparameter . . . . .	59
	Zonen und Achsen . . . . .	60
	Weitere Teilmodelle . . . . .	60
4.5.3	Beziehungen zwischen Teilmodellen . . . . .	60
	Beziehung zwischen Terminplan und Kostenschätzung . . . . .	61
	Beziehung zwischen Terminplan und CAD-Modell . . . . .	61
	Beziehung zwischen Terminplan und Mengeninformationen . . . . .	63
4.5.4	Zusammenfassung . . . . .	65
4.6	Verknüpfungssprache . . . . .	65
4.6.1	Prinzip . . . . .	66
4.6.2	Spezifikation . . . . .	68
4.6.3	Makros . . . . .	73
4.6.4	Weiterführende Literatur . . . . .	74
4.7	Geometrische Algorithmen . . . . .	74
4.7.1	Zonenanfrage . . . . .	76
4.7.2	Achsenanfrage . . . . .	82
4.7.3	Objektteilung . . . . .	89
4.8	Versionierung . . . . .	94
4.9	Datenaustausch mittels IFC . . . . .	99
4.9.1	CAD-Daten . . . . .	100
4.9.2	Mengeninformationen . . . . .	103
4.9.3	Kostenbudget . . . . .	104
4.9.4	Achsraster und Zonen . . . . .	104
4.9.5	Terminplan . . . . .	105
4.9.6	4D-Simulation . . . . .	106
4.9.7	Weitere Verknüpfungen . . . . .	107
4.9.8	Verknüpfungsregeln . . . . .	108
<b>5</b>	<b>Umsetzung</b> . . . . .	<b>109</b>
5.1	4D-BIM-Editor . . . . .	110
5.1.1	IFC Toolbox . . . . .	110
5.1.2	COM-Schnittstelle . . . . .	112
5.1.3	Datenmodell, Konvertierung und Filter . . . . .	114
5.1.4	Benutzeroberfläche . . . . .	115
5.2	Workspace . . . . .	117
5.2.1	Versionsmanager . . . . .	117
5.2.2	Datenspeicher . . . . .	119
	Abbildung des Referenzdatenbestands . . . . .	120
	Abbildung von Metainformationen . . . . .	120

Abbildung des Modellversionsgraphens . . . . .	120
Abbildung der Objektversionsgraphen . . . . .	121
5.3 Sprachinterpretier . . . . .	121
5.3.1 Funktionsweise und Benutzerschnittstelle . . . . .	121
5.3.2 Übersetzung in SQL . . . . .	124
Mengenausdrücke . . . . .	124
Extraktion . . . . .	124
Räumliche Anfragen . . . . .	125
Filter . . . . .	125
Reguläre Ausdrücke . . . . .	127
Beispiele . . . . .	128
5.3.3 Umsetzung von Funktionen . . . . .	130
5.4 Umsetzung räumlicher Anfragen . . . . .	132
5.5 Projekt und Paketstruktur . . . . .	134
<b>6 Beispiele und Demonstration</b>	<b>135</b>
6.1 Minimalbeispiel . . . . .	135
6.2 Praxisbeispiele . . . . .	140
6.3 Erweitertes Demonstrationsszenario . . . . .	150
<b>7 Abschließende Bemerkungen</b>	<b>151</b>
7.1 Zusammenfassung . . . . .	151
7.2 Bewertung der Ergebnisse . . . . .	153
7.3 Ausblick . . . . .	154
<b>Anhang</b>	<b>157</b>
A Grammatik der Verknüpfungssprache in erweiterter Backus-Naur-Form	159
B Grammatik des Makroprozessors in erweiterter Backus-Naur-Form . .	165
C Datenabbildung in IFC . . . . .	169
D Datenbankschema . . . . .	185
E Ehrenwörtliche Erklärung . . . . .	187
F Über den Autor . . . . .	189
F.1 Lebenslauf . . . . .	189
F.2 Publikationen . . . . .	191
<b>Verzeichnisse</b>	<b>193</b>
Abbildungsverzeichnis . . . . .	197
Tabellenverzeichnis . . . . .	199
Verzeichnis der Algorithmen . . . . .	201
Verzeichnis der Auflistungen . . . . .	203
Literaturverzeichnis . . . . .	205
<b>Glossar</b>	<b>217</b>