

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung Internet of Construction	1
Sigrid Brell-Cokcan, Robert H. Schmitt, Thomas Adams, Garlef Hupfer und Sören Münker	
1.1 Herausforderungen für die Digitalisierung und Automatisierung im Bauwesen	1
1.2 Herausforderungen der unternehmensübergreifenden Kollaboration in den Fertigungsketten des Bauwesens	4
1.2.1 Partnerwahl und Vertragsdesign	5
1.2.2 Steuerung der Zusammenarbeit	5
1.2.3 Anforderungen an die unternehmensübergreifende Kollaboration im Bauwesen	6
1.3 Herausforderungen zur Einführung von Industrie 4.0 in das Bauwesen	8
1.4 Verortung der IoC-Ergebnisse im Referenzarchitekturmödell Bau 4.0 (RAMB 4.0)	10
1.5 Zusammenfassung der Ziele des Internet of Construction	13
Literatur	13
2 Praktiken der Vorfertigung im Holz- und Fassadenbau	17
Thomas Adams, Baris Cokcan, Peter Zock, Helena Annen und Maximilian Annen	
2.1 Zusammenfassung	17
2.2 Einleitung in die Entwicklung digitaler Planungs- und Fertigungsmethoden im Holzbau	18
2.3 Digitale Fertigungs- und Bauprozesse am Fallbeispiel eines mittelständischen Holzbauunternehmens	20
2.3.1 Firmenstruktur und Maschinenpark	20
2.3.2 Unternehmensinterne Prozesse für die Planung, Fertigung, Montage und Dokumentation	21

2.4	Neubau einer Werkhalle durch digitale Fertigungstechniken	24
2.5	Stand der Technik digitaler Fertigungsmethoden im Holzbau	29
2.5.1	CNC-Maschinen	29
2.5.2	Abbundanlagen im Holzbau	32
2.6	Datenschnittstellen und -formate im Holzbau	34
2.6.1	Digitale Planung und Fertigung	34
2.6.2	G-Code	35
2.6.3	BTL	37
2.7	Schlussfolgerung und Ausblick	38
Literatur	39
3	Praktiken der Vorfertigung im Stahlbau	41
Thomas Adams, Henning Beselbecke, Renée Schwartz und Tobias Heimig-Elschner		
3.1	Zusammenfassung	41
3.2	Einleitung in die Entwicklung digitaler Planungs- und Fertigungsmethoden im Stahlbau	42
3.3	Digitale Fertigungs- und Bauprozesse am Fallbeispiel eines mittelständischen bis großen Stahlbauunternehmens	44
3.3.1	Firmenstruktur und Maschinenpark	44
3.3.2	Unternehmensinterne Prozesse für die Planung, Fertigung, Montage und Dokumentation	46
3.4	Stand der Technik digitale Produktionseinheiten im Stahlbau	51
3.4.1	Fertigungsverfahren im Stahlbau	51
3.4.2	Relevanz der Bearbeitungsschritte	54
3.4.3	Bauarten von Werkzeugmaschinen	55
3.4.4	CNC-Bearbeitungszentrum	56
3.4.5	Säge-Bohranlage	57
3.4.6	Vollautomatisierte Fertigungslien für Stahlträger	59
3.5	Datenschnittstellen und –formate im Stahlbau	62
3.5.1	Digitale Planung und Fertigung	62
3.5.2	DSTV-NC als Datenformat im Stahlbau	67
3.5.3	NC-Daten für den Zusammenbau	72
3.6	Schlussfolgerung und Ausblick	74
Literatur	75
4	Praktiken zum Informationsaustausch in den Vorfertigungsketten des Bauwesens	77
Ursel Jansen, Adrian Koss und Jan Luca Fahrendholz		
4.1	Zusammenfassung	77
4.2	Einführung – Datenaustausch zwischen verschiedenen Firmen	78

4.3	Beschreibungen der Firmenprozesse	80
4.3.1	Prozesse der Firma I	80
4.3.2	Prozesse der Firma II	84
4.4	Praxisbeispiel für den Informationsaustausch	88
4.4.1	Versuchsbeschreibung	88
4.4.2	Vergleich der Modellierungsumgebungen	88
4.4.3	Datenaustausch BOCAD-3D nach Advance Steel	90
4.4.4	Datenaustausch Advance Steel nach BOCAD-3D	97
4.5	Schlussfolgerung und Ausblick	101
Literatur		101
5	Praktiken der Bauausführung – Intralogistik und Baustellenmontage	103
Peter R. Wildemann, Jan Luca Fahrendholz, Christian Hördemann, Ursel Jansen, Henning Beselbecke und Thomas Adams		
5.1	Zusammenfassung	103
5.2	Status Quo – Bauausführende Unternehmen	104
5.2.1	Projektbezogene Aufbauorganisation	105
5.2.2	Ablauforganisation – Unternehmerisch	112
5.2.3	Ablauforganisation – Projektbezogen	112
5.3	Ressourcentypen und Rollen im Baubetrieb	129
5.4	Der Turmdrehkran als zentrales Baugerät im Hochbau	132
5.5	Datenformate- und Schnittstellen für die Bauausführung (Ablauforganisation)	135
5.5.1	GAEB	136
5.5.2	IFC	136
5.5.3	Fachsoftware in der Bauausführung – Closed BIM	136
5.6	Schlussfolgerung und Ausblick	137
Literatur		138
6	Ein erster Ansatz zur Darstellung und Verkettung von Daten und Informationen in den Wertschöpfungsketten des Bauwesens	141
Elisa Lublasser, Thomas Adams und Sigrid Brell-Cokcan		
6.1	Einführung	141
6.2	Methoden zur Modellierung von Prozessen und Informationen	142
6.2.1	Prozessmodelle & Flussdiagramme	142
6.2.2	Objektmodelle & Datenflussdiagramme	143
6.2.3	Sequenzdiagramme	144
6.3	Entwicklung eines ersten Ansatzes zur Darstellung von Informationen entlang der Fertigungsketten im Bauwesen	146
6.3.1	Vorgehen	146
6.3.2	Prozesserhebung	147
6.3.3	Prozesslandkarte am Beispiel des IoC-Demonstrators	151

6.3.4	Erster Ansatz zur Abstrahierung von Informationen	155
6.4	Schlussfolgerung	158
Literatur		158
7	IoC-Demonstrator zur Digitalisierung und Automatisierung unternehmensübergreifender Bauprozesse	161
Thomas Adams, Sigrid Brell-Cokcan, Peter R. Wildemann, Baris Cokcan, Christian Hördemann, Henning Beselbecke, Adrian Koss, Peter Zock und Lukas Kirner		
7.1	Zusammenfassung	162
7.2	Einleitung	162
7.3	Übersicht des IoC-Bauvorhabens	163
7.3.1	Struktur des IoC-Demonstrators	163
7.3.2	Rollen des Bauvorhabens	164
7.3.3	Standorte des Bauvorhabens	165
7.4	Planung	167
7.4.1	Entwurf	167
7.4.2	Statische Berechnung und Konstruktion	168
7.5	Arbeitsvorbereitung und Vorfertigung	180
7.5.1	Holzbau	180
7.5.2	Stahlbau	182
7.6	Bauablaufplanung und Bauausführung	183
7.6.1	Bauablaufplanung	183
7.6.2	Stahlbetonbau	186
7.6.3	Montage	190
7.7	Schlussfolgerung	199
7.8	Danksagung	199
Literatur		199
8	Wissensabbildung und Ontologien als Erweiterung von Bauinformationsmodellen	201
Lukas Kirner und Sigrid Brell-Cokcan		
8.1	Zusammenfassung	201
8.2	Ontologien, Linked Data und das Semantic Web	202
8.2.1	Daten, Informationen und Wissen im Bauwesen	202
8.2.2	Wissen und Wissens-Management	203
8.2.3	Ontologien	204
8.2.4	Linked Data und Semantic Web	208
8.2.5	Technische Umsetzung & Standards	208
8.3	Entwicklung einer Ontologie	210
8.3.1	Etablierte Methodiken	210
8.3.2	Verfügbare Softwaretools	212
8.3.3	Evaluation von Ontologien	215

8.4	State of the Art – Ontologien im Bauwesen	216
8.4.1	Überblick und Entwicklung	216
8.4.2	Beispiel-Ontologien für das Bauwesen	216
8.5	Ontologien als Schlüsseltechnologie für das Internet of Construction	217
8.5.1	Motivation und grundsätzliche Eignung	217
8.5.2	Der prozessorientierte Ansatz des IoC	219
8.5.3	Modularität und Erweiterbarkeit für Domänen des Bauwesens	223
8.5.4	Schlussfolgerung	224
	Literatur	224
9	ioc:process – ein neuer Ansatz einer Bauprozess-Ontologie für die unternehmensübergreifende Kollaboration	229
	Lukas Kirner, Peter R. Wildemann und Sigrid Brell-Cokcan	
9.1	Zusammenfassung	229
9.2	Einleitung	230
9.2.1	Motivation	230
9.2.2	Zielsetzung und Forschungsfragen	230
9.2.3	Hypothese	236
9.3	Der Prozess in der Domäne des Bauwesens	237
9.3.1	Definitionen von Prozess und Bauprozess	237
9.3.2	Klassifizierung von Prozessen	238
9.3.3	Schlussfolgerung für die IoC Bauprozess-Ontologie	239
9.4	Ontologie-basierte Abbildung von Bauprozessen	242
9.5	IoC Bauprozess-Ontologie ioc:process	252
9.5.1	Schwerpunkt und Kompetenzfragen	252
9.5.2	Anbindung und Wiederverwendung	253
9.5.3	Grundlegender Aufbau und Konzepte	255
9.5.4	Eigenschaften der Ontologie	263
9.6	Evaluation, Anwendung und Beispiele	264
9.6.1	Beispielhafte Modellierung	264
9.6.2	Abfrage der Prozess-Informationen	270
9.6.3	Modularisierung der Wissensrepräsentation	272
9.7	Zusammenfassung	273
9.7.1	Fazit	274
9.7.2	Limitationen	274
9.7.3	Ausblick	275
	Literatur	275

10 ioc:cro Ressourcenontologie – Eine Ontologie für Baugeräte IoC	
<i>Construction Resource Ontology</i>	279
Peter R. Wildemann, Sören Münker, Lukas Kirner, Jonas Mackh und Sigrid Brell-Cokcan	
10.1 Zusammenfassung	279
10.2 Einführung	280
10.2.1 Motivation	280
10.2.2 Zielsetzung und Forschungsfragen	280
10.2.3 Definitionen	281
10.3 Einsatz und digitale Repräsentation von Baugeräten	282
10.3.1 Prozesse und Herausforderungen im Umgang mit Baugeräten	282
10.3.2 Status Quo –Aktuelle Ressourcenbeschreibungen	285
10.3.3 Anforderungen	288
10.3.4 Bewertung des Stands der Technik	290
10.3.5 Hypothese	291
10.4 Die Ressourcenontologie	291
10.4.1 Methode	291
10.4.2 Entwicklung der Ontologie	291
10.5 Beispiele, Evaluation und Anwendung der Ontologie	312
10.5.1 Beispielhafte Modellierung und Abfrage	312
10.5.2 Anforderungsabgleich	316
10.6 Anwendung der Ressourcenontologie	316
10.6.1 Anlage eines digitalen Baugeräte-Zwillings	317
10.6.2 Nutzung eines digitalen Baugeräte-Zwillings	318
10.6.3 Datenweiternutzung	319
10.6.4 Nutzung der Daten in Fachtools	320
10.7 Zusammenfassung/Ergebnisse	321
10.7.1 Fazit	321
10.7.2 Limitationen und Ausblick	322
Literatur	322
11 ioc:location – Eine Ontologie für die Verortung raumbezogener Bauprozessdaten	325
Bernward Hoffmann, Lukas Kirner und Sigrid Brell-Cokcan	
11.1 Zusammenfassung	326
11.2 Problemstellung	326
11.3 Stand der Technik	327
11.3.1 Wichtige Arbeiten	327
11.3.2 Ansätze zur Beschreibung von Geometrien im <i>Semantic Web</i> -Kontext	328

11.4	Bewertung bisheriger Lösungsansätze	333
11.5	Vorgehensweise	334
11.6	Ontologie	334
11.6.1	Ontologieentwicklung	334
11.6.2	Aufbau der Ontologie.	336
11.6.3	Detaillierte Beschreibung relevanter Klassen	344
11.7	Validierung und Iteration der Ontologie anhand eines Use Cases	346
11.7.1	Theoretischer Use Case	346
11.7.2	Umsetzung und Implementierung des Use Cases	348
11.7.3	Automatisierte Topologieermittlung	349
11.8	Planungstool für die Baustelleneinrichtung	361
11.8.1	Abfragen der aktuellen Baustellensituation	361
11.8.2	Zone erstellen oder aktualisieren	362
11.8.3	Element erstellen oder aktualisieren	364
11.8.4	Anzeigen des zeitlichen Ablaufs und Analyse einzelner Elemente.	365
11.8.5	Bauteilnachverfolgung und Sicherheitstracking	366
11.8.6	Augmented Reality-Applikation	367
11.9	Beitrag zum aktuellen Stand der Technik.	370
11.10	Zusammenfassung	371
Literatur	372
12	ioc:process -Technische Umsetzung und praktische Anwendung der entwickelten Konzepte	375
	Lukas Kirner und Sigrid Brell-Cokcan	
12.1	Zusammenfassung	375
12.2	Ontologie und Datenmodell	376
12.2.1	Modellierung der Ontologie.	376
12.2.2	Dokumentation.	377
12.2.3	Triple Store Implementierung	377
12.3	Systemarchitektur und Core	382
12.3.1	Grundkonzept.	382
12.3.2	Aufbau des IoC-Core	385
12.3.3	Orchestrierung und Containerisierung.	387
12.3.4	Benutzerkontensteuerung.	388
12.4	API	388
12.4.1	Struktur, Anfragelogik und Antwortformung.	388
12.4.2	Dokumentation.	391
12.4.3	Evaluierung und Performance	392

12.5	Anbindungen und Mappings	395
12.5.1	Sharepoint	397
12.5.2	eingesetzte Konverter	398
12.5.3	Evaluierte Dateiformate	400
12.5.4	Internet of Things (IoT) Ansätze via MQTT	411
12.6	Entwickelte Tools und Werkzeuge	412
12.6.1	Grasshopper-Plugin „Starfrog“	412
12.6.2	Modellierungsumgebung via Litograph	416
12.7	Demonstratoren	418
12.7.1	Fertigung NC-Demonstrator (AG Fertigung)	418
12.7.2	Prozesskette IoC Demonstrator (AG Intralogistik & AG Montage)	422
12.7.3	AR Aufbau Baufortschritts erfassung/Locations (AG Netzwerk)	430
12.8	Schlüsse aus technischer Umsetzung	432
12.9	Ausblick und zukünftige Forschung	433
12.9.1	Federated Queries	433
12.9.2	Datensicherheit und Datenqualität	434
12.9.3	Entwicklung von Plugins und Anbindungen für etablierte Werkzeuge	434
12.9.4	Regelbasierte Verarbeitung mit SHACL	434
Literatur		435
13	Konfigurierbare Arbeitsräume und Robotik als Basis der Automatisierung in der Vorfertigung des Bauwesens	437
	Sven Stumm, Ajith Krishnan und Sigrid Brell-Cokcan	
13.1	Zusammenfassung	437
13.2	Einleitung	438
13.3	Grundlagen der Robotik	440
13.4	Steuerung serielle Gelenkarmroboter	443
13.5	Mobile Roboter Steuerung	444
13.6	Navigation mobiler Roboter und Registrierung	446
13.7	Grundlagen der Robotersteuerung	449
13.7.1	CAD-basierte Robotersteuerung	451
13.7.2	Weiterer Methoden der Robotersteuerung	455
13.8	Kommunikationsebene der Industrie 4.0	456
13.8.1	Message Queuing Telemetry Transport – MQTT	458
13.8.2	Quality of Service – QoS	460
13.8.3	Data Distribution Service – DDS	461
13.8.4	Open Platform Communications Unified Architecture – OPC UA	463

13.9	Schlussfolgerungen	464
Literatur	466	
14	Flexible roboterbasierte Produktion	469
Martin Feustel, Sven Stumm, Juan David Munoz Osorio und Mario Daniele Fiore		
14.1	Einleitung	469
14.2	Prozessbasierte Aufgabenbeschreibung	470
14.3	Limitierung der Programmierung von Industrierobotern für prozessbasierte Aufgabenbeschreibung	472
14.4	Aufgabenbeschreibung basierend auf unterbestimmten Frames	473
14.5	Aufgabenbeschreibung basierend auf geometrischen Primitiven und Constraints	475
14.6	Constraint-Solver für Aufgabenbeschreibungen	481
14.7	Taskinterpreter – Interpreter für Aufgabenbeschreibungen	484
14.8	Kollisionsvermeidung	488
14.9	Smart Motion Generator – Von der Aufgabenbeschreibung zur Roboterbewegung	491
14.10	Evaluation des Smart Motion Generators	495
14.11	Schlussfolgerung	502
Literatur	502	
15	Robotergestütztes Schweißen – Verteilte Produktionstechnik für dynamische Automatisierung	505
Sven Stumm, Ethan Kerber und Ajith Krishnan		
15.1	Zusammenfassung	505
15.2	Einleitung	506
15.3	Cloud Remote Control	508
15.3.1	M2M crc eine Industrie 4.0 Kommunikationsebene	511
15.3.2	Cloud Remote Anbindung	522
15.3.3	Nutzerschnittstellen und haptische Roboterprogrammierung im CRC	524
15.3.4	Dynamische Automatisierungskomponenten in der Praxis	528
15.3.5	Mobile Robotik in der Praxis	532
15.4	Prozessbasierte robotergestützte Anlagen in der Praxis	539
15.4.1	Anlagenkonzeptentwicklung der IoC Roboterdemonstratoren	540
15.4.2	Roboterprozessentwicklung auf Basis von DSTV-NC	542
15.4.3	Roboterprozessentwicklung auf Basis von BTL	544
15.4.4	Anbindung und Orchestrierung mit der IoC- Bauprozessontologie	548

15.5	Roboter-gestütztes Schweißen am Zusammenbaudemonstrator	550
15.5.1	Prozessentwicklung für die roboter-gestützte Schweißanlage im Zusammenbau komplexer Stahlbaugruppen.	550
15.5.2	Mobile kollaborative Robotik für die Stahlmontage	554
15.5.3	Sensoren und haptische Robotik in der Benutzerinteraktion	558
15.5.4	Industrialisierung der Cloud-Fernsteuerung	561
15.6	Ergebnisdiskussion & Schlussfolgerungen	564
	Literatur	565
16	Robotergestütztes Schrauben – Endeffektor-basierte Sensorsysteme für mobile Roboter	567
	Sören Münker, Lukas Schäper, Jan Strehl, Amon Göppert und Robert H. Schmitt	
16.1	Zusammenfassung	567
16.2	Einführung	568
16.3	Registrierung von Punktwolken zur Lokalisierung von Komponenten	569
16.3.1	Ansatz für die Posenerkennung	569
16.3.2	Testbauteil	570
16.3.3	Preprocessing Pipeline	570
16.3.4	Iterative Posenerkennung	572
16.3.5	Validierung mit mobilem Roboter	572
16.3.6	Zwischenfazit	573
16.4	Whole-body Motion Planning für die Montage mit mobilen Robotern	574
16.4.1	Konzept des Whole-body Motion Plannings mit stochastischem Planer	575
16.4.2	Benchmarking von Planungsalgorithmen für virtuelle Planungsprobleme	576
16.4.3	Validierung in der Laborumgebung	577
16.4.4	Zwischenfazit	579
16.5	Mobile Koordinatenmessmaschine für den Stahlbau	580
16.5.1	Konstruktion des iGPS Messtaster-Endeffektors	581
16.5.2	Software-Konzept	582
16.5.3	Validierungsversuche	584
16.5.4	Ergebnisse und Zwischenfazit	585
16.6	Zusammenfassung und Ausblick	586
	Literatur	587

17 Intralogistik – Materialflussoptimierung der baubetrieblichen Intralogistik im Hochbau	589
Sören Münker, Peter R. Wildemann, Maximilian Buxel, Amon Göppert und Robert H. Schmitt	
17.1 Zusammenfassung	589
17.2 Einleitung	590
17.3 Stand der Technik	591
17.4 Konzept der Materialflussoptimierung	595
17.5 Diskrete Optimierung der mehrstufigen Materialbereitstellung	598
17.6 Validierung anhand des IoC Demonstrators	609
17.7 Schlussfolgerung und Ausblick	613
Literatur	614
18 Intralogistik – Durchlaufzeitoptimierung in der baubetrieblichen Ressourceneinsatzplanung unter Verwendung von Montagevorranggraphen	615
Sören Münker, Peter R. Wildemann, Amon Göppert und Robert H. Schmitt	
18.1 Zusammenfassung	615
18.2 Einführung	616
18.3 Framework zur automatischen Durchlaufzeitoptimierung	618
18.4 Durchlaufzeitoptimierung im Job-Scheduling-Modul	621
18.5 Validierung auf der Referenzbaustelle	623
18.6 Schlussfolgerung und Ausblick	626
Literatur	626
19 Intralogistik – Assetmanagement und -lokalisierung in der Wertschöpfungskette Bau	629
Peter R. Wildemann und Sigrid Brell-Cokcan	
19.1 Zusammenfassung	629
19.2 Notwendigkeit der Lokalisierung im Baubetrieb	630
19.3 Status Quo – Lokalisierung von Assets im Baubetrieb	631
19.3.1 Wichtige Begriffsdefinitionen	631
19.3.2 State of the Art: Lokalisierungsmethoden	632
19.4 State of the Art: (Funk-) Technologien	638
19.4.1 Globale Positionsbestimmung in GPS durch GNSS	638
19.4.2 Lokale Positionsbestimmung in LPS	639
19.5 Use Cases und ihre Anforderungen	647
19.5.1 Allgemeine Anforderungs-Erhebung	647
19.5.2 Use Cases im IoC	647
19.6 Versuchsaufbau IoC-Demonstrator	652
19.6.1 Verwendete System-Komponenten	652
19.6.2 Gewählte Basisarchitektur des IoT-Systems	657

19.6.3	Übergreifendes Setup für Use Case 1 und 2 – Definition der Lokationen	659
19.6.4	Use Case 1: Versuchsaufbau – Transportlogistik	659
19.6.5	Konzeptidee am Übergang zwischen Use Case 1 und 2	663
19.6.6	Use Case 2: Versuchsaufbau – Baustellenlogistik	664
19.7	Ergebnisse und Validierung	667
19.7.1	Use Case 1	667
19.7.2	Use Case 2	668
19.8	Schlussfolgerung	673
19.8.1	Zusammenfassung und Fazit	673
19.8.2	Limitationen und Ausblick	673
Literatur		680
20	Methoden zur Digitalisierung von Baustellenprozessen durch Punktwellen	685
	Jan Luca Fahrendholz, Thomas Adams und Peter R. Wildemann	
20.1	Zusammenfassung	685
20.2	Einführung	686
20.3	Grundlagen des Laserscannings	687
20.3.1	Laserscanning und LiDAR	687
20.3.2	Photogrammetrie	689
20.4	Fallbeispiele	692
20.4.1	Baustellenerfassung mit Krankamera	692
20.4.2	Baustellenerfassung mit Tablet-PC und RTK-Antenne	697
20.4.3	Baustellenerfassung mit dem terrestrischen Laserscanner	700
20.5	Punktwellenvergleich von mobilem Endgerät und terrestrischen Laserscanner	706
20.5.1	Vergleichsverfahren	706
20.5.2	Punktwellenvergleich der Krankameraaufnahmen	706
20.5.3	Punktwellenvergleich der Tablet PC-Aufnahmen	708
20.5.4	Punktwellenvergleich der terrestrischen Laserscans	708
20.5.5	Gegenüberstellung der Messverfahren	712
20.6	Schlussfolgerung	713
Literatur		714
21	Grundlagen zur automatisierten Baufortschrittsüberwachung mittels Deep Learning basierend auf Punktwellen und Bauinformationsmodellen und Sigrid Brell-Cokcan	717
	Jan Luca Fahrendholz und Sigrid Brell-Cokcan	
21.1	Zusammenfassung	717
21.2	Einführung	717

21.3	Stand der Technik – Visuelle Baufortschrittsüberwachung	719
21.3.1	3D-Punktwolken als Zustandsaufnahmen	721
21.3.2	Registrierung von Punktwolken.....	722
21.3.3	Datenverarbeitung und Erkennung von Bauelementen	733
21.3.4	Anwendung mit Deep Learning.....	745
21.4	Fazit	752
	Literatur	753
22	Entwicklung und Umsetzung einer automatisierten Baufortschrittsüberwachung mittels Deep Learning basierend auf Punktwolken und Bauinformationsmodellen	765
	Jan Luca Fahrendholz, Lukas Kirner und Sigrid Brell-Cokcan	
22.1	Zusammenfassung	765
22.2	Einführung	766
22.3	Entwicklung der Baufortschrittsüberwachung.....	767
22.3.1	Anforderungs- und Zieldefinition	767
22.3.2	Konzept und Implementierung.....	769
22.4	Ergebnisse	797
22.4.1	Validierung anhand Fallstudie 1: Modellausschnitt eines realen Bauobjektes	798
22.4.2	Ergebnisse der Fallstudie 2: IoC-Demonstrator	808
22.4.3	Ergebnisse der Fallstudie 3: IoC-Stahlbau	809
22.5	Fazit und Ausblick	813
	Literatur	814
23	Baustellenassistenzsystem: Dynamischer Assistent zur Prozessunterstützung an der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine	817
	Peter R. Wildemann, Jonas Mackh, Christian Hördemann, Michael Kreger, Lukas Kirner, Ursel Jansen und Henning Beselbecke	
23.1	Zusammenfassung	817
23.2	Einleitung	818
23.3	Status Quo für Baustellenassistenzsysteme	818
23.4	Anforderungen an ein gekoppeltes Baustellenassistenzsystem	820
23.5	Konzept	821
23.5.1	Modellierung der Informationsbedarfe mittels User Stories	822
23.5.2	Visualisierung der Konzepte des Baustellenassistenten.....	830
23.5.3	Darstellung der Prozesse im BPMN	833
23.6	Umsetzung und Ergebnis	836
23.6.1	Architektur des Baustellenassistenten	836
23.6.2	Bedieneroberfläche des Baustellenassistenten.....	838

23.6.3	Einbindung von Turmdrehkranmodellen im Baustellenassistenten	845
23.6.4	Untersuchung des Assistenzsystems im Baustellenbetrieb	847
23.7	Schlussfolgerung	849
23.8	Fazit	852
	Literatur	852
24	Baukosten – wirtschaftliche Potenziale zentralisierter Datenplattformen für den Informationsaustausch in Bauprojekten	855
	Garlef Hupfer	
24.1	Zusammenfassung	855
24.2	Einführung	856
24.3	Probleme im Informationsfluss	856
24.4	Bewertung des aktuellen Informationsaustauschs	859
24.4.1	Konzeption des Fragebogens	860
24.4.2	Ergebnisse	862
24.5	Schlussfolgerung und Ausblick	868
	Literatur	868
25	Baukosten – Quantifizierung der Kosten durch suboptimale Informationsflüsse	871
	Garlef Hupfer und Jana Wendig	
25.1	Zusammenfassung	871
25.2	Einführung	872
25.3	Simulation von Projektabläufen	873
25.3.1	Erstellung eines Projektlogs mit SpiffWorkflow	874
25.3.2	Erstellung von suboptimalen Projektlogs	876
25.4	Analyse der Auswirkungen suboptimaler Informationsflüsse	880
25.5	Zusammenfassung	882
	Literatur	883
26	Baukosten – Wirtschaftlichkeitsanalyse unternehmensübergreifender Kollaboration in den Fertigungsketten des Bauwesens	885
	Garlef Hupfer	
26.1	Zusammenfassung	885
26.2	Einführung	886
26.3	Datenverbindungen	887
26.4	Mechanismen des Dashboards	889
26.5	Verwendung über den Projektzyklus hinweg	893
26.6	Zusammenfassung	895
	Literatur	896
	Stichwortverzeichnis	899