



Stefan Kirn (Herausgeber)

Marcus Müller (Herausgeber)

Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik
Modelle, Methoden und Werkzeuge für den autonomen
Erdbau



AUTONOME STEUERUNG
IN DER BAUSTELLENLOGISTIK

MODELLE, METHODEN UND WERKZEUGE
FÜR DEN AUTONOMEN ERDBAU

STEFAN KIRN & MARCUS MÜLLER (HRSG.)

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6362>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhaltsverzeichnis

Teil I AutoBauLog Vision

1	Das Projekt AutoBauLog – Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik	3
	Prof. Dr. Stefan Kirn, Dipl. oec. Marcus Müller, Dipl.-Ing. (FH) Carsten Frantzen, Dipl.-Ing. Ulrich Hermanski	
1.1	Forschungsansatz	4
1.1.1	Problemstellung	4
1.1.2	Lösungsansatz	4
1.2	Einbeziehung von kleinen und mittleren Unternehmen in den AutoBauLog-Innovationsprozess	7
1.3	Projektstruktur	8
1.3.1	Involvierte Prozess- und Wertschöpfungsketten	8
1.3.2	Die AutoBauLog-Konsortialstruktur	9
1.3.3	Die Projektarchitektur in drei Schichten	10
1.4	Ausblick auf die Buchinhalte	11
1.5	Literaturverzeichnis	12
2	Szenarien für die autonome Baustellenlogistik	13
	Dr.-Ing. Burkhard Seizer, Dipl. oec. Marcus Müller	
2.1	Einleitung	13
2.2	Anforderungen an die Bauprozesse	14
2.2.1	Auswahl Autonomie-geeigneter Prozesse mit wirtschaftlichen Potenzialen	14
2.2.2	Auswahl der erforderlichen Baumaschinen	16
2.2.3	Darstellung der ausgewählten Prozesse in Szenarien	18
2.3	Anforderungen an die Maschinenteknik	20
2.3.1	Stand der Technik zur Automatisierung und Autonomisierung	20
2.3.2	Potenziale der Automatisierung und Autonomisierung ...	22
2.3.3	Auswahl der aus Anwendersicht sinnvollen Potenziale ..	24
2.4	Anforderungen an die Systemumgebung	25



2.4.1	Anforderungen an Kommunikation und Steuerung innerhalb der Maschinengruppen und zwischen Maschinengruppen und Leitstand	25
2.4.2	Anforderungen an den Leitstand und die Systeme zur Arbeitsvorbereitung und -kontrolle	25
2.5	Fazit	26
2.6	Literaturverzeichnis	27

Teil II Modelle und Baustellenleitstand

3	Baumanagementsoftware	31
	Dipl.-Ing. Hans Schulz, Dipl.-Ing. (FH) Steffen Rabe	
3.1	Prozessschemata	31
3.1.1	Übersicht Gesamtsystemarchitektur	32
3.1.2	Prozess Auftragserteilung	32
3.1.3	Prozess Leistungsmeldung	33
3.1.4	Prozess Störungskalation	34
3.2	Komponente Integriertes Produktmodell Tiefbau	35
3.2.1	Integriertes Produktmodell Tiefbau	35
3.2.2	Aufgaben STRATIS®	37
3.3	Gerätedatenverwaltung	50
3.3.1	Datenstruktur Geräte in iTWO®	50
3.3.2	Parameter	58
3.4	Komponente Vorgangsmodell	59
3.4.1	Einführung	59
3.4.2	Anbindung der Geometriedaten, AUSSTATTUNG	61
3.4.3	Anbindung der Maschinen-/Gerätedaten	62
3.4.4	Vorgang ↔ Auftrag	63
3.5	Multimodell	65
3.5.1	Definition	65
3.5.2	Austausch der Daten des Multimodells	65
3.5.3	Multimodelltdaten und –parameter in AutoBauLog	68
3.6	Baustellenkommunikation zwischen Maschinen/Maschinenteams, MAS und Baustellenmanagement ..	69
4	Das integrierte Leitstand-Produktmodell	73
	Dipl.-Ing. Thilo Brüggemann, Prof. Dr.-Ing. Petra von Both	
4.1	Einleitung	73
4.1.1	Problemstellung	73
4.1.2	Zielsetzung	74
4.2	Anforderungsdefinition	76
4.2.1	Darstellungsgegenstand	76
4.2.2	Granularitäten	77
4.3	Konzeption	78
4.3.1	Harmonisierung	78
4.3.2	Hierarchie	79



4.4	Spezifikation	83
4.4.1	Geometrie.....	83
4.4.2	Topologie	85
4.4.3	Typologie	86
4.5	Integration	87
4.6	Implementierung.....	89
4.7	Ausblick.....	90
4.8	Literaturverzeichnis	91
5	Generische Modellierung der Bauproduktionsplanung und -steuerung im schweren Erdbau	93
	Dipl.-Ing. Tobias Bregenhorn	
5.1	Die Bauproduktion als Wertschöpfungsprozess	93
5.1.1	Die Bauproduktionsfaktoren	96
5.1.2	Die Einflüsse auf das Bauproduktionssystem Erdbau	98
5.2	Bauproduktionsplanung	103
5.3	Bauproduktionssteuerung	111
5.4	Fazit	120
5.5	Literaturverzeichnis	122
6	Ein Virtual Reality-Leitstand für die Visualisierung autonomer Baustellenprozesse	125
	Dr.-Ing. Christoph Runde, Jochen Siegle, M.Sc. Kim Kirchbach	
6.1	Einleitung	125
6.1.1	Motivation des VR/AR-Baustellenleitstands	125
6.1.2	Anforderungsanalyse an den VR Baustellenleitstand	126
6.2	VR-basierter Leitstand für den Baustellenbetrieb im Forschungslabor	132
6.2.1	Aufgabenstellung	132
6.2.2	Architektur	132
6.2.3	Fazit	138
7	Augmented Reality zur Überwachung autonomer Baustellenprozesse	139
	M.Sc. Kim Kirchbach	
7.1	Einleitung	139
7.2	Technische Grundlagen	141
7.2.1	AR-Bibliothek	141
7.2.2	Geometrie-Bibliothek	146
7.2.3	Konfigurierbarkeit	147
7.2.4	Informationen	147
7.3	Anwendungsfall	148
7.4	Fazit	152
7.5	Literaturverzeichnis	153



Teil III Maschinensteuerung und Baustellenkommunikation

8	Maschinensteuerung und Kommunikationsnetze für die autonome Tiefbaustelle	157
	Geomatic Engineer (Ing.) Achiel Sturm, Dipl.-Ing. Wolfram Voigt, Dipl.-Ing. Michael Kaak, Dipl. oec. Marcus Müller	
8.1	Entwicklungsansatz	157
	8.1.1 Problemstellung	157
	8.1.2 Lösungsweg	158
8.2	Die technische Basis	159
	8.2.1 Maschinensteuerung	159
	8.2.2 Positionsbestimmung von Baumaschinen	163
	8.2.3 Netze für die Baustellenkommunikation	164
	8.2.4 Zentrale Datenspeicher und Datenaufbereitung	165
	8.2.5 Mobile Baustellenendgeräte	165
8.3	Maschinensteuerung für die autonome Tiefbaustelle	166
	8.3.1 Vom Modell zur Maschine und zurück	166
	8.3.2 Automatisierte Baufortschrittsüberwachung	167
	8.3.3 Erhöhte Autonomie im Bagger-LKW-Betrieb	167
	8.3.4 Vom Labor ins Feld	168
8.4	Fazit	169

Teil IV Baustellen-Kooperationsarchitektur

9	Information, Anreiz- und Kontrollstrukturen in der Baustellenorganisation	173
	Dipl. oec. Marcus Müller	
9.1	Forschungsansatz	173
	9.1.1 Gegenstand	173
	9.1.2 Problemstellung	174
	9.1.3 Perspektive	176
9.2	Beschreibung des Gegenstands	176
9.3	Analyse der Problemstellung	178
	9.3.1 Zielkonflikte zwischen Bauleitung und Baugeräteführern	178
	9.3.2 Unbeobachtbarkeit der Leistungserstellung vor Ort	179
	9.3.3 Umweltunsicherheiten durch Leistungsschwankungen ...	179
9.4	Lösungsmechanismen und deren Wirkweise	180
	9.4.1 Lösungsinstrument „Kontrollsystem“	180
	9.4.2 Lösungsinstrument „Informationssystem“	181
	9.4.3 Lösungsinstrument „Anreizsystem“	181
9.5	Hypothesen der Arbeit	182
9.6	Erkenntnismethoden im Projekt AutoBauLog	183
	9.6.1 Computersimulation, Laborexperiment und Feldstudie ..	183
	9.6.2 Technische Basis: Multiagentensystem	183
	9.6.3 Kopf-Körper-Architektur	184
	9.6.4 Simulation im Rechner	185
9.7	Zusammenfassung und Ausblick	189
9.8	Literaturverzeichnis	190



10	Interaktion von Agent und Umgebung	195
	Dipl.-Wi.-Ing. Ansgar Jacob	
10.1	Forschungsansatz	195
10.1.1	Gegenstand	195
10.1.2	Problemstellung	196
10.1.3	Perspektive	197
10.2	Diskurswelt und Objektsystem des Simulationsexperiments	198
10.2.1	Überführung verfügungsrechtlicher Konzepte auf das Simulationsexperiment	198
10.2.2	Simulationsszenario	198
10.2.3	Messgrößen und Aktionen der LKW-Agenten	199
10.2.4	Physikalische Kennwerte der Transportfahrzeuge im Labor	201
10.2.5	Leistungsdaten der Aus- und Einbaustellen	201
10.2.6	Ausgangssituation	201
10.3	Das Simulationssystem	201
10.4	Durchführung des Simulationsexperiments	203
10.5	Ergebnisse des Simulationslaufs	204
10.5.1	Leistungsvergleich	204
10.5.2	Leerfahrtenvergleich	204
10.5.3	Wartezeitenvergleich	205
10.6	Interpretation der Ergebnisse und Ausblick	206
10.7	Literaturverzeichnis	207
11	Koordination zur Planung	209
	Dipl.-Inf. Michael Schüle	
11.1	Forschungsansatz	209
11.1.1	Gegenstand	209
11.1.2	Problemstellung	212
11.1.3	Perspektive	213
11.1.4	Beispiel	215
11.2	Koordinierende Ansätze zur Planung interdependenter Problemstellungen	216
11.3	Lösungsansatz	220
11.3.1	Entwurf des Koordinationsprotokolls	220
11.3.2	Beschreibung des Koordinationsprotokolls	221
11.3.3	Umsetzung des Koordinationsprotokolls	224
11.4	Evaluation	225
11.4.1	Simulationsmodell	225
11.4.2	Simulationsergebnisse	226
11.5	Fazit und Ausblick	227
11.6	Literaturverzeichnis	229



12	Sensorbasierte Überwachung der Transportlogistik im Erdbau	233
	M. Sc. Manuel Eisele, M. Sc. Johannes Merkert	
12.1	Einleitung	233
12.2	Einordnung der Arbeit in die Prinzipal-Agent-Theorie	236
12.2.1	Grundlagen der Prinzipal-Agent-Theorie	236
12.2.2	Informationsasymmetrien und Lösungsansätze	237
12.2.3	Prinzipal-Agent-Analyse von Tiefbaustellen	239
12.3	Stand der Wissenschaft	243
12.4	Das ContextFramework	244
12.4.1	Architektur des ContextFramework	244
12.4.2	Parametrierung des ContextFramework	248
12.5	Evaluation	249
12.5.1	Simulationsmodell	249
12.5.2	Simulationsergebnisse	251
12.6	Fazit und Ausblick	252
12.7	Literaturverzeichnis	254

Teil V Wirtschaftliche Verwertung

13	Wirtschaftliche Verwertung	259
	Dipl.-Ing. Hans Schulz, Dipl.-Ing. (FH) Steffen Rabe, Geomatic Engineer (Ing.) Achiel Sturm, Dipl.-Ing. Wolfram Voigt, M. Sc. Manuel Eisele	
13.1	Produkte des Projekts	259
13.1.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	259
13.1.2	Steuerungssoftware der Maschine	260
13.1.3	Baumanagementsoftware	261
13.2	Markstrukturierung	263
13.2.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	263
13.2.2	Baumanagementsoftware	264
13.3	Marktpotential, Marktvolumen und Marktentwicklung	265
13.3.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	265
13.3.2	Baumanagementsoftware	265
13.4	Zukunftstrends im Markt	270
13.4.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	270
13.4.2	Baumanagementsoftware	270
13.5	Konkurrenzanalyse & Substitutionsprodukte	272
13.5.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	272
13.5.2	Baumanagementsoftware	273
13.6	Preismodell	275
13.6.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	275
13.6.2	SiteLINK® Anbindung an STRATIS®	275
13.6.3	AutoBauLog Anbindung	275
13.6.4	Baumanagementsoftware	276
13.7	Marketing und Vertrieb	276
13.7.1	Maschinensteuerung und Baumaschinentechnik	276
13.7.2	Baumanagementsoftware	277
13.8	Literaturverzeichnis	278



Teil VI Epilog: Die Zukunft

14	Zukunftstrends auf Tiefbaustellen	281
	Dipl.-Ing. Konstantinos Kessoudis, Dipl.-Ing. (FH) Alexander Blickle, Dipl. oec. Marcus Müller	
14.1	Einleitung	281
14.2	Trends im Bereich Modelle und Baustellenleitstand	283
14.3	Trends in der Baustellen-Kooperation	284
14.4	Trends in der Maschinensteuerung und Baustellenkommunikation	285
14.5	Fazit	286
14.6	Literaturverzeichnis	287

Teil VII Allgemeine Projektinformationen

15	Allgemeine Projektinformationen	291
15.1	Projektdaten	291
15.1.1	Projektträger	292
15.1.2	Konsortialführung	292
15.1.3	Technisch-wissenschaftliche Projektleitung	292
15.2	Projektpartner	293
15.2.1	RIB Software AG	293
15.2.2	Universität Hohenheim	293
15.2.3	Topcon	294
15.2.4	Drees & Sommer	295
15.2.5	Züblin	295
15.2.6	Institut für Technologie und Management im Baubetrieb	296
15.2.7	Fachgebiet Building Lifecycle Management	296
15.2.8	Virtual Dimension Center	297
15.3	Projektveröffentlichungen	297
15.3.1	Presseberichte	297
15.3.2	Projektdokumente	298
	Sachverzeichnis	301