

Simulation der Baustellenlogistik am Beispiel eines Flugsteigs

Ilka Habenicht ¹, Sven Spieckermann ¹ & Markus König ²

¹ SimPlan AG

² Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum

Kurzfassung: Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Logistiksimulation von Bauprozessen, angefangen von der Bereitstellung der Daten des Multimodell-Containers über die Datenaufbereitung im Site-Sim-Editor bis zur Überführung der Daten in die Simulation. Einleitend werden die Anwendungsbereiche der Logistiksimulation im Bauwesen, insbesondere in frühen Phasen der Planung, beschrieben. Daraus werden Datenanforderungen abgeleitet und die Logistiksimulation wird von der Montagesimulation abgegrenzt. Abschließend wird ein Fallbeispiel erörtert, an dem die in diesem Beitrag beschriebenen Ansätze evaluiert werden.

1 Einleitung

Die Planung und Ausführung von Bauprojekten wird stark durch die Logistikprozesse auf der Baustelle beeinflusst. So unterliegen insbesondere sehr großflächige Bau-

projekte bzw. Bauprojekte in Innenstädten unterschiedlichen Restriktionen hinsichtlich der Anlieferung und der Logistik auf der Baustelle. Solche Restriktionen sind beispielsweise die Arbeitszeiten auf der Baustelle, eine Einschränkung der Anzahl Anlieferungen pro Tag oder Beschränkungen der Zufahrtswege (zeitlich oder räumlich). Diese Restriktionen sollten bei Ausführungsplanung der Bauprojekte bzw. bei den entsprechenden Kostenbetrachtungen umfassend eingehen, da immer wieder Verspätungen aus einer unzureichenden Berücksichtigung der Restriktionen in den frühen Phasen der Ausführungsplanung resultieren.

Durch die Analyse der Logistikprozesse in frühen Planungsphasen lassen sich Restriktionen, die auf den Terminplan zur Erstellung eines Bauwerkes wirken, erkennen und bewerten. Kessoudis 2011 beschreibt einen Ansatz für die Analyse der Auslastung der Lagerflächen auf Basis der Mengenströme. Neben der Auslastung der Lagerflächen spielen aber auch weitere Faktoren für die Durchführbarkeit der Logistikprozesse eine Rolle, wie die Verfügbarkeit der Ressourcen oder die durch zeitliche oder räumlich Faktoren bedingte Sperrung von Transportwegen.

In den letzten Jahren hat sich die diskrete ereignisorientierte Simulation als eine wichtige Methode für die Analyse von Produktions- und Logistikprozessen etabliert (Wenzel et al. 2010). Mit Hilfe der Simulation können verschiedene Szenarien für die Montage und die Logistik definiert und untersucht werden. Im Rahmen der Logistiksimulation im Bauwesen können typischerweise folgende Untersuchungen durchgeführt werden (Spieckermann et al. 2010):

- Generierung von Terminplänen auf Basis der Mengenströme, Meilensteine und verfügbaren Ressourcen
- Evaluierung verschiedener Logistikkonzepte und Identifikation der möglichen Engpässe
- Analyse der Ausführbarkeit und der Robustheit der Zeitpläne unter Berücksichtigung verschiedener Störszenarien und Unsicherheiten in den Projektdaten

Heute spielt die Logistiksimulation in der Planung und Durchführung von Bauprozessen nur eine untergeordnete Rolle. Dies liegt vor allem in dem Unikatcharakter begründet, der durch eine individuelle Bauwerksstruktur mit spezifischen Montageprozessen sowie ein projektspezifisches Layout der Baustelle gekennzeichnet ist. Außerdem sind die Logistikprozesse sehr stark an spezielle Gegebenheiten auf der Baustelle gebunden. Aus diesem Grund ist die größte Herausforderung für die Simulation im Bauwesen die Bereitstellung der Daten (Kugler et al. 2008), insbesondere in frühen Phasen der Planung der Bauprojekte. In diesen frühen Planungsphasen liegen in der Regel nur sehr grobe Informationen über die Bauwerkselemente, Bauprozesse und erforderlichen Ressourcen vor.

In diesem Artikel werden die grundlegenden Datenanforderungen für die Logistiksimulation von Bauprozessen beschrieben. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Datenmodelle, die sie beinhalten, und des erforderlichen Detaillierungsgrads von den Datenanforderungen einer Montagesimulation. Analog zur Montagesimulation wird der SiteSim-Editor für die Aufbereitung der Daten aus Multimodell-Containern für die

Logistiksimulation genutzt (König 2011). Abschließend wird ein Fallbeispiel für die Logistiksimulation beschrieben. Dieses Beispiel betrachtet die Logistikprozesse für den Bau eines Flughafenterminals. Es werden das Simulationsmodell und grundlegende Szenarien vorgestellt.

2 Aufbereitung von Multimodellen für die Logistiksimulation

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie im Mefisto-Projekt mit der Herausforderung der Datenaufbereitung für die Logistiksimulation umgegangen wird. Ein Teil der aufzubereitenden Daten ist erforderlich, um das Modelllayout zu definieren. Die übrigen Daten werden als Parametrisierung der Logistikszenerarien benötigt. Für die Logistiksimulation müssen folgende Daten bereitgestellt werden:

- Es werden die Mengenströme, die auf Basis des Bauwerksmodells und der Kalkulationen ermittelt werden können, benötigt. So wird die Menge an Stahl für die Bewehrung, der benötigte Ortbeton, aber auch die Anzahl vorgefertigter Bauwerkselemente errechnet, um die Anzahl der Lieferungen und die notwendige Lagerfläche zu bestimmen.
- Der Ausführungsterminplan mit den Meilensteinen des Bauprojektes wird auf Basis des Bauwerksmodells erstellt. Dieser Terminplan definiert generelle Vorgänge, die mit den entsprechenden Bauwerkselementen verknüpft sind.
- Das Layout der Baustelle mit der Baustelleneinrichtung, d.h. Transportwege, Lagerflächen, Krane und andere Baugeräte oder auch weitere Bauwerke, sind Bestandteil der Vertragsunterlagen (Ausschreibung, Angebot, Vertrag) des Bauprojektes.
- In der Regel sind zusätzlich verschiedene Restriktionen für die Durchführung des Bauvorhabens relevant. Solche Restriktionen werden in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen definiert, wie Zeitfenster für die Lieferung bestimmter Materialien, Anzahl LKWs, die sich gleichzeitig auf der Baustelle befinden können oder Zeiten für die Einfahrtskontrolle.

Diese Daten werden nicht ausschließlich für die Logistiksimulation benötigt. Sie werden vielmehr für verschiedene Aufgaben im Rahmen der Ausschreibung, Vergabe, Planung und Ausführung des Bauvorhabens eingesetzt. Sie stehen somit digital zur Verfügung, allerdings verteilt auf verschiedene Fachmodelle. Diese Modelle werden als Elementarmodelle zu einem Multimodell-Container zusammengefasst (Demharter et. al. 2011). In der im Multimodell-Container gehaltenen Form werden sie als Grundlage für die Logistiksimulation genutzt.

Der Multimodell-Container enthält folgende Daten, die als Eingangsdaten für die Logistiksimulation dienen (vgl. Liebich et al. 2010 für eine Erläuterung der Datenformate):

- Die Bauwerksinformationen liegen im IFC-Format vor. Allerdings dienen diese Informationen nur als Grundlage für die Mengenermittlung. Eine detaillierte Betrachtung der Bauwerksstruktur ist für die Logistiksimulation in frühen

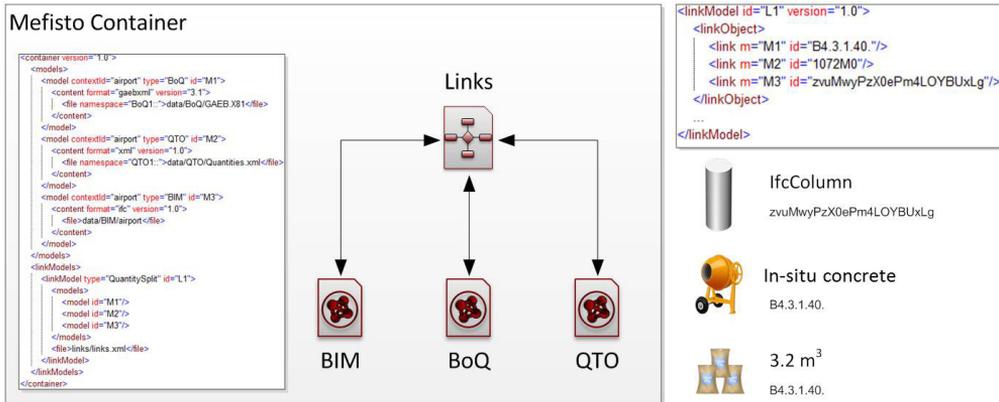


Abbildung 1: Multimodell-Container für die Logistiksimulation

Planungsphasen nicht erforderlich. Bei Einsatz der Logistiksimulation für eine feinere Planung bzw. in Kombination mit der Montagesimulation werden die detaillierten Bauwerkinformationen benötigt.

- Die Leistungsbeschreibung liegt im GAEB-XML-Format vor. Diese ist in Verbindung mit dem Bauwerksmodell die Grundlage für die Terminplanung im IT-System RIB iTwo.
- Auf Basis des Bauwerksmodells und der Leistungsbeschreibung werden in RIB iTwo die erforderlichen Mengen berechnet. Diese sind die Grundlage zur Definition der Lieferungen auf die Baustelle.
- Ein weiterer Teil des Multimodell-Containers ist das Baustellenmodell mit dem Layout der Baustelle und der Ausrüstung.

Die erforderlichen Daten für die Modellierung sind miteinander verknüpft. Typische Verknüpfungen („Links“) sind in Abbildung 1 dargestellt. In diesem Beispiel wurden die Daten einer Stütze aus dem Bauwerksmodell (gegeben im IFC-Format) mit den Mengensplits (Quantity of Takeoff, QoT), z. B. für Bewehrungsstahl und Beton und den Leistungen (Bill of Quantity, BoQ) verknüpft. Auf Basis dieser Verknüpfung werden insbesondere die Bauelemente den Aktivitäten zugeordnet und die entsprechenden Mengenströme für die Aktivitäten bestimmt.

Die Daten des Multimodell-Containers sind allerdings für die Logistiksimulation nicht ausreichend. In der Regel liegen folgende Daten in der frühen Planungsphase eines Bauprojektes nicht vor:

- Transportmittel, Transport- und Verpackungseinheiten,
- Lieferketten, d.h. Lagerorte und Ressourcen für den Transport und den Verbau,
- Restriktionen hinsichtlich der Anzahl der Transporte bzw. Zeitfenster für die Anlieferung.

Das bedeutet, dass diese Daten für die Simulation zusätzlich zu den Daten des Multimodell-Containers nachgepflegt werden müssen. Der im Rahmen des Mefisto-Pro-

jekt es entwickelte SiteSim-Editor unterstützt die Definition der fehlenden Informationen (Marx et al. 2010). Der SiteSim-Editor listet alle Mengenströme einer Aktivität auf. Das bedeutet, es wird beispielsweise die Menge Stahl, der für die Bewehrung für eine konkrete Aktivität benötigt wird, angezeigt. Auf dieser Basis können dann die Liefereinheiten bzw. Verpackungseinheiten für das Material spezifiziert werden. Typische Einstellungen für die Materialtypen werden in einer ergänzenden Datenbank („Wissensdatenbank“) vorgehalten, die durch den Benutzer erweitert werden kann. Auf Basis der Liefereinheiten werden die Transportmittel festgelegt. So sind für die Anlieferung von Materialien wie Bewehrungsstahl verschiedenen LKW-Typen vorgesehen. Ortbeton wird wiederum durch Betonmischer angeliefert. Diese Daten bilden die Grundlage zur Berechnung der Anzahl der erforderlichen Transporte für die Vorgänge und Materialien. Abbildung 2 verdeutlicht das am Beispiel der Spezifikation der Betonanlieferungen.

In der Regel werden nicht alle Materialien gleichzeitig angeliefert. Aus diesem Grund bietet der SiteSim-Editor eine Oberfläche an, mit deren Hilfe die Verteilung der Lieferungen über den Zeitraum eines Vorgangs und die Zeitfenster für die Anlieferung für jedes Material eingegrenzt werden können. Außerdem lassen sich Einschränkungen, wie die maximale Anzahl Lieferungen pro Tag berücksichtigen. Auf Basis dieser Parametrisierung können die Anzahl und die Zeitpunkte der Lieferungen pro Tag bestimmt werden, die dann die Grundlage der Simulation bilden.

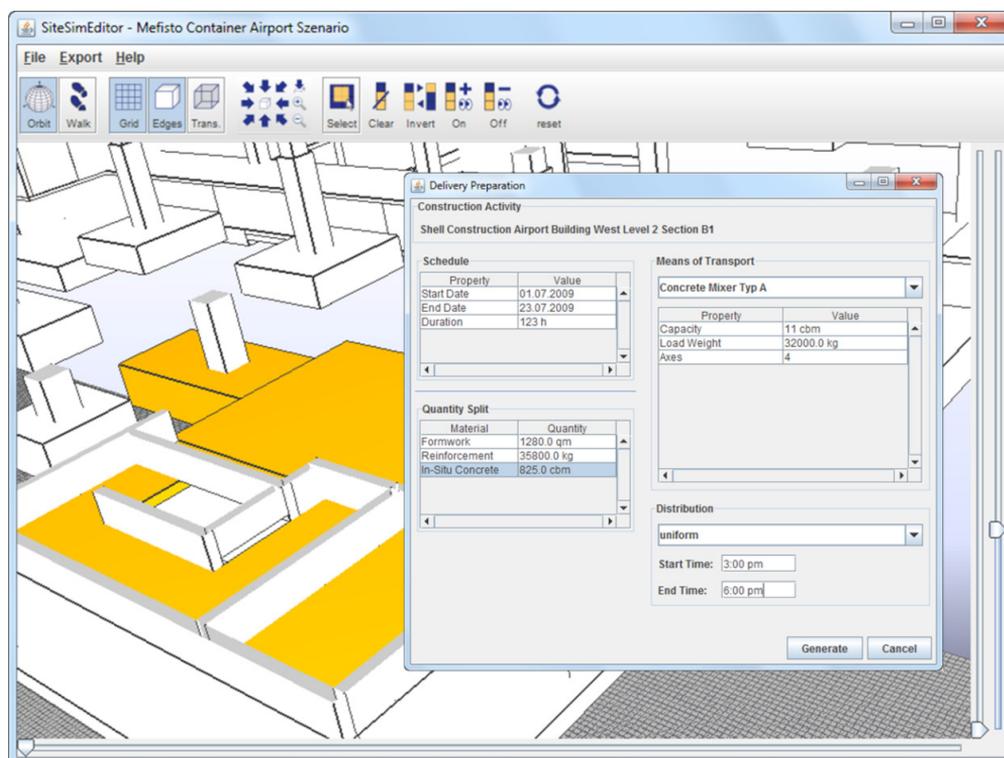


Abbildung 2: Definition der Lieferungen mit dem SiteSim-Editor

In einem weiteren Schritt müssen die Transporte auf der Baustelle genauer spezifiziert werden. Die LKWs mit dem Material werden an unterschiedlichen Positionen auf der Baustelle entladen. Dazu werden häufig Krane oder andere Geräte benötigt. Ein Teil des Materials kann oder muss auf Lagerflächen bis zum Verbau vorgehalten werden, wogegen beispielsweise Ortbeton direkt weiterverarbeitet werden muss. Die Entladepositionen, die erforderlichen Ressourcen auf der Baustelle und die Lagerflächen sind Bestandteile der Lieferketten und werden im SiteSim-Editor für jede Lieferung auf Basis des Baustellenlayouts definiert. Während der Logistiksimulation werden die Fahrwege der einzelnen liefernden Fahrzeuge auf der Baustelle automatisch berechnet.

In der Regel sollen für ein Projekt unterschiedliche Logistikszenerarien untersucht werden. Ein Logistikszenerario besteht aus dem Baustellenlayout mit den verfügbaren Ressourcen für Lagerung und Transport, den Transporten und den Lieferketten. Der SiteSim-Editor ermöglicht die Verwaltung der Logistikszenerarien in unterschiedlichen Datensätzen. Die Daten des SiteSim-Editors einschließlich der Szenerarien werden in eine Datenbank geschrieben, die als Eingangsdatenbank für die Simulation dient.

3 Modellierung

Die Logistiksimulation kann genutzt werden, um den Einfluss der Logistikprozesse auf die Durchführung von Bauprojekten zu untersuchen. Der Fokus liegt auf der Betrachtung des Materialflusses auf der Baustelle, d.h. auf der Anlieferung des Materials, der Lagerung und des Handlings auf der Baustelle sowie der Bereitstellung am Verbauort. Es ist möglich, die Logistiksimulation mit der Montagesimulation zu koppeln (vgl. König 2011 und Ismail et al. 2011 für ein Beispiel der Montagesimulation). In diesem Fall werden zusätzlich die Montageprozesse berücksichtigt.

Dieser Beitrag fokussiert auf die Simulation der Logistikprozesse. Es gibt eine Reihe von Softwaretools, die Bausteine für die Modellierung und Simulation von Logistikprozessen bereitstellen. Diese Bausteine sind allerdings sehr allgemeingültig und müssen für die Simulation von Bauprojekten angepasst werden. Für die Modellierung wird deshalb der Bausteinkasten Simulation Toolkit Shipbuilding (STS) verwendet. Der STS ist ein Bausteinkasten, der von der Flensburger Schiffbaugesellschaft entwickelt wurde (vgl. Steinhauer 2006). Er basiert auf dem Tool Tecnomatix Plant Simulation von Siemens PLM. Die Bausteine des STS werden in Kooperation mit der Ruhr-Universität Bochum, der SimPlan AG und der Bauhaus Universität Weimar für die Anwendung im Bauwesen weiterentwickelt. Der Bausteinkasten beruht auf einem constraint-basierten Modellierungskonzept. Das bedeutet, dass verschiedene Restriktionen bei der Ausführung der Prozessschritte berücksichtigt werden können. Diese Restriktionen werden auf Basis sogenannter Constraints formuliert (König et al. 2007). Es kann zwischen harten und weichen Constraints unterschieden werden. Harte Constraints werden für die Formulierung zwingend notwendiger Restriktionen, z.B. technologisch erforderlicher Reihenfolgebedingungen, genutzt. Weiche Bedingungen werden hingegen zur Untersuchung unterschiedlicher Szenerarien und Strategien bei der Ausführung des Bauprozesses implementiert. Auf Basis dieses Modellie-

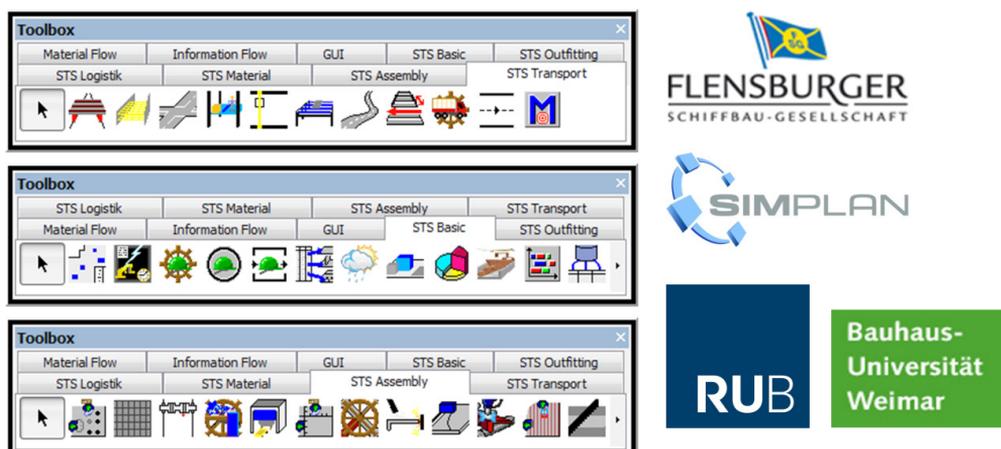


Abbildung 3: Bausteine des STS-Bausteinkastens

rungskonzeptes können generische Modelle für die Montage- und die Logistiksimulation mit unterschiedlichen Abstraktionsgraden aufgebaut werden. Abbildung 3 zeigt die grundlegenden Bausteine des Bausteinkastens.

Die Eingangsdaten der Logistiksimulation werden aus der durch den SiteSim-Editor bereitgestellten Datenbank gelesen. Die Baustelleneinrichtung wird entsprechend der Vorgaben aus dem Baustellenmodell layoutbasiert modelliert. Das bedeutet, dass das Modell bei jeder Änderung im Baustellenlayout neu generiert werden muss. Die Modellgenerierung erfolgt aber unter Verwendung definierter Basisbausteine anhand der Layoutdaten automatisch. Anschließend kann ein LogistikszENARIO aus den Daten der Datenbank des SiteSim-Editors ausgewählt und die Simulation auf Basis dieser Daten ausgeführt werden.

4 Simulationsmodell der Baustelle eines Flugsteigs

Das in diesem Beitrag beschriebene Konzept wird anhand einer Fallstudie validiert. Die Fallstudie befasst sich mit der Logistiksimulation des Rohbaus eines Flughafen terminals, das während des laufenden Betriebs auf dem Flughafen gebaut werden soll (zusätzlich zu bereits vorhandenen Terminals). Das neue Terminal besteht aus sechs Geschossen und hat eine Fläche von 185.000 qm. Der gegebene Ausführungsterminplan beinhaltet ca. 60 Aktivitäten. Die geplante Bauzeit für den Rohbau ist zwölf Monate.

Für den Baustellenbetrieb sind bereits in der Ausschreibung verschiedene Restriktionen gegeben. Die Positionen der Krane und der verfügbaren Lagerflächen sind aufgrund der Gebäude im Umfeld der Baustelle und des Flughafenbetriebs fest definiert. Für die Anlieferungen gibt es eine definierte Zufahrt auf die Baustelle, vor der maximal zwei LKWs warten können. Die Abfertigungszeit pro LKW bei Einfahrt in die Baustelle beträgt 10-15 min. Die Anlieferungen wurden anhand der Abfertigungszeiten so definiert, dass die erforderlichen Ressourcen zum Entladen verfügbar sind.

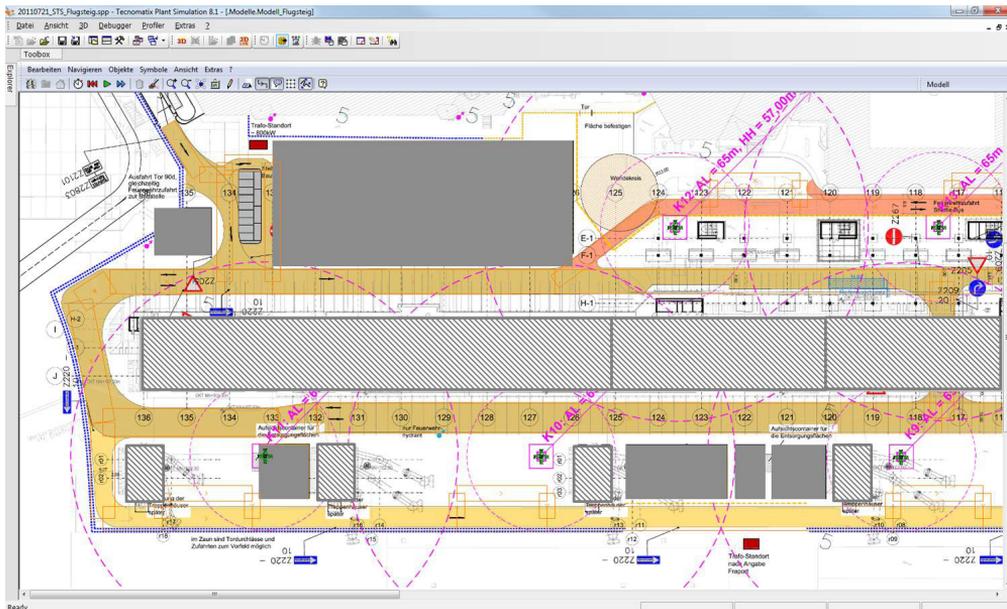


Abbildung 4: Layout der Simulation für den Rohbau eines Flughafen-Terminals

Die Layoutdaten der Baustelle und die weiteren Daten für die Logistiksimulation werden aus dem Multimodell-Container geladen und im SiteSim-Editor aufbereitet. Das Simulationsmodell, welches auf Basis der Daten generiert wird, ist in Abbildung 4 dargestellt.

Auf Basis des Terminplans lässt sich das Bauwerk in zwölf Bereiche zergliedern, die als getrennte Verbauorte modelliert sind. Die Verbauorte sind in Abbildung 4 schraffiert hervorgehoben. Das Simulationsmodell beinhaltet weiterhin 16 Krane, elf Lagerflächen und ca. 150 Transportwege sowie eine Einfahrt und eine Ausfahrt. Nach der Generierung des Modelllayouts werden die Basislieferungen spezifiziert. Es werden die Transporte des Stahls für die Bewehrungen, des Ortbetons und der Fertigteile betrachtet. Das Material wird mit unterschiedlichen LKW-Typen auf der Baustelle angeliefert. Der Ortbeton und die Fertigteile werden direkt verbaut. Dazu stehen auf der Baustelle eine Betonpumpe für die Verarbeitung des Ortbetons und ein Raupenkran zur Verfügung. Der Raupenkran kann sich nur innerhalb eines definierten Bereichs bewegen. Er kann außerdem nicht von LKWs passiert werden. Zusätzlich sind in Abhängigkeit vom Baufortschritt bestimmte Strecken nicht mehr für den Raupenkran zugänglich.

Für das betrachtete Bauwerk wurden mehr als 6.500 Lieferungen definiert. Das bedeutet ca. 25 Lieferungen pro Arbeitstag. Es wird montags bis freitags ca. neun Stunden pro Tag gearbeitet. Im Fallbeispiel wird angenommen, dass sich die Lieferungen gleichmäßig über den geplanten Zeitraum einer Aktivität verteilen. Allerdings schwanken die täglichen Anlieferungen über den Zeitraum sehr stark (vgl. Abbildung 5). Bei der Einfahrt auf die Baustelle werden Anlieferungen von direkt zu verbauendem Material mit höherer Priorität behandelt. Für jede Anlieferung ist bekannt, wel-

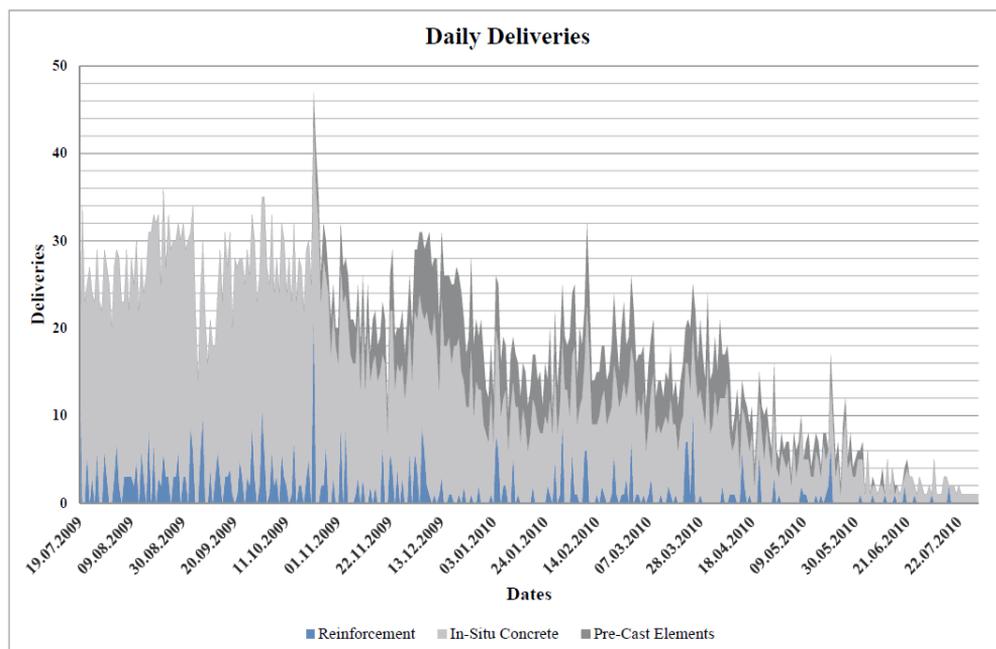


Abbildung 5: Verteilung der Lieferungen der Materialien des Flugterminals

cher Aktivität das Material zugeordnet wurde und an welchem Ort es verbaut werden soll.

Während der Simulation werden verschiedene Statistikwerte erfasst, um die Logistikszenarien zu bewerten. Als erstes wird der Baufortschritt der einzelnen Vorgänge ausgewertet. Auf Basis dieser Werte kann ein Grobterminplan für die Vorgänge erstellt werden. Alternativ können mögliche Verspätungen gegenüber einem vorgegebenen Terminplan identifiziert werden.

Die Statistikdaten beinhalten weiterhin die Auslastung der Ressourcen, die Auslastung der Lagerflächen und die Transportzeiten bzw. Wartezeiten der Materialien auf der Baustelle. Mit Hilfe dieser Statistiken können Engpässe bestimmt werden. In Abbildung 6 ist beispielsweise die Auslastung der Betonpumpe über den Simulationszeitraum dargestellt. Die Auslastung korreliert mit der Menge angelieferter Ortsbetons. Die Betonpumpe ist im hier betrachteten Szenario kein Engpass.

Die Definition und die Bewertung unterschiedlicher Szenarien für die erörterte Fallstudie ist Gegenstand der letzten Phase des Mefisto-Projektes. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Fragestellung, wie die Anlieferungen auf die Baustelle abgewickelt werden können, so dass keine Fahrzeuge an der Einfahrt warten müssen. Außerdem sollen die Einflüsse der Straßensperrungen durch den Raupenkrane auf den Verkehr auf der Baustelle untersucht werden.

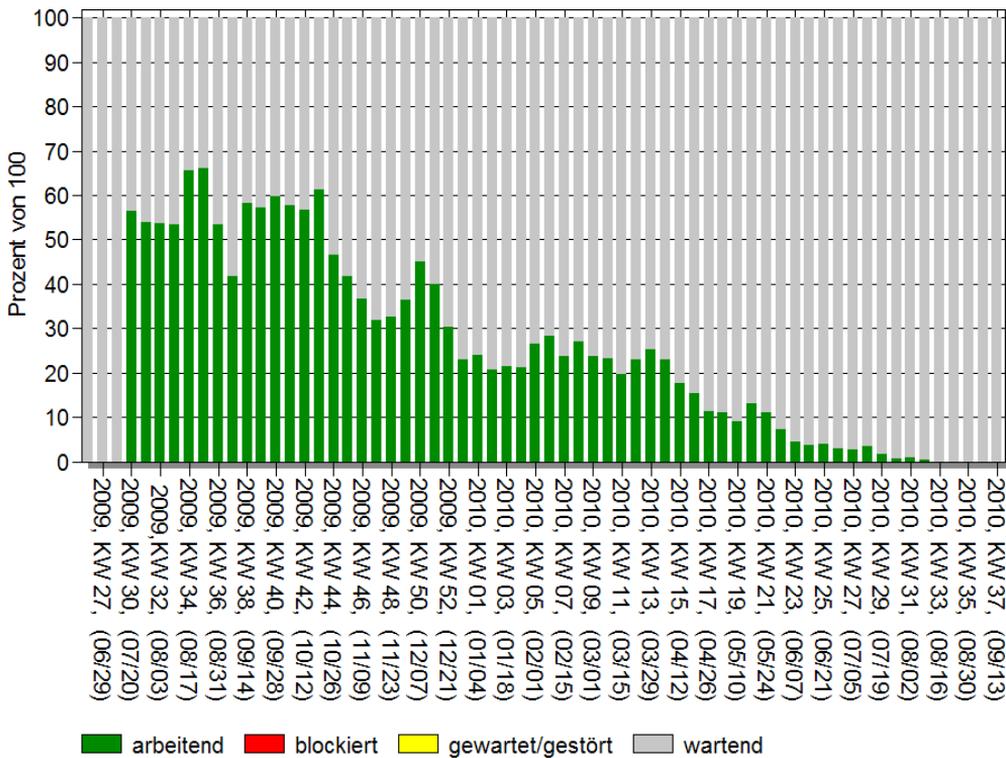


Abbildung 6: Auslastungsdiagramm der Betonpumpe

5 Zusammenfassung

Die wichtigste Herausforderung für die Logistiksimulation im Rahmen von Bauprojekten ist die Bereitstellung der Eingangsdaten. Dieser Beitrag hat ein Konzept für die Datenbereitstellung für die Logistiksimulation aus dem Multimodell-Container beschrieben. Dieser Multimodell-Container enthält die grundlegenden Informationen, wie das Bauwerksmodell, den Ausführungsterminplan, die Mengenströme der Materialien sowie das Baustellenmodell mit allen Ressourcen. Der SiteSim-Editor stellt die Eingangsdaten des Multimodell-Containers in einer Benutzeroberfläche bereit und ermöglicht die Definition der Lieferungen sowie der Lieferketten. Auf der Grundlage dieses Konzepts wurde ein Fallbeispiel für die Logistiksimulation vorgestellt. In der letzten Phase des Mefisto-Projektes werden für dieses Beispiel verschiedene Logistikszenerarien untersucht. Die Definition der Szenarien wird über den SiteSim-Editor erfolgen. Die Auswertungen sollen anschließend in den SiteSim-Editor zurückgeschrieben und dort dargestellt werden.

Referenzen

Demharter, J., Pflug, C. (2011): Einsatz von Multimodellen zur Projektabwicklung beim Auftragnehmer. In: Scherer, R. J., Tauscher H., Schapke, S.-E. (Hrsg.): MEFISTO: Eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen. Tagungsband 2. Mefisto-Kongress, Dresden 2011.

Ismail, A., Benevolenskiy, A. (2011): Simulation von Bauausführungsvarianten eines Hochhauses. In: Scherer, R. J., Tauscher H., Schapke, S.-E. (Hrsg.): MEFISTO: Eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen. Tagungsband 2. Mefisto-Kongress, Dresden 2011.

König, M., Beißert, U., Steinhauer, D., Bargstädt, H.-J. (2007): Constraint-based Simulation of Outfitting Processes in Shipbuilding and Civic Engineering. 6th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation, CD-ROM Publikation.

König, M. (2011): Aufbereitung von Multimodellen für Simulationsstudien zur Ausführungsplanung. In: Scherer, R. J., Tauscher H., Schapke, S.-E. (Hrsg.): MEFISTO: Eine Modell-, Informations- und Wissensplattform für das Bauwesen. Tagungsband 2. Mefisto-Kongress, Dresden 2011.

Kugler, M., Franz, V. (2008): Einsatz von Simulation zur Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen im Bauwesen. In: Rabe, M. (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 151-160.

Liebich, T., Katranuschkov, P. (2010): Interdisziplinäre Nutzung von Fachmodellen - "Wer" benötigt "Was", "Wann" und in "Welcher" Qualität?. In: Scherer, R. J., Schapke, S.-E.: MEFISTO: Management-Führung-Information-Simulation im Bauwesen. Tagungsband 1. Mefisto-Kongress, Dresden 2010, S. 131-146.

Marx, A., König, M. (2010): Preparation of Constraints for Construction Simulation. Proceedings of the 2011 ASCE Workshop on Computing in Civil Engineering, Miami, USA.

Spieckermann, S., Habenicht, I., Zeller, G., Zimmermann, J. (2010): Simulation zur Prüfung von Montage- und Logistikabläufen. In: Scherer, R. J., Schapke, S.-E.: MEFISTO: Management-Führung-Information-Simulation im Bauwesen. Tagungsband 1. Mefisto-Kongress, Dresden 2010, S. 79-94.

Steinhauer, D. (2006): Simulation im Schiffbau - Unterstützung von Wertplanung, Produktionsplanung und Produktentwicklung bei der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik. Tagungsband zur 12. ASIM-Fachtagung, SCS Publishing House e.V., San Diego, S. 1-14.

Wenzel, S., Boyaci, P., Jessen, U. (2010): Simulation in Production and Logistics: Trends, Solutions and Applications. In: Dangelmaier, W., Blecken, A., Delius, R., Klöpfer, S. (Hrsg.): Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S. 73-84.

