Bauhaus-Universität Weimar

Fakultät für Bauingenieurwesen
Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Bachelorarbeit

Entscheidungsfindung im Herstellungsprozess von Brückenkappen

Eingereicht von:	Annelie Böwe
Geburtstag/-ort:	10.08.1987 in Magdeburg
Reg.-Nr.	MBB/2011/43
Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.
Zweitprüfer:	Dipl.-Inf. René Smolarski
Ausgabedatum:	6.02.2012
Abgabedatum:	2.04.2012

Prof. Dr.-Ing. Timon Rabczuk
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **5**

1.1 Motivation . . . 5

1.2 Ziel der Arbeit . . . 6

1.3 Aufbau der Arbeit . . . 6

2 Grundlagen **8**

2.1 Verwendete Notation - Unified Modeling Language . . . 8

2.2 Herstellungsprozess Brückenkappen . . . 11

2.2.1 Charakteristika der Brückenkappen . . . 12

2.2.2 Abbildung und Beschreibung der Teilprozesse . . . 12

2.2.3 Vorbereiten . . . 13

2.2.4 Hauptprozess . . . 15

2.3 Grundlagen der Simulation . . . 15

2.4 Grundlagen der Entscheidungsfindung . . . 17

3 Analyse der Teilprozesse **20**

3.1 Einschränkungen und Annahmen . . . 20

3.2 Bausteinbibliothek . . . 21

3.2.1 Ressourcen . . . 22

3.2.2 Parameter . . . 25

3.2.3 Prioritäten . . . 27

3.3 Zusammenhänge und Abhängigkeiten . . . 28

3.4 Template . . . 30

4 Entscheidungsfindung **45**

4.1 Fuzzy-Logik . . . 45

4.2 Fuzzy und die Bausteinbibliothek . . . 46

4.3 Entscheidungsstellen . . . 50

4.3.1 Entscheidungsbaum . . . 51

4.3.2 Regelwerk . . . 52

4.3.3 Beispiel . . . 55

5 Fazit **56**

5.1 Zusammenfassung . . . 56

5.2 Kritische Betrachtung . . . 57

5.3 Ausblick . . . 58

Literaturverzeichnis **59**

Abbildungsverzeichnis **61**

Tabellenverzeichnis **62**

Anlagenverzeichnis **63**

Selbstständigkeitserklärung **64**

Thesen **65**

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Bauprozesse sind bestimmt durch komplexe Abläufe, welche sich wiederum von Projekt zu Projekt unterscheiden. Die Abläufe werden beeinflusst durch eine Vielzahl von Parametern, die den hohen Grad an Komplexität hervorrufen.
Die Bauprojekte und deren Abläufe werden vorrangig durch den Bauherren vorgegeben, von seinen Vorstellungen zu Gestalt, Nutzung und Betrieb des Objekts. Hinzu kommen bautechnische Randbedingungen wie Beschaffenheit des Untergrunds und der Zustand des Grundstücks oder Gebäudes. Zweifelsohne nehmen zudem Witterungsbedingungen und Umwelteinflüsse, welche nur sehr geringfügig eingeschätzt oder sogar vorhergesagt werden können, enormen Einfluss. Jede dieser Randbedingungen kann zu einer Störgröße werden, welche es frühzeitig zu erkennen gilt. Diese Erkenntnis ist wichtig für einen reibungslosen Bauablauf und somit auch für die Wirtschaftlichkeit des Projekts.
Die Forderung aller am Bau Beteiligten nach Wirtschaftlichkeit gewinnt immer mehr an Bedeutung. Auf Grund dessen ist ein effizientes Management im Bereich der Bauplanung und Bauausführung unumgänglich. Das bedeutet, dass schon im Vorfeld von entscheidendem Interesse ist genau bestimmen zu können, welche Problemstellungen auf die Projektbeteiligten zukommen können. Fragen nach Art und Umfang der eingesetzten Arbeiter und Maschinen sind genauso von elementarer Bedeutung wie die rechtzeitige Anlieferung und Bereitstellung von Materialien. Welche Parameter können also schon vor Baubeginn festgelegt werden und welche bleiben variabel? Lassen sich Entscheidungsstrategien aufstellen, die zur Optimierung des Bauablaufes beitragen können?
Einen Lösungsansatz hierfür bietet die Aufstellung von Modellen in Kombination mit Simulationsprogrammen. In vielen Branchen wird bereits mit IT-Technik gearbeitet. Auch im Bauwesen wird der Bedarf an Optimierung mittels Simulationswerkzeugen immer dringender. Als branchenspezifische Software besitzen solche Programme einen sehr hohen Nutzwert, da sie unter anderem die schnelle Umsetzung von Ideen, unkompliziertes Ändern des Ablaufes und eine verständnisfördernde Visualisierung zur Verfügung stellen. Nicht nur im Planungsprozess, sondern auch im laufenden Herstellungsprozess müssen kurzfristige Änderungen umgesetzt werden können. Hierzu ist es notwendig, die realen Bauabläufe möglichst wirklichkeitsnah abzubilden. Dafür ist eine ausgeprägte Datenbasis, die im Idealfall den aktuellen Stand der Baustelle widerspiegelt, entscheidend. Benötigt werden Bausoll- und Bauistdaten und vor allem deren Vergleich. Arbeiten hierzu und der Problemstellung der Aufnahme der Bauistdaten liegen an der Profes-

sur Baubetrieb und Bauverfahren vor. Im Rahmen dieser laufenden Forschungsarbeiten wurden ausführliche Arbeiten zu verschiedenen Bauprozessen, speziell zu Brückenkappen, angefertigt.

1.2 Ziel der Arbeit

Auf dem Weg zur digitalen Abbildung oder letztendlich der Simulation sind viele kleinere Schritte notwendig, unter anderem das Erfassen der Daten auf der Baustelle, die Aufbereitung des Wissens der Bauarbeiter und Ingenieure, die Analyse der für die Simulation relevanten Prozesse sowie Parameter und das Zusammenfügen dieser zahllosen Informationen in einem geeigneten Programm. Ein Schritt in diese Richtung ist das Ziel dieser Arbeit.
Aufbauend auf den vorhandenen Arbeiten der Professur Baubetrieb und Bauverfahren soll diese Bachelorarbeit Einblicke in die Entscheidungsfindung innerhalb eines Bauprozesses geben. Ergänzend dazu werden grundlegende Charakteristika der Teilprozesse zur Fertigung einer Bausteinbibliothek erstellt.
Als Basis dienten vor allem die ausführlichen Untersuchungen von Frau Ailland, Frau Weißberg und Herrn Kalz. Die Erarbeitung der praxisbezogenen Kenntnisse zum Herstellungsprozess von Brückenkappen, inklusive der Arbeitskräfte, der notwendigen Materialien und der realen Prozessdauer soll weitergeführt und spezifiziert werden.
Das Ziel ist somit die Bereitstellung der Grundlagen für den Aufbau einer prozessbezogenen und unabhängigen Bausteinbibliothek. In diesem Zuge sollen vor allem die einzelnen bereits identifizierten Teilprozesse näher charakterisiert und ergänzend die kennzeichnenden Parameter und Ressourcen zur Analyse ermittelt werden. Die Charakteristika der Teilprozesse beinhalten unter anderem die jeweiligen Abhängigkeiten der Prozesse untereinander und die zugehörige Priorität des Vorgangs. Diese Aspekte sollen in Verbindung mit der Ablauf- und Funktionsbeschreibung und in Zusammenhang mit der zugehörigen Bausteinbibliothek zu den Rahmenbedingungen der Entscheidungsfindung führen. Diese Methode der Entscheidungsfindung gilt es zu ermitteln und auf den Herstellungsprozess von Brückenkappen anzuwenden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung folgen im zweiten Kapitel die Grundlagen zum Herstellungsprozess, der Simulation und der Entscheidungsfindung, welche das Verständnis der Arbeit unterstützen sollen. Der Herstellungsprozess fasst die Arbeiten von Frau Ailland, Frau Weißberg und Herrn Kalz zusammen und ergänzt sie durch eigene Recherchen, welche die Ausgangsdaten für das eigenständig erstellte Aktivitätsdiagramm bilden. So wird der Prozessablauf in Zusammenhang mit dem Diagramm Prozessablauf, welches sich im Anhang befindet, erläutert.
Das dritte Kapitel analysiert die Teilprozesse. Dazu ist es notwendig, Einschränkungen zu den Möglichkeiten dieser Arbeit zu treffen und dass die in dem Aktivitätsdiagramm gefundenen Prozesse zu Bausteinen zusammengefasst werden. Diese Bausteine begünstigen die Simulation und unterstützen die Entscheidungsfindung. Sie werden mithilfe von Templates gebaut, sodass eine einheitliche Schablone entsteht, in die unter anderem Ressourcen, Parameter und Prioritäten

eingetragen werden können.
Das vierte Kapitel behandelt das Kernthema, die Entscheidungsfindung. Die Methode, die zur Anwendung kommt, ist die Fuzzylogik. Hierzu werden die Entscheidungsstellen analysiert und anhand einer dieser Positionen die zugehörige Fuzzyfizierung durchgeführt, bis hin zum Entwurf des Regelsystems, anhand dessen entschieden wird.
Den Abschluss bilden eine Zusammenfassung, eine kritische Betrachtung, welche Schwierigkeiten und Nutzen untersucht, und der Ausblick. Im Ausblick werden Möglichkeiten wie Erweiterungen und Weiterverarbeitungen erörtert.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Verwendete Notation - Unified Modeling Language

Die in dieser Arbeit verwendete Modellierungssprache ist die Unified Modeling Language (UML). Diese objektorientierte Modellierungssprache umfasst 13 UML - Diagrammtypen, wozu unter anderem das Klassendiagramm, Use-Case-Diagramm sowie Verhaltensdiagramme, wie das Zustandsdiagramm und das Aktivitätsdiagramm gehören. Die Gründe für die Wahl eines durch die UML realisierten Diagramms sind, laut Kecher[1], folgende :

- „Eindeutigkeit
  Die Notationselemente besitzen eine präzise Semantik und sind von vielen Experten definiert und geprüft.“

- „Verständlichkeit
  Die einfach gehaltenen Notationselemente visualisieren grafisch die Aspekte der modellierten Systeme und erleichtern damit das Verständnis. Unterschiedliche Diagramme ermöglichen differenzierte Sichtweisen auf das zu modellierende System und betonen oder vernachlässigen bewusst seine Teilaspekte.[...]“

- „Ausdrucksstärke
  Die Ausschöpfung aller Möglichkeiten der verfügbaren Notationselemente erlaubt die nahezu vollständige Definition aller wichtigen Details eines Softwaresystems.“

- „Standardisierung und Akzeptanz
  Weltweit ist die UML in der Softwarebranche im Einsatz[2].“

- „Plattform- und Sprachunabhängigkeit
  Mit der UML können Sie Softwaresysteme für jede denkbare Plattform und Programmiersprache modellieren. Sie hat ihre Stärken in der objektorientierten Welt, kann aber ohne Weiteres auch für prozedurale Sprachen eingesetzt werden.“

- „Unabhängigkeit von Vorgehensmodellen
  Die UML definiert mit ihren Diagrammen und Notationselementen ‘Werkzeuge’, um die

[1] Vgl.:Kecher, UML2 (Kec11), S.16, 2009

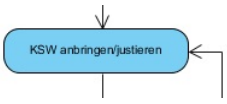
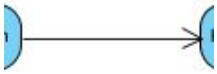
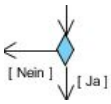
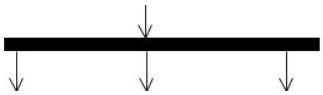
[2] Der Object Management Group, die für die Spezifikation der UML verantwortlich ist, gehören mittlerweile mehr als 800 Unternehmen.

Spezifizierung, Visualisierung und Dokumentation von Softwaresystemen zu erleichtern. Sie überlässt den Softwareentwicklern die Entscheidung, wie sie diese Werkzeuge am effizientesten nutzen.“

Hinzu kommt die Tatsache, dass die Kommunikation zwischen dem Auftraggeber, den Planern, den ausführenden Firmen und auch den anderen am Bau Beteiligten vereinfacht wird, da präzise über definierte Problemstellen diskutiert und somit notwendige Schnittstellen erörtert werden können. Daraus resultiert auch eine effizientere Verteilung der Aufgaben und eine schnellere Lösung der Probleme, die beim Bau ständig und unvermittelt auftreten können. Auch gewährleisten die Notationselemente, also die einzelnen Bestandteile der Diagramme, nicht nur die Abbildung statischer, sondern auch dynamischer Prozesse. Dies bietet sich an, da Bauprozesse grundsätzlich als dynamisch zu betrachten sind.
Natürlich sind diese von Kecher[3] aufgestellten Vorteile sehr auf die Softwareentwicklung angepasst. Ein paar dieser Aspekte kommen erst in späteren Phasen des Projektes zum Tragen. Allerdings ist es genau aus diesen Gründen wichtig, die Grundlagen bereits mit Hilfe der UML zu legen.
Eine andere weit verbreitete Art der Notation zur Prozessmodellierung ist die Ereignisgesteuerte Prozesskette. Der wesentliche Unterschied besteht in der Objektorientierung der UML und der Orientierung an Ereignissen der EPK. Auch sie kann genutzt werden, um Abläufe von Prozessen abzubilden und gewisse Abhängigkeiten darzustellen. Wenn allerdings die Komplexität der Darstellung betrachtet wird, wird deutlich, dass zum Beispiel das Aktivitätsdiagramm, welches oft in Vergleich zur EPK gesetzt wird, weniger Notationselemente benötigt und somit strukturierter auftritt. Daraus resultiert die leichtere Verständlichkeit für beide Seiten, also den Ersteller (den Planer) und den Verwender (den Bauherrn). Bei der Umsetzung der Teilprozesse, welche im Bauprozess sehr umfangreich und verschiedenartig sein können, stößt die EPK schnell an Grenzen, woraufhin nicht alle notwendigen Gegebenheiten realitätsnah abgebildet werden können. Genauso muss für das Aktivitätsdiagramm festgehalten werden, dass durch die fehlende Zuordnung von Daten zu Aktivitäten eine Erweiterung durch die in der UML zur Verfügung stehenden ergänzenden Diagramme[4] unumgänglich ist.
Allerdings bestehen zwischen EPK und Aktivitätsdiagramm, welches in dieser Arbeit Verwendung finden soll, Gemeinsamkeiten in der Abbildung. Hierbei entsprechen Aktivitäten Funktionen im EPK und die Ereignisse werden durch die Transitionspfeile dargestellt[5].
Aktivitätsdiagramme modellieren das Verhalten von Systemen bzw Prozessen. Diese Art der Diagramme können in der Analyse- und Definitionsphase genutzt werden, indem Anwender und /oder Auftraggeber sie aus ihrer Sicht erstellen. Dabei wird allerdings über die Diagramme der Anwendungsfälle hinaus gegangen und interne Abläufe des Bauprozesses werden genauer bestimmt. Zum besseren Verständnis des entwickelten Diagramms werden in der Tabelle 2.1 die verwendeten Notationselemente des Aktivitätsdiagramms erläutert. Die abgebildeten Notationselemente stellen nur einen geringen Ausschnitt der unzähligen Möglichkeiten eines Aktivitätsdiagramms dar und beziehen sich lediglich auf die im folgenden Ablauf verwendeten Notationen.

[3] Vgl.:Kecher, UML2 (Kec11) S.13 ff, 2009
[4] Vgl.:Dandl, Objektorientierte Prozeßmodellierung mit der UML und EPK (Dan01) S.3, 2001
[5] Vgl.:Dandl, Objektorientierte Prozeßmodellierung mit der UML und EPK (Dan01) S.13, 2001

Tabelle 2.1: Notationselemente des Aktivitätsdiagramms

Notationselement	Beispielabbildung
Aktion Sie stellt die grundlegende Einheit des Prozesses dar und ist als Aktivitätsknoten den ausführbaren Knoten zugeordnet. Die folgenden Notationen dienen zumeist dazu, die Aktionen in Abhängigkeiten zu bringen und zu strukturieren.	
Kontrollfluss Er stellt eine gerichtete Verbindung zwischen den Aktionen dar. Auch betitelt als Aktivitätskante, legt er den Ablauf des Diagramms dar.	
Start- und Endknoten Sie stellen die Start- bzw. Endpunkte des Kontrollflusses dar und modellieren somit den Start bzw. das Ende des Ablaufes der Aktivität.	
Entscheidungsknoten Er stellt eine Verzweigung des Kontrollflusses dar, an der genau einer der möglichen Kontrollflüsse ausgewählt wird. Es existiert ein eingehender und beliebig viele ausgehende Kontrollflüsse.	
Gabelung Sie teilt einen Kontrollfluss in mehrere parallele Kontrollflüsse auf. Die dabei entstehenden nebenläufigen Abläufe werden separat bearbeitet und sind unabhängig voneinander.	
Vereinigung Sie fasst mehrere Kontrollflüsse zu einem einzigen Kontrollfluss zusammen. Als Gegenstück zur Gabelung wird der anschließende Kontrollfluss erst freigegeben, wenn alle in sie eingehenden Kontrollflüsse an ihr angelangt sind.	

2.2 Herstellungsprozess Brückenkappen

Die Konstruktion der Brückenkappen erfordert einen hohen Grad an Erfahrung und Know-how aller am Bau Beteiligten, unter anderem, da sich die Umgebungsbedingungen jeder Baustelle unterscheiden und nicht immer nach dem ursprünglich festgelegten Plan vorgegangen werden kann. Daraus folgt, dass schnell effiziente Lösungen zur Verfügung stehen müssen, gerade durch die im Mittelpunkt der Herstellung stehenden Schalungsarbeiten, welche nur durch Sonderschalungssysteme, wie Kappenschalwagen, zu realisieren sind.
Mögliche Risiken entstehen unter anderem durch ein hohes Verkehrsaufkommen der zu überbauenden Straße oder auch Stromleitungen in Bezug auf Gleisquerungen, wodurch die Ausbildung einer Berührungsschutzwand erforderlich wäre. Brückenkappen stellen einen sehr bedeutenden Teil der Brückenkonstruktion dar und bringen dadurch außerordentliche Anforderungen mit sich und müssen somit folgenden Kriterien genügen[6]:

- Verkehrssicherheit,
- Robustheit,
- geringe Ausführungsrisiken,
- Funktionstüchtigkeit,
- Dauerhaftigkeit,
- Wirtschaftlichkeit,
- leichte Bauwerksüberprüfbarkeit,
- Erhaltungsfreundlichkeit.

Es wird sich zeigen, dass der Ablauf ähnlich einer Linienbaustelle zu verstehen ist, da die Prozesse zu einem großen Teil linear Takt für Takt verlaufen und nur wenige parallele Prozesse mit einzubeziehen sind. Diese Tatsache vereinfacht die Ablaufplanung. Eine detaillierte Untersuchung der Abhängigkeiten und Prioritäten ist allerdings weiterhin von entscheidender Bedeutung, um eventuelle Störstellen definieren zu können. Des Weiteren dienen die Untersuchungen dazu, mögliche alternative Abläufe herauszufiltern und ein System aufzustellen, welches in Kombination mit einer parametrisierten Datenbasis ein Simulationsmodell ermöglicht.
Die Problematik besteht darin zu erkennen, welche Prozesse parallel ablaufen sollten oder könnten. Der Herstellungsprozess einer Brückenkappe ist zu einem hohen Grad vorhersehbar und vorbestimmt, so dass die Prozesse nach einem bestimmten Schema ablaufen. Der Grund dafür ist meist die Abhängigkeiten der einzelnen Teilschritte voneinander. Tatsache ist, dass erst betoniert werden kann, wenn die Schalung und die Bewehrung abgenommen wurden. Allerdings besteht eventuell Potenzial bei Teilprozessen, die keine direkte Abhängigkeit zu anderen Prozessen aufweisen bzw. nur bedingt auf einen anderen Prozessabschnitt angewiesen sind. In welchen Abschnitt kann also eingegriffen werden, welche Teilprozesse sind in ihrer Gesamtheit variabel und welche Teilschritte sind genormt oder durch andere Randbedingungen vordefiniert

[6] Vgl.: Lyhs, Der Stein des Anstoßes - Brückenkappen an der A 20 (Lyh08), S.1, 2008

und können somit als konstant in den Ablauf aufgenommen werden? Des Weiteren stehen die einzelnen Prozesse in Beziehung mit entsprechenden Materialien, Maschinen und Arbeitskräften, welche zur Verfügung stehen müssen. In diesem Abschnitt wird allerdings der Prozessablauf an sich dargestellt, ohne diese Parameter und Ressourcen mit abzubilden. Auf diesen Aspekt wird in Kapitel 3.2.2 eingegangen, da sie erst für den Aufbau der Bausteinbibliothek relevant werden.

2.2.1 Charakteristika der Brückenkappen

Bei Brückenkappen handelt es sich um konstruktive Stahlbetonelemente, die sich an der Außenseite des Überbaus entlangziehen und kraftschlüssig über die Anschlussbewehrung verankert werden. Die wichtigste Aufgabe besteht in der passiven Sicherung und dem Schutz der Verkehrsteilnehmer und auf Grund des immer höheren Verkehrsaufkommens auch der Anwohner in unmittelbarer Umgebung. Somit dienen die Kappen dazu, Leitplanken und Lärmschutzwände aufzunehmen. Ein weiterer Bestandteil der Sicherheit für Personen, die eine Brücke queren wollen, ist das Geländer. Die Trennung zwischen Fuß-, Rad-, Inspektions- oder Fluchtwegen und der Fahrbahn ist aber nicht nur durch ein Geländer gegeben. Auch die Lärmschutzwand kann die Funktion der Trennung übernehmen.
Die Schrammborde sind ein weiterer unverzichtbarer Bestandteil, denn sie stellen die Umleitung fehl gesteuerter Fahrzeuge sicher. Im innerstädtischen Bereich, also mit Geschwindigkeiten unter 50km/h, werden die Schrammborde mit 15cm - 20cm ausgeführt. Außerhalb der Stadt sollten 20cm - 30cm angesetzt werden.
Brückenkappen sind als Außenbauteile Umwelteinflüssen ausgesetzt, welche zu unterschiedlichen Anforderungen an die Betoneigenschaften führen. Es kann zu hohen Durchfeuchtungen durch Regen und Schmelzwasser, stark schwankenden Temperaturzyklen sowie Frosteinwirkungen und Frosttausalzeinwirkungen kommen. Durch diese Feuchteaspekte ist eine weitere wichtige Aufgabe der Kappen, den Überbau zu schützen, damit die Bewehrung nicht korrodiert. Dem Eindringen von Frost- und Tausalzeinwirkungen wird entgegengewirkt, indem die Betonoberfläche hydrophobiert wird.
Trotz all dieser Schutzmaßnahmen erreicht kaum eine Brückenkappe die geforderte Lebensdauer von 20 - 25 Jahren. Es werden aufwendige und kostenintensive Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen notwendig.

2.2.2 Abbildung und Beschreibung der Teilprozesse

Dieses Kapitel beinhaltet die Beschreibung der einzelnen Teilprozesse, die notwendig sind, um eine Brückenkappe herzustellen, bis hin zum nachfolgenden Takt. Dieser Takt besteht aus dem nächsten zu betonierenden Brückenabschnitt, der mit einer Kappe versehen werden soll. Als Ergänzung und zur Veranschaulichung der Teilprozesse wurde die Abbildung durch ein Ablaufdiagramm gewählt, welches als Anlage „Prozessablauf“ hinzugefügt ist. Die Teilprozesse bestehen aus Vorbereiten, Hauptprozess und Nachbereiten und werden durch Aktivitäten dargestellt, welche mit den dazugehörigen Kontrollflüssen verbunden werden.
Auf der Grundlage der Arbeiten von Frau Ailland, Frau Weißberg und Herrn Kalz wurden eigene Recherchen angestellt, um den Herstellungsprozess und dessen Charakteristika kennenzulernen.

Resultierend aus diesen Recherchen wurde ein eigenes Ablaufdiagramm erstellt, welches weniger umfangreich ist als das von Frau Ailland. Die Ursachen dafür liegen zum einen in der besseren Übersichtlichkeit und zum anderen in der Annahme, dass die Leser die entsprechenden Vorkenntnisse besitzen und diese Arbeit nicht noch einmal wiederholen soll, was die genannten Arbeiten bereits ausführlich beinhalten und diskutiert haben.
Der Grad der Detaillierung wurde außerdem gewählt, damit sich dem Leser der Herstellungsprozess von Brückenkappen möglichst im Ganzen erschließt. Allerdings wurde auch darauf geachtet, dass nur die Prozesse aufgeführt sind, welche für diese Arbeit und gegebenenfalls die Simulation von Bedeutung sind. Daraus lässt sich schließen, dass hinter den einzelnen Aktivitäten jeweils noch andere Vorgänge stecken können, welche aber für das Verständnis nicht notwendig sind. Die diese Vorgänge bestimmenden Parameter und Ressourcen werden dann in dem Kapitel 3.2 genauer erläutert und in Zusammenhänge gebracht, soweit sie für die zu erstellende Bausteinbibliothek notwendig sind.
Auch wenn für die Simulation nur Aktivitäten von Bedeutung sin, die beeinflusst werden können und möglichst in wenigstens einer Hinsicht variabel sind, werden hier nicht nur diese Aktivitäten aufgeführt, sondern ein den Gesamtprozess umfassendes Ablaufdiagramm vorgestellt. Ein Grund dafür ist, dass die Aktivitäten somit nicht aus ihrem Zusammenhang gerissen werden und ein schnelleres Verständnis auch für Erläuterungen in folgenden Kapiteln gewährleistet werden kann. Besonders gut zu erkennen sind somit auch die Entscheidungsstellen, die kritischen Stellen, an denen eventuell, regulierend und mit Hilfe der Modellierung eingegriffen werden kann. Die Überlegungen und Ansätze hierfür finden sich in Kapitel 4.
Die Ebenen, in denen eine Abbildung hilfreich sein kann und auch kommunikationsfördernd wirkt, reichen von der Entscheidungsebene über die Steuerungsebene bis hin zur Planungs- und schließlich Ausführungsebene. Für unsere Zwecke beziehen wir uns in der Abbildung direkt auf die Ausführungsebene und stellen somit die einzelnen Arbeitsschritte dar, die zur Erstellung der Brückenkappe als Teilabschnitt und auch als Gesamtprozess in Bezug auf die komplette Brücke notwendig sind.
Die Abbildung erfolgt mit Hilfe des Aktivitätsdiagramms „Prozessablauf“, welches sich im Anhang befindet. Hierzu dient die Darstellung der Teilprozesse als Aktivitäten, die durch die UML genauer beschrieben werden. Dadurch ist es möglich, Abhängigkeiten der Teilprozesse leicht verständlich und übersichtlich darzustellen, wenn man die Grundzüge der verwendeten Notation kennt.

2.2.3 Vorbereiten

Dieses Kapitel beschreibt den Ablauf der Vorarbeiten, die notwendig sind, um die Kappen bauen zu können. Als Startkriterium besteht die Anforderung, dass die Restfeuchte des Überbaus nur noch 5% aufweist.
Der erste Schritt besteht darin, dass die Kappen abgesteckt werden. Hierzu ist es notwendig, dass die Rohbauisthöhen gemessen werden und im Vergleich zu den Rohbausollhöhen eine Höhenlinie ergeben, die es ermöglicht, den Gradientenausgleich durchzuführen. Besteht eine gleichmäßige Oberfläche, wird diese durch Kugelstrahlen aufgeraut und anschließend gereinigt. Das Reinigen kann mit derselben Maschine durch Ansaugen der abgesplitterten Beton- und Staubteile

erfolgen. Das Kugelstrahlen dient dazu, den Überbau für die Grundierung vorzubereiten. Bevor diese aufgetragen werden kann, muss eine Abreißfestigkeits- und Rautiefeprüfung durchgeführt werden. Dies geschieht nach ZTV-ING Teil 1 Abschnitt 3 [7]. Dargestellt sind diese Stellen durch das Notationselement des Entscheidungsknotens. Zur Entscheidung steht, ob der Überbau noch einmal kugelgestrahlt werden muss und ob eine erneute Kratzspachtelung notwendig ist, um die vorgegebenen Prüfwerte zu erreichen. Sind beide Prüfungen erfolgreich abgeschlossen, kann die Grundierung aufgetragen werden. Meist geschieht das Auftragen der aus Epoxidharz bestehenden Grundierung durch ein Spezialunternehmen, welches dann auch den Quarzsand aufstreut, um somit den Haftgrund für die Versiegelung herzustellen. Nachdem auch die Versiegelung nach dem gleichen Verfahren wie die Grundierung hergestellt wurde, allerdings in einem Zweischichtsystem, muss die Trocknungszeit eingehalten werden. Die Trocknungszeit kann abhängig von der Außentemperatur zwischen 24h und 72h betragen. Eine erneute Prüfung der Abreißfestigkeit (wieder abgebildet durch einen Entscheidungsknoten) wird vorgeschrieben nach den gleichen Bestimmungen für kugelgestrahlte Oberflächen wie zuvor.
Werden die erforderlichen Werte nicht erreicht, muss die Oberfläche erneut kugelgestrahlt und versiegelt werden. Sind alle erforderlichen Werte eingehalten, kann die Dichtungsschicht aufgetragen werden. Hierzu wird eine Bitumenschweißbahn mittels eines Rollbrenners verlegt und gleichzeitig verklebt. Um zu überprüfen, ob die Schweißbahn auch vollflächig verklebt wurde, wird eine Rasselprobe, welche durch den vierten Entscheidungsknoten dargestellt wird, nach ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 Anhang B3 [8] durchgeführt. Im Falle von Hohlstellen muss die Dichtungsschicht erneut verklebt werden. Sind alle Hohlstellen beseitigt, kann die Schutzlage aufgebracht werden, welche verhindern soll, dass die Abdichtung durch die Bewehrung beschädigt wird.
Zu den Vorarbeiten gehört des Weiteren die Vormontage der Kappenschalwagens. Die Vormontage aus den Einzelelementen wird durch die entsprechende Schalungsfirma vorgenommen. Eventuell kann diese Arbeit schon parallel zu den anderen Vorarbeiten ausgeführt werden, da externe Betonbaufacharbeiter zur Verfügung gestellt werden. Je nach Kappenschalwagen sind unterschiedliche Vorarbeiten zu leisten, welche unter anderem davon abhängen, ob der Kappenschalwagen auf dem Überbau fährt oder darunter aufgehängt wird.
Der nächste Handlungsprozess ist das Anbringen und Justieren des Kappenschalwagens. Auch hier richten sich weitere Arbeitsschritte danach, welche Art des Schalwagens gewählt wurde. In dem Ablaufdiagramm wird die Abnahme der Wagen wieder durch einen Entscheidungsknoten dargestellt. Es wird entschieden, ob noch zu beseitigende Mängel bestehen oder die Arbeiten weiterlaufen können. In dieser Zeit können parallel die Bewehrungskörbe vorgeflochten werden, welche dann gemeinsam mit der Abnahme der Wagen in einer Vereinigung enden. Das Flechten der Bewehrungskörbe kann bis dahin zu jedem beliebigen Zeitpunkt geschehen. Wovon der gewählte Zeitpunkt abhängig ist, somit eine Entscheidung getroffen werden muss, wird in Kapitel 4 näher erläutert.
Wenn diese Vorarbeiten abgeschlossen sind, kann der Prozess der Hauptarbeiten starten. Allerdings geschieht dies erst, wenn alle Vorarbeiten an der im Ablaufdiagramm abgebildeten Vereinigung eingetroffen sind.

[7] Vgl.:ZTV-ING, Teil 1 (Bun07) S.18ff, 2007
[8] Vgl.:ZTV - ING Teil7 Abschnitt 3 (Bun03) 2003

2.2.4 Hauptprozess

Der Hauptprozess beginnt mit der im Aktivitätsdiagramm abgebildeten Aktivität „Takt beginnt“. Diese Takte können dann beliebig oft wiederholt werden, je nachdem wie lang der Überbau ist, wie viele Schalwagen vorhanden sind und wie oft diese umgesetzt werden müssen. Es ist sozusagen eine Schleife, die erst verlassen wird, wenn der komplette Überbau mit Kappen versehen ist.
Wichtig ist die Tatsache, dass an der Stelle der Vereinigung, welche in diesem Fall ebenso eine Gabelung darstellt, die Bewehrungskörbe fertig geflochten sein müssen, da hier der Einbau erfolgt. Es können an dieser Stelle sogar drei Kontrollflüsse gestartet werden, welche zu den Aktionen Einbau der Bewehrung, Einbauteile montieren und Schrammbord- und Schutzplankenanker vormontieren gelangen. Der Einbau der Bewehrung ruft wieder eine Abnahme dieser hervor, welche erneut durch einen Entscheidungsknoten abgebildet wird und somit zu einer Korrektur der Bewehrung oder zum Fortlauf des eigentlichen Ablaufes führt. Wieder folgt eine Vereinigung, die gleichzeitig eine Gabelung darstellt. Die vormontierten Teile können nun eingebaut werden, während die Seiten des Kappenschalwagens zugeschalt werden. Je nach Schalungssystem kann diese Arbeit auch schon innerhalb der Aktion Kappenschalwagen vormontieren während der Vorarbeiten realisiert werden.
Sind diese Arbeiten an der Vereinigung eingetroffen und somit abgeschlossen, kann betoniert werden. Dieser Prozess wird allerdings bedingt durch die Anlieferung und Prüfung des Betons. Nach dem Einbau des Betons ist dessen Nachbehandlung notwendig, um die Gefährdung durch Risse wegen Frühschwinden zu verringern und die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Der letzte Schritt ist das Ausschalen. Danach folgt in dem Aktivitätsdiagramm der in diesem Durchlauf letzte Entscheidungsknoten. An dieser Stelle entscheidet sich, ob ein weiterer Takt folgen soll, oder ob der Überbau vollständig mit Kappen versehen wurde und somit die Hauptprüfung durchgeführt werden muss. Sollte ein weiterer Takt folgen, ist die Schalung, nachdem sie umgesetzt wurde, zu reinigen.

2.3 Grundlagen der Simulation

Die Simulation dient der Analyse von Systemen auf der Grundlage der Modellierung. In der Dissertation von Bickling[9] findet sich eine Zusammenfassung der Simulationsansätze und somit ein Überblick über den Stand der Forschung. Es erfolgt eine Untersuchung der unterschiedlichen Definitionsansätze des Systems und des Modells sowie der Simulationsmodelle. Auch Simulationszwecke werden zusammengestellt. Eine weitere Definition dieser Zwecke haben Kosturiak und Gregor[10] unter dem Begriff der Zielrichtungen der Simulationstechnik vorgenommen:

1. Erforschung komplexer Systeme,
2. Demonstration und Veranschaulichung komplexer Prozesse,
3. Entscheidungshilfe - beim Systemdesign und bei der Systemausführung.

[9] Vgl.:Bickling, Spezifikation des Bau-Solls durch interaktive Modellierung auf virtuellen Baustellen (Bic06) S.42ff, 2006
[10] Vgl.:Kosturiak und Gregor, Simulation von Produktionssystemen (KG95) S.59ff, 1995

Auch wenn Kosturiak und Gregor die Simulationstechnik hauptsächlich auf innerbetriebliche Vorgänge beziehen, steht man in der Baubranche vor ganz ähnlichen Problemen. So ist es von entscheidendem Vorteil Problemstellen zu lokalisieren bevor diese aktuell werden. Dies kann durch die Simulation realisiert werden, indem Zusammenhänge sichtbar gemacht werden. Des Weiteren ist es möglich, unterstützend in die Planung des Personals, des Ablaufes und des Materials einzugreifen, um somit Engpässe zu identifizieren.
Die Aufgabe besteht darin, reale Abläufe möglichst wirklichkeitsnah abbilden zu können, wobei bekannt ist, dass kein Modell einen Ablauf exakt abbilden kann. Der Grundgedanke setzt eine Erfassung des Systems mit all seinen Randbedingungen, Strukturen, Abhängigkeiten und vor allem deren Parametrisierung voraus. Dabei ist zu beachten, dass Bauprozesse grundsätzlich als dynamische Modelle zu betrachten sind. Die dynamische Simulationstechnik eignet sich am ehesten zur Modellierung des Bauprozesses,“[...]da sie Aussagen bei unterschiedlichen Bedingungen und bezüglich verschiedener Aspekte erlaubt, etwa Kosten, Durchlaufzeiten, Ressourcenverbrauch oder Maschinenauslastung.“[11]
Die Problematik, die sich anfänglich stellt, ist die des Detaillierungsgrades: „Ein gutes Simulationsmodell ist so ausführlich, wie es nötig ist und so vereinfacht, wie es möglich ist.“[12] Das zu erstellende Modell sollte möglichst geradlinig und simpel strukturiert sein, um zum einen die Simulation ermöglichen zu können und zum anderen den Umgang mit dem fertigen Produkt leicht verständlich an die Anwender weitergeben zu können. Gegen eine Vereinfachung des Ablaufes spricht, dass daraufhin von vornherein mehr Parameter eingegeben werden müssen, um die Baustellensituation abbilden zu können. Auf diese Art kann das Modell zwar auf mehrere Baustellen angewendet werden, allerdings kann die einfache Handhabung dann nicht mehr gewährleistet werden. Gerade dieser Aspekt ist aber sehr wichtig, da die Annahme in der Praxis eines der bestimmenden Ziele ist.
Bauprozesse werden somit als dynamische und ereignisgesteuerte Systeme betrachtet und analysiert. Gerade deswegen ist das Aufstellen von Randbedingungen, die Festlegung von Prioritäten, Verfügbarkeiten, Abhängigkeiten und Bausteinen und besonders deren Parametrisierung solch eine komplexe Aufgabe. Es gibt viele verschiedene Variationen und somit kann die Optimierung der einen Ressource, des einen Parameters oder des einen Ablaufs, die des anderen Bausteins negativ beeinflussen. Es entsteht die Notwendigkeit, diese Einflussgrößen auf das Gesamtsystem zu beziehen. Das Ablaufdiagramm aus Kapitel 2.2.2 wird dadurch zu einer existenziellen Grundlage, damit eingeschätzt werden kann, auf welche Art und Weise die Aktivitäten miteinander agieren. In Kapitel 3 soll dieses Diagramm noch einmal zusammengefasst werden, dies dient der Verdeutlichung der eigentlichen Bausteine und deren Zusammenhänge.
Als Ergebnis der Simulation und somit das Ziel der ganzen Modellierung und Parametrisierung steht meist eine Systemoptimierung in Zusammenhang mit der Kontrollmöglichkeit. Denn nur durch stetige Kontrollen können Problemstellen und daraus neue Ansätze und Verbesserungen gefunden werden.

[11] Vgl.:Böhnlein, Simulationsunterstützte Spezifikation und Analyse von Geschäftsmodellen und Geschäftsprozessen (ASI10) S.97, 2010
[12] Vgl.:Kosturiak und Gregor, Simulation von Produktionssystemen (KG95) S.66, 1995

2.4 Grundlagen der Entscheidungsfindung

Im vorangegangenen Kapitel hat sich unter anderem gezeigt, dass ein Prozess genauestens analysiert werden muss, um ein Modell erstellen zu können. Dieses Modell soll die entscheidende Grundlage für den weiteren Werdegang der Siumlation darstellen. Ähnlich ist es bei der Entscheidungsfindung, welche in dieser Arbeit innerhalb des Herstellungsprozesses von Brückenkappen näher betrachtet werden soll. Zur Durchführung einer Entscheidungsfindung sind umfangreiche Kenntnisse über den Ablauf, die Zusammenhänge, die bestimmenden Parameter und Ressourcen sowie die Alternativen notwendig.
Entscheidungen bedeuten die Wahl zwischen Alternativen. Immer wieder stehen wir vor Entscheidungen, deren Einfluss auf zukünftige Ereignisse wir kaum abschätzen können. Da diese Veränderungen negativ wie positiv sein können, aber vor allem zu einem großen Teil undefiniert sind, ist es wichtig, Strategien zu entwickeln. Als Grundlage dient die genaue Festlegung des Entscheidungsproblems, denn erst wenn diese Basis geschaffen wurde, kann nach den möglichen Alternativen und somit Lösungen gesucht werden. Das Entscheidungsproblem kann genau ermittelt werden, indem man den bevorstehenden Prozess, welcher die Entscheidung und somit auch das Problem beinhaltet, strukturiert. Die Strukturierung des Prozesses, der dieser Arbeit zu Grunde liegt, wurde bereits in Kapitel 2.2 ausführlich behandelt.
Allerdings kann nur dann entschieden werden, wenn gewisse Zielvorstellungen vorhanden sind, denn diese stellen im Endeffekt die Beurteilungskriterien zur Verfügung. Diese Zielvorstellungen sind unum-
gänglich subjektiv oder zumindest von einer gewissen Subjektivität beeinflusst. Abgesehen von den Vorstellungen des Bauherren zu Beginn der Planungsphase, welche unumstritten subjektiv sind, können auch die daraus resultierenden Pläne des Architekten subjektiv beeinflusst sein, durch sein Know-how und seine Erfahrungen. Die Betrachtungsweise dieser Arbeit greift allerdings sehr viel später ein. Der Ablauf ist konkret vorgeschrieben, da der Herstellungsprozess dies zwingend notwendig macht. Eine Kappe kann nicht hergestellt werden, wenn kein Überbau vorhanden ist und eine Schalung sowie das Betonieren sind auch stets durchzuführen. Die Zielvorstellungen entsprechen hier den notwendigen Vorgängen zur Herstellung der Brückenkappe. Welche Entscheidungen genau getroffen werden müssen und wie dies am effizientesten durchgeführt werden kann, wird in Kapitel 4 analysiert.
Von vornherein muss festgehalten werden, dass es meist keine absolut vorteilhafte Entscheidung gibt und die Entscheidungstheorie als solche auch keine genauen Wege vorschreibt, sondern als Hilfestellung dient. Dem Entscheider soll geholfen werden, „seine eigenen Zielvorstellungen in ein widerspruchsfreies 'Zielsystem' zu überführen und dann eine Entscheidung zu treffen, die mit diesem Zielsystem im Einklang steht.“[13]. Ansätze in diesem Sinne bietet die Entscheidungstheorie. Sie unterscheidet in deskriptive und auch präskriptive Entscheidungen, wobei diese Art der Deskription regelmäßig im Alltag bewältigt wird. Entscheidungen wie der Gebrauch der Intuition, der Rückgriff auf vorhandene Lösungsmöglichkeiten und die Anwendung von Expertenlösungen[14] haben eher den Rückgriff auf bekannte Strukturmerkmale zum Inhalt. Auch findet sie Anwendung, um Zustände zu beschreiben ohne eine Handlungsempfehlung abzugeben. Offen-

[13]Vgl.:Laux, Entscheidungstheorie (Lau07) S.3, 2007
[14]Vgl.:Grünig, Kühn, Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme (GK09) S.8, 2009

Entscheidungsart / Beschreibung	Intuitive Entscheidung	Szenario-Analyse	CAF	PMI	Matrix	Entscheidungsbaum	Fuzzy-Logik	AHP
Einzelentscheidung	Ja	Nein	Ja	Nein	möglich	möglich	Ja	Ja
Kollektiventscheidung	nicht möglich	ausschließlich	Ja	ausschließlich	empfehlenswert	empfehlenswert	Ja	Ja
benötigter Informationsgrad	gering	mittel	mittel bis hoch	gering bis mittel	hoch	hoch	mittel	hoch
Aufwand zur Erstellung der Problemlösung	keiner	gering bis mittel	gering	sehr gering	mittel bis hoch	mittel bis hoch	sehr hoch	sehr hoch
Anpassungsfähigkeit bei veränderten Variablen	schwierig	mittel	sehr hoch	sehr hoch	mittel	hoch	hoch	mittel bis hoch
Aussagekraft des Ergebnisses/ der Lösung	schwer nachvollziehbar	hoch	gering, da kein direktes Ergebnis	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
bestehendes Restrisiko	hoch	relativ hoch	hoch	hoch	gering	gering	hoch	mittel
Übersichtlichkeit	keine vorhanden	mittel	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch
Nachvollziehbarkeit	sehr gering	nicht immer gegeben	sehr gut	gut	gut	gut	sehr gut	sehr gut

Abbildung 2.1: Überblick Entscheidungsverfahren

sichtlich ist, dass in der Baubranche lediglich mit der präskriptiven Methode gearbeitet werden kann, da vor allem deswegen Entscheidungen mit Hilfe der Simulation getroffen werden sollen, für die keine Lösungsmöglichkeit vorhanden ist, bzw die Grundproblematik sich zu komplex darstellt. Mit der Untersuchung einiger präskriptiver Entscheidungsverfahren hat sich Engelhardt in „Entscheidungskriterien für die Wahl von Fassadensystemen“[15] auseinandergesetzt. Zusammengestellt sind seine Ergebnisse in der Tabelle 2.1.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass AHP und die Fuzzylogik, bezogen auf die untersuchten Kriterien, am vorteilhaftesten sind. In der Arbeit von Engelhardt wurde AHP gewählt, da die Gründe wie praktische Akzeptanz, gute Anwendbarkeit, die Möglichkeit der Kollektiventscheidung und die geringe Fehlerquote den hohen Aufwand überwiegen. Demnach eignet sich dieses Verfahren in dieser Umgebung am ehesten. „Letztendlich kann man sagen, dass dieses Verfahren keine absolute Lösung ausgibt, sondern lediglich die optimale den Umständen entsprechende Variante mit den geringsten Risiken.“[16] Allerdings spiegelt der Vorteil der scharfen Einteilung der Kriterien auch gleichzeitig einen Nachteil wider. Der Entscheider muss sich auf bestimmte Werte festlegen, wodurch das Verfahren subjektiv beeinflusst ist. Gerade in einem solch vielschichtigen Bereich wie der Baubranche, in der die Arbeitsweisen traditionell verbal

[15] Vgl.:Engelhardt, Entscheidungskriterien für die Wahl von Fassadensystemen (Eng11) 2011
[16] Vgl.:Engelhardt, Entscheidungskriterien für die Wahl von Fassadensystemen (Eng11) S.51, 2011

weitergegeben werden und Erfahrung die entscheidende Basis darstellt, werden viele Sachverhalte mit „ein wenig drehen“ oder „eine ganze Weile schweißen“ beschrieben. Gerade dieses Expertenwissen, wobei die Experten in diesem Falle nicht die Gelehrten, sondern die Arbeiter sind, ist von enormer Bedeutung. Es muss versucht werden, diese Sprache in eine Form zu bringen, um sie beurteilen und wichten zu können.
Hilfestellung hierfür bietet die Fuzzylogik. In der Tabelle 2.1 von Engelhardt wird auch dieses Verfahren als vorteilhaft bewertet und kommt in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz. Nähere Erläuterungen zur Fuzzy-Logik und weiteren Gründen für die Wahl dieses Entscheidungsverfahrens finden sich in Kapitel 4.

Kapitel 3

Analyse der Teilprozesse

In diesem Kapitel sollen die Teilprozesse des Herstellungsprozesses von Brückenkappen genauer untersucht werden. Die Schwerpunkte liegen dabei auf den für die Simulation wichtigen Informationen. Es wird also beschrieben, welche Annahmen in dieser Arbeit hinsichtlich der Umgebung und den Variablen des Prozesses getroffen werden, welchen Beschränkungen diese Arbeit unterliegt, ob nun auf Grund der zeitlichen Begrenzung oder auch der Möglichkeiten in Bezug auf die Komplexität.
Des Weiteren wird der Grundgedanke einer Bausteinbibliothek erläutert, indem wir einen Blick auf die in dieser Bibliothek zusammengestellten Informationen, wie Parameter und Ressourcen in Zusammenhang mit den einzelnen Prozessen werfen. Das Zusammenstellen aller Informationen erfolgt in der Erstellung von Templates zu jedem Baustein.
Von Interesse sind Teilprozesse, die als Ganzes verschoben werden können. Es gilt also zu analysieren, welche Vorgänge zu einem Baustein zusammengefasst werden können, ohne den Anwender zu sehr in seinen Entscheidungsmöglichkeiten einzuschränken und doch die Übersichtlichkeit zu wahren. Auch sind Verallgemeinerungen nötig, um zum einen einen solch komplexen Prozess in eine Bibliothek umwandeln zu können und zum anderen, um die Bibliothek auf viele Herstellungsprozesse von Brückenkappen anwenden zu können. Die Möglichkeit eventueller Erweiterungen und Spezifikationen wie weiterer Bausteine oder anderer Umfelder sollte weiterführend beachtet werden.

3.1 Einschränkungen und Annahmen

Auf Grund der erwähnten Komplexität des Ablaufes hinsichtlich der Zusammenhänge sowie der Parameter und Ressourcen ist es unumgänglich, Annahmen zu treffen, um den grundlegenden Aufbau der Bausteinbibliothek gewährleisten zu können.
Grundsätzlich gestaltet es sich als schwierig, den Ablauf und letztendlich auch die Simulation mit einem Zeitfaktor zu belegen. Es gibt die Möglichkeit, die einzelnen Prozessdauern anhand von üblichen Durchschnittswerten zu bestimmen und diese auch in die Bausteine mit aufzunehmen, allerdings bestehen Zeiten nicht nur aus dieser Prozessdauer. Eher sind sie als Komplex zu sehen, bestehend aus:

- Zeiten für Ablaufabschnitte,
- Einflussgrößen, von denen die Zeiten für Ablaufabschnitte abhängen,

- Bezugsmengen, auf die sich die Zeit bezieht,
- Arbeitsbedingungen, unter denen die Zeiten ermittelt wurden oder gelten sollten.

Daraus ergibt sich, dass für die Zeit im Grunde ein eigener Baustein notwendig wäre, wobei von vornherein geklärt werden müsste, wie man die Zeit einteilt[1].
Genauso komplexe Themen, welche eigene Bausteine erfordern, sind die Organisation und Verwaltung sowie der Materialfluss. Bausteine wie Materialbereitstellung und Mitarbeiterverwaltung für die Verwaltung und Pufferzeiten oder Montageplatz als Vertreter für den Materialfluss müssten angelegt werden. Informationen zu diesen Sachverhalten sind für die Simulation ebenso wichtig wie die Bausteine zum reinen Bauablauf, würden aber den Rahmen dieser Bachelorarbeit überschreiten.
Des Weiteren sind Umwelteinflüsse schwer zu beurteilen. Das Wetter kann nur grob geschätzt werden, so ist es zum Beispiel sehr wahrscheinlich, dass die Bauarbeiten im Sommer nicht wegen Minusgraden unterbrochen werden müssen und somit beim Betonieren lediglich darauf geachtet werden sollte, dies in den Morgenstunden zu tun, damit die Sonneneinstrahlung sich nicht negativ auf die Eigenschaften des Betons auswirkt. Allerdings müssen grundsätzliche Sachverhalte zur umgebenden Infrastruktur und der Baustelleinrichtung vorhanden sein, welche als Randbedingungen in das Simulationsmodell mit einfließen.
Zwar verursacht mangelhafte Planung, bzw die stockende Umsetzung von Korrekturen während des Bauablaufs einen Großteil der Kosten, trotzdem können nicht direkt monetäre Ziele umgesetzt werden. Erfolg hinsichtlich der Steigerung der Wirtschaftlichkeit kann lediglich über Reduzierung von Störungen, Einhaltung oder Optimierung der Zeitpläne verwirklicht werden.

3.2 Bausteinbibliothek

Der Aufbau einer Bausteinbibliothek wird angelegt, um sogenannte Grundbausteine zur Verfügung zu stellen und um dem Anwender den Einstieg in die Simulationsumgebung zu erleichtern. Dadurch ist gewährleistet, dass wiederkehrende Vorgänge erkannt und durch ein und denselben Baustein dargestellt werden, was auch die Einteilung in Klassen hervorrufen kann, um Bausteine mit gleichen Attributen zusammenfassen zu können. Daraus folgt, dass die Modellierung des Prozesses vereinfacht wird und auch ersichtlich ist, bis zu welchem Grad modelliert werden kann, bzw. welche Grenzen auferlegt sind, andererseits natürlich auch die Initiierung neuer Ideen und Möglichkeiten, welche durch das Aufstellen einer Bausteinbibliothek gefördert werden.
„Maschinen können im Allgemeinen gut abstrahiert werden, da man sie als black box betrachten kann. Das heißt ein Teil muss auf eine bestimmte Art und Weise in die Maschine kommen, wird dort unabhängig von der realen Fertigungstechnologie eine bestimmte Zeit festgehalten und muss anschließend wieder aus der Maschine entfernt werden.“[2]
Einen Baustein erstellen, welcher im Prinzip einen Prozess widerspiegelt, erfordert eine genaue Analyse aller bestimmenden Zustände, die auf diesen einwirken. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Zuordnung nach dem Kriterium mit dem größten Einfluss erfolgt. Dabei wird

[1] Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger ; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) S.192ff, 2008
[2] Vgl.:Jensen, Eine Methodik zur teilautomatisierten Generierung von Simulationsmodellen (Jen07) S.67, 2007

auf Informationen wie die bestimmenden Parameter eingegangen, welche sich durch die Prozessdauer, die benötigten oder vorhandenen Leistungen und die Verfügbarkeit darstellen. Eine weitere Art der Einteilung stellen die drei Klassen dar. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Unterscheidung zwischen Prozessen, die maschinenbetrieben, montageorientiert oder herstellungsabhängig sind. Ein Prozess ist der maschinenbetriebenen Klasse zuzuordnen, sobald die in diesem Prozess verwendete Maschine hauptsächlich bestimmend für die Qualität und das Ergebnis ist. Somit wird dieser Prozess in erster Linie durch die jeweilige Leistung der Maschine bestimmt. Hingegen stellen die montageorientierten Prozesse hohe Anforderungen an die logistischen Aspekte, zum Beispiel bei der Koordinierung und Erstellung der speziellen Schalung bzw. der Kappenschalwagen. Die dritte Klasse ist vorgesehen für Prozesse, die maßgeblich durch das Know-how der Arbeiter beeinflusst sind[3]. Aus dem vorhandenen Ablaufdiagramm wurden die ermittelten Teilprozesse nun zu Bausteinen zusammengefasst:

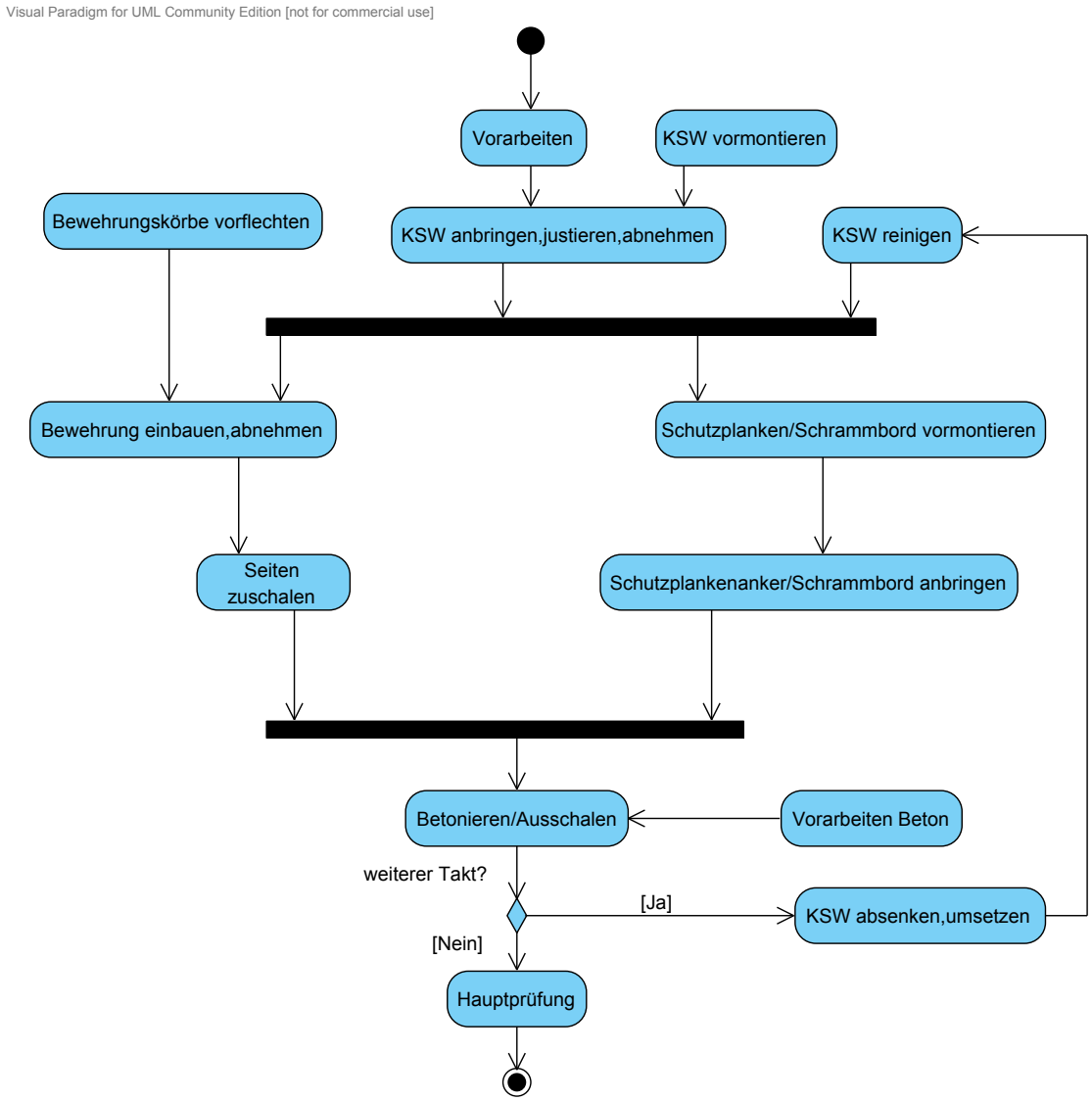
- Vorarbeiten,
- Bewehrungskörbe vorflechten,
- Kappenschalwagen anbringen ,
- Kappenschalwagen reinigen,
- Bewehren,
- Schrammbord und Schutzplankenanker vormontieren,
- Seiten zuschalen,
- Schrammbord und Schutzplankenanker anbringen,
- Vorarbeiten Betonieren,
- Betonieren und Ausschalen,
- Kappenschalwagen umsetzen,
- Hauptprüfung.

3.2.1 Ressourcen

Bei der Modellierung eines Prozesses sollte den Ressourcen eine fundamentale Bedeutung zukommen, da die Verfügbarkeit entscheidende Auswirkungen auf das Fortschreiten des Prozesses hat. An dieser Stelle ist von Interesse, wie viel der Ressource benötigt wird. Unabhängig davon und auf einer anderen Ebene zu planen ist die Bestellung und Anlieferung dieser. Somit ist auch hier für die Simulation ein Materialfluss sehr wichtig.
Die Simulation soll dabei behilflich sein, Randbedingungen zu schaffen, die es den Ressourcen

[3]Vgl.:Somolarski, Ailland, Bargstädt; A Model Kit for Process Simulation in Construction (SAB11) 2011

Abbildung 3.1: Aktivitätsdiagramm der Bausteine



ermöglichen, ohne Zwangspause zu arbeiten und nicht dabei die Leistung des Menschen zu steigern[4].
Unter Ressourcen werden hier Baustoffe, Maschinen und Arbeitskräfte verstanden. Eine gesonderte Stelle erhält die Schalung als Baugerät und wird geführt unter dem Gesichtspunkt eines statisch genutzten Bauproduktionsmittels.

Baustoffe

Die Baustoffe oder auch Bauprodukte können aufgeteilt werden in Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe. Allerdings wird die Aufteilung hier nicht so detailliert erfolgen, da dies erst unternehmensintern zur Buchung erfolgt. Nach dem Deutschen Institut für Bautechnik „[...] ist unter „Bauprodukt“ jedes Produkt zu verstehen, das hergestellt wird, um dauerhaft in Bauwerke des Hoch- oder Tiefbaus eingebaut zu werden.“[5]
In dieser Arbeit zählen dazu unter anderem Beton, Epoxidharz oder auch die Bewehrung.

Maschinen

Maschinen gelten als Bauproduktionsmittel und übertragen somit ihren Wert durch Amortisation in kleinen Portionen auf die erstellten Bauwerke[6]. Sie dienen dem Menschen dazu die Arbeit zu erleichtern, aber auch Leistungen zu vollbringen, die ein Mensch nicht fähig wäre zu bewältigen und das in physischer wie geistiger Beziehung. Nach der Neunten Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz[7] gelten als Maschinen:

1. Maschinen,
2. auswechselbare Ausrüstungen,
3. Sicherheitsbauteile,
4. Lastaufnahmemittel,
5. Ketten, Seile und Gurte,
6. abnehmbare Gelenkwellen.

In dieser Arbeit sind vor allem Krane und Teleskopstapler von großer Bedeutung, eine Eigenschaft, die jede Brückenbaustelle aufweist. Hinzu kommen Spezialgeräte, welche für die Beschichtung des Überbaus benötigt werden.

Arbeitskräfte

Die Arbeitskräfte sollen als Ressource über ihre Verfügbarkeit mit einbezogen werden. Allerdings ist die einzusetzende maximale Anzahl an Arbeitern begrenzt durch Faktoren wie den Arbeitsraum oder auch zur Verfügung stehende Arbeitsmittel. Zu ihrer Bestimmung können laut

[4] Vgl.:Bickling, Spezifikation des Bau-Solls durch interaktive Modellierung auf virtuellen Baustellen (Bic06) S.15, 2006
[5] Vgl.:EU-Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG (Der88) 2004
[6] Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) S.18, 2008
[7] Vgl.:Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Der11) 2011

Hofstadler[8] Aufwands- bzw. Leistungswerte, tägliche Arbeitszeit, Produktionsmenge, Bauzeit, Anzahl der Engpassgeräte, verfügbarer Arbeitsraum, Fertigungsablauf, Verfügbarkeit der Arbeitskräfte in qualitativer bzw. quantitativer Hinsicht, Bauverfahren und Kosten herangezogen werden. Die folgenden vertiefenden Berechnungen der Anzahl der Arbeitskräft, die Hofstadler durchführt, sind in dieser Arbeit nicht notwendig, da es sich zum einen um einen sehr eingegrenzten Bauabschnitt handelt, der noch dazu wenige Alternativen bereithält und zum anderen Werte vorhanden sind, welche aus den Basisarbeiten geschlossen werden können. Zu berücksichtigen ist, dass der Prozess mindestens genauso stark von der Leistung der Arbeiter oder der Maschinen abhängt, welche aber als Parameter eingehen.

3.2.2 Parameter

Parameter werden vielseitig eingesetzt und sind ebenso vielfältig definiert. In Bezug auf die Bausteine und die darauf aufbauende Simulation gelten Parameter als Einflussgrößen, die durch die Ressourcen verursacht werden oder auf diesen beruhen. In einem Materialfluss muss also nicht nur die Stückzahl berücksichtigt werden, sondern genauso die Art der Anlieferung, wodurch die Verfügbarkeit stark beeinflusst ist. Des Weiteren wird die Dauer dadurch bestimmt, wie lange die Ressource innerhalb des Prozesses aktiv ist, um nur einige Beispiele zu nennen.

Dauer

Die Prozessdauer wird über die Baustellenberichte in den Arbeiten von Frau Weißberg[9], Frau Rauch[10] und Herrn Kalz[11] geschätzt. Allerdings können diese Angaben von Baustelle zu Baustelle differieren, da die Zeit sehr stark von einer Vielzahl an Einflüssen gelenkt wird. Es kann festgehalten werden, dass sozusagen jeder andere Parameter die Dauer beeinflusst. Zum Beispiel kann der LKW im Stau stehen, der Arbeiter an dem einen Tag sehr gut und zügig vorankommen, aber am nächsten Tag weniger leistungsfähig sein. Maschinenunregelmäßigkeiten, aber auch Umwelteinflüsse wirken sich positiv wie auch negativ auf diesen Parameter aus. Die Zeit wird somit zu der bestimmenden Größe im Umfeld der Baubranche. Aus diesem Grund soll ein Versuch unternommen werden, die Dauer in eine Art Durchschnittswert zu bringen und als Richtgröße mit einzubeziehen. Demnach sind diese Schätzungen frei von Terminvorstellungen. Es sollte trotzdem darauf hingewiesen werden, dass die Bausteine in Bezug auf die Zeit nicht lediglich nach der Dauer, sondern auch nach dem Wesen des Prozesses beurteilt werden, damit beispielsweise das Betonieren nicht in die Mittagsstunden im Hochsommer fällt oder die Beschichtung des Überbaus bei gemäßigten Temperaturen stattfindet.
Um Werte schätzen zu können, werden Zeiten pro Takt angenommen, wobei Außenkappen und Innenkappen als einzelne Takte gesehen werden. Der Takt beginnt mit dem Einbau der Bewehrung und dem Vormontieren der Schutzplankenanker und Schrammborde.

Menschliche Arbeitsleistung

Der Mensch ist keine Maschine. Aus dieser Tatsache heraus ergeben sich, zumindest für die

[8] Vgl.:Hofstadler, Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb (Hof07) S.57, 2007
[9] Vgl.:Brückenbau (Wei09) 2009
[10] Vgl.:Simulation(Rau08) 2008
[11] Vgl.:Bauüberwachung im Brückenbau (Kal09) 2009

Parametrisierung der Leistung eines Menschen, eine Anzahl an Ungewissheiten. Die wichtigste Unterscheidung findet wohl zwischen der Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft statt und dies dann im Hinblick auf die psychische und physische Verfassung des Menschen[12]. Die Leistungsfähigkeit umfasst Gegebenheiten wie Begabung, Ausbildung, Alter, körperliche Verfassung und charakterliche Eigenschaften. Die Ausbildung spielt hierbei eine gesonderte Rolle, da gerade bei Kappenschalwagen Spezialisten gefordert sind. Die Leistungsbereitschaft hingegen kann von Arbeitgeber und Arbeitnehmer aktiv beeinflusst werden, indem sich mit Themen wie Arbeitsplatz, Arbeitsform, Arbeitszeit und Betriebsklima und speziell beim Arbeitnehmer mit seiner Fitness beschäftigt wird. Um diese unzähligen Einflüsse auf den Punkt zu bringen, interessieren in Bezug auf die Arbeitsleistung im Prinzip drei Aspekte[13]:

- die Leistungsvoraussetzung:
  die individuell verschiedenen Eigenschaften des Menschen für das Vollziehen von Arbeitsprozessen,

- der unter bestimmten Randbedingungen stattfindende Arbeitsprozess und dessen Folgen:
  das Arbeitsergebnis und die entsprechende Beanspruchung des Menschen,

- die Vollzugsfolgen von Arbeitsprozessen:
  die Veränderung der Leistungsvoraussetzungen des Menschen.

Zur Bestimmung der Produktivität geht Hofstadler[14] über die Ermittlung der Leistungswerte. „Leistungswerte (im Zusammenhang mit der Errichtung eines Bauwerks) geben an, welche Produktionsmenge (z.B.Bruttorauminhalt [m3], Betonmenge [m3]) in einer bestimmten ausgewählten Zeiteinheit (z.B. Monat, Woche, Schicht, Tag, Stunde) erzeugt (hergestellt) wird.“Daraus ergibt sich für ihn die Berechnung der Leistung über:

$$La, v, i = \frac{AKa,v,i \times AZa,v,d}{AWa,v,i}$$

Der Zähler ist das Produkt aus AKa, v, i der Anzahl der Arbeitskräfte [Std/h] und der Arbeitszeit AZa, v, d [h/ZEH]. Im Nenner steht der spezifische Aufwandswert AWa, v, i [Std/EH] für den Ablaufabschnitt.

Maschinenleistung

Wie schon erwähnt, können Maschinen nicht einzig über ihre Anzahl einbezogen werden. Gerade bei einem Prozess wie dem Herstellungsprozess von Brückenkappen, bei dem die Anwendung eines Krans unabdingbar ist und das Hauptelement bzw. die Maschine, welche die prägende Größe darstellt, der Kappenschalwagen ist, muss die Anzahl um die Leistung ergänzt werden. Des Weiteren steht der Kappenschalwagen in Zusammenhang mit der Spezialisierung der Arbeiter und einem hohen Lerneffekt bei der Montage. Dies zeigt sich in immer kürzeren Aufbauzeiten und weniger Komplikationen im Verlaufe der Herstellung.

[12]Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) S.251 ff, 2008
[13]Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) 2008
[14]Vgl.:Hofstadler, Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb (Hof07) S.18ff, 2007

„Leistungswerte Q geben an, wie viel Leistungseinheiten (LE) pro Zeiteinheit (ZE) durch eine bestimmte Maschine unter Betriebsbedingungen erbracht werden, zB.: $100m^3$ Bodenaushub pro Stunde.“[15]

$$Q = \frac{Mengeveränderter Arbeitsgegenstände}{Leistungs-oder Betriebszeit der Maschine} = \frac{LE}{ZE}$$

Nachfolgend ist die Herkunft von Leistungswerten nach Bargstädt und Steinmetzger aufgeführt:

- Angaben der Gerätehersteller[16],
- methodische Ermittlung (vor allem nach REFA),
- Berechnungen[17],
- Erfahrungswerte, z.B. Angaben von Koeffizienten in der Fachliteratur[18].

Anhand dieser Auflistung ist deutlich erkennbar, welche Problematiken bei der Erstellung einer Bausteinbibliothek entstehen. Nicht nur in Bezug auf die Maschinen, sondern auch auf die anderen Parameter und Ressourcen ist es schwierig, zum einen den Grad zwischen universeller Anwendbarkeit und Genauigkeit zu finden, andererseits aber auch Werte für die gefundene Genauigkeit festzustellen.

Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit stellt hohe Anforderungen an die Logistik und die Bauablaufplanung. Ein Hauptkriterium ist die Anwesenheit der benötigten Ressource zu ihrem Bestimmungszeitpunkt und nicht später, da sonst der Bauablauf in Verzug gerät. Gleichzeitig darf die Ressource nicht zu früh eintreffen. Die Gründe hierfür liegen in dem begrenzten Platz, der auf der Baustelle zur Verfügung steht. Der Platzbedarf der Ressource ist nur für einen limitierten Zeitraum zur Verfügung gestellt, sodass eine optimale Planung der Baustelleneinrichtung genauso zur Verzögerung oder aber Nutzungssteigerung führen kann. Für einen Großteil an Ressourcen ist keine Lagerung vorgesehen, da sie unverzüglich eingebaut bzw. verarbeitet werden müssen.
In dieser Arbeit wird festgehalten, ob der jeweilige Prozess eine hohe oder geringe Abhängigkeit von der Verfügbarkeit darstellt und es wird darauf verwiesen, wenn aufgrund der Spezialisierung mit Komplikationen zu rechnen ist, beispielsweise Einzelteile wie die Eckverbinder der Kappenschalwagen extra angefertigt werden müssen und die Wahrscheinlichkeit somit steigt, dass ein Verzug auftritt.

3.2.3 Prioritäten

„Nur selten sind die theoretischen Gliederungs- und Ablaufprinzipien ohne Einschränkungen durchsetzbar. Hier können Prämissen des Bauordnungsrechts (Erhalt des Bestandsschutzes) oder

[15] Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) S.202, 2008
[16] für Ideal- oder Standardbedingungen, oft zweckoptimistisch
[17] exakte Leistungsberechnungen sind schwierig, aufgrund der vielfältigen und nur unsicher beschreibbaren Einflüsse ungenau und besitzen deshalb nur theoretische Bedeutung
[18] sie sind subjektiv, ungenau, für Vergleichszwecke geeignet, werden - einmal veröffentlicht - von der Fachwelt immer wieder zitiert

Interessen des Bauherrn (spezielle Termingestaltung bei der Übergabe von Bauabschnitten) Einflüsse auf den Bauablauf ausüben. Diesem Sachverhalt wird der Ausdruck der Priorisierung von Arbeiten gerecht.“[19]
Bei dem Herstellungsprozess der Brückenkappen handelt es sich im weitesten Sinne um eine Linienbaustelle, auf Grund der meist zwingend nacheinander ablaufenden Arbeitsschritte und der nur wenig parallel laufenden Prozesse. Trotz allem ist die Priorität eine maßgebende Einflussgröße und sollte im Hinblick auf die Simulation nicht vernachlässigt werden. Vor allem um Engpässe zu vermeiden oder ihnen so schnell wie möglich entgegenwirken zu können, sollte schnell entschieden werden können, welcher Prozess wichtiger ist und als erstes durchgeführt werden sollte. Die Wichtigkeit ist somit das Maß der Priorisierung. “Mit anderen Worten: es geht um die Hebelwirkung. Es gibt bestimmte Projekte, bestimmte Schritte, deren Erledigung wie ein Startsignal für das Umfallen einer Menge anderer Dominosteine wäre.“[20]
Die Beurteilung der Priorität ist in vielen verschiedenen Varianten möglich. Das hier festgelegte Prinzip der Priorisierung soll sich an der Stelle orientieren, an der dieser Baustein steht, welche und wie viele Prozesse von ihm abhängen und seiner Dauer. Die Möglichkeit der Beschleunigung durch Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte wird auch mit einbezogen. Leider stellt diese Art der Priorisierung eine eher subjektive Beurteilung dar angesichts der Aufstellung der selbstgewählten Kriterien. Etwas Objektivität kann dadurch gewährleistet werden, dass Kriterien gesucht werden, die wirklich jeden Baustein betreffen, oder dass von vornherein festgelegt wird, welche Zielgröße die entscheidende ist. Sicher könnte die Entscheidung darüber auch mittels der Fuzzylogik unterstützt werden, gerade da mit Unsicherheiten gearbeitet werden muss. Allerdings muss an dieser Stelle eine grobe Einteilung der Prioritäten genügen, da die eigentliche Entscheidungsfindung mittels der Fuzzylogik erst am Ende dieser Arbeit und auf Grundlage der Bausteine geschieht.

3.3 Zusammenhänge und Abhängigkeiten

Genauso grundlegend und entscheidend wie das Ablaufdiagramm sind die darin enthaltenen Abhängigkeiten. Berücksichtigung müssen festgelegte Abläufe finden. Eine erste Feststellung hinsichtlich der Abhängigkeiten besteht in der Tatsache, dass der Herstellungsprozess einer Brückenkappe einer Linienbaustelle gleicht. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass eine hohe Anzahl an Prozessen geradlinig voneinander abhängig ist und somit ein Vorgängerprozess auch nicht sehr viel mehr als einen Nachfolgeprozess besitzt. Des Weiteren zeigt sich, dass der Vorgang, der sich mit dem Kappenschalwagen beschäftigt, also zum eigentlichen Takt gehört, laut Hofstadler einer Taktfertigung entspricht. Er definiert die Taktfertigung, wobei er sich auf Bauer[21] bezieht, als „erweiterte Form der Taktarbeit [...]. Eine Arbeitsgruppe führt dabei nacheinander verschiedene Vorgänge innerhalb eines Fertigungsabschnittes aus.“[22]. In seinem Beispiel der Fertigung einer Stahlbetondecke führt eine Arbeitsgruppe Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten aus. Somit ist die Herstellung der Brückenkappe, also die Takte hintereinander, eine

[19]Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) S.206, 2008
[20]Vgl.:Allen, detting Things Done (All10) 2010
[21]Vgl.:Bauer, Baubetrieb (Bau07) 2007
[22]Vgl.:Hofstadler, Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb (Hof07) S.90ff, 2007

Taktfertigung nach Hofstadler[23].
Wenn man die Taktfertigung nach Bargstädt[24] verfolgt, kann, nachdem die erste Bodenplatte erstellt wurde, bereits mit dem Ausbilden der Wände begonnen werden, während die zweite Bodenplatte entsteht. Diese Art der Taktfertigung findet sich innerhalb des Taktes dieser Arbeit. Demnach kann, nachdem der erste Kappenschalwagen angebracht ist, mit dem Anbringen des zweiten begonnen werden, während in dem ersten Schrammbord, Schutzplanken und die Bewehrung eingebaut werden. Weiterlaufend wird dann allerdings erst betoniert, wenn alle für einen Takt vorgesehenen Schalwagen fertig präpariert sind. Das Ausschalen kann dann gleichzeitig an allen Kappenschalwagen geschehen. Erst wenn dieser Teil abgeschlossen ist, kann der Kappenschalwagen abgesenkt und umgesetzt werden, sodass der Takt erneut abläuft. Sozusagen in einer Schleife, die erst dann an dem Knoten verlassen wird, wenn auf die Frage nach einem weiteren Takt die Antwort „Nein“ eingegeben wird und die Hauptprüfung durchgeführt werden kann.
Vor dieser Taktfertigung und somit am Anfang des Ablaufdiagramms stehen noch zwei Vorgängerprozesse. Den einen stellen die Vorarbeiten dar und den anderen das Vormontieren der Kappenschalwagen. Der Beginn des Taktes ist von diesen beiden abhängig, denn erst, wenn der Überbaubelag aufgetragen und alle Prüfungen durchgeführt sind, können die Gleise aufgebracht werden. Demnach kann der Kappenschalwagen erst angebracht, justiert und abgenommen werden, wenn die notwendigen Einheiten fertig vormontiert sind.
Innerhalb des Taktes existieren mehrere Bausteine. Ein variabler Baustein ist Bewehrungskörbe vorflechten. Er besitzt keinen Vorgängerprozess. Allerdings muss er spätestens fertig sein, wenn die Kappenschalwagen angebracht und justiert sind, denn danach folgt der Baustein Bewehrung einbauen, welcher Bewehrungskörbe vorflechten als direkten Vorgängerprozess hat und somit von ihm abhängig ist.
Weitere Bausteine stellen Schutzplanken und Schrammbord vormontieren sowie Schutzplanken und Schrammbord anbringen dar. Der erste ist variabel und hat keinen Vorgängerprozess, muss allerdings abgeschlossen sein, damit Schutzplankenanker und Schrammbord anbringen starten kann. Da dieser abgeschlossen sein muss, bevor betoniert werden kann, sollte rechtzeitig mit beiden begonnen werden auch wenn sie sonst keine Abhängigkeiten aufweisen. Auch der Baustein Seiten zuschalen sollte beendet sein, bevor das Betonieren starten kann und beginnt erst, wenn die Bewehrung eingebaut und abgenommen ist.
Ein Baustein, der von besonderer Bedeutung bei der Herstellung einer Brückenkappe aus Stahlbeton ist, stellt der Vorarbeiten Betonieren Stein dar. Sollte der Abschluss dieses Bausteins nicht möglich sein, beispielsweise aufgrund von Lieferschwierigkeiten oder falscher Betonzusammensetzung, ist die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung sehr hoch. An dieser Stelle stehen, zumindest in dem eingeschränkten Betrachtungsfeld des Herstellungsprozesses, keine Arbeiten zur Verfügung, die während der Wartezeit ausgeführt werden können. Lediglich die Bewehrungskörbe können schon vorbereitend für den nächsten Takt vorgeflochten werden.
Der Baustein, der von allen vorangegangenen abhängt, ist Betonieren und Ausschalen. Er symbolisiert den eigentlichen Erstellungsprozess der Kappe. Als Nachfolgeprozesse stehen dann entweder das Absenken und Umsetzen der Kappenschalwagen oder die Hauptprüfung als Bau-

[23]Vgl.:Hofstadler, Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb (Hof07) 2007
[24]Vgl.:Bargstädt, Steinmetzger; Grundlagen des Baubetriebswesens (Bar08) 2008

stein. Sollte der Takt erneut gestartet werden, kann der Baustein Kappenschalwagen reinigen als Vorgängerprozess für Kappenschalwagen anbringen, justieren und abnehmen angenommen werden.

3.4 Template

In diesem Kapitel werden auf der Grundlage einer bestimmten Vorlage alle Bausteine einzeln vorgestellt und auch definiert. Die Vorlage soll eine vorgegebene Struktur sein, die auf jeden Baustein angewendet wird, um einheitlich abbilden zu können, woraus der Baustein besteht. Somit umfasst dieses Template, unter anderem, eine Zusammenstellung der wichtigsten Randbedingungen. Als erstes bekommt der Baustein eine Identifikation (ID) von 01 bis 13, danach folgen die Beschreibung der internen Prozesse und die Abhängigkeiten zu anderen Bausteinen. Des Weiteren wird die Priorität festgelegt, die Ressourcen genannt und die Parameter „Prozessdauer“ und „Ressourcenverfügbarkeit“ beschrieben. Den Abschluss bildet die Unterteilung in eine Klasse.
Das Template dient der effizienteren Verarbeitung der Daten. Die Erstellung des Templates hilft bei der späteren Programmierung der Bausteine, sodass diese Pogrammgerüste instanziiert werden können. Besonders im Hinblick auf die Erweiterung der Bibliothek sind solche Schablonen geeignet, unkompliziert neue Bausteine hinzuzufügen.

Vorarbeiten

ID 01

Beschreibung Dieser Baustein beinhaltet vorrangig die notwendigen Prüfungen, die bei der Herstellung der Schichten auf dem Überbau durchgeführt werden müssen. Das schließt die Grundierung, Versiegelung, Abdichtung und Schutzlage mit ein. Geprüft werden die Abreißfestigkeit und die Rautiefe nach ZTV-ING Teil 1 Abschnitt 3 und Prüfung der Hohlstellen- und Blasenfreiheit nach ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1 Anhang B3. Des Weiteren ist das Abstecken der Kappe und der Gradientenausgleich enthalten. Aufgrund dieser Kombination aus Prozessen ergeben sich folgend die Abhängigkeiten und Ressourcen.

Abhängigkeiten Die Abhängigkeiten beziehen sich hier lediglich auf Nachfolgeprozesse, da dieser Baustein der erste Prozess nach dem Startknoten ist und auch als erstes ausgeführt werden muss. Ohne den präparierten Überbau kann der Herstellungsprozess nicht starten.

Ressourcen

- Kappen abstecken: Tachymeter, Betondeckungsscanner, Fräse
- Überbau kugelstrahlen und reinigen: Maschine zum Kugelstrahlen mit integriertem Druckluftgerät
- Prüfung Abreißfestigkeit: transportables Zugprüfgerät , Zugkolben, Prüfstempel, Thermometer
- Prüfung Rautiefe: Gefäß mit bekanntem Hohlraumgehalt, trockener Quarzsand, runde Hartholzscheibe, Zollstock
- Grundierung und Versiegelung auftragen: Reaktionsharz , Gummischieber, Fellrollen, trockener Quarzsand
- Kratzspachtelung ausführen nach ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1: Reaktionsharzmörtel, trockener Quarzsand, Spachtel, Besen
- Dichtungsschicht herstellen nach ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 1: Bitumen-Schweißbahn, Rollbrenner, Druckholz
- Prüfung Hohlstellen- und Blasenfreiheit: Holzstiel, Haftzuggerät
- Schutzlage herstellen: besandete Bitumen-Dachbahn
- Arbeitskräfte: 2 Vermesser, Bauleiter, Planer, 2-3 Abdichter, Sanierer, Stahlbetonbauer, Polier

Parameter

- Dauer: 20 Tage, **Dauer: lang**
- Verfügbarkeit: Die hier verwendeten Ressourcen können alle gelagert werden und die Lagerzeit ist nicht kostenrelevant. Somit können sie jederzeit vor Ort sein. Auch die Geräte stellen keine besonderen Anforderungen und werden durch die Abdichtungsfirma gestellt.

Priorität Als Stein des Anstoßes hängen alle Prozesse von ihm ab. Außerdem ist der nachfolgende Baustein 03 entscheidend für das Fortlaufen des Prozesses. Die Dauer ist lang und durch Störungen der Prüfung der Abreißfestigkeit verschiebt sich der gesamte Bauprozess und dessen Ende. Das Kugelstrahlen könnte durch Aufstockung des Arbeitskräfte deutlich verkürzt werden. **Priorität: sehr hoch**

Klasse Da Prüfverfahren den herstellungsabhängigen Prozessen zugeordnet werden, ist dieser Baustein maßgeblich durch das Know-how der Prüfer beeinflusst. Das Herstellen der Grundierung, Versiegelung und Schutzlage ist durch die verwendeten Maschinen geprägt, wodurch der Prozess auch als maschinenorientiert eingestuft werden kann.

Kappenschalwagen vormontieren

ID 02

Beschreibung Dieser Baustein enthält die Montage der Hängeeinheit und des Auslegers. Allerdings steht dieser Prozess variabel für die verschiedenen Arten von Herstellungsprozessen für Brückenkappen, die Vorarbeiten benötigen, nicht nur in Bezug auf den Zusammenbau. Bei diesem Prozess ist die Lagerung gesondert zu berücksichtigen, da ein hoher Bedarf an Lagerplatz besteht und dieser möglichst auf der Brücke realisiert werden sollte.

Abhängigkeiten Abhängigkeiten existieren nur als Nachfolgeprozesse. Somit muss darauf geachtet werden, dass der Prozess rechtzeitig und idealerweise mit den Vorarbeiten zusammen abschließt, da sie den gemeinsamen Baustein Kappenschalwagen anbringen, justieren, abnehmen als Nachfolgeprozess besitzen.

Ressourcen

- KSW vormontieren: Einzelteile Hängeeinheit und Ausleger
- Schienen, Teleskopstapler
- Arbeitskräfte: 4 Stahlbetonbauer, 2 Fahrer

Parameter

- Dauer: 10 Tage, **Dauer: mittel**
- Verfügbarkeit: Der Kappenschalwagen an sich ist ein spezielles Bauproduktionsmittel. Bei den Bauarbeiten stellt es den wichtigsten Bestandteil dar. Allerdings können Hängeeinheit und Ausleger rechtzeitig nachbestellt werden.

Priorität Dieser Baustein besitzt eine kurze Dauer und hat einen entscheidenden Nachfolgeprozess, allerdings keinen Vorgängerprozess. **Priorität: mittel**

Klasse Das Vormontieren wird durch eine Spezialfirma realisiert und ist somit ein herstellungsbezogener Prozess.

Kappenschalwagen anbringen, justieren, abnehmen

ID 03

Beschreibung Dieser Baustein beinhaltet die Prozesse, die zur vollständigen Montage des Kappenschalwagens an den Überbau notwendig sind. Nach dem Anbringen des Unterwagens, der Hängeeinheit und des Auslegers sowie der Justierung und Ballastierung kann der Kappenschalwagen abgenommen werden.

Abhängigkeiten Abhängigkeiten bestehen hier in Vorgänger- und Nachfolgeprozessen. Die Vorgänger sind die Bausteine 01 und 02. Der Kontrollfluss, der aus diesem Baustein hervorgeht, führt zu einer Vereinigung, allerdings erst, wenn bereits ein Prozess durchlaufen wurde, sodass Baustein 04 aktiviert ist. Die Prozesse, die Baustein 03 enthält, müssen demnach vollständig abgeschlossen sein, bevor die Bausteine 06 und 07 aktiviert werden können, welche die Nachfolgeprozesse darstellen.

Ressource

- Unterwagen anbringen: Hochbaukran
- Ballaste ausrichten: Stahlträger, Holzleisten, Betonplatten, Teleskopstapler, Nivellier
- Fertigungsbühne, Absturzsicherung, Schalung
- Arbeitskräfte: 3 Stahlbetonbauer, Fahrer, Prüfer

Parameter

- Dauer: 10, Tage **Dauer: mittel**
- Verfügbarkeit: Der Kappenschalwagen an sich ist ein spezielles Bauproduktionsmittel. Bei den Bauarbeiten stellt es den wichtigsten Bestandteil dar. Grundsätzlich ist die Verfügbarkeit durch rechtzeitige Bestellung gegeben. Sollten Teile fehlen, kommt es zu großen Verzögerungen. Eine Mehrlagerung führt zu unnötigen Kosten.

Priorität Dieser Baustein dauert lange und ist durch das Schalsystem und die alleinige Vorbedingung der Vereinigung sehr wichtig, des Weiteren würde sich eine Störung verzögernd auf das Bauende auswirken. Eine Beschleunigung durch Aufstockung der Arbeitskräfte ist nicht möglich. **Priorität: sehr hoch**

Klasse Hier besteht ein Zusammenwirken aus Prozessen, die montageorientiert sind, aufgrund der aufwendigen Logistik des Kappenschalwagens gleichzeitig aber auch herstellungsabhängig durch die Arbeit der Schalwagenspezialisten.

Kappenschalwagen reinigen

ID 04

Beschreibung Dieser Baustein wird erst aktiviert, nachdem der Prozess einmal durchlaufen wurde.

Abhängigkeiten Der Baustein stellt zusammen mit dem Baustein 03 die zwingenden Vorgängerprozesse für 06 und 07 dar.

Ressourcen

- Hochdruckreiniger,
- Arbeitskräfte: Stahlbetonbauer

Parameter

- Dauer: 0,5 Tage, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Der Kappenschalwagen ist vorhanden und ein Hochdruckreiniger besitzt eine hohe Verfügbarkeit, auch wenn spontan aufgestockt werden muss.

Priorität Der Prozess ist kurz und kann nebenher ausgeführt werden. Allerdings folgen sehr viele Prozesse. **Priorität: mittel**

Klasse Dieser Baustein ist maschinenorientiert. Lediglich die Leistung des Hochdruckreinigers ist ausschlaggebend.

Bewehrungskörbe vorflechten

ID 05

Beschreibung Dieser Baustein beinhaltet das Flechten der Bewehrungskörbe.

Abhängigkeiten Er besitzt keinen Vorgängerprozess und kann somit ständig parallel zu anderen Arbeiten verlaufen. Allerdings müssen bis zum Beginn des Bausteins 06 genügend Bewehrungskörbe zur Verfügung stehen.

Ressourcen

- Bewehrung
- Arbeitskräfte: 2 Stahlbauer (Eisenflechter)

Parameter

- Dauer: 1 Tag, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Bewehrung ist ständig verfügbar. Sollte Material fehlen ist genug Zeit für eine neue Bestellung.

Priorität Relative Unabhängigkeit zu anderen Bausteinen. Es muss zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte Anzahl fertig sein. Er kann durch Erhöhung der Arbeitskräfte beschleunigt werden. **Priorität: niedrig**

Klasse Es gibt die Option, dass Bewehrungskörbe fertig geliefert werden, allerdings geht dieser Baustein davon aus, dass sie per Hand geflochten werden. Demnach ist dieser Prozess herstellungsorientiert.

Bewehrung einbauen, abnehmen

ID 06

Beschreibung Die Bewehrungskörbe werden mit der Anschlussbewehrung des Überbaus verbunden. Anschließend werden sie durch einen Prüfingenieur abgenommen.

Abhängigkeiten Die Vorgängerprozesse sind der Baustein 05 und der Baustein 03. Dieser Baustein muss zwingend abgeschlossen sein, bevor der Baustein 09 starten kann.

Ressourcen

- Bewehrungskörbe
- Arbeitskräfte: 5 Stahlbetonbauer, 3 Stahlbauer (Eisenflechter), Polier, Bauüberwacher

Parameter

- Dauer: 0,5 Tage, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Es muss darauf geachtet werden, dass rechtzeitig genügend Bewehrungskörbe vorgeflochten sind.

Priorität Der Prozess kann nicht zur Beschleunigung herangezogen werden. Auf Grund der Abhängigkeiten und der Bausteine 07 und 08 ist die **Priorität: mittel**.

Klasse Dieser Baustein ist herstellungsabhängig, das heißt der Einbau der Bewehrung sowie die Abnahme.

Schutzplanken/Schrammbord vormontieren

ID 07

Beschreibung Dieser Baustein besteht aus der Vormontage der Schutzplankenanker und dem Vorbereiten der Schrammborde.

Abhängigkeiten Der Vorgängerprozess besteht aus Baustein 03. Der logische Nachfolgeprozess ist Baustein 08.

Ressourcen

- Einzelteile des Schutzplankenankers, Schrammbord, Schweißgerät
- Arbeitskräfte: Stahlbetonbauer

Parameter

- Dauer: 1 Tag, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Die Lagerung ist möglich und die Zeit unabhängig von den Kosten. Die Verfügbarkeit ist hoch.

Priorität Er besitzt eine relative Unabhängigkeit zu anderen Bausteinen und kann verschoben werden. Durch Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte ist eine Beschleunigung möglich. **Priorität: niedrig**

Klasse Dieser Baustein kann als herstellungsabhängig klassifiziert werden. Ein montageorientierter Aspekt ist genauso vorhanden.

Schutzplanken/Schrammbord anbringen

ID 08

Beschreibung Dieser Baustein beinhaltet den Einbau der Schutzplankenanker, welche auch als Endloskette bezeichnet und mit der Kappenbewehrung verschweißt werden. Des Weiteren werden die Schrammborde verlegt.

Abhängigkeiten Der Baustein 07 ist der einzige Vorgängerprozess. Der ausgehende Kontrollfluss des Bausteins 08 endet in einer Vereinigung, welche den Ablauf erst weiterlaufen lässt, wenn der Kontrollfluss von Baustein 09 dort eingetroffen ist.

Ressourcen

- Schutzplankenanker, Schrammbord, Schweißgerät
- Arbeitskräfte: 5-8 Stahlbetonbauer

Parameter

- Dauer: 1 Tag, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Es sollte darauf geachtet werden, dass genügend Schrammborde und Schutzplanken vormontiert bzw bearbeitet sind.

Priorität Der Hauptprozess kann erst nach Abschluss dieses Bausteins starten. Der Prozess ist lang und kann nur geringfügig durch Personalauftockung beeinflusst werden. **Priorität: mittel**

Klasse Dieser Baustein kann als herstellungsabhängig klassifiziert werden. Ein montageorientierter Aspekt ist genauso vorhanden.

Seiten zuschalen

ID 09

Beschreibung Dieser Baustein beinhaltet das Zuschalen der Seiten der Kappe.

Abhängigkeiten Abhängig ist er von dem Baustein 06. Der Kontrollfluss dieses Bausteins endet in einer Vereinigung. Nachfolgeprozesse werden erst starten, wenn der Baustein 08 abgeschlossen ist.

Ressourcen

- Schalungsmaterial
- Arbeitskräfte: Stahlbetonbauer

Parameter

- Dauer: 0,5 Tage, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Schalung ist grundsätzlich aufwendig zu lagern und beansprucht steigende Kosten bei längerer Lagerung. Die Verfügbarkeit ist also von optimaler Planung abhängig.

Priorität Dieser Baustein ist Vorbedingung des Hauptprozesses, kann nicht beschleunigt werden, dauert aber auch nicht sehr lange. **Priorität: mittel**

Klasse Die Logistik in Bezug auf die Schalung ist die Haupteinflussgröße, wodurch der Prozess montageorientiert ist.

Vorarbeiten Betonieren

ID 10

Beschreibung In diesem Baustein ist die Anlieferung und das Prüfen des Betons enthalten. Durch einen Entscheidungsknoten wird dargestellt, ob der Beton eingebaut werden kann oder nicht. Wenn der Beton nicht die erforderlichen Eigenschaften erbringt, muss eine neue Lieferung ausgelöst werden.

Abhängigkeiten Es existiert kein Vorgängerprozess. Allerdings besitzt gerade bei diesem Baustein die Startzeit eine hohe Relevanz. Erst wenn die Bewehrung erfolgreich abgenommen ist, kann die Bestellung für den Beton erfolgen.

Ressourcen

- LKW, Luftgehaltstopf, Rütteltisch, kegelstumpfförmige Form auf einem Ausbreittisch
- Arbeitskräfte: Betonprüfer, Betonlieferant, Polier

Parameter

- Dauer: 1 Tag, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Dass der Beton vorhanden ist und den geforderten Eigenschaften entspricht, ist sehr wichtig. Auf rechtzeitige und ausreichende Bestellung muss geachtet werden, da keine Lagerung möglich ist.

Priorität Auf Grund der hohen Abhängigkeiten zu den Umweltbedingungen und zum Nachfolgebaustein besitzt der Baustein die **Priorität: hoch**.

Klasse Diese Prüfung entspricht einem herstellungsorientierten Prozess.

Betonieren/Ausschalen

ID 11

Beschreibung Das Einbringen des angelieferten Transportbeton erfolgt mit einer Betonpumpe. Danach wird der Beton durch einen Rechen grob verteilt und mit der Rüttelflasche verdichtet. Anschließend werden die betonierten Bereiche mit einer Rüttelbohle abgezogen. Die Glättung erfolgt mittels eines Reibebretts und der Glättkelle. Die Nachbehandlung wird mit Holzplanken und dampfdichter Folie realisiert. Die Trocknungszeit ist abhängig von Temperatur und Luftfeuchte.

Abhängigkeiten Dieser Prozess ist der eigentliche Herstellungsprozess der Brückenkappen. Die Abhängigkeit ist daher sehr hoch. Alle Vorgängerprozesse müssen abgeschlossen sein. Lediglich Baustein 05 könnte vorbereitend für den folgenden Takt ablaufen. Die Nachfolgepozesse richten sich danach, ob ein weiterer Abschnitt des Überbaus mit Kappen versehen werden soll. Somit folgt entweder der Baustein 12 oder der abschließende Baustein 13.

Ressourcen

- Beton, Betonpumpe, Rechen, Reibebrett, Glättkelle, Betonverdichtungsgerät
- Holzplanken, dampfdichte Folie
- Arbeitskräfte: 7 Stahlbetonbauer, Fahrer

Parameter

- Dauer: 2 Tage, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Baustein 10 stellt die Bedingung der Verfügbarkeit dar. Außer der Betonpumpe und des Betonverdichtungsgerätes stellen die verwendeten Geräte und Materialien keine hohen Ansprüche an die Verfügbarkeit.

Priorität Mehr Arbeitskräfte führen nicht zu einer Beschleunigung und es existieren keine Parallelprozesse. **Priorität: sehr hoch**

Klasse Das Betonieren wird maßgeblich durch das Betonverdichtungsgerät beeinflusst und ist somit maschinenorientiert. Das Ausschalen ist montageorientiert, auf Grund der Abhängigkeit von der Betongüte, den Betoneigenschaften und der Statik.

Kappenschalwagen absenken, umsetzen

ID 12

Beschreibung Nach dem Ausschalen und dem Reinigen des Schrammbords wird der Kappenschalwagen über das Drehen von Spindeln abgesenkt. Das Umsetzen erfolgt mittels eines Teleskopstaplers, der die Wagen auf den Schienen verzieht.

Abhängigkeiten Dieser Baustein wird nur aktiviert, wenn ein weiterer Takt vorgesehen ist und hat als Vorgängerprozess den Baustein 11. Der Nachfolger ist 04 und demnach auch der Einstieg in den neuen Takt.

Ressourcen

- Teleskopstapler
- Arbeitskräfte: 4 Stahlbetonbauer, Fahrer

Parameter

- Dauer: 0,5 Tage, **Dauer: kurz**
- Verfügbarkeit: Stark abhängig von Teleskopstapler oder Hochbaukran.

Priorität Dieser Baustein ist logistisch anspruchsvoll und der nächste Takt kann erst starten, wenn dieser abgeschlossen ist. **Priorität: hoch**

Klasse Dieser Prozess ist durch die einzige Ressource maschinenorientiert.

Hauptprüfung

ID 13

Beschreibung Die Brückenprüfung erfolgt alle 6 Jahre nach der DIN 1076.

Abhängigkeiten Dieser Baustein ist der abschließende Prozess der Herstellung einer Brückenkappe. Es existiert kein Nachfolgeprozess. Das Betonieren und Ausschalen ist der einzige Vorgängerprozess.

Ressourcen Prüfingenieure

Parameter

- Dauer: 7 Tage, **Dauer: kurz/mittel**
- Verfügbarkeit: muss alle 6 Jahre durchgeführt werden

Priorität Es existiert keine entscheidende Beeinflussung auf den Gesamtprozess und kann erst erfolgen, wenn alle anderen abgeschlossen sind. Priorität besitzt er nur in Bezug auf die Übergabe an den Bauherren. **Priorität: sehr niedrig**

Klasse Dieser Prozess ist herstellungsabhängig, da die Fachkenntnisse benötigt werden.

Kapitel 4

Entscheidungsfindung

Die Grundlagen der Entscheidungsfindung wurden in Kapitel 2.4 erläutert. Es wurde festgestellt, dass AHP und Fuzzy viel versprechend sind im Hinblick auf präskriptive Entscheidungsstrategien. AHP bietet unter Einsatz der Saaty-Skalen und Matrizenrechnung eine mathematische Aufgliederung des Entscheidungsziels in verschiedene Kriterien und durch die hierarchische Darstellung einen Vergleich dieser Kriterien. Allerdings wird ersichtlich, dass eine sehr genaue Einteilung der Kriterien durch feste Zahlenwerte die minimierte Subjektivität wieder vergrößert. An dieser Stelle soll Fuzzy ansetzen. Der Vorteil besteht darin, Unsicherheiten über die genaue Dauer oder Priorität eines Prozesses erfassen zu können und zu determinieren.
Gerade das Ziel der Anwenderfreundlichkeit wird mittels Fuzzy optimiert. Nicht nur benutzerfreundliche Oberflächen, sondern auch verbale Kommunikation wird verbessert, da Sprech- und Denkweisen des Menschen abgebildet werden. Aufgrund dieser verbesserten Kommunikation kann Expertenwissen direkt in den laufenden Prozess einfließen, was die Systeme letztendlich stabiler macht, da bei Problemen zeitnah eingegriffen werden kann.

4.1 Fuzzy-Logik

„Sie ist eine präzise Theorie des Unpräzisen. Sie nimmt in Kauf, daß wir die Gesetze, die komplexe Systeme regieren, nicht mit letzter Präzision kennen, und versucht das beste daraus zu machen. Und kommt dabei oft zu präziseren Ergebnissen als klassische Methoden, die ein Problem scheinbar exakt erfassen, aber an den auch für sie notwendigen Vereinfachungen scheitern.“[1]
Zur Durchführung der Fuzzy-Methode existieren drei Schritte. Die Fuzzifizierung (Schritt 1), welche nach Eingabe exakter Werte den Fuzzy-Input erzeugt, wobei die Attribute unscharf und exakt sich nicht ausschließen, da trotz der Unschärfen mit richtigen Werten gerechnet werden muss. Der Input erstellt in Zusammenhang mit den Fuzzy-Regeln den Fuzzy-Output (Schritt 2). Durch die Defuzzifizierung wird daraus der exakte Ausgabewert (Schritt 3). Die Fuzzylogik beruht auf unscharfen Begriffen, sogenannten Mengen, welche anteilsmäßige Elemente enthalten.
Die Fuzzifizierung ist die anteilsmäßige Einordnung der Fuzzy-Begriffe, somit die Ermittlung des Zugehörigkeitgrades zu unscharfen Mengen. Demnach wird nicht in 0 oder 1 oder wahr oder falsch unterteilt wie in der binären Logik. Vielmehr interessieren die unzähligen Zwischenwerte, die Bereiche, in denen sich die Mengen überschneiden, und in welchem Maße die darin enthaltenen Elemente zu den jeweiligen Mengen gehören. Wie schwierig diese aus der Sprache heraus zu analysierenden Unsicherheiten sind, obwohl wir tagtäglich unbewusst nichts anderes

[1] Vgl.:Drösser, Fuzzy Logic (Drö95) S.9ff, 1995

tun, erläutert Drösser[2] über sehr anschauliche Beispiele.
Der Zugehörigkeitsgrad wird über eine Funktion bestimmt, welche wiederum auf den Eingangsparametern beruht. Der Grad der Zugehörigkeit liegt zwischen 0, also überhaupt nicht zugehörig ($\mu = 0$) und 1, absolut zugehörig ($\mu = 1$). Die Zwischenstufen werden durch $0 < \mu < 1$ angegeben. Den Verlauf der Kurve bestimmen die Begrifflichkeiten „fast genau“, „zwischen A und B“ und „ungefähr“. Die dazugehörigen Verläufe der Funktionen sind zur einfachen Berechnung und problemlosen Übertragung in Computersysteme in die Dreiecks-, Trapez- und Gauß-Form aufgegliedert.
Nach der Erstellung dieser Kurvenverläufe, auch Fuzzy-Sets genannt, muss ein Regelsystem entworfen werden. Die Umlegung und logische Kombination der linguistischen Variablen auf das Regelsystem nennt sich Inferenz und beinhaltet einen komplexen Teil der Fuzzy-Methode. Am Ende dieser Inferenz steht eine Tabelle, welche die möglichen Beziehungen und Schlussfolgerungen darstellt. Im dritten Schritt folgt die Defuzzifizierung. Es existieren verschieden Varianten. Die bewährteste, die Schwerpunktmethode, legt die Outputs übereinander und entwickelt so eine neue Funktion. Da die Fuzzy-Methode harte Zahlen ausgibt, wird die Fläche unter der Funktion bestimmt und ein Mittelwert errechnet. Im Endeffekt soll nur noch auf Grund dieser ermittelten Werte entschieden werden.

4.2 Fuzzy und die Bausteinbibliothek

In dieser Arbeit wurden Bausteine erstellt, die die Grundlage für die Anwendung der Fuzzylogik stellen sollen. Die Bausteine enthalten mehr Informationen als an dieser Stelle für die Untersuchung mit Fuzzy verwendet werden. Dies ist der Komplexität zuzuschreiben, sodass die Analyse auf vier Parameter beschränkt wird, um den Rahmen dieser Arbeit einhalten zu können.
Ausgegangen wird dabei von dem ausreichenden Vorhandensein von Ressourcen und Arbeitskräften, der Prozessdauer und der Priorität des Prozesses. Innerhalb der Bausteine ist eine Unterteilung der vier Randbedingungen unternommen worden. Wie es für Fuzzy typisch ist, wird nicht mit Zahlen sondern mit verbalen Beschreibungen gearbeitet. Die Tabelle 4.1: „Wertzuweisung“, zeigt die Aufgliederung der Eingangsparameter. Hinter diesen verbalen Beschreibungen stecken Zahlenwerte, allerdings nicht eine bestimmte Zahl, sondern Zahlenbereiche, sogenannte Mengen. Durch Aufstellen der Fuzzy-Sets werden diese Mengen überlagert. So ergibt sich der für Fuzzy typische Sachverhalt, dass ein Zahlenwert zu zwei verschiedenen Mengen gehören kann. Ein fester Wert der Prozessdauer zum Beispiel muss nicht zwingend nur zu kurz oder mittel gehören. Eher lässt er sich durch die teilweise Zugehörigkeit zu kurz oder mittel definieren und kann somit mehrere Fuzzy-Eigenschaften besitzen. Der Grad der Zugehörigkeit liegt zwischen 0 und 1. Dazu muss festgelegt werden, dass zum Beispiel die Menge „kurz“ in Bezug auf die Prozessdauer zwischen 0 Tagen und 10 Tagen liegt. Des Weiteren besteht die Menge „mittel“ aus den Zahlen zwischen 5 bis 20 und die Menge „viel“ zwischen 15 bis 25. Somit ist es ausgeschlossen, dass ein Prozess, welcher 10 Tage dauert auch nur teilweise zur Menge „kurz“ gehört. Um bestimmen zu können, zu wie viel Prozent die Prozessdauern zwischen 0 und 10 jeweils zu der Menge „kurz“ gehören, muss eine Funktion D(x) aufgestellt werden. Für das Beispiel der Prozessdauer ergibt

[2] Vgl.:Drösser, Fuzzy Logic (Drö95) S.14ff, 1995

sich für diese Funktion $D(5,5) = 0,5$ für die Menge „kurz“ und $D(5,5) = 0,5$ für die Menge „mittel“. In der Abbildung 4.1: „Fuzzy-Sets“, sind die Kurven jeweils für die Verfügbarkeit der Arbeitskräfte und Ressourcen, die Prozessdauer und die Priorität in Bezug auf die Fuzzy-Begriffe aufgeführt, wobei die Kurven für die Verfügbarkeit der Arbeitskräfte und Ressourcen nicht im eigentlichen Sinne Fuzzy-Sets darstellen, da sie binär sind. Binäre Systeme lassen sich einfach abbilden und in digitale Daten umwandeln. In den Abbildungen bedeutet 1 =Arbeitskräfte bzw Ressourcen verfügbar und 0 =Arbeitskräfte bzw Ressourcen nicht verfügbar. Diese Annahme wird getroffen, damit das resultierende Regelwerk zu bewältigen bleibt. Mit Hinblick auf den realen Bauprozess müssten auch diese Kurven eine teilweise Zugehörigkeit darstellen, somit echte Fuzzy-Sets sein. Ausfallzeiten, welche Ressourcen und auch Arbeitskräfte besitzen, haben vielschichtige Gründe, die allerdings nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreten. Daraus folgt, dass die Verfügbarkeit/ Nichtverfügbarkeit der Arbeitskräfte und Ressourcen eine notwendige Vereinfachung ausdrücken. Dieser Teil kann nicht losgelöst von den in den Bausteinen aufgestellten Abhängigkeiten betrachtet werden. Aus diesen Abhängigkeiten ergeben sich zwangsweise schon Ausschlüsse, diese Informationen stellen Grundlagen für das Regelwissen zur Verfügung. So kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass Nachfolgeprozesse nicht vorgezogen werden können, da die jeweiligen Vorgängerprozesse sie in soweit bedingen, dass die Vorgängerprozesse abgeschlossen sein müssen, damit der Nachfolgeprozess starten kann. Das heißt, dass an manchen Stellen des Ablaufdiagramms Prozesse definitiv nicht starten können, da ihre Startbedingungen nicht erfüllt sind. Eine Abbildung 4.2[3] zu Rückschlüssen, welche diese Startbedingungen widerspiegeln findet sich bei Weißberg.

Tabelle 4.1: Wertzuweisung

Eingangsparameter	Zuordnung unscharfer Begriffe
Verfügbarkeit Arbeitskräfte	ja nein
Verfügbarkeit Ressourcen	ja nein
Prozessdauer	kurz mittel lang
Priorität	sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch

[3]Vgl.:Weißberg, Brückenbau (Wei09) S.61, 2009

Abbildung 4.1: Fuzzy-Sets

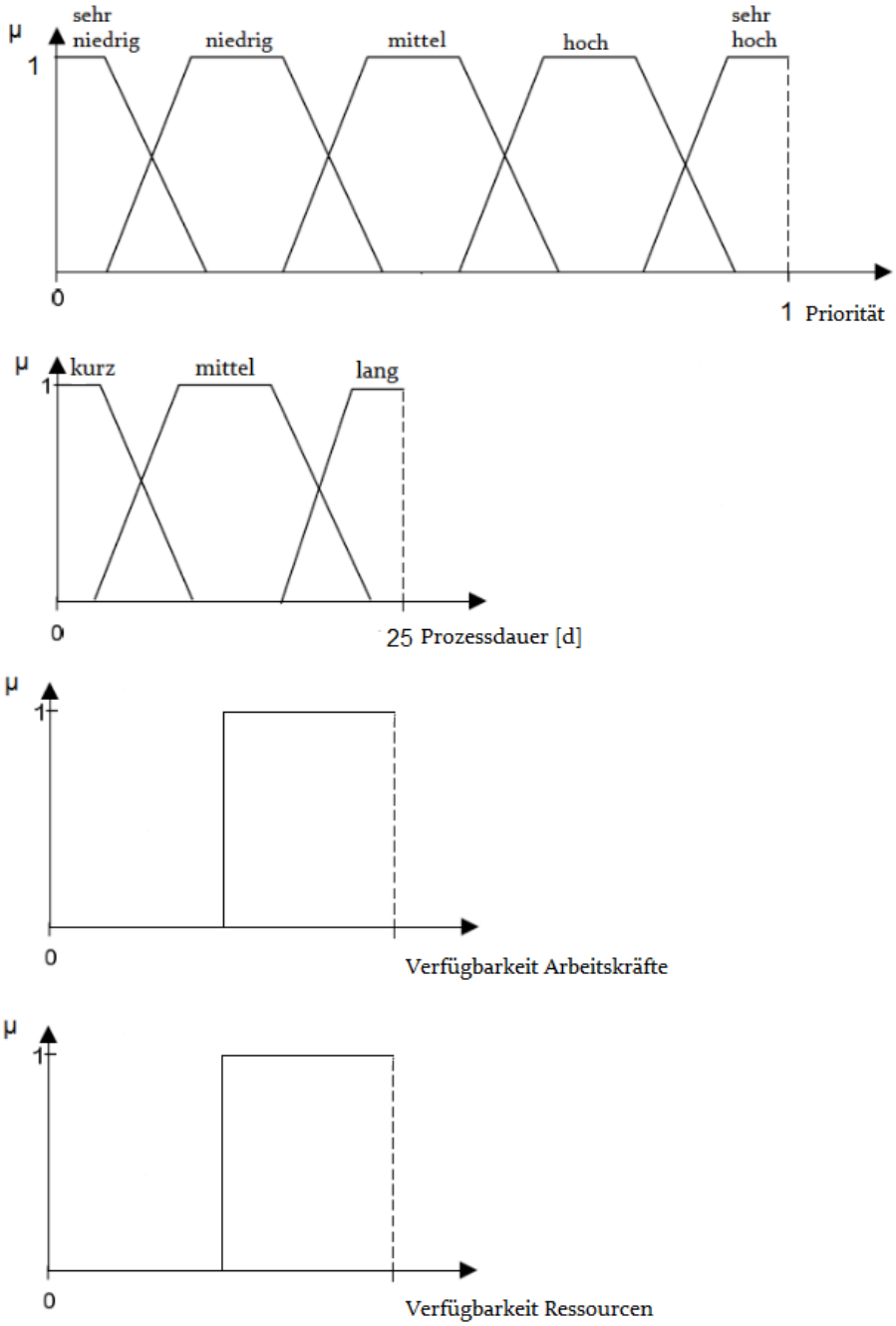


Abbildung 4.2: Rückschlüsse

Prozess	liefert Rückschluss auf	Baustellendokument
Aufstellen Gradiente	Vermessungsarbeiten abgeschlossen	Planeingang
Fräsen	Gradiente vom Planer aufgestellt	Bautages-Bericht
Einbau ÜKO	Gradiente vom Planer aufgestellt	Bautages-Bericht
Kugelstrahlen	Fräsen abgeschlossen	Protokoll Abreißfestigkeit und Rautiefe
Grundieren	Fläche ist kugelgestrahlt	Bautages-Bericht
Versiegeln	Grundierung ist aufgebracht	Protokoll Abreißfestigkeit
Bitumenschweißbahn verlegen	Versiegelung aufgebracht	Bautages-Bericht
Rasselprobe durchführen	Bitumenschweißbahn verlegt	Bautages-Bericht
edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegen	positives Resultat der Rasselprobe	Bautages-Bericht
Schutzlage verlegen	edelstahlkaschierte Schweißbahn verlegt	Bautages-Bericht
Abnahme KSW	KSW aufgebaut	Protokoll
Bewehrung einbauen	Abdichtung komplett aufgebracht	Bautages-Bericht
	KSW ausgerichtet	
Montage Schrammbord	Bewehrung eingebaut	Bautages-Bericht
Zuschalen Kappe	Schrammbord montiert	Bautages-Bericht
Montage Einbauten	Bewehrung eingebaut	Bautages-Bericht
Abnahme Bewehrung	Bewehrung eingebaut	Protokoll Bewehrungsabnahme
	Einbauteile montiert	
Beton prüfen	Beton bestellt und angeliefert	Protokoll Frischbetonprüfung
Betonieren	Bewehrung abgenommen	Bautages-Bericht
	Kappe zugeschalt	
	Beton geprüft	
Betonnachbehandlung	Kappe betoniert	Bautages-Bericht
Lösen Schalung, Demontage Schrammbord	Ausschalfrist erreicht	Bautages-Bericht
Umsetzen KSW	Kappe ausgeschalt	Bautages-Bericht
Säubern Schalung	Kappe ausgeschalt	Bautages-Bericht

4.3 Entscheidungsstellen

Im nächsten Schritt sollen die Fuzzy-Begriffe der Eingangsparameter mit dem Regelwissen kombiniert werden. Das Regelsystem besteht aus einer Tabelle, in der die vier Parameter mit ihren jeweiligen linguistischen Ausprägungen kombiniert und die Konsequenz, demnach die Entscheidung, dargestellt werden. Um diese Tabelle aufstellen zu können, muss zuvor ein Entscheidungsbaum entwickelt werden, um die möglichen Pfade aufzuzeigen.
Der Anstoß dieses Diagramms besteht in einer definierten Ausgangssituation. Ein Baustein A soll abgearbeitet werden, er besitzt diverse mögliche Nachfolgebausteine. Ist es möglich, den Baustein A mit einem seiner Nachfolgeprozesse, nämlich mit dem, der die höchste Priorität besitzt, zu parallelisieren, kann das positive Auswirkungen auf die Gesamtlaufzeit des Bauprozesses haben. So können Pufferzeiten geschaffen oder Verzögerungen durch Störungen aufgeholt werden. Natürlich werden solche Entscheidungen tagtäglich auf Baustellen getroffen, ohne die Fuzzy-Methode anzuwenden. Dabei handelt es sich meist um Bauchentscheidungen, viele auch unterbewusst. Hundertprozentige Vorhersagen können grundsätzlich nie getroffen werden. Immer ist eine Unsicherheit dabei.
Wenn also der Bauleiter anordnet, dass Prozess A und Prozess C parallel ausgeführt werden sollen, weil das die für ihn logische Konsequenz ist, hat er in dieser Entscheidung Wissen über die ungefähre Dauer der Prozesse und ihre ungefähre Wichtigkeit zusammengeführt. Eventuell auch wie viele Ressourcen und Arbeitskräfte ungefähr nötig sind. Diese ungefähren Einschätzungen summieren sich und ergeben letztendlich einen sehr großen Unsicherheitsfaktor. Diesen minimieren zu können, ist das Ziel der Fuzzy-Methode. Somit soll das Bauchgefühl und die unterbewussten Entscheidungen auf harte Zahlen gebracht werden, denn simuliert werden kann nur mit exakten Zahlenwerten. Bei der Ausführung hilft die Fuzzylogik mit ihren Unschärfen.
Umgesetzt werden sollen die einzelnen Entscheidungen des Bauleiters innerhalb eines Entscheidungsbaums. Die Darstellung jeglicher Pfade ermöglicht die Untersuchung jeder möglichen Lösung. Zunächst werden die in den Bausteinen und in Verbindung mit dem Ablaufdiagramm der Bausteine analysierten Abhängigkeiten untersucht. Stellen, an denen sich solch eine Überprüfung eignet und auch eine Parallelisierung von Vorteil wäre, sind dadurch zu bestimmen, dass die Vorbedingungen der Prozesse erfüllt sind, also alle Vorgängerprozesse abgeschlossen sind und mindestens zwei Prozesse existieren, die nicht voneinander abhängig sind. Mit Bezug auf die Abbildung 3.1: „Bausteine“, ist zu erkennen, dass mehrere solcher markanten Stellen existieren, welche in der Tabelle 4.2 aufgelistet sind.

Tabelle 4.2: Entscheidungsstellen

Nr.	betroffene Bausteine
1 Vorarbeiten	Vorarbeiten 01 Bewehrungskörbe vorflechten 05 KSW vormontieren 02
2 erste Vereinigung	Bewehrungskörbe vorflechten 05 S/S vormontieren 07
3 S/S vormontieren 07	S/S vormontieren 07 Bewehrung einbauen 06
4 Bewehrung einbauen 06	Bewehrung einbauen 06 S/S anbringen 08
5 S/S anbringen 08	S/S anbringen 08 Seiten zuschalen 09

4.3.1 Entscheidungsbaum

Sind die linguistischen Variablen bestimmt, die Fuzzy-Sets aufgestellt und die Entscheidungsstellen in Verbindung mit den Abhängigkeiten ermittelt, wird der Entscheidungsbaum aufgestellt, aus welchem dann das Regelwerk erstellt werden soll. Das Diagramm hierzu findet sich im Anhang „Entscheidungsbaum“.
Initialisiert wird der Entscheidungsbaum durch die Möglichkeit der Zeiteinsparung. Somit wird der Baustein A bestimmt, welcher jetzt ausgeführt werden soll. Ausgehend davon wird nach möglichen Nachfolgeprozessen gesucht, beruhend auf den Abhängigkeiten und Vorbedingungen. Die Bausteine, die in Frage kommen, werden auf eine Liste geschrieben, welche als Objekt ausgegeben wird. Dieses Objekt bleibt innerhalb des Prozesses, indem es bei der Aktion Sortiere Liste nach Priorität wieder eingegeben und verwendet wird. Ein neues Objekt entsteht. Eine „Liste sortiert“, welche alle möglichen Nachfolgeprozesse der Priorität nach abfallend sortiert hat. Der nächste Schritt ist die Überprüfung der Prozessdauer des Bausteins A. Die Prozessdauer kann laut linguistischen Variablen kurz, mittel oder lang sein. Auf Grund der Tatsache, dass nur Bausteine parallelisiert werden, welche kürzer oder genauso lang sind wie der Baustein A, wird die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses überprüft, wobei hier die „Liste sortiert“ wieder eingegeben wird, sodass zuerst der Prozess mit der höchsten Priorität überprüft wird, denn es soll der Prozess mit der höchstmöglichen Priorität parallelisiert werden. Dieser kann kurz oder mittel/lang sein, daraus folgt, dass nur Prozesse mit der Dauer kurz weitergeleitet werden und Bausteine mit Prozessdauern mittel/lang aussortiert werden zur weiteren Überprüfung. Die weitere Überprüfung bedeutet, dass nicht nur die Dauer entscheidend ist, sondern ob überhaupt noch ein Prozess auf der „Liste sortiert“, die absteigend durchlaufen wird, vorhanden ist. Sollte auf der „Liste sortiert“ kein weiterer Prozess vorhanden sein, ist keine Parallelisierung des Bausteins A und des Nachfolgebausteins möglich.
Besitzt der Nachfolgebaustein die gleiche kurze Dauer wie Baustein A, geht es über den Kontrollfluss zu der Überprüfung der Ressourcenverfügbarkeit, denn nur mit ausreichend Baumaterial wie auch Arbeitsgeräten können zwei Prozesse gleichzeitig laufen. Der Entscheidungsknoten

stellt somit die Fuzzy-Begriffe zur Ressourcenverfügbarkeit dar: ja für verfügbar und nein für nicht verfügbar. Sind nicht ausreichend Ressourcen vorhanden, ist die Konsequenz eine weitere Überprüfung. Gleiches gilt, wenn genügend Ressourcen verfügbar sind, für die Überprüfung der Verfügbarkeit der Arbeitskräfte. Sollten auch ausreichend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, auf Grund von beispielsweise Verzögerungen bei anderen Arbeiten der Baustelle oder fehlerhafter Kapazitätsplanung, können Baustein A und der Nachfolgeprozess parallelisiert werden.
Ist die Prozessdauer des Bausteins A mittel, folgen ähnliche mögliche Pfade. Die Konsequenzen sind die gleichen, allerdings werden hier zusätzlich Bausteine untersucht, die eine kurze oder mittlere Dauer haben. Daraus folgt, dass mehr Bausteine der „Liste sortiert“ in Frage kommen können. Diese werden wiederum, absteigend nach ihrer Priorität, auf Ressourcen- und Arbeitskräfteverfügbarkeit untersucht. Die Konsequenzen können eine weitere Überprüfung auf die Dauer und das Vorhandensein eines weiteren Prozesses sein oder aber die Parallelisierung des Bausteins A und des Nachfolgeprozesses. Genauso kann der Fall eintreten, dass kein geeigneter Baustein vorhanden ist und somit keine Parallelisierung durchgeführt werden kann.
Der dritte Pfad nach der Überprüfung der Prozessdauer des Bausteins A beginnt mit lang. Demnach können alle Bausteine unabhängig von ihrer Dauer auf Ressourcen- und Arbeitskräfteverfüg- barkeit hin überprüft werden, da keine Prozessdauer länger als lang sein kann und der Nachfolgebaustein maximal so lang ist wie der Baustein A. Somit steigt hier die Wahrscheinlichkeit noch einmal, dass eine Parallelisierung durchgeführt werden kann. Trotz allem besteht genauso die Möglichkeit, dass die Bausteine nicht zur gleichen Zeit bearbeitet werden können, was dann hauptsächlich auf fehlende Ressourcen und/oder Arbeitskräfte zurückzuführen ist.
Es existieren sehr viele Möglichkeiten, unterschiedlichste Kombinationen aus der Höhe der Priorität, der Prozessdauer des Bausteins A und des Nachfolgeprozesses sowie den Verfügbarkeiten von Ressourcen und Arbeitskräften. Diese Möglichkeiten stellen das Regelwerk dar mit dem die Fuzzylogik arbeitet.

4.3.2 Regelwerk

Das Regelwerk besteht aus „Wenn, Dann“ - Beziehungen in Verbindung mit beispielsweise „UND“ - Verknüpfungen. Ein Beispiel hierzu: „Wenn“ es regnet „und“ kalt ist, „dann“ ziehe ich einen Regenmantel an. Diese Arten der Beziehung stecken hinter den Kontrollflüssen des Aktivitätsdiagramms. Wobei „es regnet“ und „kalt“ die fuzzifizierten Eingangsgrößen darstellen. Verfolgt man nun die einzelnen Pfade entlang der Kontrollflüsse bis zu ihrer Konsequenz und somit der Entscheidung, entstehen Regeln, so zum Beispiel nach der Bestimmung des Bausteins A, ob die Überprüfung der möglichen Nachfolgeprozesse „erfüllt“ ist, und nach der Sortierung der Bausteine in Bezug auf ihre Priorität wird die Prozessdauer des Bausteins A bestimmt. Ist diese „kurz“, würde der erste Teil der Regel lauten: „Wenn“ die Abhängigkeit „erfüllt“ ist „und“ die Prozessdauer des Bausteins A „kurz“ ist. Verfolgt man diesen Pfad weiter über die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses mit kurz, die Verfügbarkeit der Ressourcen und Arbeitskräfte jeweils mit verfügbar, lautet die Regel komplett: „Wenn“ die Abhängigkeit „erfüllt“ ist „und“ die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses „kurz“ ist „und“ die Verfügbarkeit der Ressourcen „ja“ ist „und“ die Verfügbarkeit der Arbeitskräfte „ja“ ist, „dann“ ist die Konsequenz „Parallelisierung“. Daraus ist ersichtlich, dass die Kontrollflüsse die logische Verknüpfung darstellen und

die Auflösung des Entscheidungsbaums in ein Regelwerk sehr komplex ist. Auf Grund der zwei verschiedenen linguistischen Ausprägungen der Verfügbarkeit der Ressourcen und Arbeitskräfte, der vier verschiedenen Möglichkeiten in Bezug auf die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses und die drei verschiedenen Pfade, die nach der Prozessdauer des Bausteins A eingeschlagen werden können, existieren sechsundneunzig verschiedene Regeln. Die Priorität ist dabei durch die „Liste sortiert“ berücksichtigt. Das ausführliche Regelwerk befindet sich im Anhang.
Integriert in diese Arbeit sind nur die im Anhang farbig gekennzeichneten Regeln. Diese Kürzung hat mehrere Ursachen und grundsätzlich sind diese darauf zurückzuführen, dass die nicht enthaltenen Regeln keine Entscheidung bezüglich der Parallelisierung treffen.
Zu keiner wirklichen Entscheidung führen alle Regeln, welche schon zu Beginn des Entscheidungsbaums die Abhängigkeiten nicht erfüllen, somit kommt der Prozess nicht auf die Liste und alle weiteren Verknüpfungen werden hinfällig. Ähnlich ist es in Bezug auf die Verfügbarkeit der Ressourcen und Arbeitskräfte. Wenn für diesen Baustein nicht genügend Ressourcen oder Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, kann der Prozess nicht parallelisiert werden. Allerdings läuft die Überprüfung dann mit dem nächsten potenziellen Prozess weiter. Demnach ist an dieser Stelle des Abbruchs des Durchlaufs keine endgültige Entscheidung zur Parallelisierung möglich. Sobald eine dieser beiden Parameter verneint wird, beginnt die Suche von Neuem.
Alle weiteren Regeln, die nicht zu einer dieser Varianten zählen, wurden im Anhang farbig markiert und in das Regelwerk 4.3 übernommen.
Die Regeln, die auch in dieser Tabelle keine direkte Entscheidung nach sich ziehen, sondern zu weiteren Überprüfungen führen, sind darin enthalten, weil sie in der Baupraxis grundsätzlich möglich sind. In dem Entscheidungsbaum führen nur die Regeln zu einer Parallelisierung, bei denen die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses kürzer oder genauso lang wie die des Bausteins A ist. In der Baupraxis kann, nachdem der kürzere der beiden Prozesse abgeschlossen ist, eine weitere Entscheidung gefällt werden, welcher Prozess folgen kann oder muss. So startet eventuell schon der nächste Prozess, während der nebenläufig noch bearbeitet wird. Die Einarbeitung dieser Entscheidungsmöglichkeit würde den Entscheidungsbaum allerdings um ein Vielfaches vergrößern und somit die Anforderungen an das Erstellen des Regelwerks drastisch erhöhen und konnte somit in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. In dem ausführlichen Regelwerk im Anhang sind diese Regeln blau gekennzeichnet.
Keine Parallelisierung tritt auf, sobald alle Prozesse auf der „Liste sortiert“ untersucht wurden und keiner den Anforderungen genügt. Nach der Frage nach der Prozessdauer und dem Vorhandensein eines weiteren Prozesses führt der Kontrollfluss über „kein weiterer Prozess“ direkt zu der Konsequenz „Keine Parallelisierung“ und ist auch der einzige Pfad, der dieses Ergebnis hat, aber für alle drei Prozessdauern des Bausteins A möglich ist. Eine Parallelisierung ist immer dann möglich, wenn alle Anforderungen erfüllt werden. Das heißt, die Abhängigkeiten sind erfüllt, die Prozessdauer des Nachfolgeprozesses ist kürzer oder genauso lang wie die des Bausteins A und es sind genug Ressourcen und Arbeitskräfte vorhanden.
Das Regelwerk wurde auf einundzwanzig Regeln gekürzt. Relevant für die Defuzzifizierung sind allerdings nur die Regeln, die einen Erfüllungsgrad größer Null haben. Demnach bleiben von dem umfangreichen Entscheidungsbaum sechs Regeln übrig, die mittels eines mathematischen Bewertungsschemas, zu scharfen Ausgangsparametern transformiert werden.

Tabelle 4.3: Reduziertes Regelwerk

Abhängig-keiten	Prozessdauer Prozess A	Prozessdauer Nachfolgeprozess	Ressourcen-verfügbarkeit	Verfügbarkeit Arbeitskräfte	Konsequenz
erfüllt	kurz	kurz	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	kurz	mittel	ja	ja	weitere Überprüfung
erfüllt	kurz	lang	ja	ja	weitere Überprüfung
erfüllt	kurz	kein weiterer Prozess	ja	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	kurz	kein weiterer Prozess	ja	nein	keine Parallelisierung
erfüllt	kurz	kein weiterer Prozess	nein	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	kurz	kein weiterer Prozess	nein	nein	keine Parallelisierung
erfüllt	mittel	kurz	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	mittel	mittel	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	mittel	lang	ja	ja	weitere Überprüfung
erfüllt	mittel	kein weiterer Prozess	ja	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	mittel	kein weiterer Prozess	ja	nein	keine Parallelisierung
erfüllt	mittel	kein weiterer Prozess	nein	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	mittel	kein Prozess	nein	nein	keine Parallelisierung
erfüllt	lang	kurz	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	lang	mittel	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	lang	lang	ja	ja	Parallelisierung
erfüllt	lang	kein weiterer Prozess	ja	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	lang	kein weiterer Prozess	ja	nein	keine Parallelisierung
erfüllt	lang	kein weiterer Prozess	nein	ja	keine Parallelisierung
erfüllt	lang	kein Prozess	nein	nein	keine Parallelisierung

4.3.3 Beispiel

Innerhalb des Herstellungsprozesses von Brückenkappen wurden mehrere Stellen lokalisiert, an denen Entscheidungen bezüglich der Parallelisierung getroffen werden können. Als Beispiel wird der Baustein 01 Vorarbeiten gewählt und somit die erste Aktion des Entscheidungsbaumes ausgeführt, indem der Baustein 01 als Baustein A festgelegt wird. Die Überprüfung möglicher Nachfolgeprozesse ergibt eine Liste auf der Bewehrungskörbe vorflechten 05 und Kappenschalwagen vormontieren 02 notiert werden. Die nach der Priorität sortierte Liste enthält zuerst den Baustein 02, da seine Priorität mittel ist und an zweiter Stelle den Baustein 05 auf Grund seiner niedrigen Priorität. Im folgenden Schritt wird die Prozessdauer des Bausteins 01 überprüft. Vorarbeiten besitzen laut des Templates eine lange Dauer, was zum ganz rechten Pfad des Entscheidungsbaums führt. Da dies der erste Durchlauf ist, wird die Option „kein weiterer Prozess“ ausgeschlossen. Demnach muss die Prozessdauer des Bausteins mit der höchsten Priorität überprüft werden, da hier die „Liste sortiert“ wieder herangezogen wird. Da es sich aber bei der Dauer des Bausteins 01 um lang handelt, läuft der Kontrollfluss weiter zur Verfügbarkeit der Ressourcen. Des Weiteren gehen wir davon aus, dass Ressourcen wie die Schienen, die Hängeeinheit, der Ausleger, und auch der Teleskopstapler in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen. Der Baustein 01 bringt besondere Anforderungen mit sich. Der gesamte Bauprozess könnte allerdings nicht starten, wenn nicht alle Utensilien zur Durchführung der Prüfungen und der Beschichtung des Überbaus vorhanden sind. Demnach wird die Verfügbarkeit der Ressourcen mit ja beantwortet. Daraus ergibt sich die Frage nach der Verfügbarkeit der Arbeitskräfte. Der Baustein 02 benötigt ca sechs Arbeiter, darunter Stahlbetonbauer und Fahrer. Der Baustein 01 benötigt auch hier Spezialisten, auf Grund seiner hohen Priorität und seiner Bedeutung als Startprozess wird angenommen, dass Spezialisten, wie Vermesser und Abdichter ausreichend vor Ort sind, gleiches gilt für Straßenbauer und Stahlbetonbauer. Wird also die Verfügbarkeit der Arbeitskräfte auch mit ja beantwortet kann durch die „und“ - Verknüpfung der Parameter die Konsequenz aufgestellt werden: „Wenn“die Abhängigkeit „erfüllt“ ist „und“ die Prozessdauer des Bausteins 01 „lang“ ist „und“ die Prozessdauer des Bausteins 02 „mittel“ ist „und“ die Verfügbarkeit der Ressourcen „ja“ ist „und“ die Verfügbarkeit der Arbeitskräfte „ja“ ist, „dann“ ist das Ergebnis „Parallelisierung“.

Kapitel 5

Fazit

5.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Entscheidungsfindung im Herstellungsprozess von Brückenkappen untersucht. Es stellte sich heraus, dass die Fuzzy-Methode ein geeignetes Werkzeug sein könnte, die Teilprozesse auf die Möglichkeit ihr Parallelisierung hin zu untersuchen. Um diese Theorie zu testen, wurde auf den Grundlagen von Arbeiten der Professur Baubetrieb und Bauverfahren der Prozess näher analysiert und unterstützend durch eigene Recherchen ein UML-Diagramm erstellt, welches als Aktivitätsdiagramm ausgebildet wurde. Aufbauend auf diesem Ablauf und den gewonnenen Kenntnissen zur Herstellung einer Brückenkappe, konnten die einzelnen Prozesse zu Teilprozessen, sogenannten Bausteinen, zusammengefasst werden. Diese Bausteine sind entstanden, um die Simulation möglich zu machen, indem der Ablauf weniger komplex wird und nur die Prozesse zu beurteilen sind, die beeinflusst bzw. in ihrer Reihenfolge bis zu einem gewissen Grad variabel sind.
Eine erleichterte Interaktion mit den Bausteinen und deren Überführung in ein Simulationsprogramm wurde über Templates realisiert. So besitzt jeder Baustein eine einheitliche Struktur. Unter anderem beinhalten die Bausteine die jeweiligen Ressourcen und Parameter, sowie die Abhängigkeiten der Prozesse untereinander und die zugehörige Priorität.
Zur Entscheidungsfindung wurde die Fuzzylogik herangezogen und die Problemstellung der Parallelisierung zum Ziel gesetzt. Die Realisierung wurde über einen Entscheidungsbaum und das daraus resultierende Regelwerk erreicht. Somit ließen sich, ausgehend von einem festgelegten Prozess und durch die Fuzzifizierung der Eingangsparameter Priorität, Prozessdauer und Verfügbarkeit der Ressourcen und Arbeitskräfte verschieden Pfade identifizieren, allerdings nur in Verbindung mit den vorher analysierten Abhängigkeiten. Für jeden der Eingangsparameter wurden so Fuzzy-Sets erstellt. Über den Entscheidungsbaum, welcher mit den linguistischen Variablen versehen wurde, konnte über sogenannte „und“ - Verknüpfungen das Regelwerk aufgestellt werden, welches sich in ausführlicher Form im Anhang befindet. Das gekürzte Regelwerk in dieser Arbeit beinhaltet grundsätzlich nur die Regeln, die auch zu einer wirklichen Entscheidung führen. Daraus folgt, dass es möglich ist mittels der Fuzzy-Methode eine Entscheidung darüber zu fällen, ob zwei Prozesse zu parallelisieren sind oder nicht und somit der folgende Prozess mit Pufferzeiten arbeiten kann bzw. schon aufgetretene Verzögerungen wieder eingeholt werden können.

5.2 Kritische Betrachtung

Es ist von großem Vorteil zu wissen, welche Prozesse parallelisiert werden können, da die Zeiteinsparung der entscheidende Faktor auf Baustellen ist, die ständig unter Zeitdruck stehen. Bauzeitverkürzungen führen zu Kosteneinsparungen nicht nur für den Bauunternehmer durch schnelleren Umschlag des Betriebskapitals, sondern auch für den Bauherren über weniger Zwischenfinanzierungen und frühere Kapitalrückflüsse, wodurch die geforderte Steigerung der Wirtschaftlichkeit eher realisiert werden kann.
Die Fuzzylogik ist ein anschauliches und umfassendes Werkzeug, um Entscheidungen hinsichtlich der Parallelisierung zu treffen. Die tägliche Entscheidungen, die auf der Baustelle vielleicht auch unbewusst getroffen werden, können in harte Zahlen gebracht werden. Denn nur auf der Grundlage von harten Zahlen kann eine Simulation umgesetzt werden. Es ist mittels der Fuzzylogik auch Nichtspezialisten der Regelungstechnik möglich, einen Entscheidungsbaum und somit das Regelwerk zu erstellen. Allerdings muss festgehalten werden, dass die Fuzzylogik trotz der Anschaulichkeit sehr komplex und anspruchsvoll sein kann, umso mehr Parameter und linguistische Ausprägungen integriert werden sollen.
Auch würde der Entscheidungsbaum um ein Vielfaches wachsen, sollten alle Einflussgrößen berücksichtigt werden. Es konnten an dieser Stelle lediglich vier verschiedene Parameter mit einbezogen werden und zwei dieser Parameter wurden als binär angenommen. Durch die vielseitigen Verknüpfungsmöglichkeiten der Eingangsparameter mit ihren linguistischen Ausprägungen entstehen eine Vielzahl an Regeln, welche sich sehr schnell potenzieren. Allerdings können, nicht alle Regeln den Erfüllungsgrad 1 erreichen, wodurch hilfreiche Kürzungen vorgenommen werden können, die es aber auch erst einmal zu identifizieren gilt. Auch führt bei der Fuzzylogik kein Weg an den Versuchen zur Überprüfung der Richtigkeit der erarbeiteten Regeln vorbei.
Zwar ist die Entscheidungsfindung somit durchaus möglich, wurde in dieser Arbeit aber nur in einem kleinen Rahmen durchgeführt. Es mussten Einschränkungen getroffen werden, um die wichtigsten Teilprozesse analysieren und die Bausteine erstellen zu können. Die Modellbausteine bilden eine sehr wichtige Grundlage zur Durchführung der Fuzzy-Methode, da die Teilprozesse strukturiert werden und somit Daten schneller zur Verfügung stehen. Eine Anpassung der Bausteine sollte ergänzend immer zur Verfügung stehen.
Letztendlich muss immer auf die Umgebungsbedingungen geachtet werden. Der Einsatz eines effektiveren Krans beispielsweise könnte die Priorität des Bausteins ändern. Mehr Arbeiter, die zur Verfügung stehen, können die Bausteine zügiger abarbeiten, allerdings nur, wenn genug Raum vorhanden ist. Die Abhängigkeiten, nicht nur unter den Bausteinen, sondern auch innerhalb der Bausteine und zu Materialflüssen und Baustellenlogistik, sind unheimlich vielschichtig. Trotzdem dürfte es möglich sein, gerade bei einer geradlinigen Baustelle wie der der Brückenkappen einen grundlegenden Simulationsablauf zu erstellen, in welchen die wichtigsten Parameter einfließen. Trotz aller Simulationstools kann es nie das Ziel sein, hundertprozentige Vorhersagen zu treffen.

5.3 Ausblick

Grundlegend hat sich die Fuzzylogik als Entscheidungsverfahren für Bauprozesse bewährt. Zukünftig sollte versucht werden, die Methode auszuweiten und somit mehr Eingangsgrößen mit einzubeziehen. Die Struktur des Entscheidungsbaums könnte erweitert oder umgebaut werden um dies zu realisieren und der Komplexität eines Bauprozesses gerecht zu werden. Des Weiteren existieren weit anspruchsvollere Bauvorhaben als die Herstellung einer Brückenkappe. Diese sollten in ihrer Grundstruktur untersucht und hinsichtlich der Anwendung mittels Fuzzy analysiert werden.
Die Bausteinbibliothek kann ausgeweitet werden und würde somit die Einbeziehung weiterer Parameter unterstützen. Bausteine zum Materialfluss und der Baustellenlogistik sollten unbedingt mit einbezogen werden. Auch würde sich dadurch die Anwendung auf unterschiedliche Brückenbaustellen vereinfachen. Gerade hinsichtlich der Anwenderfreundlichkeit ist eine Vereinfachung nicht nur eine negative Beschränkung, sondern eher eine Möglichkeit die Simulation mit Hilfe einer Bausteinbibliothek und der Fuzzylogik Bauherren sowie Bauunternehmen näher zu bringen.

Literaturverzeichnis

[All10] Allen, David: *Getting things done: The art of stress-free productivity.* Summaries.Com, [Hamilton and N.Z.], 2010.

[ASI10] ASIM - Arbeitsgemeinschaft Simulation (Herausgeber): *Simulationsunterstützte Spezifikation und Analyse von Geschäftsmodellen und Geschäftsprozessen*, 2010.

[Bar08] Bargstädt, Dr.-Ing Joachim M.Sc Professur Baubetrieb und Bauverfahren (Herausgeber): *Grundlagen des Baubetriebswesens: Skriptum zur Vorlesung*, Band 18. Weimar, 2 Auflage, 2008.

[Bau07] Bauer, Hermann: *Baubetrieb: Mit 59 Tabellen.* Springer, Berlin, 3 Auflage, 2007.

[Bic06] Bickling, Dipl.-Ing Arno: *Spezifikation des Bau-Solls durch interaktive Modellierung auf virtuellen Baustellen.* Doktorarbeit, Bauhaus - Universität Weimar, Weimar, 2006.

[Bun03] Bundesanstalt für Strassenwesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten: ZTV-ING Teil 7: Brückenbeläge.* FGSV-Verl., Köln, 2003.

[Bun07] Bundesanstalt für Strassenwesen: *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten: ZTV - ING Teil 1: Allgemeines.* FGSV-Verl., Köln, 2007 Auflage, 2007.

[Dan01] Dandl, Jörg: *Objektorientierte Prozeßmodellierung mit der UML und EPK*, 22.03.2001.

[Der88] Der Rat der Europäischen Gemeinschaft: *EU-Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG: zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG)*, 1988.

[Der11] Der Rat der Europäischen Gemeinschaft: *Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz: Maschinenverordnung, 9. ProdSV*, 15.12.2011.

[Drö95] Drösser, Christoph: *Fuzzy logic: Methodische Einführung in krauses Denken*, Band 9619 der Reihe *Sachbuch.* Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, Orig.-Ausg., 11. - 14. Tsd Auflage, 1995.

[Eng11] Engelhardt, Stefan: *Entscheidungskriterien für die Wahl von Fassadensystemen.* Doktorarbeit, Bauhaus - Universität Weimar, Weimar, 06.12.2011.

[GK09] Grünig, Rudolf und Richard Kühn: *Entscheidungsverfahren für komplexe Probleme: Ein heuristischer Ansatz.* Springer-Verlag, s.l, 3 Auflage, 2009.

[Hof07] Hofstadler, Christian: *Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb.* Springer, Berlin, 1 Auflage, 2007.

[Jen07] Jensen, Sven: *Eine Methodik zur teilautomatisierten Generierung von Simulationsmodellen aus Produktionsdatensystemen am Beispiel einer Job-shop-Fertigung.* Doktorarbeit, Kassel, 2007.

[Kal09] Kalz, Michael: *Bauüberwachung im Brückenbau: Erfassung des Bauprozesses von Brückenkappen.* Doktorarbeit, Bauhaus - Universität Weimar, Weimar, 27.07.2009.

[Kec11] Kecher, Christoph: *UML 2: Das umfassende Handbuch.* Galileo computing. Galileo Press, Bonn, 4 Auflage, 2011.

[KG95] Košturiak, Ján und Milan Gregor: *Simulation von Produktionssystemen.* Springer, Wien, 1995.

[Lau07] Laux, Helmut: *Entscheidungstheorie: Mit 12 Tabellen.* Springer, Berlin and Heidelberg, 7 Auflage, 2007.

[Lyh08] Lyhs, Peter: *Der Stein des Anstoßes - Brückenkappen an der A 20*, 12.11.2008.

[Rau08] Rauch, Kristin: *Simulation: Termincontrolling beim Bau einer Brückenkappe.* Doktorarbeit, Bauhaus - Universität Weimar, Weimar, 18.09.2008.

[SAB11] Smolarski, Dipl.-Inf René, Dipl.-Ing Karin Ailland und Professor Dr.-Ing M.Sc Joachim Bargstädt: *BaSimBa -A Model Kit for Process Simulation in Construction*, 2011.

[Wei09] Weissberg, Claudia: *Brückenbau: Erfassung, Bewertung und Simulation des Bauprozesses von Brückenkappen am Beispiel der Hörsetalbrücke.* Doktorarbeit, Bauhaus - Universität Weimar, Weimar, 02.11.2009.

Abbildungsverzeichnis

2.1 Überblick Entscheidungsverfahren 18

3.1 Aktivitätsdiagramm der Bausteine 23

4.1 Fuzzy-Sets 48
4.2 Rückschlüsse 49

Tabellenverzeichnis

2.1 Notationselemente des Aktivitätsdiagramms 10

4.1 Wertzuweisung 47
4.2 Entscheidungsstellen 51
4.3 Reduziertes Regelwerk 54

Anlagenverzeichnis

1. Diagramme in ausgedruckter Form

- Diagramm Prozessablauf
- Diagramm Entscheidungsbaum
- Tabelle Regelwerk

2. Digitaler Anhang

- Exemplar der Arbeit
- Literaturquellenverzeichnis Citavi
- Diagramme Prozessablauf, Entscheidungsbaum
- Tabelle Regelwerk

Selbstständigkeitserklärung

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die Arbeit wurde weder in dieser oder einer ähnlichen Form noch in Auszügen bereits einer Prüfstelle vorgelegt.

Weimar, 31.3.2012

Thesen

1. Die Konstruktion der Brückenkappen erfordert einen hohen Grad an Erfahrung, unter anderem da sich die Umgebungsbedingungen der Baustellen unterscheiden und nicht immer nach dem ursprünglich festgelegten Plan vorgegangen werden kann oder Störfälle auftreten können.

2. Der Herstellungsprozess ist ähnlich einer Linienbaustelle, wodurch sich der Prozess als Experimentbasis eignet, denn gerade bei Linienbaustellen führt eine Parallelisierung von Teilprozessen zu einer Realisierung von Pufferzeiten.

3. Die Teilprozesse können zu Bausteinen zusammengefasst werden, welche durch Parameter, Ressourcen und Abhängigkeiten charakterisiert sind.

4. Die Unified Modeling Language beinhaltet das Aktivitätsdiagramm, durch das sich der Prozessablauf mit Hilfe der Aktionen, Entscheidungsknoten und Vereinigungen abbilden lässt und somit eine Simulationsgrundlage bildet.

5. Die Bausteinbibliothek unterstützt die Durchführung der Fuzzylogik durch strukturierte Bereitstellung der Eingangsgrößen.

6. Das Expertenwissen der Arbeiter ist von enormer Bedeutung für die Modellierung und Simulation. Diese verbalen Unschärfen können mittels der Fuzzylogik aufgenommen werden.

7. Fuzzy-Sets bilden die linguistischen Ausprägungen und teilweise Zugehörigkeit der Eingangsgrößen ab und dienen dazu, die Unsicherheiten in harte Zahlen zu überführen, die die Simulation ermöglichen.

8. Der Entscheidungsbaum beinhaltet die Eingangsgrößen mit ihren linguistischen Ausprägungen und bildet die verschiedenen Pfade ab, welche dann durch Fuzzy-Verknüpfungen zu Regeln ausformuliert werden können.

9. Konsequenzen der Regeln können unterschiedliche Erfüllungsgrade besitzen, wobei nur die von Interesse sind, die eine wirkliche Entscheidung hervorbringen und den Erfüllungsgrad 1 besitzen.

10. Die Untersuchung des Herstellungsprozesses von Brückenkappen auf die Möglichkeit der Parallelisierung einzelner Bausteine führt zu der Fähigkeit der Entscheidung.