

Simulation von Logistikstrategien im Bauwesen

Simulation of Logistic Strategies for Construction Processes

Julia K. Voigtmann, Hans-Joachim Bargstädt
Bauhaus-Universität Weimar, Weimar (Germany)
julia.voigtmann@uni-weimar.de, hans-joachim.bargstaedt@uni-weimar.de

Abstract: To plan construction logistics, numerous interferences between configurations of construction site and construction work have to be considered. Logistic systems on site are influenced by so various factors, that the assignment of an optimal network configuration and organisational structure is not trivial. To find a feasible solution requires a high number of simulation runs with many factor variations. Therefore an adequate simulation model, which enables network dimensioning and analysing organisational structures of logistic processes without programming, is essential. Furthermore the identification of qualified factor combinations, which depends on specific building attributes and the elimination of irrelevant factors, accelerate logistic planning. It also prevents experimental scheduling and the amount of simulation runs. Using these identified qualified factor combinations secures to raise and quickly access the existing optimisation potential.

1 Hintergrund

Die Simulation von Baustellen ist in jüngster Zeit verstärkt in den Fokus baubetrieblicher Forschung gerückt. Zielstellung ist die aussagekräftige Simulation von Bauabläufen zur Identifikation kritischer Prozesse auf Baustellen.

Insbesondere Ausbauprozesse weisen eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität auf. Gleichzeitig existiert für die unterstützenden Logistikprozesse eine Vielzahl Gestaltungsmöglichkeiten. Die grundsätzliche hohe Anzahl an möglichen Konfigurationen des Gesamtsystems Baustelle mit seiner Infrastruktur und seinen Teilprozessen widerspricht jedoch der Forderung nach einfachen Simulationsmodellen und einer schnellen und sicheren Identifizierung von Engpässen im Bauablauf (KUGLER, FRANZ 2008). Die voneinander losgelöste Betrachtung der Fertigungs- von den Logistikprozessen ist auf Grund der engen Verzahnung zwischen diesen Prozessen nicht zielführend.

Dennoch ist eine weitgehende Beschränkung der zu betrachtenden Prozesse zur Reduzierung des Modellierungs- und Simulationsaufwands und letztlich auch des

Planungsaufwands wünschenswert. Im Hinblick auf das Gesamtsystem Baustelle muss daher der grundsätzliche Einfluss verschiedener logistischer Tätigkeiten und Randbedingungen auf den Gesamtprozess hinterfragt werden.

2 Forschungsansatz und methodisches Vorgehen

Der vorliegende Forschungsbeitrag beschäftigt sich mit dem grundsätzlichen Einfluss verschiedener Logistikprozesse und logistischer Parameter der Baustelle auf den Gesamtprozess. Es soll untersucht werden, welche logistischen Teilprozesse und Faktoren im Gesamtsystem Baustelle einen nur marginalen Einfluss haben, sodass sie im Hinblick auf eine "schlanke" Simulation gezielt vernachlässigt werden können.

Ein weiterer Aspekt ist die zweckdienliche Kopplung verschiedener Logistikprozesse und ihrer speziellen Ausprägung zu Logistikstrategien. Zur Reduktion der Anzahl notwendiger Simulationsläufe soll es ermöglicht werden, inkompatible Kombinationen in Abhängigkeit der Parameter des Bauprojekts, der Bauprozesse und der Produktionsbedingungen bereits im Vorfeld auszuschließen.

In einem ersten Schritt wird das Bauprojekt mit seinen Bauprozessen hinsichtlich unterschiedlicher Merkmalsklassen strukturiert. Beispielsweise kann auf Prozessebene zwischen raumbildenden und nicht raumbildenden Prozessen unterschieden werden. Auch im Hinblick auf die räumliche Orientierung der Arbeitsorte (Wand/Boden/Decke) ist eine gute Unterscheidung möglich. Weitere Merkmalsklassen erfassen u.a. logistische Kriterien der Prozesse (z.B. Arbeitsplatzbedarf, Begehrbarkeit der Arbeitsbereiche) und der Baustelle (vorhandene Lagerflächen, horizontale und vertikale Transportmittel).

Im nächsten Schritt werden die logistischen Baustellenprozesse analysiert. Für die auf Baustellen relevanten Logistikfunktionen sind in Anlehnung an die stationäre Industrie verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten und Organisationsprinzipien, z.B. Lagerplatzstrategien, zu identifizieren. Die relevanten Strategien und Strategiekombinationen werden in einem Simulationsmodell implementiert. In Simulationsstudien werden dann unterschiedliche Kombinationen von Bauprozessmerkmalen und logistischen Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich des Einflusses auf den Gesamtprozess analysiert.

3 Verwendetes Simulationsmodell

Die Analyse des Systemkomplexes aus Bauprozess, Baustellenrandbedingungen und Logistikstrategien erfolgt mit Hilfe der Simulation. Sie ermöglicht, komplexe Systeme mit dynamischen Prozessen nachzubilden und durch deren Untersuchung zu auf die Wirklichkeit übertragbaren Erkenntnissen zu gelangen (VDI 1996, S. 14). Die Verwendung eines universell einsetzbaren Simulationsmodells, das die Anwendung auf verschiedenartige (Aus-)Bauprozesse und Logistikprozesse auf Baustellen mit unterschiedlichen Gestaltungsmerkmalen ermöglicht, ist eine grundlegende Voraussetzung. Das hier verwendete Simulationsmodell verfolgt einen constraint-basierten Ansatz und wurde im Rahmen der Simofit-Kooperation (SIMoFIT 2010) zwischen der Flensburger Schiffsbau-Gesellschaft GmbH und der Bauhaus-Universi-

tät Weimar von KÖNIG, BEIBERT und Bargstädt (2007) zur Untersuchung von Ausbaustrategien entwickelt. Das Modell verwendet den Simulation Toolkit Shipbuilding (STS Schiffsbaukasten; STEINHAUER 2007) und basiert auf Simulationsprogramm Plant (SIEMENS PLM 2010).

Zur Berücksichtigung aller relevanten logistischen Aktivitäten ist die detaillierte Abbildung logistischer Aspekte der Bauprozesse einschließlich der relevanten Bauteil- und Prozesseigenschaften notwendig. Dazu wurden einerseits bestehende STS-Komponenten um neue Bausteine erweitert und andererseits logistisch relevante Eigenschaften der Bauteile und -materialien sowie der Bauprozesse (Tabelle 1) als zusätzliche Eingangsdaten erfasst.

<i>Logistische Bauteil- und Materialeigenschaften</i>	<i>Logistische Prozesseigenschaften</i>
Allgemeine Eigenschaften (Abmessungen, Gewicht, Stapelbarkeit)	Notwendige Arbeitsbereiche
Liefereigenschaften (Abmessungen, Packungsgrößen, Transporthilfsmittel)	Zugänglichkeit und Verfügbarkeit des Arbeitsbereichs für Lagerprozesse während und nach der Prozessausführung
Transporteigenschaften (benötigte Transportmittel, Trassen)	

Tabelle 1: *Logistisch relevante Bauteil- und Prozesseigenschaften*

Alle für die Berücksichtigung bauleistungsrelevanter Belange notwendigen Routinen sind im Baulogistik-Baustein zusammengefasst. Er verarbeitet die logistisch relevanten Bauteil- oder Prozesseigenschaften. Die Anbindung an bereits vorhandene Bausteine erfolgt über bereitgestellte Schnittstellen in Form fakultativer Methodenaufrufe. Im Zusammenspiel mit anderen STS-Bausteinen werden logistische Prozesse automatisch generiert (Abb. 1).

Grundsätzlich können mit Hilfe des verwendeten Simulationsmodells von einem Nutzer ohne Programmierkenntnisse unzählige Kombinationen von Bauprozessen, Baustellenrandbedingungen und logistischen Organisationsprinzipien abgebildet werden. Die Konfiguration logistischer Netzwerkknoten (z.B. Lagerflächen) und die Auswahl verschiedener Organisationsprinzipien für logistische Prozesse erfolgt mit Hilfe von Anwenderdialogen.

Entladezonen, Lagerflächen und Bauaufzüge als Elemente der Baustelleneinrichtung können hinsichtlich ihrer Anzahl, Lage und Kapazität variiert werden. Für Lagerflächen kann die zeitliche Verfügbarkeit und die Nutzung für einzelne Nutzergruppen eingeschränkt werden. Ein weiterer Parameter zur Konfiguration der Baustelleneinrichtung ist die Anzahl verfügbarer Transportmittel (z.B. Stapler).

Zur Analyse geeigneter Organisationsstrukturen kann der Anwender auf vordefinierte Strategien aus den folgenden Bereichen zugreifen:

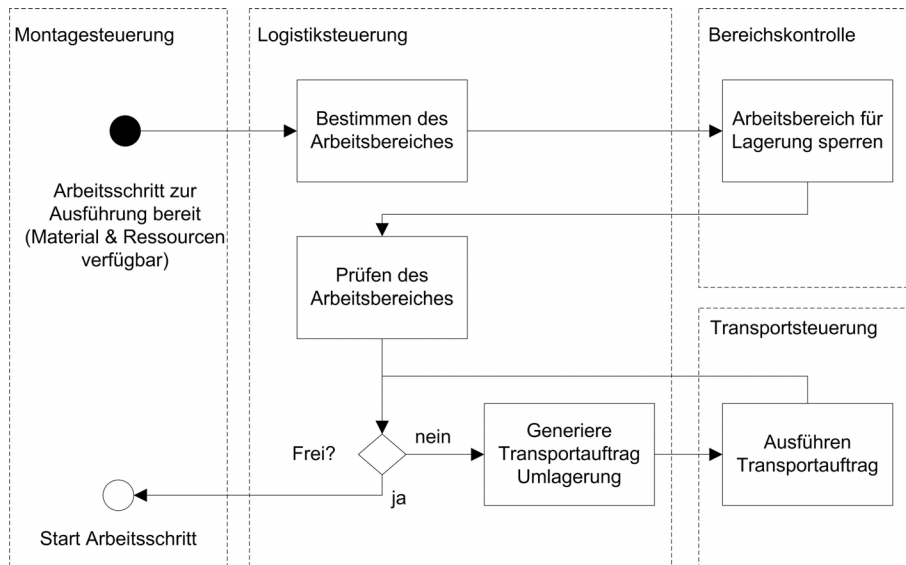


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Interaktion des Baulogistik-Bausteins mit weiteren STS-Bausteinen (VOIGTMANN, BARGSTÄDT 2008, S. 138)

- Lieferstrategien
- Lagerstrategien,
- Entsorgungsstrategien,
- Um- und Beräumungsstrategien,
- Strategien zur Transportbündelung und
- Strategien zur Zuordnung und Priorisierung logistischer Prozesse.

Die verschiedenen Strategien sind nicht zwingend gewerkeübergreifend festgelegt, sondern können für die unterschiedlichen Gewerke individuell gewählt werden. Damit werden flexible Wahlmöglichkeiten zur Konfiguration des Gesamtnetzwerks Baustelle zur Verfügung gestellt. Weiterführende Erläuterungen zur Verwendung des vorgestellten Simulationsmodells sind zu finden in BARGSTÄDT und VOIGTMANN (2010).

4 Simulationsbeispiel

Zur Identifikation von Haupteinflusskriterien auf die logistische Gestaltung des Gesamtnetzwerks Baustelle wird der Einfluss verschiedener logistischer Parameter und Organisationsprinzipien auf die Gesamtbauzeit analysiert. Die Untersuchungen erfolgen am Beispiel der Erstellung von Trockenbauwänden in einem 8-geschosigen Bürogebäude.

Im ersten Schritt werden die Elemente der Baustelle (Ladezonen, Lager, Aufzüge) positioniert deren Eigenschaften wie Kapazität, Standort, Verfügbarkeit u.a. parame-

trisiert. Nach dem Positionieren eines Aufzuges sind z. B. die Parameter für Tragkraft und Fahrgeschwindigkeit zu setzen. Auf diese Weise lassen sich die Randbedingungen aus dem Baustellenlayout und den Elementen der Baustelle erfassen.

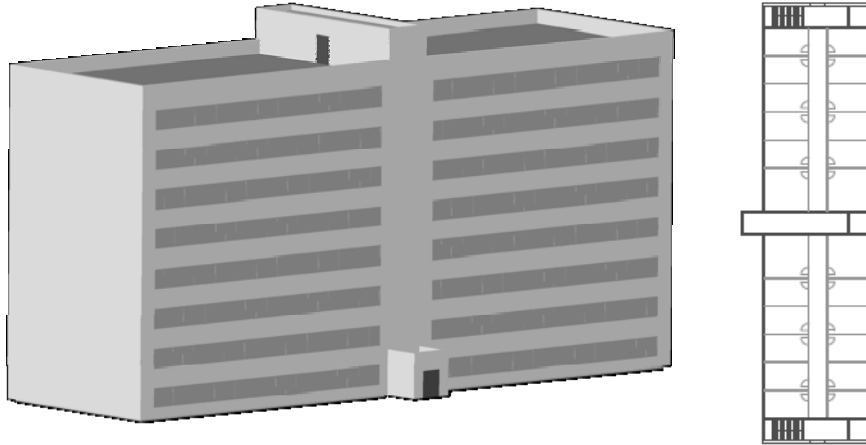


Abbildung 2: Ansicht und Grundriss des simulierten Bürogebäudes

Die im zweiten Schritt zu beschreibenden Eingangsdaten umfassen u. a. Angaben zu den zu liefernden Materialien, ihren Abmessungen und Einbaupositionen und zu den an ihnen auszuführenden Arbeitsschritten. Weitere Eingaben betreffen vorhandene Personalressourcen, ihre Qualifizierung und Einsatzzeiten. Durch Spezifikation der benötigten Mitarbeiteranzahl und deren erforderlicher Qualifikationen für einen Arbeitsschritt erfolgt während des Simulationslaufes die automatische Zuordnung freier Personalressourcen zu anstehenden Arbeitsaufträgen. Die Bearbeitungsreihenfolge der Teile und damit der Bauablauf werden mit Hilfe von Constraints beschrieben. Dazu werden z. B. einem speziellen Prozess oder einem Bauabschnitt notwendige Vorgängerprozesse mitgeteilt, die abgeschlossen sein müssen damit der betrachtete Prozess oder Bauabschnitt begonnen werden kann. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise constraint-basierter Simulation von Bauprozessen findest du in KÖNIG, BEIBERT und BARGSTÄDT (2007).

Exemplarisch wird im Folgenden der Einfluss unterschiedlicher Parameter der Basisinfrastruktur bzw. unterschiedlicher Organisationsprinzipien (hier: Tragfähigkeit/Fahrgeschwindigkeit/Standort des Bauaufzuges bzw. Zuordnung logistischer Tätigkeiten) untersucht. Die je Simulationsexperiment vorgenommene Parametervariation bezieht sich immer auf die Ausgangskonfiguration (siehe Tab. 2). Auf die zusätzliche Kombination der Parameter untereinander wurde zunächst verzichtet.

Die Ausgangskonfiguration ist durch folgende Einstellungen gekennzeichnet:

- abschnittsweise Montage von Trockenbauwänden (16 Bauabschnitte in vordefinierter Reihenfolge, innerhalb der Bauabschnitte keine vorgegebene Montagereihenfolge),

- komplette Materiallieferung zu Beginn der Baumaßnahme,
- Erbringung aller logistischen Leistungen durch eigenes Personal,
- Materiallagerung in Etagenlagern, wenn erforderlich Umlagerung in die Nähe des Einbauortes und
- Entsorgung leerer Ladungsträger (Paletten) auf Anforderung.

Die während der Simulationsläufe erfassten Daten werden immer mit der Ausgangskonfiguration (Experiment Nr. 1) verglichen. Im Vergleich zur Ausgangskonfiguration zeigen sich in den einzelnen Experimenten die in Abbildung 3 dargestellten Bauzeitveränderungen in Prozent des Gesamtaufwands.

<i>Experiment Nr.</i>	<i>Variierter Parameter</i>
1	– (Ausgangskonfiguration)
2, 3	Fahrgeschwindigkeit Bauaufzug erhöht
4, 5	Tragfähigkeit Bauaufzug erhöht
6	Standort Bauaufzug verändert
7 - 11	Logistische Zuständigkeit verändert (schrittweise Übertragung der Prozesse Abladen, Einlagern, Entsorgen, Umräumen und Materialtransport an Baugestelliker)

Tabelle 2: Übersicht über die Parametervariationen

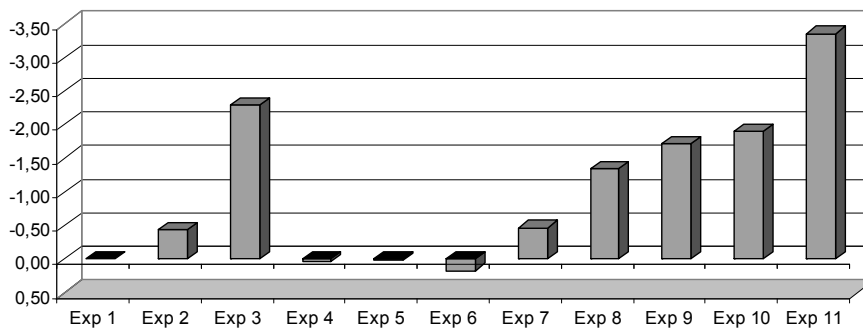


Abbildung 3: Prozentuale Bauzeitveränderungen bezogen auf Experiment 1

Die prozentuale Veränderung der Gesamtbauzeit durch Parametervariation bzw. Änderung der Organisationsstruktur gegenüber einer Ausgangskonfiguration wurde nun in Abhängigkeit der Etagenanzahl bzw. der Bearbeitungszeit je Einzelteil analysiert. Beide Kriterien wirken sich auf das Verhältnis zwischen der eigentlichen Gewerkearbeitszeit und der logistisch bedingten Einsatzzeit aus, z. B. für Wege und Materialtransporte. Deutlich erkennbar ist, dass mit steigendem Anteil der logistischen Einsatzzeit an der Gesamtarbeitszeit, z.B. durch Verringerung der Bearbei-

tungszeiten je Montageteil oder durch Reduktion der Etagenanzahl, auch die Auswirkungen der Veränderung einzelner Parameter ansteigen. Doch nicht alle Parameter haben gleich großen Einfluss (Abb. 4).

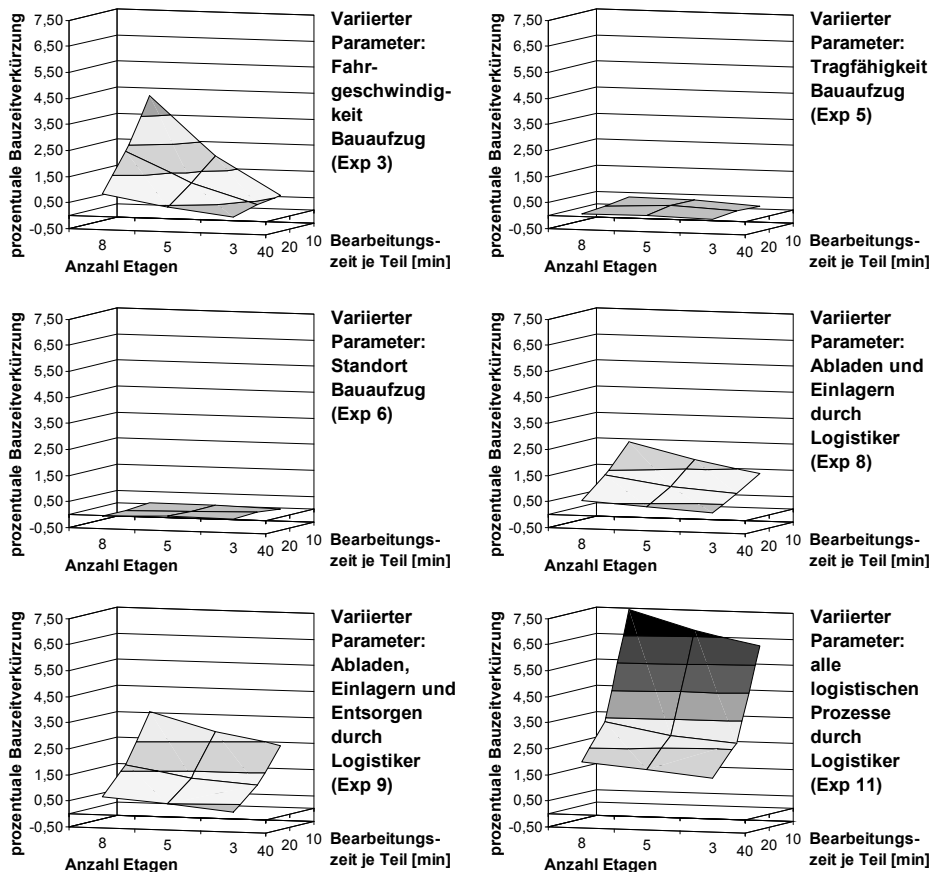


Abbildung 4: Prozentuale Bauzeitverkürzung durch verschiedene Parametervariationen in Abhängigkeit der Etagenanzahl und Bearbeitungszeit je Bauteil

Im Ergebnis können nun vor weiteren Optimierungen die Parameter mit marginalen Auswirkungen auf die Bauzeit (hier: Tragfähigkeit des Bauaufzuges oder Übernahme nur der Entlade- und Einlagerungsvorgänge durch Logistiker) vernachlässigt werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswertung der während der Simulationsexperimente erfassten Daten ergibt für das beispielhaft vorgestellte Bauvorhaben, dass sich die Bauzeit für das Gewerk Trockenbau durch Variation verschiedener logistischer Parameter und Organisa-

tionsstrukturen um bis zu 7 % verringern lässt. Dabei bewirken nicht alle Parameteränderungen Bauzeitverkürzungen in gleicher Größenordnung.

Gelingt es letztlich, für verschiedene Bauprozesse die bestimmenden Einflusskriterien aus den baulegistischen Randbedingungen zu identifizieren, kann der Aufwand bei der Modellierung und Simulation von komplexen Bauprojekten wesentlich besser fokussiert und damit erheblich reduziert werden. Gleichzeitig wird durch Ausschluss unerheblicher logistischer Parameter und ihrer möglichen Kombinationsvielfalt die Anzahl der Simulationsläufe beschränkt. Der Zeitaufwand bei der Untersuchung aktueller baubetrieblicher Fragestellungen kann letztlich optimiert und die Gesamtplanung zielorientierter durchgeführt werden.

Literatur

- BARGSTÄDT, H.-J.; VOIGTMANN, J. K.: Simulationsgestützte Logistikplanung für Baustellen. In: 5. Wissenschaftssymposium Logistik. Hrsg.: Bundesvereinigung Logistik e.V. Darmstadt: in press, 2010, S. 1-18.
- KÖNIG, M.; BEIBERT, U.; BARGSTÄDT, H.-J.: Constraint-Based Simulation of Outfitting Processes in Ship Building and Civil Engineering. In: Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation - Vol. 2: Full papers (CD). Hrsg.: ZUPANČIČ, B.; KARBA, R.; BLAŽIČ, S.. Ljubljana, Slovenia: SLOSIM - Slovene Society for Simulation and Modelling, 2007, S. 1-11.
- KÖNIG, M., BEIBERT, U. and BARGSTÄDT, H.-J.: Ereignis-diskrete Simulation von Trockenbauarbeiten - Konzept, Implementierung und Anwendung. In: 1. IBW-Workshop Simulation in der Bauwirtschaft. Hrsg.: FRANZ, V.. Kassel: kassel university press, 2007, S. 15-28.
- KUGLER, M., FRANZ, V.: Einsatz der Simulation zur Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen im Bauwesen. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Hrsg.: RABE, M. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008, S. 151-160.
- SIEMENS UGS: <http://www.emplant.de/>, Stand: 27.03.2010.
- SIMOFIT: <http://www.simofit.de/>, Stand: 12.07.2010.
- STEINHÄUER, D.: Simulation im Schiffbau und Kooperation mit der Bauhaus-Universität Weimar. In: 1. IBW Workshop Simulation in der Bauwirtschaft. Hrsg.: FRANZ, V.. Kassel: kassel university press, 2007, S. 1-14.
- VDI - VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: VDI 3633: Simulation von Logistik-Materialfluß- und Produktionssystemen, Begriffsdefinitionen. Düsseldorf: Beuth, 1996.
- VOIGTMANN, J. K.; BARGSTÄDT, H.-J.: Simulation von Baulegistikprozessen im Ausbau. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Hrsg.: RABE, M. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008, S. 131-140.