

Simulation bauphysikalischer Prozesse im Ausbau

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der
Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Julia Katharina Voigtmann

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt
Prof. Dr.-Ing. Volkhardt Franz
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

Tag der Disputation: 18. September 2014

Vorwort des Herausgebers

Die moderne Arbeitsteilung in einer leistungsfähigen Wirtschaft verlangt es, dass jeder Marktteilnehmer versucht, die Abläufe in seinem eigenen Bereich gut zu strukturieren und zu optimieren. Sofern dieses innerhalb langfristiger Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehungen erfolgt, wird sich im Sinne einer guten Dienstleistungsorientierung dann auch automatisch eine gute Verflechtung der Partner untereinander ausbilden.

Anders sieht es allerdings im Bauwesen aus. Die Einmaligkeit vieler Projekte, die stets neu zu bildenden Konstellationen von Projektspezifikationen, Materialbedarf, von Ausführungsunternehmen und Lieferanten etc. machen es den einzelnen Partnern schwer, im Rahmen ihrer eigenen Optimierungsstrategien vorausschauend für die anderen Partner mitzudenken. Oft fehlt es an geeigneten Informationen, damit z. B. ein Lieferant überhaupt die wesentlichen Herausforderungen, denen ein Bauunternehmen bei einem spezifischen Projekt unterliegt, erkennen kann.

Mit dieser aktuellen Problematik befasst sich die vorliegende Dissertation. Sie greift gezielt die Schnittstelle von Bauablauf und Baulogistik im Ausbau auf. Der Ausbau ist deshalb besonders interessant, weil eine Baustelle in dieser Phase äußerst heterogene Komponenten- und Materiallieferungen annehmen und an die richtigen Stellen im Bauwerk und zu den richtigen Gewerken durchreichen muss. Aktuelle Beispiele zeigen immer wieder, dass in dieser Phase noch großes Potential besteht, um unnötige Wartezeiten, Zwischenlagerprozesse und schließlich auch Verlustzeiten durch Suchen und Fehllieferungen zu reduzieren.

Frau Voigtmann hat mit der vorliegenden Arbeit grundlegende Überlegungen entwickelt, die helfen, die komplexen Prozesse der Lieferung und des Verbrauchs von Material und Komponenten auf einer Baustelle zu strukturieren und zügig in einem Simulationsmodell zu erfassen. Auf dieser Basis können spezifische Baustellen besser analysiert und anschließend optimiert werden.

Ich danke Frau Voigtmann dafür, dass sie sich dieses aktuellen und sehr komplexen Themas durch ihre Dissertation angenommen hat und dass sie hierbei in gleicher Weise theoretische Bezüge entwickelt wie auch praktische Anwendungsmöglichkeiten analysiert hat.

Ich hoffe, dass die Arbeit der Fachwelt in Wissenschaft und Praxis gleichermaßen viele gute Anregungen liefert, und dass damit der Einsatz der Simulation in der Bauprozessplanung erleichtert wird und letztendlich die Steuerung von Baustellen auf ein professionelleres Niveau gehoben werden kann.

Weimar, im Oktober 2014

Professor Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt
Leiter der Professur Baubetrieb und Bauverfahren
Bauhaus-Universität Weimar

Kurzfassung

Immer komplexere Bauvorhaben müssen in immer kürzeren Zeiten realisiert werden. Der Kosten- und Wettbewerbsdruck zwingt zu einer verbesserten Projektabwicklung durch ganzheitliche Planung, effiziente Prozessstrukturen und Verbesserung der Baustellenorganisation. Prozesssimulation trägt zu einer detaillierteren und verbesserten Planungsqualität bei. Die Optimierung der Logistikprozesse ist ein Beitrag zur Verbesserung der Organisation von Baustellen.

Die enge Verzahnung zwischen Produktions- und Logistikprozessen erfordert eine ganzheitliche Prozessbetrachtung entlang der Wertschöpfungskette. Eine einseitige oder nur auf den persönlichen Wirkungskreis einzelner Beteiligten fokussierte Betrachtungsweise schafft Inselösungen. Eine umfassende Effizienzsteigerung im Bauwesen wird verhindert.

Die Dynamik der Bauprozesse erfordert den Einsatz flexibler Simulationsmodelle. Sie müssen das sich verändernde Produktionsumfeld, die hohe zeitliche, räumliche und arttypische Variabilität der Produktions- und Logistikprozesse und deren Interaktion berücksichtigen.

Ziel der Forschungsarbeit ist die ausreichende Berücksichtigung der Variabilität und der Wechselwirkungen zwischen Produktions- und Logistikprozessen innerhalb der Simulationsmodelle. Durch bewusste Einschränkung der Freiheitsgrade erfolgt eine Einschränkung der Systemkomplexität. Das Simulationsmodell soll die Abbildung verschiedener Bauprozesse zur Errichtung unterschiedlicher Bauprojekte in variablen Produktionsumgebungen ermöglichen.

Eine allgemeine Beschreibung baulogistischer und bautechnologischer Prozesse als Ressourcenkombination ist die Grundlage für die Prozessmodellierung. Die Abbildung der Prozesse erfolgt in einem constraint-basierten Simulationsmodell. Die Prüfung der Constraints wird auf logistische Vorbedingungen erweitert. Logistisch notwendige Prozesse werden im Simulationslauf initiiert. Alle die Logistik betreffenden Prüf- und Initiierungsmethoden und logistischen Strategien sind in einem Simulationsbaustein zusammengefasst. Dieser neu implementierte Logistikbaustein ermöglicht im Zusammenspiel mit den vorhandenen Simulationsbausteinen nunmehr die Berücksichtigung umfassender baulogistischer Aspekte bei der Simulation von Bauprozessen.

Exemplarisch wurden sieben Parameter, ihr Einfluss auf das Simulationsergebnis und die Abhängigkeit von verschiedenen Randbedingungen analysiert. Die aufgezeigten Parametereinflüsse ermöglichen eine gezielte Komplexitätsreduktion.

Die Ergebnisse der Arbeit reduzieren den Modellierungsaufwand und den Aufwand für die Durchführung von Simulationsstudien. Die der Arbeit zu Grunde liegende ganzheitliche Betrachtung baulogistischer und bautechnologischer Prozesse leistet einen Beitrag zur effizienten Prozessgestaltung und zur Verbesserung der Projektabwicklung. Die Reduktion des Aufwands kann gleichzeitig zur Steigerung der Akzeptanz simulationsgestützter Planung in der Arbeitsvorbereitung beitragen.

Abstract

More complex construction projects need to be realized in even shorter time periods.

Cost and competitive pressure make it vital to improve the whole project handling by holistic planning, efficient process structures as well as enhanced site organization. Process simulation contributes to a more detailed and improved planning quality. The optimization of logistics processes helps to improve the site organization.

The close interlocking between production and logistics processes requires a holistic process consideration throughout the value chain. Approaches, that are unilateral or focus only on the personal sphere of individual participants, create isolated applications. This prevents a holistic increase in efficiency in construction.

The dynamic nature of construction processes requires the use of flexible simulation models. These must consider the changing production environment, the high temporal, spatial and characteristic variability of production and logistics processes and their interactions.

Objective of this research study is the adequate consideration of the variability and the interactions between production and logistics processes within the simulation models. The consciously restriction of degrees of freedom results in a limitation of the system complexity.

The simulation model shall enable the projection of different processes of various construction projects in variable production environments.

A general description of construction and logistic processes as a resource combination is the basis for process modeling. The process modeling is carried out in a constraint-based simulation model. The examination of the constraints is extended to logistical preconditions. Logistically inevitable processes are initiated during the simulation run. All logistics-related testing and initiation methods as well as logistical strategies are combined in one simulation object. This newly implemented logistics object allows the interaction with existing simulation objects, henceforth considering comprehensive logistic aspects in the simulation of construction processes.

Exemplarily, seven parameters and their influence on the simulation result as well as the dependency of various boundary conditions were analyzed. The indicated parameter influences provide a targeted reduction of complexity.

This holistic consideration of construction and logistic processes also contributes to the improvement of project handling. The reduction of effort may simultaneously contribute to increasing the acceptance of simulation-based planning in work preparation.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abkürzungsverzeichnis..... | IX |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Problemstellung | 1 |
| 1.2 Zielsetzung und Eingrenzung | 2 |
| 1.3 Vorgehensweise..... | 3 |
| 1.4 Begriffliche Abgrenzung | 4 |
| 2 Stand der Technik und Wissenschaft | 7 |
| 2.1 Bauleistik..... | 7 |
| 2.1.1 Bedeutung, Entwicklung und Gegenstand..... | 7 |
| 2.1.2 Internationaler Kontext | 14 |
| 2.1.3 Vorhandene Forschungsansätze..... | 15 |
| 2.2 Arbeitsvorbereitung | 17 |
| 2.2.1 Grundlagen und Bedeutung | 17 |
| 2.2.2 IT-Einsatz..... | 19 |
| 2.2.3 Relevante Forschungsansätze | 20 |
| 2.3 Simulation von Bauprozessen | 21 |
| 2.3.1 Grundlagen | 21 |
| 2.3.2 Simulationsrelevante Besonderheiten der Bauproduktion..... | 22 |
| 2.3.3 Forschungsschwerpunkte und relevante Ansätze..... | 24 |
| 2.4 Forschungsbedarf | 27 |
| 3 Simulation bauleistischer Prozesse | 29 |
| 3.1 Allgemeine Prozessbeschreibung | 29 |
| 3.2 Das System „Baustelle“ | 32 |
| 3.2.1 Einordnung in die Systemlandschaft..... | 32 |
| 3.2.2 Systemzweck und Systemgrenzen | 33 |
| 3.2.3 Systemelemente..... | 35 |
| 3.2.4 Aufbau- und Ablaufstruktur..... | 38 |
| 3.2.5 Zustandsübergänge und Zustandsgrößen..... | 40 |
| 3.2.6 Eingangs- und Ausgangsgrößen | 42 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.3 | Modellbildung | 42 |
| 3.3.1 | Allgemeine Anforderungen an das Modell | 42 |
| 3.3.2 | Modellbeschreibung | 42 |
| 3.3.3 | Modellelemente | 50 |
| 3.3.4 | Modellparameter | 53 |
| 3.4 | Simulationskonzept | 54 |
| 3.5 | Implementierung | 57 |
| 3.5.1 | Plant Simulation | 57 |
| 3.5.2 | SIMoFIT und STS..... | 57 |
| 3.5.3 | Simulationsbausteine | 58 |
| 3.6 | Modellaufbau..... | 65 |
| 3.7 | Eingabedaten und Datengenerierung | 69 |
| 3.8 | Ausgabedaten und Datenaufbereitung | 73 |
| 4 | Parameterstudien | 75 |
| 4.1 | Versuchsaufbau | 75 |
| 4.2 | Versuchsplanung | 80 |
| 4.2.1 | Grundlagen | 80 |
| 4.2.2 | Wahl der Parameter und Parameterwerte | 81 |
| 4.3 | Experimentdurchführung | 84 |
| 4.4 | Exemplarische Auswertung | 88 |
| 4.5 | Parameter 1: Aufzugsgeschwindigkeit..... | 94 |
| 4.6 | Parameter 2: Tragfähigkeit des Aufzugs..... | 103 |
| 4.7 | Parameter 3: Prozessreihenfolge | 107 |
| 4.8 | Parameter 4: Einsatz von Logistikern | 112 |
| 4.9 | Parameter 5: Laufgeschwindigkeit..... | 121 |
| 4.10 | Parameter 6: Rastergröße..... | 128 |
| 4.11 | Parameter 7: Suchalgorithmen..... | 134 |
| 4.12 | Schlussfolgerungen..... | 139 |
| 5 | Fazit und Ausblick | 143 |
| | Literaturverzeichnis | 145 |
| | Anhang..... | 157 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 179 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 185 |
| | Formelverzeichnis | 187 |