

GIL-Baustellensimulation – Ein entscheidungs- unterstützendes Planungswerkzeug für Baustellen zur Errichtung kundenindividueller Anlagen

GIL-Construction Site Simulation – A Decision Support Planning Tool for Construction Sites for the Erection of Customised Facilities

Aron Heck, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Nürnberg
(Germany), heckaron@gmx.de

Ilka Habenicht, SimPlan AG, Maintal (Germany), ilka.habenicht@simplan.de

Abstract: This document describes the use of simulation in the planning process of construction sites for the erection of Gas Insulated Lines (GIL). Simulation is integrated into a decision support planning tool in order to investigate different execution variants of a GIL project. It includes a data base for saving all relevant project data, a simulation tool kit for modelling individual construction sites and an analysis tool to evaluate different configurations. The integration of the decision support planning tool into the planning process of a GIL project is described. It is already used in first projects in order to determine a configuration to meet installation dates and realise an acceptable utilisation of workers and resources.

1 Einführung

Gasisolierte Übertragungsleitungen (GIL) werden eingesetzt, um platzsparend und verlustarm hohe elektrische Leistungen zu übertragen. Eine GIL kann auf Trassen, in Tunneln oder unterirdisch in einem Graben verlegt werden. Bei der Installation solcher Anlagen werden in der Regel Entfernungen von mehreren Kilometern überbrückt, wobei verschiedene Platzverhältnisse zur Installation der Anlage vorgefunden werden. Dies stellt besondere Anforderungen an die Planung und Durchführung der Installation der GIL-Anlagen. Die Siemens AG, Energy Management Division will aus diesem Grund die Planung solcher Projekte mit einem simulationsbasierten Werkzeug unterstützen.

1.1 Anwendungsumfeld und Motivation

Für die Errichtung einer GIL-Anlage wird zunächst eine Baustelle eingerichtet. Die notwendigen Komponenten, insbesondere Leiter- und Kapselrohre, Winkelbausteine und Kompensatoren, werden in Containern angeliefert, gelagert, vorgefertigt und installiert. Eine GIL-Anlage kann je nach Anlagengröße an einem oder mehreren

Orten gleichzeitig installiert werden. Bei größeren Anlagen müssen die Installationsarbeitsplätze nach Abschluss der Arbeiten an einem Montageabschnitt möglicherweise an einen anderen Ort versetzt werden. Nach der Installation wird die Leitung mit einem Isoliergas befüllt und in Betrieb genommen.

Die Fertigungsreihenfolge der Montageabschnitte ist normalerweise durch Rahmenbedingungen vorgegeben, teilweise aber auch frei wählbar. Es sind verschiedene Geräte und unterschiedlich qualifiziertes Personal, sowie Verbrauchsmaterial für die Durchführung der einzelnen Arbeitsschritte notwendig. Personal, Geräte und Material müssen in ausreichender Menge und in der richtigen Kombination zur Verfügung stehen. Entsprechend dem Baufortschritt müssen die Komponenten der Anlage in der richtigen Reihenfolge angeliefert und möglicherweise in Lagern gepuffert werden. Die Lagerfläche auf solchen Baustellen ist jedoch in der Regel stark begrenzt. Die GIL-Fertigung ist prinzipiell mit ähnlichen Problemen konfrontiert, wie sie beispielsweise von Ailland und Bargstädt (2008), Kugler und Franz (2008), sowie Voigtmann und Bargstädt (2008) für das Bauwesen beschrieben werden.

Eine Herausforderung bei der Planung von GIL-Baustellen liegt darin, eine möglichst hohe Auslastung der Installationsarbeitsplätze zu erreichen, weil deren Durchsatz maßgeblich für einen zügigen Baufortschritt ist. Das wird möglich, indem die Arbeitsplätze der Vorfertigung die notwendigen Baugruppen für die Installation fristgerecht fertigstellen. Dazu müssen die Liefertermine und die Zusammensetzung der Container mit den anzuliefernden Teilen entsprechend dem Bedarf auf der Baustelle ermittelt werden. Weiterhin müssen die Mitarbeiterzahlen und bereitzustellenden Gerätschaften so geplant werden, dass eine fristgerechte Vorfertigung und Installation erfolgen kann.

1.2 Zielsetzung

Um diesen Anforderungen besser gerecht zu werden, soll die Simulation als entscheidungsunterstützendes Instrument in die Planung von GIL-Projekten integriert werden. Auf diese Weise sollen Fehler bei der Auslegung der Baustelle früher erkannt werden als in der Vergangenheit. Ziel ist es, ein Instrument bereitzustellen, welches projektübergreifend bei der Planung der Baustellen eingesetzt werden kann. Dieses Werkzeug stellt die notwendigen Datenstrukturen für die Stammdaten und die projektspezifischen Daten, sowie einen Simulationsbausteinkasten für die Modellierung der Baustellen zur Verfügung.

Der Simulationsbausteinkasten soll so ausgelegt sein, dass geänderte Arbeitsschritte oder neuentwickelte Baugruppen beliebig konfiguriert und simuliert werden können. Der Planer soll in der Lage sein, ohne detaillierte Kenntnisse der Simulationssoftware das Simulationsmodell einer GIL-Baustelle zu erstellen und zu parametrisieren. Dabei soll berücksichtigt werden, dass vorrangig auf Basis der verschiedenen Prozesse auf der Baustelle und deren Anordnungsbeziehungen geplant wird.

Im weiteren Verlauf dieses Beitrages wird der Aufbau der Simulationsumgebung mit seinen Komponenten beschrieben. Schwerpunkte sind die bereitgestellten Datenstrukturen und die Bausteinbibliothek für die Modellierung der Baustellen. Es wird erörtert, wie die Simulation als Instrument in die Planung von GIL-Baustellen integriert werden kann. Abschließend werden die erzielten Projektergebnisse präsentiert und ein Ausblick zur zukünftigen Verwendung und Weiterentwicklung der Simulationsumgebung gegeben.

2 Komponenten der GIL-Baustellensimulation

In Abbildung 1 sind die Komponenten zur Verwaltung der Eingangsdaten, die Simulationsumgebung und die drei Komponenten zur Auswertung der Simulationsergebnisse dargestellt. Zusammen bilden sie die GIL-Baustellensimulation.

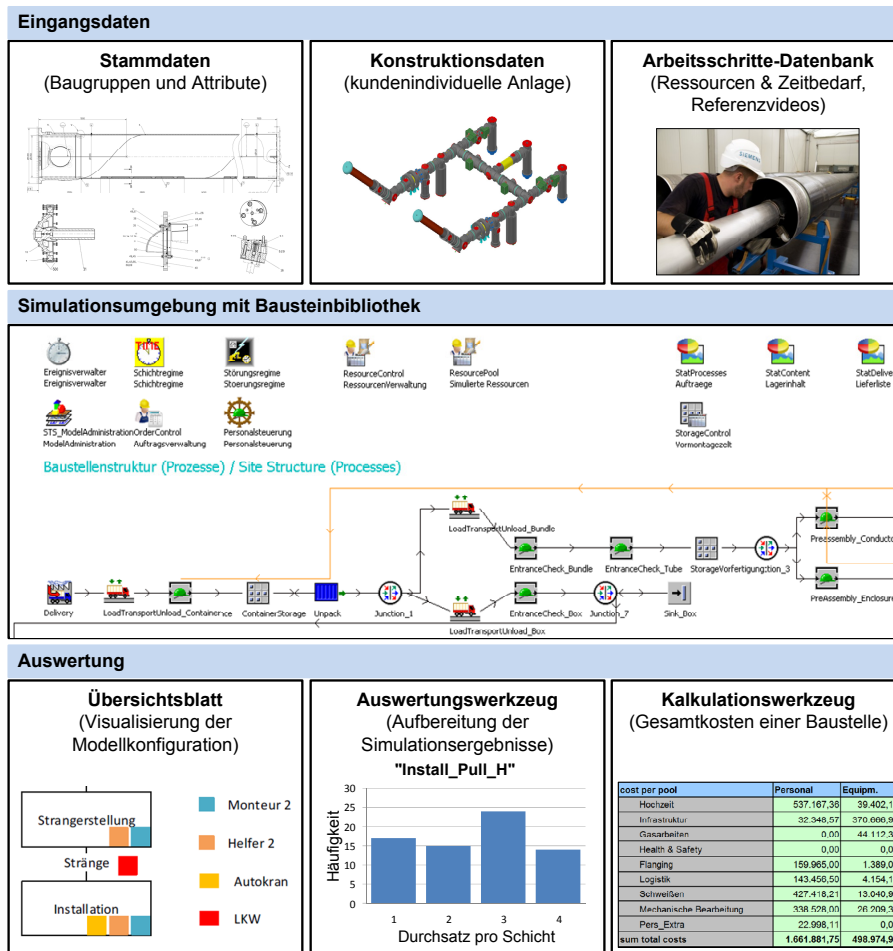


Abbildung 1: Komponenten der GIL-Baustellensimulation

Der Datentransfer zwischen den Komponenten erfolgt automatisiert über vorkonfigurierte Excel- und Datenbankschnittstellen. Die Modellierung des Materialflusses und der daraus resultierenden Prozesse basiert auf den Stammdaten mit den Attributen der Baugruppen, den Konstruktionsdaten einer kundenindividuellen Anlage und der Arbeitsschritte-Datenbank.

Die Simulationsumgebung stellt Dialoge und eine Bausteinbibliothek bereit, die es dem Planungingenieur ermöglichen auf Basis der Eingangsdaten ausführbare Simulationsmodelle einer speziellen GIL-Baustelle zu konfigurieren. Die drei Kom-

ponenten zur Auswertung der Simulationsexperimente bereiten die Konfigurations- und Ergebnisdaten für die Interpretation und Validierung einer simulierten Gestaltungsvariante auf.

Um den Aufwand für die Modellerstellung möglichst gering zu halten, wurde der Simulationsbausteinkasten so ausgelegt, dass

- die Datenerfassung der Baugruppen und Arbeitsschritte pro Projekt inkrementell erfolgt,
- auf Basis der Konstruktionsdaten ermittelt wird, ob und wie oft Arbeitsschritte an einer Station durchgeführt werden und
- für die Konfiguration verschiedener Gestaltungsvarianten alternative Arbeitsschritte aus der Projekthistorie verfügbar sind.

2.1 Eingangsdaten der Simulation

Die Struktur der Stammdaten (Baugruppen und Attribute) wurde an dem bestehenden Sachnummernsystem ausgerichtet. Die Attribute der Baugruppen, welche für die Ermittlung der Arbeitsschritte relevant sind, werden auf Basis der technischen Zeichnungen identifiziert und in einer Excel-Mappe gespeichert. Neuentwickelte Baugruppen können durch einen Eintrag in der Excel-Mappe mit den Stammdaten ergänzt werden.

Die Konstruktionsdaten mit dem exakten Aufbau einer kundenindividuellen Anlage werden aus dem Softwaresystem des Anlageningenieurs exportiert, um sie anschließend, zusammen mit den Stammdaten, über eine Excel-Schnittstelle einzulesen. Diese Daten bilden die Basis für die Konfiguration der Installationsaufträge, die innerhalb der Simulation den Materialfluss steuern.

Die dritte Komponente ist eine Datenbank in der die Arbeitsschritte mit deren Zeit und Ressourcenbedarf hinterlegt sind. Sie enthält alle Arbeitsschritte die an Arbeitsplätzen einer GIL-Baustelle durchgeführt werden können und bietet eine Benutzeroberfläche zum Editieren vorhandener und Anlegen neuer Arbeitsschritte. Der Ablauf der Arbeitsschritte wird auf Videos festgehalten, die in der Datenbank mit den Arbeitsschritten verlinkt sind. Das in dieser Datenbank gespeicherte Prozesswissen dient zusätzlich als Ausgangsbasis für Verbesserungen von Arbeitsabläufen oder Fertigungsverfahren.

2.2 Bausteinbibliothek für die Modellierung der Baustellen

Die Fragestellungen und Randbedingungen bei der Planung und Durchführung von GIL-Bauprojekten sind vergleichbar mit typischen Problemen bei der Durchführung von Projekten in der Baubranche. Der Simulation-Toolkit-Shipbuilding-Bausteinkasten (STS) wurde bereits erfolgreich für die Modellierung von Prozessen im Bauwesen eingesetzt. Der Bausteinkasten wurde ursprünglich von der Flensburger Schiffbau Gesellschaft für die Modellierung schiffbaulicher Prozesse entwickelt und für die Anwendung im Bauwesen erweitert (vgl. Steinhauer und König 2010). Nachdem sich die simulationstechnischen Anforderungen mit denen im Bauwesen überschneiden, wurden die Bausteine zur Simulation von GIL-Baustellen auf Basis des STS-Baustein Kastens implementiert.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über den Simulationsbausteinkasten zur Konfiguration von Simulationsmodellen kundenindividueller GIL-Baustellen. Die gesamte Modellierung einer GIL-Baustelle ist dialoggestützt.

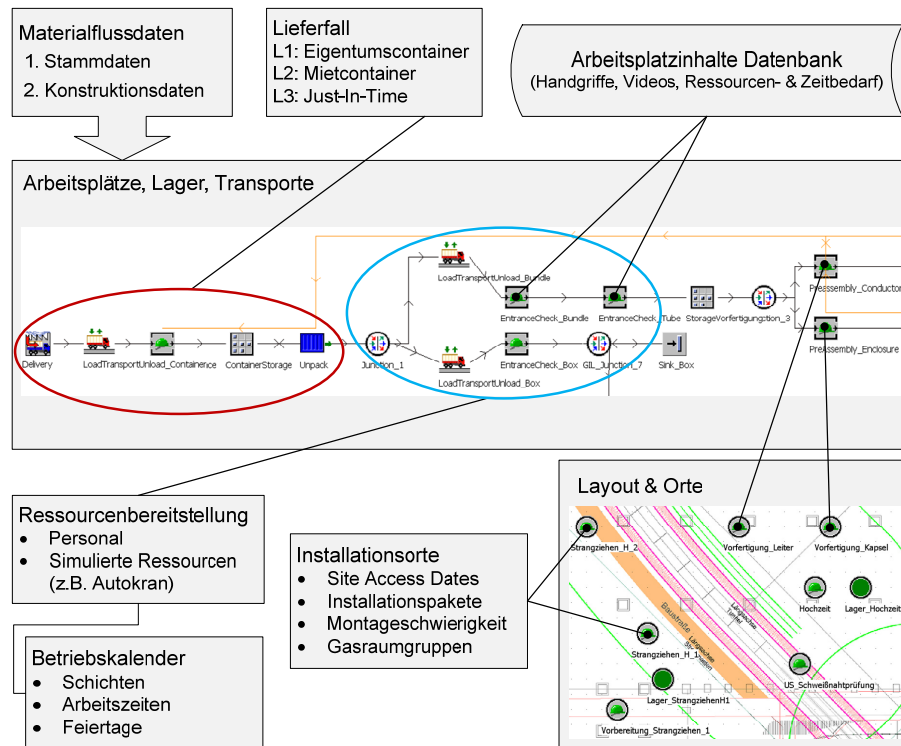


Abbildung 2: Simulationsbausteinkasten zur Konfiguration eines Baustellenmodells

Der Simulationsbausteinkasten besteht aus speziellen Bausteinen für Arbeitsplätze, Transporte und Lager, die es dem Planungsingenieur ermöglichen, die individuelle logistische Situation einer Baustelle zu modellieren ohne über tiefere Kenntnisse zu verfügen. Die Arbeitsplatz-, Lager- und Transportbausteine bilden in Kombination mit den Material- und Informationsflusskanten die logistische Situation einer Baustelle ab.

Die exakte Sequenz der Werkstücke innerhalb des Materialflusses wird definiert, indem die Konstruktionsdaten der Anlage den Installationsarbeitsplätzen in Form von Aufträgen zugewiesen werden. Entsprechend dieser Auftragssequenz bestellen die Installationsarbeitsplätze entlang der Informationsflusskanten schließlich das Material, welches mit einer GIL-typischen Lieferstrategie der GIL-Baustellenerfertigung zugeführt wird. Zu diesem Zweck verfügt der Bausteinkasten über Bausteine zur Modellierung der verschiedenen Logistikvarianten, die durch unterschiedliche Lieferfälle und Verpackungsarten gekennzeichnet sind.

Der Planungsingenieur ordnet jedem Arbeitsplatz, die dort auszuführenden Arbeitsschritte aus der Arbeitsinhalte-Datenbank, zu. Die Arbeitsschritte sind mit Attributen

der Baugruppen verknüpft, die für die Ausführung dieser Arbeitsschritte ursächlich sind. Ausgehend von dieser Konfiguration wird auf Basis der Werkstücke im Materialfluss entschieden, ob und wie oft ein Arbeitsschritt ausgeführt wird.

Ergänzende Randbedingungen wie Installationsreihenfolgen, verfügbare Ressourcen, Schicht- und Betriebskalender, sowie relevante Eingangsdaten zur Definition des Materialflusses und der Arbeitsschritte konfiguriert der Planungsingenieur über Dialoge.

2.3 Auswertung der Simulationsergebnisse

Mit Hilfe der Simulation können unterschiedliche Konfigurationen einer Baustelle untersucht und verglichen werden. Auf diese Weise ist eine iterative Verbesserung der Baustellenkonfiguration hinsichtlich der Einhaltung der Installationstermine und Auslastung der Anlagen möglich. Für die Dokumentation der Iterationsschritte sind die Parameter einer Modellkonfiguration mit den Arbeitsplätzen, Lagern und Transporten auf einem Übersichtsblatt dargestellt. Die Parameter sind mit einem Export der Konfigurationsdaten verknüpft, damit sie im Anschluss an einen Simulationslauf mit geringem Aufwand aktualisiert werden können.

Die Komponente zur Aufbereitung der Simulationsergebnisse zu aussagekräftigen Kennzahlen und Diagrammen ermöglicht den Einsatz der von Rabe et al. (2008) beschriebenen Techniken zur Verifikation und Validierung der Daten und Modelle der GIL-Baustellensimulation. Der Planungsingenieur vergleicht Gestaltungsvarianten und bewertet sie nach leistungs- oder serviceorientierten Gesichtspunkten wie bspw. Auslastung, Durchsatz oder Fertigstellungstermine.

Weigert et al. (2010) analysierten vorhandene Definitionen von Kennzahlen zur Bewertung logistischer Systeme. Auf Grundlage dieser Analyse wurde ein Kennzahlenkatalog zusammengestellt, der ein simuliertes Produktionssystem vollständig abbildet und grundlegend unterschiedliche logistische Sachverhalte beschreibt. Das Auswertungswerkzeug (Aufbereitung der Simulationsergebnisse) stellt die folgenden unterschiedlich aggregierten Kennzahlen bereit:

- Durchsatz,
- Bestand,
- Durchlaufzeiten,
- Auslastungen,
- Termine.

Nachdem eine hinreichend günstige, als valide einzustufende Konfiguration einer Baustelle gefunden ist, empfiehlt es sich, diese Gestaltungsvariante monetär zu bewerten und sie mit alternativen Gestaltungsvarianten zu vergleichen. Die Bewertung erfolgt auf Basis der Gesamtkosten einer Baustelle. Das Werkzeug zur Kalkulation der Gesamtkosten greift auf die aktuellen Preise für Equipment und Verbrauchsmaterialien des Hauptlieferanten zurück und kombiniert diese mit den Einsatzzeiträumen der Arbeitsbereiche und des Personals. Final ergänzt der Planungsingenieur Preise für Personal oder extern bezogenes Equipment und überprüft die Ausstattung der Baustelle auf Vollständigkeit. Als Ergebnis erhält der Planungsingenieur die anfallenden Kosten für Equipment und Personal pro Arbeitsbereich der Baustelle. In einer weiteren Tabelle sind die Kosten entsprechend interner Kalkula-

tionsgruppen aggregiert, damit sie von dem Projektmanagement ohne zusätzlichen Aufwand für die Kalkulation der Projektkosten übernommen werden können.

3 Integration des Simulationsbausteinkastens als entscheidungsunterstützendes Planungswerkzeug

Die Integration des Simulationsbausteinkastens als entscheidungsunterstützendes Planungswerkzeug setzt die Wiederverwendbarkeit der Daten in allen vorhandenen und neu entwickelten Systemen voraus. Dies wurde im Wesentlichen durch die Implementierung von Datenschnittstellen erreicht, die die Eingangsdaten in bestehender Form einlesen und die Ergebnisse in benötigter Form ausgeben.

Ein weiterer Aspekt ist die Integration des Simulationsbausteinkastens in den bestehenden Angebots- und Auftragsabwicklungsprozess. Hier ändert sich das grundsätzliche Vorgehen während der Baustellenplanung, welches im folgenden Abschnitt genauer erläutert wird.

3.1 Entscheidungsunterstützende Simulation als Bestandteil der Planung

Zu Beginn des Angebotsprozesses wird entsprechend der Spezifikation einer Ausschreibung eine kundenindividuelle Anlage konstruiert. Für die Erstellung der Angebotskalkulation müssen im nächsten Schritt die Aufwendungen zur Installation der Anlage abgeschätzt werden. In dieser Phase unterstützen die Simulationsexperimente bei Entscheidungen zur Gestaltung der Baustelle auf Basis getroffener Annahmen.

Diese Annahmen werden im Zuge der Auftragsabwicklung mit dem Kunden und den Lieferanten abgestimmt und allmählich zu Planparametern konkretisiert. Nun wird das nachfolgend erläuterte experimentelle Vorgehen zur simulationsgestützten Planung einer GIL-Baustelle erneut durchgeführt.

Die verschiedenen Gestaltungsvarianten einer Baustelle werden mit dem jeweiligen Stand der Eingangsdaten und den Auswertungen in einer Ordnerstruktur gespeichert. Der Planungsingenieur dokumentiert auf dem Übersichtsblatt die Eingangswerte einer Konfiguration, wie beispielsweise Lieferstrategie, Kapazitäten und Zuordnungen von Personal bzw. Arbeitsinhalten, damit die Simulationsexperimente nachvollziehbar bleiben.

Im Anschluss an einen Simulationslauf werden die Simulationsergebnisse mithilfe eines Auswertungswerkzeuges für die analytische Bewertung und Validierung des Modells zu Kennzahlen und Diagrammen aufbereitet, siehe Kapitel 2.3. In Abbildung 3 ist der Weg von der Leistungsbewertung des ersten Simulationsexperiments hin zur Kostenkalkulation auf Basis der Ergebnisse einer gültigen Gestaltungsvariante dargestellt.

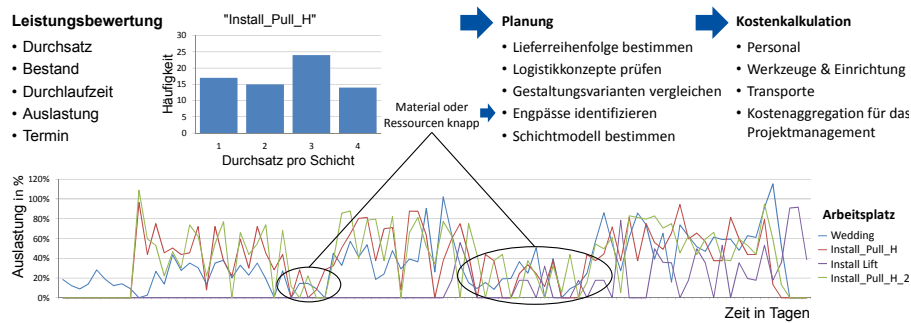


Abbildung 3: Von der Leistungsbewertung des ersten Experiments zur Kostenkalkulation einer Baustelle

Anhand der Simulationsexperimente werden alternative Logistikkonzepte, Anlagenvarianten und Ressourcenkonfigurationen zur Errichtung einer Anlage iterativ geprüft, bis eine hinreichend günstige, von allen Projektbeteiligten als valide einzu-stufende Konfiguration einer Baustelle gefunden ist. Diese ist Grundlage zur Festlegung des Schichtmodells, einer geeigneten Zusammensetzung des Personals und zur Bestimmung des kritischen Pfades auf der Baustelle. Außerdem wird auf Basis des simulierten Baustellenablaufes, eine Liste mit einem Vorschlag zur Verpackung der Anlagenkomponenten und den Terminen zur Bereitstellung dieser Packstücke generiert.

Die Prüfung der Logistikkonzepte umfasst die Konfiguration verschiedener Kapazitäten für realisierbare Lager und Transportmittel. Ein Logistikkonzept ist geeignet, wenn an den Arbeitsplätzen keine Verzögerungen entstehen, die auf eine zu geringe Auslegung der Lager oder Transportmittel zurückzuführen sind.

GIL-Baugruppen sind entweder günstiger in der Anschaffung (z. B. Rohr mit Schweißkante) oder einfacher zu installieren (z. B. Rohr mit Flansch). Eine Anlagenvariante bestehend aus geschweißten Baugruppen wird nur dann gebaut, wenn der Zusatzaufwand zur Installation geringer ist als die Mehrkosten zur Anschaffung der geflanschten Baugruppen. Durch Simulation dieser beiden Anlagenvarianten, wird projektspezifisch der kostengünstigere Aufbau der Anlage unter Berücksichtigung des Arbeitsaufwandes ermittelt.

Eine weitere Anwendung der Simulation ist die Bestimmung von Auswirkungen auf den Baustellenablauf infolge von Planänderungen zur Stärkung der eigenen Verhandlungsposition. Als Beispiel für solche Planänderungen seien hier eine kundenseitige Vorgabe zur Änderung der Installationsreihenfolge oder eine lieferantenseitige Verzögerung bei der Zustellung von Material bzw. Equipment genannt.

Über eine Excel-Schnittstelle liefert die Simulation schließlich die Eingangsdaten für das Werkzeug zur Kalkulation der Gesamtkosten dieser Baustellenvariante. In der Kostenkalkulation werden die simulationsbasiert ermittelten Bedarfszeiträume der Werker und Geräte mit den Kostensätzen für Kauf, Miete oder Anstellung kombiniert. Außerdem stellt die Kostenkalkulation dem Planungsingenieur Oberflächen zur Erfassung von Personal und Equipment für nicht simulierte Vorgänge zur Verfügung. Im Rahmen der Kalkulation wird der Plan für die Ressourcenausstattungen der Arbeitsbereiche überprüft und gegebenenfalls vervollständigt.

Durchführbare Techniken der Verifikation und Validierung werden während der Entwicklung entsprechend dem Vorgehensmodell von Rabe et al. (2008) nach jeder Implementierungsetappe durchgeführt, wobei involvierte Projekt- und Bauleiter die Modellgültigkeit nach etwaigen Korrekturen stets bestätigten.

3.2 Ergebnisse aus der praktischen Anwendung

Die Entwicklung der GIL-Baustellensimulation erfolgte parallel zu einer realen Baustelle, deren Ablauf mit hinreichender Übereinstimmung zur Realität simuliert werden konnte. Außerdem hat sich mit dem aktuellen Entwicklungsstand der GIL-Baustellensimulation die Flexibilität der Daten und Modelle zur Simulation kundenindividueller Baustellen, insofern als ausreichend herausgestellt, als dass ein geänderter Installationsprozess mit neuentwickelten Baugruppen ohne zusätzlichen Implementierungsaufwand konfiguriert und simuliert werden konnte.

Die Simulation zeigte, in welchem Ausmaß und unter welchen Voraussetzungen der Durchsatz bei einer Umstellung auf den geänderten Installationsprozesses gesteigert werden kann. Bei den Untersuchungen in diesem Projektbeispiel wurde vor allem geprüft, welche Auswirkungen die Erhöhung des Durchsatzes an den Arbeitsplätzen der Vorfertigung auf den Prozess hat. An dieser Stelle dient die Arbeitsschritte-Datenbank als Ausgangsbasis zur Optimierung bestehender Vorfertigungsprozesse (Reduktion der Durchlaufzeiten in der Vorfertigung) und die Simulation als Experimentierumgebung zur optimalen Auslegung der Arbeitsplätze der neuen GIL-Baustellenfertigung. Die Auslegung verfolgt hier zusätzlich das Ziel einer möglichst gleichverteilten Auslastung der Ressourcen während ihrer kostenverursachenden Zeiträume.

Abbildung 4 zeigt, in welchem Ausmaß der Durchsatz am Arbeitsplatz Installation gesteigert werden konnte.

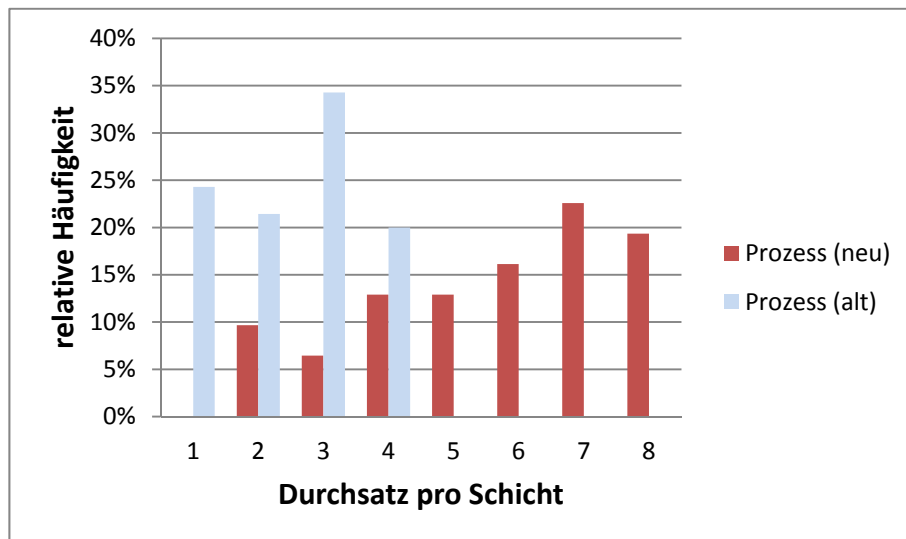


Abbildung 4: Steigerung des Durchsatzes am Arbeitsplatz Installation

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Werkzeug für die simulationsgestützte Planung von GIL-Baustellen beschrieben. Das Werkzeug umfasst neben einer vollständigen Datenbasis eines Bauprojektes einen Simulationsbaustein zur Modellierung der Prozesse auf der Baustelle und eine Auswertungskomponente. Mit Hilfe der Simulation können bei der Planung verschiedene Gestaltungsvarianten einer Baustelle bewertet und verglichen werden.

Nachdem der Automatisierungsgrad mit Umsetzung neuer Fertigungsprozesse zunimmt, werden in einem weiteren Schritt die Komponenten zur stochastischen Simulation und zur statistischen Auswertung erweitert, wie sie von Helmer (2014) für die Anwendung auf die GIL-Baustellensimulation bereits untersucht wurden.

Die GIL-Baustellensimulation wird während der Angebotserstellung und Auftragsabwicklung zur Planung und Kalkulation von allen zukünftigen GIL-Baustellen eingesetzt. Auf Basis der bei der Anwendung gesammelten Erfahrungen wird die GIL-Baustellensimulation weiter an die Bedürfnisse des Projektmanagements angepasst. So wird beispielsweise eine Komponente entworfen, welche die wichtigsten Ergebnisse automatisch nach dem Simulationslauf in einer aussagekräftigen Form bereitstellt.

Literatur

- Ailland, K.; Bargstädt, H.J.: Tagesgenaues Termincontrolling auf Baustellen mit Hilfe der Simulation. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, 171-178.
- Helmer, M.: Erstellung, Verifikation und Validierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für eine Materialflusssimulation. Masterarbeit Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Elektrotechnik, Feinwerktechnik und Informationstechnik, 2014.
- Kugler, M.; Franz, V.: Einsatz von Simulation zur Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen im Bauwesen. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, 151-160.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.
- Steinhauer, D.; König, M.: Konzepte zum effektiven Aufbau von Simulationsmodellen für die Unikatproduktion. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2010, S. 157-164.
- Voigtmann, J.K.; Bargstädt, H.J.: Simulation von Baulogistikprozessen im Ausbau. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, 131-140.
- Weigert, G.; Rose, O.; Gocev, P.; Mayer, G.: Kennzahlen zur Bewertung logistischer Systeme. In: Zülch, G.; Stock, P. (Hrsg.): *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2010, S. 599-606.