

FORSCHUNGSBERICHT

W. A. Günthner · A. Ebner

Planung und Layout von Großbaustellen
unter Einsatz innovativer Virtual Reality
Technologien

Schlussbericht

der Forschungsstelle(n)

N 04213/11

Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluß und Logistik

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **17342 N**

***Planung und Layout von Großbaustellen unter Einsatz innovativer Virtual Reality
Technologien - LogPlan Bau***

(Bewilligungszeitraum: 01.01.2012 - 31.08.2013)

der AiF-Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL)

Garching, 16.12.2013

Ort, Datum

Andres Ebner

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Herausgegeben von:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Printed in Germany 2013

fml – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstr. 15

85748 Garching

Telefon: + 49.89.289.15921

Telefax: + 49.89.289.15922

www.fml.mw.tum.de

Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsprojektes LogPlan Bau war eine Vorgehensweise zur transparenten Planung von Einrichtungsgegenständen auf Großbaustellen zu entwickeln. Als Ergebnis soll ein funktionsfähiger Demonstrator entwickelt werden, welcher für alle Bauphasen eine innovative Möglichkeit schafft, Baustellen planbasiert einzurichten und die Dynamik von Baustellen räumlich und zeitlich abzubilden.

Der entwickelte Demonstrator ermöglicht das digitale Planen von Elementen auf einem Baustellenlayout mit Baustellengelände und Bauwerk. Der Planer wird dabei durch eine Vorgehensweise unterstützt, mit dessen Hilfe er eine bessere Planungsgüte erreichen soll. Dies wird durch die Vermeidung von Planungsfehlern und durch das Einblenden von wichtigen objektbezogenen Planungshinweisen und zu beachtende Gesetzen erreicht.

In diesem Projekt wurden zunächst alle Baustelleneinrichtungselemente identifiziert und klassifiziert. Anschließend wurde durch Experteninterviews bestimmt, welche Schwachstellen und Probleme derzeitige Methoden und Vorgehen haben, um Verbesserungspotenziale zu kennen. Daraus wurden Planungsalgorithmen abgeleitet, welche in das Funktionsmuster eingearbeitet wurden.

Bei der Realisierung des Funktionsmusters wurde bei der Zusammensetzung des Planungstisches mit dem VR-System auf eine kostengünstige und modulare Gestaltung geachtet. Dazu wurden ein zweistufiges Planungssystem entwickelt, mit dem die Grob- und Feinplanung durchgeführt werden kann, und eine Vorgehensweise, welche den Planer bei der Ausführung der Layouterstellung unterstützt. Das Planungssystem, sowie die Vorgehensweise ist in einem Demonstrator integriert. Der Anwender besitzt die Möglichkeit Baustellenobjekte auf das Layout zu positionieren und virtuell durch die Baustelle zu navigieren. Am Demonstrator kann das Planungsergebnis in den verschiedenen Bauphasen betrachtet und Informationen, Planungsfehler oder Hinweise während einer Diskussion leicht eingezeichnet werden.

Das 3D-Planungswerkzeug erleichtert die gemeinsame Durchführung einer Planung und bietet eine ideale Diskussions- und Visualisierungsplattform.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wissenschaftlich-technische Problemstellung	1
1.2	Forschungsziel	4
1.2.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	5
1.2.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	7
1.2.3	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	8
2	Stand von Wissenschaft und Technik	13
2.1	Baulogistik	13
2.2	Materialflussplanung im Bauwesen – Baustelleneinrichtung	14
2.3	Digitale Fabrik	15
2.4	Virtual Reality in Industrie und Forschung	16
2.5	Planungstische	17
3	Anforderungen	19
3.1	Anforderungen an die Planungsmethodik	19
3.1.1	Schwachstellenanalyse	19
3.1.2	Anforderungsliste mit Verbesserungsmodulen	21
3.2	Anforderungen an die Hardware	22
3.3	Anforderungen an die Software	23
4	Entwicklung einer Planungsmethodik	25
4.1	Planungsmodell	25
4.1.1	Abstrahierung der Teilmodelle	26
4.1.2	Klassifizierung von Einrichtungselementen	29
4.2	Planungsreihenfolge der Einrichtungselemente	30
4.3	Verknüpfung der Einrichtungselemente	31
4.4	Hilfestellung für die Positionierung	31
4.5	Planungsalgorithmen	32
4.6	Zusammenfassung der Planungsmethodik	33

5	Recherche geeigneter Systemkomponenten	35
5.1	Virtual Reality - System	35
5.1.1	Anforderungen an die VR-Basissoftware	36
5.1.2	Anforderungen an die Interaktion mit dem VR-System	37
5.1.3	Auswahl an Visualisierungs-Geräten	38
5.1.4	Bewertung von Visualisierungs-Geräten	42
5.1.5	Auswahl an Interaktionsgeräten für das VR-System	44
5.1.6	Bewertung von Interaktionsgeräten für das VR-System	48
5.2	Planungstisch	50
5.2.1	Anforderungen an die Interaktion mit dem Planungstisch	50
5.2.2	Auswahl an Planungstischen	51
5.2.3	Bewertung von Planungstischen	53
5.3	Planungssoftware	57
5.3.1	Anforderungen an die Planungssoftware	57
6	Realisierung des Demonstrators	61
6.1	Komponenten des Systems	61
6.1.1	Übersicht der Systemkomponenten	62
6.1.2	Planungstisch	63
6.1.3	Workstation	65
6.1.4	VR-System	66
6.1.5	Software	66
6.1.6	Gesamtsystem: Demonstratoraufbau und Kosten	67
6.2	Funktionen des Demonstrators	68
6.2.1	Interaktionskonzept	68
6.2.2	1. Planungsstufe: Kooperatives Planen	70
6.2.3	2. Planungsstufe: Planen & Besprechung	78
6.3	Objektbibliothek	87
6.3.1	Konstruktion der Objekte	88
7	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick	91
7.1	Zusammenfassung	91
7.2	Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten	92
	Literaturverzeichnis	95

Abbildungsverzeichnis	98
Tabellenverzeichnis	101
Anhang A Datenbankstruktur der Baustellenobjekte	A-1
Anhang B Verknüpfung der Einrichtungselemente	B-1
Anhang C Hilfestellung für die Positionierung	C-1
Anhang D Bewertung von Visualisierungs-Geräten	D-1
Anhang E Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System	E-1
Anhang F Bewertung der Planungstisch-Ausgabe	F-1
Anhang G Bewertung der Objektdarstellung am Planungstisch	G-1
Anhang H Bewertung der Interaktions-möglichkeiten am Planungstisch	H-1

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlich-technische Problemstellung

Das Bauwesen unterliegt heute enormen Anforderungen in Bezug auf Kosten und Fertigstellungszeiten. Deutlich komplexere Bauvorhaben und ein starker, internationaler Wettbewerb erzeugen in der Branche einen nachhaltigen Kostendruck. Diesen Anforderungen kann die deutsche Bauindustrie nur durch eine erhöhte Prozessqualität hinsichtlich Termintreue und Kostensicherheit gerecht werden.

Zur Steigerung der Effizienz von Planung und Bauabwicklung sollen digitale Methoden aus der stationären Industrie auf das Bauwesen übertragen, angepasst und erweitert werden. Die in der stationären Industrie angewandten Methoden der Digitalen Fabrik [Küh-2006] sollen hier als Vorbild dienen, um den komplexen Rahmenbedingungen heutiger Bauprojekte zukünftig Herr zu werden. Letztere bestehen im Wesentlichen in

- der Fertigung und Erstellung von Unikaten,
- der Abhängigkeit von Witterungseinflüssen,
- der starken Fragmentierung der Branche bei der Bauausführung,
- der ausgeprägten Segmentierung entlang der Prozesskette sowie
- der zurückhaltenden Verwendung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien [Gün-2011].

Der Einsatz innovativer, digitaler Technologien unterstützt die Planung logistischer Abläufe. Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen gilt es das Layout anhand materialflusstechnischer Gesichtspunkte festzulegen und infolgedessen Bauprojekte in Zukunft effektiver und kostengünstiger abzuwickeln.

In der Regel unterliegt jede Baustelle anderen Bedingungen, die Fertigungsabläufe variieren und die örtlichen Gegebenheiten unterscheiden sich von Projekt zu Projekt. Es wird von einer Unikatfertigung gesprochen. Dies bedarf einer eingehenden, detaillierten Planung. In der Realität hingegen wird die Logistik- und im Speziellen die Materialflussplanung häufig unzureichend und nahe am Baubeginn determiniert

[Bau-2007]. Aufgrund der Kurzfristigkeit und mangelnder Methodik neigt diese 2D-planbasierte Vorgehensweise zu Intransparenz und Fehlern im späteren Ablauf. Eine digitale Überprüfung bzw. Verifikation der Planungsleistung unter Berücksichtigung der baustellenspezifischen Randbedingung findet nicht statt. Digitale Methoden auf Basis intelligenter, dreidimensionaler Objekte können den Planungsverantwortlichen unterstützen und die Planungsleistung erhöhen. Zudem gilt es die verschiedenen Bauphasen und deren dynamische Rahmenbedingungen abzubilden und entsprechend geeignete Maßnahmen für die Versorgungs- und Materialflussplanung abzuleiten.

Im Vergleich zur stationären Industrie ist das Baugewerbe sehr stark fragmentiert, eine deutliche Mehrheit der Unternehmen sind der Gruppe der KMU und hier vor allem den Kleinunternehmen zuzuordnen [Bau-2007]. Infolgedessen werden gerade auf Großbaustellen sämtliche Gewerke von verschiedenen Firmen ausgeführt. Die fehlende Durchgängigkeit führt zu mangelnder Transparenz im Ablauf und im schlimmsten Fall zu verschiedenen Planungsständen. Ein zentrales Modell zur Versorgungs- und Materialflussplanung gewährleistet eine durchgängige Kommunikation aller Beteiligten – weg von einem papierbasierten Plan hin zu einem digitalen 3D-Modell.

Bislang werden digitale Methoden im Bauwesen nur sehr eingeschränkt verwendet, eine durchgängige Digitale Baustelle ist noch weit entfernt von der Praxis. Eine vorausschauende Planung der logistischen Prozesskette wird in den seltensten Fällen betrieben [Lan-2009]. Obwohl das Potenzial einer das gesamte Bauprojekt umfassenden Baulogistik bereits erkannt wurde, fehlt es an Methoden und Instrumenten, wie die Baulogistik nach dem heutigen Verständnis in den überbetrieblichen Auftragsabwicklungsprozess eines Bauprojekts integriert werden kann [Kra-2005]. Einzelne Werkzeuge erobern dennoch den Markt, da 2D-CAD oder der Modellbau den komplexen Anforderungen heutiger Baumaßnahmen und der notwendigen Flexibilität nicht mehr gerecht werden.

Durch Aggregation der Logistikplanung und eine zentralisierte Informationsbereitstellung der Beteiligten in einem digitalen 3D-Modell können verschiedene Szenarien verglichen und für jede Bauphase ein passendes Layout erstellt werden. Trotz beengter Platzverhältnisse im innerstädtischen Bereich können so die Projektkosten durch einen effizienten Materialfluss auf Basis eines gut geplanten Layouts nachhaltig gesenkt werden [Hof-2007]. Wechselseitige Abhängigkeiten und Beeinflussungen

der einzelnen Materialflusselemente werden nachvollziehbar und eine ganzheitliche Planung ermöglicht.

Abbildung 1-1 zeigt mögliche Kosteneinsparungen, die sich bei konsequent geplanter und umgesetzter Baulogistik ergeben.

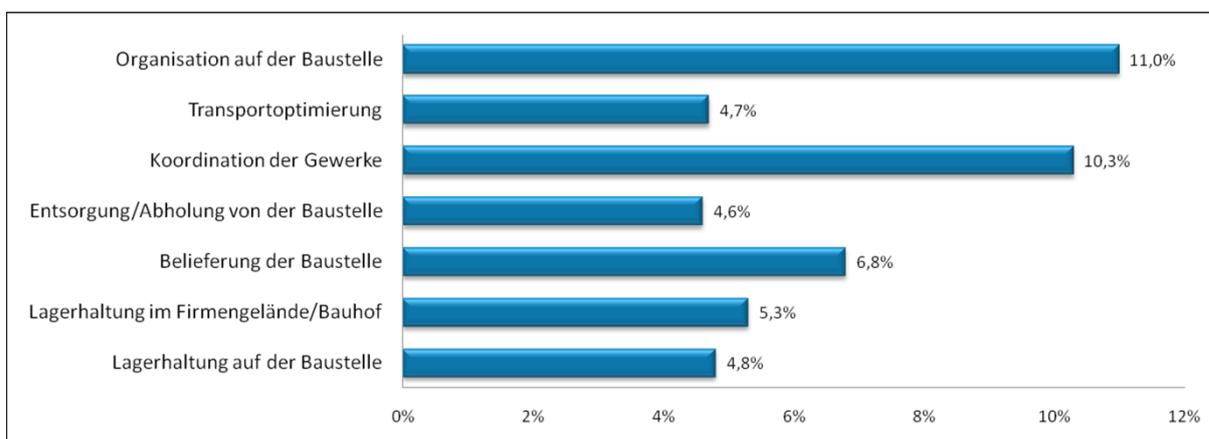


Abbildung 1-1 Potenzielle Kosteneinsparungen durch Baulogistik [Gün-2008]

Zentrale Zielstellung ist ein praxisgerechtes Planungsinstrument, das gestattet Layout und Einrichtung der Baustelle für die gesamte Projektlaufzeit festzulegen und nur im Bedarfsfall zu ändern. Eine zweckmäßige Vorgehensweise für unternehmensübergreifende Prozesse unterstützt die Arbeitsvorbereitung und ermöglicht ein unternehmensübergreifendes Planen während der Ausführung. Intelligente Entwurfsalgorithmen gewährleisten eine qualifizierte Logistikplanung, indem betriebsmittelspezifische Parameter bezüglich des aktuellen Planungsschritts ausgewertet und logistische Schwachstellen vorzeitig aufgedeckt werden. Die verschiedenen Bauphasen können übersichtlich abgebildet und einzelne Versorgungsprozesse auch während der Ausführung überprüft werden. So kann dem dynamischen Umfeld der Baustelle sowie den Prinzipien „Bauen heißt Transportieren“ und „Bauen heißt Kommunizieren“ [Dem-2008] Rechnung getragen werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine methodische Vorgehensweise zur Planung von Layout und Materialfluss innerstädtischer Baustellen entwickelt werden. Orientierung bieten Ansätze und Methoden (3D, Virtual Reality, etc.) der Digitalen Fabrik [Küh-2006].

Die Planung erfolgt mithilfe digitaler Modelle auf einem dynamischen 2D-Plan, welcher auf der zu entwickelnden Oberfläche des Planungstablets dargestellt wird. Das

mehrskalige Konzept ermöglicht eine Planung in verschiedenen Detaillierungsstufen, um sowohl die Grob- als auch Feinplanung abzudecken. In der virtuellen Umgebung wird parallel ein parametrisches, zeitabhängiges 3D-Modell aktualisiert und für alle Projektphasen ausgewertet. Durch eine Integration zeitlicher Faktoren und die Berücksichtigung von Änderungen aufgrund von vielfältigen Einflüssen kann die Dynamik der Baustelle abgebildet werden.

Für die sichere Versorgung der Baustelle gilt es, Virtual Reality-basierte Szenarien zu entwickeln, Betriebsmittel bzgl. spezifischer Kenngrößen zu identifizieren sowie zu klassifizieren und so den Planungsprozess der internen Baustellenlogistik zu unterstützen. Zudem sind computergestützte Entwurfsalgorithmen für die Logistikplanung zu implementieren, welche betriebsmittelspezifische Parameter bzgl. des aktuellen Planungsschritts auswerten und somit logistische Schwachstellen vorzeitig aufdecken.

Hinsichtlich der nutzbaren Technik für das Planungstaplet und das VR-System inklusive Software sollen zunächst die Anforderungen methodisch ermittelt, gewichtet und eine Bewertung der verfügbaren Technologien durchgeführt werden. Ergebnis dieser Analyse ist die Auswahl einer geeigneten Kombination aus Tablet und VR-Plattform für die Integration zu einem Gesamtsystem.

1.2 Forschungsziel

Ziel des Forschungsprojekts ist es, eine Vorgehensweise zur transparenten Planung von Einrichtungsgegenständen auf Großbaustellen zu entwickeln. Gegenstand der Betrachtung ist vor allem die kollisionsfreie und schlanke Logistik zur Versorgung von Baustellen. Funktionseinheiten wie Lagerflächen oder Verkehrswege, Großgeräte und deren Arbeitsräume sowie statische Elemente (Container) sollen kostengünstig planbar werden. Als Teilziele von LogPlan Bau lassen sich ableiten:

- Entwicklung von Planungsalgorithmen zur Unterstützung des Planers während der Auslegung und Konzeption der jeweiligen Bauabschnitte.
- Erstellung eines durchgängigen 4D-Modells des Planungsgegenstands über alle Bauphasen hinweg.
- Einsatz eines intuitiv zu bedienenden Planungstaplets kombiniert mit der räumlichen Darstellung eines VR-Systems.

Das Ergebnis sieht einen funktionsfähigen Demonstrator vor, welcher für alle Bauphasen eine innovative Möglichkeit schafft, Baustellen planbasiert einzurichten und die Dynamik von Baustellen räumlich und zeitlich abbildet.

1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Neben der Entwicklung und dem Aufbau eines Funktionsmusters steht der Entwurf einer durchgängigen Planungsmethodik im Vordergrund. Hierfür soll eine zentrale Vorgehensweise entwickelt werden, welche Materialflussprozesse auf der Baustelle sowie logistische Abläufe zur Ver- und Entsorgung unternehmensübergreifend vorwegnimmt (vgl. Abbildung 1-2). Computergestützte Planungsalgorithmen gewährleisten zusätzlich eine sinnvolle Planung der einzelnen Betriebsmittel.

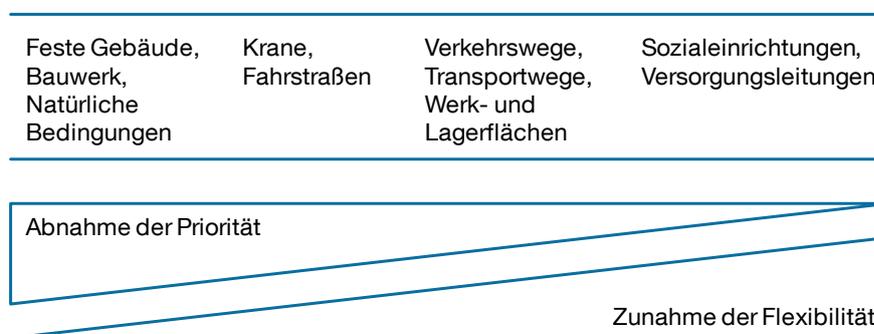


Abbildung 1-2: Priorität und Flexibilität als mögliche Einflussgrößen der Planungsmethodik

Vorgehensweise und Entwurfsalgorithmen dienen den Planungsverantwortlichen als Hilfestellung, indem eine Reihenfolge für die Gestaltung der Materialflussprozesse vorgeschlagen wird und mögliche Fehler in der Planung aufgefangen werden.

Die einzelnen Elemente werden zu groben Klassen aggregiert und sind als parametrische Objekte zu modellieren, die in einer gemeinsamen Bibliothek zusammengefasst werden. Die Parameter (z.B. Höhe, Ausladung) der allgemeinen Klasse (im Beispiel: Kran) werden erst bei Verwendung festgelegt und durch die Planungsalgorithmen auf Validität geprüft.

Das Funktionsmuster für die Planung und das Layout von Großbaustellen besteht grundsätzlich aus einem Planungstablet und einem VR-System. Abbildung 1-3 veranschaulicht den vorgesehenen Aufbau.

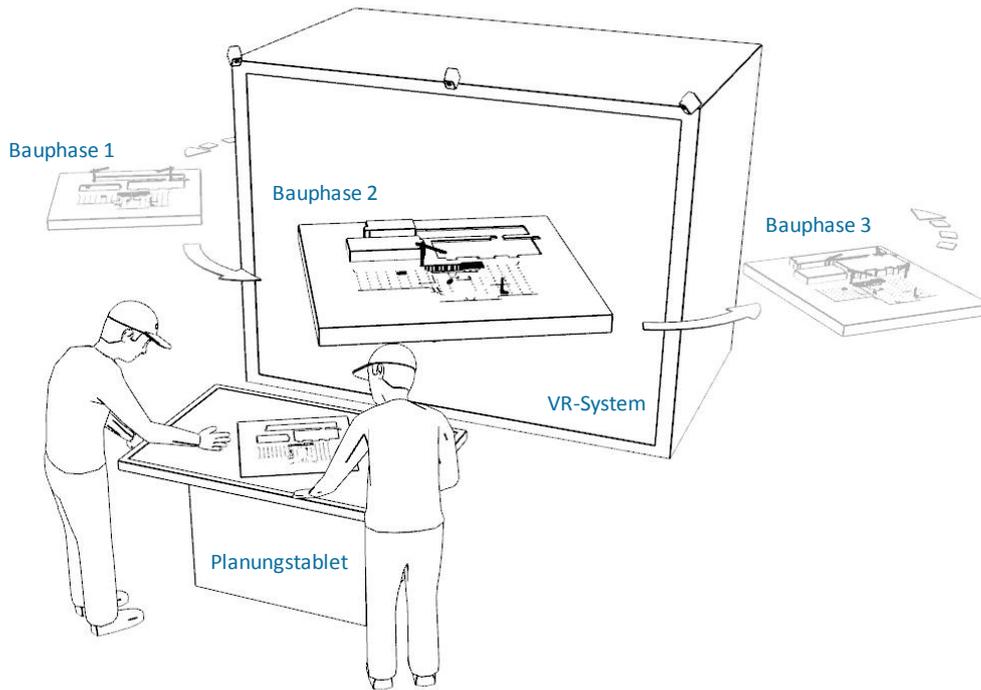


Abbildung 1-3: Planungstisch Vision

Die Baustelleneinrichtung erfolgt auf einem dynamischen 2D-Plan, welcher auf der zu entwickelnden Oberfläche des Planungstablets dargestellt wird. Der Natur der Baustelle entsprechend ist das Layout über die Zeit veränderlich, so dass die verschiedenen Bauphasen mithilfe digitaler Modelle beplant werden können. Das Einblenden von betriebsmittelspezifischen Parametern sowie deren Abhängigkeitsketten auf dem Planungstablet schafft die Voraussetzung für einen sicheren und effizienten Baustellenbetrieb. Das VR-System zeigt eine stereoskopische Ansicht des aktuellen Planungsstands, so dass das Gesamtmodell für alle Projektphasen ausgewertet werden kann. So können die verschiedenen Bauphasen übersichtlich abgebildet und einzelne Versorgungsprozesse auch während der Ausführung überprüft werden. Fehler in der Planung und Versorgung können identifiziert und räumlich-geometrische Kollisionen vermieden werden.

Ergebnis des Vorhabens ist ein zentrales Tool zur gemeinsamen Planung der logistischen Tätigkeiten und deren Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten. Dazu gehören folgende Teilergebnisse:

- Aus Recherche und Expertengesprächen entsteht eine geordnete Übersicht verschiedener Klassen von Einrichtungselementen.

- Durch die Übertragung in den Modellraum ergeben sich objektorientierte Bausteine für die Einrichtungsplanung sowie deren zeitabhängige Parameter.
- Für eine systematische Evaluierung dieser Bausteine werden verschiedene Einsatzszenarien entwickelt.
- Zur Auswahl geeigneter Technologien für das Planungstaplet und VR-System ist ein Anforderungskatalog zu erstellen. Verfügbare Technologien sind auf ihre Eignung zu prüfen.
- Die Verantwortlichen werden durch implementierte Planungsalgorithmen unterstützt, welche die Planungsleistung hinsichtlich logistischer und geometrischer Erfordernisse prüfen.
- Es wird eine durchgängige Vorgehensweise zur Planung des Layouts sowie des Materialflusses von Großbaustellen entwickelt. Ein mehrskaliges Modell ermöglicht sowohl die Grob- als auch Feinplanung.
- Die Einrichtungselemente werden zu einer Bausteinbibliothek zusammengefügt und jeweils ein parametrisches, betriebsmittelspezifisches 3D-Modell hinterlegt.
- Es entsteht ein virtuelles, räumliches Modell, welches statische und zeitlich dynamische Anteile vereint. Letztere ermöglichen die Abbildung und Beplanung verschiedener Bauphasen.
- Zu Demonstrationszwecken sowie für die Validierung und Verbesserung des Planungssystems wird ein Funktionsmuster in verschiedenen Ausbaustufen in Betrieb genommen.

1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Anhand der Forschungsergebnisse wird eine neuartige Methodik zur Planung unternehmensübergreifender Logistikprozesse für die Baustelle definiert und zur Verfügung gestellt. Diese basiert auf einer durchgängigen, innovativen Planungsmethode, deren Prozesse auch kleine Unternehmen im Hinblick auf eine Reduktion der Komplexität durchführen können. Die logistische Versorgung der Bauarbeiten wird hierfür an einem gemeinsamen Modell unter Berücksichtigung wechselseitiger Einflüsse geplant.

Die im Forschungsvorhaben zu erarbeitenden Planungsalgorithmen – sowohl für den ganzheitlichen Planungsprozess als auch für die spezifischen (Materialfluss-)Objekte – sind systemunabhängig. Infolgedessen ist es möglich die neu entwickelten Algorithmen auch auf andere, potenziell interessante Systeme zu übertragen. Die Anforderungen an ein solches Planungswerkzeug werden systematisch erarbeitet und verfügbare Lösungen auf Erfüllung dieser Erfordernisse untersucht. So ist es auch in Zukunft möglich, neue Systeme hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit für das Bauwesen zu untersuchen.

Das Forschungsvorhaben realisiert erstmals die Nutzung innovativer VR-Technologien in Kombination mit Methoden aus der Digitalen Fabrik zur Versorgungsplanung von Baustellen. Durch die Entwicklung bzw. Implementierung einer innovativen Mensch-Maschine-Schnittstelle soll der Anwender zur jeweiligen Planungstätigkeit bestmöglich informatorisch unterstützt werden – ohne diesen hinsichtlich seiner technischen Kenntnisse zu überfordern. Verschiedene Szenarien können realitätsnah analysiert und logistische Kennzahlen wie bspw. Flächennutzung erhoben werden. Neben der Machbarkeit eines solchen Systems sollen vor allem die hohen Potenziale nachgewiesen werden.

Anwender erzielen Vorteile in der Kommunikation über unterschiedlichste Hierarchieebenen und im Besonderen über Unternehmensgrenzen hinaus. Das gemeinsame Arbeiten in einer virtuellen Umgebung, das eine intuitive Systembedienung ermöglicht und notwendige Informationen visualisiert, sensibilisiert Personen unterschiedlicher Disziplinen für die Aufgaben der anderen bzw. fördert das Problemverständnis und schafft Transparenz.

1.2.3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die Forschungsziele wurden anhand von 9 aufeinander folgenden Arbeitspaketen (AP) in 20 Mannmonate (MM) erarbeitet:

AP 1: Identifikation und Klassifizierung von Einrichtungselementen (1 MM)

Im ersten Arbeitspaket werden bestehende Praxislösungen zur Layout- und Materialflussplanung von Großbaustellen analysiert und Experten aus dem Kreis der Industriepartner interviewt. Zudem werden weitreichende Recherchen im Bereich der Forschung durchgeführt. Ziel dabei ist eine umfassende Informationsbasis über eine praxisgerechte Planung von Versorgungsprozessen und die entsprechenden Ablä-

fe im Planungsprozess – im Fokus der Untersuchungen stehen sowohl die bisherigen als auch zukünftige Abläufe in der Einrichtungsplanung.

Ergebnis ist eine geordnete Übersicht verschiedener Klassen von Einrichtungselementen, welche die Grundlage für die folgenden Arbeitspakete darstellen. Aufgrund der zeitlichen Dynamik der Elemente, gilt es diese über die Zeit flexibel und veränderlich aufzubauen.

AP 2: Ermittlung betriebsmittelspezifischer und zeitabhängiger Parameter (3 MM)

Das Umfeld einer Baustelle ist äußerst volatil, logistische Elemente wie bspw. Pufferzonen, Lagerplätze oder Krane ändern über die verschiedenen Phasen eines Bauwerks häufig Standort und Gestalt. Aus diesem Grund ist es erforderlich, die einzelnen Objekte mit Attributen zu versehen, die in definierten Maßen über die Zeit veränderlich sind.

Für die Abbildung der Elemente wurde ein featureorientierter Ansatz gewählt. Die Architektur ermöglicht die Abbildung der Realität in rechnerverständlicher Form. Die Objekte sind modular und mit offenen Schnittstellen gestaltet, so dass beliebige Erweiterungen möglich sind.

AP 3: Evaluierung geeigneter 2D/CAD und 3D/VR-Technologien für den Planungstabelle (2 MM)

Das zu entwickelnde Funktionsmuster vereint sowohl 2D- als auch 3D-Technologien zu einem neuartigen Werkzeug der Baustellenplanung. Bevor eine Auswahl geeigneter Bestandteile (Hard-/ bzw. Software) stattfinden kann, müssen die generellen Anforderungen an das Planungssystem herausgearbeitet werden. Mithilfe einer Umfrage und Interviews unter (potenziellen) Anwendern, Systemintegratoren und Herstellern wird zunächst eine Anforderungsliste für das Planungsinstrument erstellt.

Das Ergebnis dieses Arbeitspakets ist eine Übersicht über die Anforderungen an Hard- und Software sowie ein quantitativer Bewertungskatalog potenzieller Lösungen. Diese bilden die Basis für die Auswahl geeigneter Technologien im Forschungsvorhaben.

AP 4: Entwicklung 2D/CAD- und 3D/VR-Planungsalgorithmen (3 MM)

Der objektorientierte Aufbau der Komponenten für die Versorgungsplanung (vgl. AP 2) ermöglicht die Implementierung von klassenspezifischen Methoden für die einzelnen Elemente. Durch die automatisierte Interaktion mit den Attributen anderer Objekte im Planungsumfeld können Anforderungen einzelner Bestandteile schon während des Planungsvorgangs überprüft werden. Ziel des Arbeitspaketes ist die Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise, welche die Elemente nach spezifischen Kennzahlen priorisiert und eine Reihenfolge erarbeitet, in der die Einrichtung der Baustelle erfolgen soll.

AP 5: Erstellung und Integration der Bausteinbibliothek für die Planung (3 MM)

Basierend auf den in AP1 ermittelten Einrichtungselementen werden äquivalente Bausteine – im weiteren Sinn die später verwendeten 2D-/3D-Modelle – für das Planungssystem erzeugt. Bevor mit der Generierung der ersten Modelle begonnen wird, gilt es zunächst relevante Aspekte hinsichtlich der visuellen Repräsentation zu klären. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf dem Detaillierungsgrad der 2D-/3D-Modelle. Grundsätzlich sollen die jeweiligen Bausteine in der Planungsumgebung jederzeit eindeutig identifiziert werden können, jedoch nicht die erforderliche Echtzeitfähigkeit des Gesamtsystems gefährden.

Mit den generierten Bausteinen wird schrittweise eine erweiterbare Modellbibliothek aufgebaut. Im einfachen Zugriff über das Planungstablet ist somit eine schnelle und einfache Modellerstellung für den Benutzer sichergestellt. Die Anbindung an das Planungssystem wurde modular und offen gestaltet. Dies erlaubt es, jederzeit die Standard-Bibliothek durch weitere Bausteine zu ergänzen.

AP 6: Implementierung des dynamischen 3D-Modells (2 MM)

Die im Rahmen dieses Arbeitspaketes durchzuführenden Tätigkeiten betreffen die Erstellung des dynamischen 3D-Modells. Als Basis dient ein statisches Modell – vorwiegend der Baustellenumgebung inkl. der als konstant anzusehenden Bestandteile (z.B. Bäume, Strommasten) – welches in Abhängigkeit vom Baufortschritt bzw. der aktuellen Bauphase durch den Planer um die in AP 5 definierten Bausteine erweitert wird.

Das dynamische Modell unterliegt während des Planungsprozesses einer fortlaufenden Modifikation. Um dem klassischen iterativen Vorgehen während der Planung

gerecht zu werden, müssen diese Veränderungen festgehalten werden. Darüber hinaus liegt der aktuelle Planungsstand somit als „Datei“ vor, wodurch auch – fernab vom Planungssystem – teamübergreifend jederzeit der aktuelle Status abgerufen werden kann.

AP 7: Aufbau des Planungstablets als Funktionsmuster (3 MM)

Entsprechend der erarbeiteten und dokumentierten Ergebnisse erfolgt die praktische Umsetzung anhand eines Funktionsmusters. Mittels geeigneter Interaktionstechniken werden bauphasenspezifische Veränderungen im Bauwesen abgebildet und die logistische Versorgung der Baustelle realitätsnah untersucht. Die zu entwickelnde Oberfläche des Planungstablets in Tischgröße soll die Baustelleneinrichtung mit Hilfe der digitalen Modelle (AP 5) auf einem dynamischen 2D-Plan ermöglichen. Durch die simultane Anzeige des Planungsmodells auf dem VR-System sollen verschiedene Zeitphasen und die Dynamik des Bauprojekts berücksichtigt werden und ein verbessertes räumliches Vorstellungsvermögen in allen Projektphasen den Planungsprozess schaffen.

AP 8: Validierung und Verbesserung des Demonstrators (2 MM)

Der Demonstrator wird in einer Versuchsreihe in der Laborumgebung des Lehrstuhls fml auf seine Funktionalität und das Zusammenspiel der vorangegangenen Arbeitspakete getestet. In Tests soll dabei die Grundfunktionalität des Tablets und der VR-Visualisierung untersucht werden. Hierbei sind Aspekte wie die Interaktion mit dem Planungstablet, die kontextbezogene Informationsbereitstellung, die Qualität der Visualisierung sowie die generelle Benutzerfreundlichkeit in sogenannten Usability Tests zu beurteilen.

AP 9: Dokumentation und Transfer der Ergebnisse (1 MM)

Im letzten Arbeitspaket wird, damit die Ergebnisse genutzt werden können, ein ausführlicher Forschungsbericht erstellt. Die Gliederung vom Bericht lehnt sich dabei an die Arbeitspakete an.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

2.1 Baulogistik

In der Bauindustrie wurde lange auf eine systematische und durchgängige Logistikplanung verzichtet, die Praxis hat vorwiegend der eigenen Erfahrung, Rationalität und Intuition vertraut. Aktuell setzt sich in Forschung und Praxis die Erkenntnis durch, dass die Potenziale einer durchgängigen logistischen Planung bzgl. Kosten und Versorgungssicherheit enorm sind – begründet auch in den Erfolgen anderer Branchen wie die der Automobilindustrie.

Die Entwicklung der Logistikplanung auf Baustellen größeren Ausmaßes vollzog sich in drei chronologischen Phasen. In der ersten Phase wurde konsequent für baustelleninterne Ordnung gesorgt, so fand bspw. eine Aufteilung der Großbaustelle Potsdamer Platz in zwei Logistikbereiche statt, die jeweils zentral beplant und unter Einbezug sämtlicher Akteure gesteuert wurden [Flä-2000a]. Im nächsten Schritt ist die Logistik auch abseits von Großbaustellen systematisch betrachtet und erste Konzepte mit punktgenauer Anlieferung eingeführt worden. Die dritte Phase ist vom Gedanken eines durchgängigen Supply Chain Managements geprägt, der sich auf komplexe Digitale Verfahren zur Prozessoptimierung stützt [Web-2007].

Die Baulogistik umfasst somit alle raum- und zeitbedingten Vorgänge logistischer Güter in Bezug auf Planung, Steuerung, Koordination, Durchführung und Kontrolle, welche direkten Einfluss auf die Realisierung eines oder mehrerer Bauvorhaben haben [Zim-2009]. Für die differenzierte Betrachtung der Baulogistik wird eine Unterscheidung in vier Teilbereiche vorgenommen. Die Baulogistik lässt sich grundsätzlich mit den in der stationären Industrie üblichen Phasen der Beschaffungslogistik, der Produktions- bzw. Baustellenlogistik und der Entsorgungslogistik beschreiben. Aufgrund der Tatsache, dass die Bauwerkserstellung vor Ort erfolgt, entfällt hier gewöhnlich die Phase der Distributionslogistik [Flä-2000b].

Diese Teilbereiche gilt es in einem horizontalen, durchgängigen Supply Management zu integrieren. Digitale Ansätze für eine gemeinsame Verwaltung von Daten zur Steuerung und Kontrolle von Materialflüssen wurden bereits gelegt [For-2010; Sch-

2003]. Diese unterstützen den Projektcharakter und die unternehmensübergreifenden Strukturen, um ein ganzheitliches Kostenoptimum zu erreichen.

Aufmerksamkeit hat Anfang 2010 eines der bedeutendsten Innenstadtprojekte Europas erregt. Die übergeordnete Logistikplanung des Projekts „PalaisQuartier“ in Frankfurt wurde zentral von dem Logistikdienstleister Bauserve geplant und abgewickelt. Insbesondere durch standardisierte Prozesse, einen durchgängigen Informationsfluss und eine zentrale Koordination konnten alleine in der Baustelleneinrichtung Kosten in Höhe von 1,5 Millionen Euro eingespart werden [Bau-2010b].

2.2 Materialflussplanung im Bauwesen – Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung – als Bindeglied zwischen Planung und Ausführung – stellt für die Baulogistik einen wichtigen Bereich innerhalb des Bauprozesses dar, da sie die organisatorisch- strukturellen Voraussetzungen für einen störungsfreien Materialfluss schafft [For-2009].

Diese beinhaltet unter anderem die Planung der Logistikprozesse und spielt bereits vor Baubeginn eine elementare Rolle für den Bauerfolg. So wird die räumliche Anordnung der einzelnen Bestandteile der Baustelle festgelegt. Eine zusätzliche Auswahl von Geräten, Maschinen, Material und deren geometrische Aufteilung und Zuordnung, wird als Planung der Baustelleneinrichtung verstanden. Dabei besteht die Hauptaufgabe darin, deren Elemente so zu dimensionieren, platzieren und koordinieren, dass ein optimaler Bauablauf gewährleistet ist [Sch-2008].

In der Praxis geschieht dies auf Basis von 2D-CAD-Systemen unter Zuhilfenahme diverser Prüflisten oder Kriterienkataloge. Diesen Programmen mangelt es bislang an vollständiger Objektorientiertheit und Parametrik. Infolgedessen werden Elemente nicht als Objekte identifiziert und lassen sich somit nicht zentral ändern. Zudem sind häufig keine objektspezifischen Eigenschaften wie Volumen, Masse oder Urheber zuzuordnen. Zweidimensionale Pläne können bauliche Restriktionen wie bspw. natürliche Bedingungen nicht exakt wiedergeben. Aus diesem Grund findet eine Feinplanung erst vor Ort statt. Diese Probleme versucht die Forschung schon seit einigen Jahren zu beheben.

Tommelein und Zouein entwickelten MovePlan, ein wissensbasiertes 2D-System zur Planung und Terminierung des Lagerflächen-Layouts auf der Baustelle. MovePlan ist

eine graphische und interaktive Entscheidungshilfe für die Baustellenplanung und ermöglicht dem Benutzer Ressourcen über die Zeit zu verteilen. Das Layout wird hierfür in eine Sequenz von Layouts unterteilt, wobei jedes ein diskretes Zeitintervall beliebiger Dauer repräsentiert und diese in Summe die gesamte Projektdauer ergeben [Tom-1993].

Ein weiterer Ansatz im Bereich der Baustelleneinrichtung ist es, Elemente mit Hilfe regelbasierter Algorithmen zu dimensionieren und in einem Layout zu platzieren. Auf Basis von „wenn, dann“-Zuordnungsgrundsätzen werden Einrichtungselemente in optimierter Weise angeordnet und den Rahmenbedingungen angepasst [Len-1999]. Erste Grundlagen für eine rechnergestützte Planung der Baustelle, deren Einrichtung sowie Interaktion von Elementen wurden bereits gelegt [Töp-2001]. Ein anderes Konzept zur Logistikflächenplanung definiert einen codierten Bereich als Baustellenfläche, welcher um Bauwerke, Baugelände, Geschosse und Teilflächen als Ebenen ergänzt wird. Teilflächen sind dabei frei wählbar und repräsentieren bspw. Räume oder Raumgruppen. Nach Erstellung des Flächenmodells werden die einzelnen Teilflächen als Ressourcen behandelt und für die notwendigen Fertigungsprozesse reserviert. Ebenso werden Logistikprozesse den Materialflussmitteln und Teilflächen zugewiesen [Kra-2005].

2.3 Digitale Fabrik

Die Digitale Fabrik als integrative Planungstechnik ist Teil der Produktentwicklung und Produktionsplanung im Umfeld der maschinellen Erzeugung. Sie dient der Planung und Steuerung von Fertigungsanlagen sowie der umfassenden Abbildung sämtlicher Produktionsprozesse und deren wechselseitiger Beeinflussung. Die Technologie hat sich von papierbasierten Verfahren über 2D-CAD und 3D-Techniken hin zu einem ganzheitlichen zentralen Informationsmodell entwickelt [Wie-2002]. Diese Planungswerkzeuge wurden in der sogenannten Digitalen Fabrik zusammengeführt.

Der VDI definiert die Digitale Fabrik als den „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Prozesse und Ressourcen der Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ [VDI4499].

2.4 Virtual Reality in Industrie und Forschung

Seit Beginn der neunziger Jahre stehen Schlagwörter wie Virtual Reality, Cyberspace, Virtual Environment, Virtuelle Realität und weitere ähnliche Begriffe für ein Teilgebiet der Computergrafik, das eine neuartige Mensch-Maschine-Kommunikation ermöglicht. Die Virtual Reality (VR) als Bestandteil der Digitalen Fabrik wird mit den drei Dimensionen des Raums und der Dimension der Zeit als eine 4D-Simulation der „realen Welt“ beschrieben [Ong-2004]. Der Begriff bezeichnet dabei eine den menschlichen Sinnen vorgetäuschte, künstlich erzeugte Umgebung, die es ermöglicht, dreidimensionale rechnerbasierte Modelle realitätsnah zu erleben, wobei wesentliche Charakteristiken die Interaktions- und die Echtzeitfähigkeit sind. Hierbei kann der Mensch mit Objekten der virtuellen, realitätsnahen Umgebung interagieren, wodurch im Idealfall ein Eindruck entsteht, der von der realen Welt nicht zu unterscheiden ist [Bor-1994].

Maßgebliche Bestandteile eines VR-Systems sind die Visualisierungseinheit, das Trackingsystem, die Interaktionsgeräte sowie die VR-Basissoftware [Fri-2008]. Neben den Head-Mounted-Displays kommen stereoskopische Projektionssysteme zum Einsatz, die sich zur Visualisierung dem passiven oder aktiven Stereoverfahren bedienen. Die Bauformen reichen von Einwand-Systemen bis hin zu Cave-Anlagen, die aus mehreren Projektionswänden bestehen. Zur Anpassung der Perspektive an den Betrachterstandpunkt ist eine Positionsverfolgungseinrichtung (auch Tracking) Bestandteil eines VR-Systems [Bur-1994]. Die im VR-Bereich am häufigsten eingesetzte Trackingtechnologie ist das optische Tracking. Von Kameras erzeugtes Infrarot-Licht wird von speziellen Markern reflektiert und dient zur Berechnung von Position und Orientierung des Objekts im Raum [Has-2003]. Neben der Hardware kommt der Software eine besondere Bedeutung zu. Sie ist der integrale Bestandteil, der alle Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammenfügt, anwendungsspezifische Funktionalitäten zur Verfügung stellt und echtzeitnahes Arbeiten ermöglicht. Die Steuerung und Interaktion mit der virtuellen Welt und den sich darin befindlichen Objekten erfolgt über spezielle Interaktionsgeräte, wie z. B. einem Datenhandschuh oder einem Fly-Stick [Spa-2009].

Die Forschung im VR-Bereich fokussiert sich aktuell neben neuen Anwendungsgebieten auf die Erarbeitung innovativer Interaktionskonzepte und -geräte. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wird ein neuartiges Bedienkonzept auf Basis einer 3D-Kamera entwickelt, das zur Steuerung mithilfe von Hand-Gesten dient [Fit-2011]. Ein

weiterer Ansatz geht über die Produktbetrachtung und Designplanung im Produktentstehungsprozess hinaus und bewertet zukünftige logistische Anlagen unter Zuhilfenahme der VR-Technologie [Dom-2008].

Generell betrachtet ist die Virtual Reality ein hilfreiches Instrument, um ein verbessertes Vorstellungsvermögen sowie eine gemeinsame Sichtweise hinsichtlich zukünftiger Vorhaben zu schaffen.

2.5 Planungstische

Der Stand der Technik im diesem Bereich ist sowohl in der Interaktion (Multi-Touch, Objekterkennung) als auch in der Darstellung (simultane Visualisierung, 3D) weit fortgeschritten. Die Einsatzbereiche dieser Instrumente sind vielfältig und reichen von der Anwendung als Planungswerkzeug bis zur Visualisierung verschiedener Inhalte.

Microsoft bietet mit dem Surface ein großes, mit Multi-Touch-Funktion ausgestattetes Display, welches in einen Tisch integriert ist. Die Einsatzbereiche sind vielfältig und reichen von der Anwendung als Planungswerkzeug bis zur Visualisierung von Bildern und Karten. Durch ein entsprechendes Toolkit ist es möglich, eigene Programme und Funktionen für den Planungstisch zu implementieren und so den eigenen Bedürfnissen anzupassen [Mic-2011]. Diese Eigenschaft machte sich das Hasso-Plattner-Institut zu Nutze und erstellte auf Grundlage des Surface das sogenannte Lumino-System. Dieses zeichnet sich durch die Funktionalität aus, auf dem Bildschirm platzierte Objekte zu erkennen, indem sie mithilfe von eindeutigen 2D-Markern identifiziert werden. Hervorzuheben ist, dass auch übereinander gestapelte Objekte erfasst werden können [Bau-2010a].

Ähnlich dem Surface ist ein am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme entwickeltes Multi-Touch-Panel. Das Anwendungsgebiet bezieht sich auf die Untersuchung seismischer Daten sowie der Analyse von Öl- und Gasvorkommen. Mehrere Personen können gleichzeitig mit dem System interagieren und gemeinsam ein Planungsergebnis erarbeiten [lai-2011].

Der am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) entwickelte Planungstisch ist für die teambasierte interaktive Produktionssystemplanung ausgelegt. Die multifunktionale Integrationsplattform i-plant besteht aus einem Pla-

nungstisch, auf den das 2D-Layout projiziert wird. Auf dem Tisch platzierte kleine Klötze, sogenannte Bricks, werden durch ein Kamerasystem erkannt und ihre Position bestimmt. Die Bricks repräsentieren keine virtuellen Objekte, sondern dienen lediglich der Interaktion, bspw. Markieren, Kopieren und Verschieben von Komponenten. Die Planungsänderungen werden in einem 3D-Modell veranschaulicht [Bac-2000].

3 Anforderungen

Um die Anforderungen an die Planungsmethodik, sowie an den Demonstrator zu kennen, wurden verschiedene Experteninterviews und Recherchen durchgeführt. Die Anforderungen lassen sich demnach in Anforderungen an die Planungsmethodik und in Anforderungen an die Software und Hardware aufteilen.

3.1 Anforderungen an die Planungsmethodik

Um die Anforderungen der Planungsmethodik zu kennen, wurde zu Beginn eine Schwachstellenanalyse erstellt. Durch die Analyse bestehender Systeme und den Planungsvorgehen verschiedener Bauunternehmen und Planungsbüros wurde eine Liste erstellt, aus der dann die Anforderungen an die Planungsmethodik abgeleitet werden konnten.

3.1.1 Schwachstellenanalyse

In der Praxis gibt es keine Methodik die eine Planungsreihenfolge für Baustelleneinrichtungselemente (BEE's) vorgibt. Die Planung der verschiedenen Einrichtungsgegenstände erfolgt nach Erfahrungswerten. Dieses Wissen liegt jedoch nicht in Form von einer Hilfestellen durch Checklisten oder ähnliches vor. Das führt dazu, dass die Elemente nicht optimal positioniert werden können, da die Flächen von Elemente besetzt werden. Wird dagegen eine feste Reihenfolge für die Planungsmethodik definiert und bei der Planung eingehalten, können Elemente besser positioniert werden und Umlagerungen vermieden werden. Umpositionierungen geschehen allerdings auch dann, wenn keine feste Zuordnungen von Lagergut zu Lagerflächen vorherrscht. Oft werden Teile die erst später verwendet werden, vor Teile gelagert, die davor verwendet werden müssen. Die Ursache dieses Problems kann jedoch auch daran liegen, dass ein Lieferant das hintere Teil, welches zu erst verbraucht wird, vor dem Teil liefert, das erst später verwendet wird. Wenn es kein anderen Platz auf der Baustelle gibt, müssen die Teile zwangsläufig dort gelagert werden. Dies kann jedoch nicht Teil einer Vorgehensweise sein, da es sich um die Einhaltung der Lieferzeiten handelt und hier nicht weiter berücksichtigt werden kann. Ein Vor-

schlag der Lieferzeiten in der Planung kann zwar stattfinden, die Lieferung ist jedoch von weiteren Faktoren (z.B. Verkehr) abhängig.

Um ein Element an eine geeignete Stelle zu positionieren gibt es keine bis sehr wenige Hilfsmittel um den Planer zu unterstützen. Auch hier plant er anhand seiner Erfahrung. Dieses Wissen liegt jedoch nicht in formeller Form dar. Neue Mitarbeiter benötigen somit eine Schulung, Mitarbeiter mit mehr Routine, können auf Ihre Erfahrung hoffen.

In der stationären Industrie werden die Funktionsbereiche (Anlagen, Montageflächen, Lager...) nicht in Abhängigkeit der Zeit geplant; es gibt keine verschiedene Planungen in Abhängigkeit der Zeit. Erst um neue Ziele zu erfüllen, erfolgt eine Neuplanung. Auf der Baustelle gibt es jedoch verschiedene Bauphasen. In Abhängigkeit dieser gibt es einen unterschiedlichen Bedarf an Geräten oder Lagerflächen. Vor der Bauausführung wird die Baustelle mit den verschiedenen Bauphasen geplant. Bei der Überlegung wo ein Element positioniert werden soll, geschieht dies oft nicht in Hinblick auf spätere Bauphasen.

Experteninterviews haben ergeben, dass in der Planung manchmal Elemente vergessen werden. Die bestehenden Checklisten schließen nicht alle relevanten Baustelleneinrichtungselemente ein. Durch die meist stark unterschiedlichen Bauvorhaben ergeben sich andere Planungsanforderungen: Geräte, sowie Platzbedarf für die Lagerung von Teile schwankt sehr stark. Nicht nur die benötigten Elemente, sondern auch die Planungsabläufe können schwanken.

Es gibt meist keine Materialflussanalysen auf der Baustelle. Bekannte Methoden und Vorgehensweisen, die in der Fabrikplanung eingesetzt werden, kommen nicht zum Einsatz. Der Materialfluss ist jedoch vor allem für die Baustelleneinrichtungsplanung, da es sich um die logistische Planung einer Baustelle handelt, von großer Bedeutung.

Derzeitige Praxis ist es Papiermodelle verschiedener Baumaschinen zu erstellen, um mit denen zu überprüfen, ob diese durch Tunnel oder Brücken passen. Auch Modelle aus Plastik unterstützen derzeit die Planer, um zum Beispiel Arbeitsbereiche zu überprüfen. So ist mit denen möglich, den Arbeitsbereich von Tiefbohrgeräte zu kontrollieren. Dabei wird das Modell auf ein Papierlayout gelegt und durch bewegliche Teile wird versucht alle notwendigen Punkte zu erreichen. Die Erstellung von solchen Modellen kann unter Umständen zeitintensiv sein, wenn alle möglichen Ma-

schinenvarianten abgebildet werden sollen, und die Handhabung, sowie Genauigkeit ist nicht ideal.

3.1.2 Anforderungsliste mit Verbesserungsmodule

Von den Schwachstellenanalyse werden nun Anforderungen gebildet, um den Planer bei der Durchführung seiner Arbeit zu unterstützen. Die einzelnen Verbesserungs-module gehen in die Vorgehensweise ein. Dabei ist es wichtig, dass der Planer zu jeder Zeit die Wahl hat, den Vorschlag anzunehmen oder ihn zu ignorieren. Ein verpflichtende Führung der Planung wird nicht gewünscht.

Aus der Schwachstellenanalyse ist bekannt, dass die Planung von BEE's laut einer Reihenfolge zu einem besseren Planungsergebnis führen kann. Die Vorgehensweise soll dem Benutzer einen Reihenfolge vorschlagen, trotzdem soll er frei wählen und entscheiden können, welches Element er als nächstes plant.

Verschiedene Hilfsmittel für die Positionierung von Elementen sind derzeit zum Teil nicht und zum Teil als Checklisten vorhanden. Die Vorgehensweise soll alle notwendigen Hilfsmittel in Form von Hinweisen oder grafischen Anzeigen integrieren.

Generiertes Planungswissen soll vorhanden bleiben und in die aktuelle Planung integriert werden. Die zu entwickelnde Methodik, soll den Planer Werkzeuge und/oder Hilfen bereitstellen, um ein Element an die geeignete Stelle zu positionieren. Dabei können Bodeninformationen (Tragfähigkeit), ein optimierter Materialfluss, die Erreichbarkeit aller notwendigen Punkte (z.B. bei einem Kran) mögliche Ziele sein.

Bei der Überlegung wo ein Element positioniert werden soll, geschieht dies oft nicht in Hinblick auf spätere Bauphasen. Die zu entwickelnde Methodik kann den Planer hier unterstützen, in dem diese am Ende der Planung verschiedener Bauphasen mögliche Konflikte aufzeigt. Während ein Planer wahrscheinlich nicht vergisst, was er in der vorherigen Bauphase geplant hat, ist es schwieriger sich die gesamte Planung über alle Bauphasen zu merken. Ein System mit einem geeigneten Algorithmus kann hier Abhilfe schaffen.

Bei der Planung können Elemente vergessen werden, die später auf der Baustelle benötigt werden. Das zukünftige System soll die Planer auf mögliche Elemente, die zwar benötigt werden, jedoch noch nicht auf dem Layout wiedergefunden werden, hinweisen.

Um ein besseres Planungsergebnis, nach logistischen Kriterien, zu erreichen, soll das System Materialflussanalysen oder logistische Kennzahlen bereitstellen, welche eine Bewertung des Ergebnisses zulassen. Methoden und Werkzeuge aus der stationären Industrie sollen mit den neuen Anforderungen der Baustelle in die Vorgehensweise einfließen.

Ein weiteres Verbesserungsmodul soll in der Überprüfung von Kollisionen und Arbeitsbereichen liegen. Dazu soll diese Kontrollfunktion in das zu entwickelnde System integriert werden und von der Vorgehensweise abgerufen werden können.

3.2 Anforderungen an die Hardware

Das Planungssystem soll hauptsächlich in Planungsbüros verwendet werden. Es ist denkbar, dass es durch einen oder mehrere Planer bei der Durchführung der gesamten Planung zum Einsatz kommt, jedoch auch als Diskussionsplattform in einem Besprechungszimmer. Das System soll jedoch auch in einem Baucontainer für Besprechungen einsetzbar sein. Daher muss das System robust sein. Staub, Schmutz oder Feuchtigkeit dürfen dem System nichts anhaben.

Das System soll zudem modular aufgebaut sein. Bei Ausfall einer Komponente, soll diese leicht ersetzbar sein und nicht lange auf die Reparatur des Gesamtsystem gewartet werden. Wenn beispielsweise der Monitor ausfällt, sollte dieser schnell ersetzbar sein. Daten müssen demnach ständig gesichert werden. Ein solches modulares System ist sehr wichtig, wenn das System für jede Planung verwendet wird. Muss auf die Reparatur gewartet werden, so steht auch die gesamte Planung.

Das System soll in der Lage sein 3D-Modelle anzuzeigen und diese an einem VR-Ausgabemedium darzustellen. Solche Systeme benötigen eine hohe Rechnerleistung. Sobald der Planer in 2D ein neues Modell an eine Stelle positioniert, soll dieses Modell auch im Virtual Reality System, in Echtzeit und ohne Verzögerung, dargestellt werden. Daher muss die Hardware ausreichend leistungsfähig sein, natürlich mit möglich günstigen Anschaffungs- sowie Betriebskosten.

Zusammenfassend lassen sich folgende Hardware-Anforderungen auflisten:

- Robustes System, auch für den Baucontainer geeignet
- Modulares System, leichtes Austauschen von Komponenten
- Keine Verlangsamung des Prozesses

- 3D-Visualisierung in Echtzeit
- Geringe Anschaffungskosten
- Geringe Betriebskosten

3.3 Anforderungen an die Software

Es gibt bereits einige Planungstisch-Konzepte für die stationäre Industrie. Aus diesen können auch weitere Anforderungen für einen Planungstisch für die Baubranche abgeleitet werden. In der stationären Industrie gibt es beispielsweise ein System von Siemens, in dem durch Rapid-Prototyping hergestellte Modelle in eine bestimmte Position auf ein Papier-Layout leicht mit der Hand verschoben werden können. Das Papier, sowie die Modelle haben 2D-Barcodes als Marker die von einem Lesegerät (im Siemensbeispiel genügt eine einfache Fotokamera) erfasst werden. Damit kann die Position der Modelle erfasst und für spätere Auswertungen genutzt werden. Dieses System ist zwar für jeden sehr leicht zu benutzen, weil gut verständliche Modelle verwendet werden können, es gibt jedoch auch Nachteile. Die Modelle müssen durch Rapid-Prototyping hergestellt werden. Dies erfordert viel Zeit und mehr Kosten als einfache Klötze als Modelle oder digitale Modelle. Zudem benötigen die Modelle mehr Platz als digitale. Durch die Modelle ist es zwar möglich ein gutes Gefühl der Höhe zu erkennen, jedoch nur diese der Modelle. Eine 3D-Betrachtung fällt weg. Es ist beispielsweise nicht möglich zu überprüfen ob eine Maschine durch eine Öffnung in vertikaler Richtung passt, z.B. durch einen Tunnel. Ein weiterer Nachteil ist, dass keine Materialflussuntersuchungen und -analysen während der Umpositionierung der Modelle möglich sind. Erst später, nach der digitalen Erfassung wäre so etwas möglich. Eine digitale Hilfestellung für den Planer ist hier auch nicht möglich.

Von der Firma Kommerz aus Graz in Österreich gibt es einen Planungstisch der einfache Klötze auf einer Platte erkennt. Durch die Position ist auf einem zweiten Bildschirm eine direkte Auswertung möglich. Dadurch lassen sich zwar Materialflussuntersuchungen sofort anzeigen und auch eine digitale Planungsunterstützung wäre denkbar, die Modelle sind jedoch so einfach, dass diese einen schlechten Wiedererkennungswert besitzen. Viele verschiedene Modelle sind hier auch schwer Abbildbar. Dieses System wird bei Kommerz auch hauptsächlich für die Visualisierung und leichte Konfiguration eingesetzt, als für die Planung.

Zusammenfassend, lassen sich folgende Anforderungen an die Software aufzählen:

- Ergonomie:
 - Geringe Latenzzeit
 - Intuitive Bedienbarkeit
 - Einfache Erlernbarkeit
 - Erreichbarkeit jedes Punktes am Tisch ohne die Stehposition zu verändern
- System:
 - Kein Absturz durch Benutzer-Fehleingaben
 - Keine Verlangsamung des Prozesses
 - Hilfestellung im Moment der Planung
 - Kontinuierliche Auswertung und Anzeige
 - Schnell zu erstellende Modelle
 - Modelle mit gutem Wiedererkennungsmerkmal
 - Modelle mit geringem Datenvolumen

4 Entwicklung einer Planungsmethodik

Die Grundlage um verschiedene Konzepte am Planungstisch zu erstellen ist das Planungsmodell. Dieses liefert mit der Vorgehensweise das Planungsergebnis. In diesem Kapitel wird das Planungsmodell mit seinen Teilmodellen zunächst erklärt. Dabei wird auf die Notwendigkeit der Abstraktion eingegangen und gezeigt, wie sämtliche Baustellenobjekte klassifiziert werden.

Die nächsten Abschnitte beschreiben Bestandteile der Vorgehensweise, beginnend mit der Planungsreihenfolge und den Objektverknüpfungen, gefolgt von einer Hilfestellung für die Positionierung und von Planungsalgorithmen. Am Ende gibt es noch eine Zusammenfassung der verschiedenen Bestandteile und wie diese durch den Benutzer wahrgenommen bzw. verwendet werden.

4.1 Planungsmodell

Das Planungsmodell setzt sich aus verschiedenen Teilmodellen zusammen, wie dem Layout mit dem Bauwerk, dem Baustellengelände und den Baustelleneinrichtungselementen (BEE), welche in einer Bibliothek organisiert sind. Das Planungsmodell stellt die Grundlage der Planung dar. Mit der Planungsvorgehensweise befinden sich die BEE's an der geeigneten Position auf dem Baustellengelände. Das Planungsmodell stellt daher auch das Ergebnis der Planung dar.

Das Layout gibt dem Planungsmodell Informationen darüber, wo das Bauwerk steht bzw. stehen soll, auf welchen Bereichen die Baustellenobjekte positioniert werden können und auf welchen nicht, über die Zufahrtswege, sowie die Abmessungen der Baustelle. Das Bauwerk ist für die Planung am Planungstisch mit dem VR-System erforderlich um ein 3D-Abbild darzustellen. Es dient nicht nur der Visualisierung, sondern ist auch für die Positionierung der Baustellenobjekte wichtig: Anhand des Bauwerkmodells können Kollisionskontrollen durchgeführt werden, oder bestimmte Objekte auf oder an dem Bauwerk positioniert werden. Das Baustellengelände beschreibt die Baulandschaft, mit Informationen zum Erdboden, der Tragfähigkeit und den Höheninformationen. Damit können Gruben und Böschungen abgebildet werden. Auf dem Baustellengelände werden die Baustelleneinrichtungselemente (BEE)

positioniert. BEE sind die Elemente die für die Durchführung des Bauvorhabens verwendet werden und bei der Planung an die richtige Stelle platziert werden.

Durch die Bauphasen kann die zeitliche Veränderung der Baustelle beschrieben werden. Anhand der Phasen werden verschiedene Planungsmodelle erstellt, die für den jeweiligen Zeitabschnitt gelten. Dabei können sich die verschiedenen Teilmodelle verändern, aber es können auch einige Teile identisch bleiben.

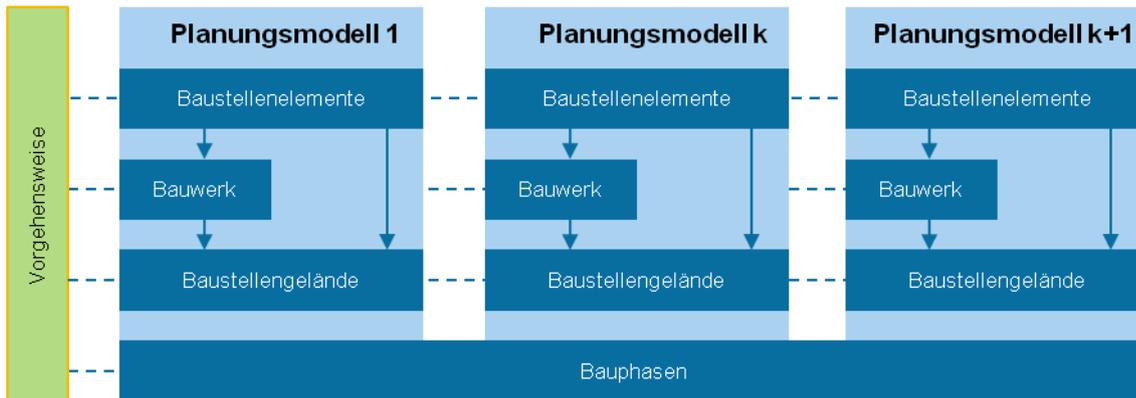


Abbildung 4-1: Zusammenspiel der Teilmodelle mit der Vorgehensweise

Die Vorgehensweise unterstützt die Positionierung der Baustellenelemente auf das Baustellengelände und gibt auch Hinweise, ob die Positionierung auf dem Bauwerk möglich ist (vgl. Abbildung 4-1). Dabei muss die Vorgehensweise auf die verschiedenen Teilmodelle zugreifen, Informationen abrufen und diese dem Planer bei der Positionierung der Baustellenelemente zur Verfügung stellen.

4.1.1 Abstrahierung der Teilmodelle

Um die einzelnen Teilmodelle für die Vorgehensweise verwenden zu können, ist es notwendig diese zu abstrahieren. Durch Abstraktion werden die entscheidenden Parameter eines Objektes bestimmt. Die abstrahierten Objekte sind für alle verschiedenen Objekte aus der Gesamtmenge der Teilmodelle gültig und können damit immer von der Vorgehensweise verwendet werden.

Das Bauwerksobjekt muss die folgenden Informationen besitzen:

- Position im Raum: Damit wird abgespeichert wo sich das Baumwerk im Raum, in Relation zu einem Koordinatenursprung, befindet. Dabei ist es nur erforderlich einen Punkt des Bauwerkes zu speichern. Die x-, y- und z-Werte

dieses Punktes und die Information wo dieser Punkt am Bauwerk liegt, wird abgespeichert.

- Rotation auf der Grundfläche: Zusätzlich zur Position ist es wichtig, wie das Bauwerk zur senkrechten Achse gedreht ist. Damit und mit der Position ist dieses eindeutig im Raum bestimmt. Die Rotation zu den anderen beiden Achsen der Grundfläche ist nur erforderlich, falls das Bauwerk nicht parallel zur Grundfläche erstellt wurde.
- Detailarme Bauwerkshülle, ohne Innenleben: Es muss ein 3D-Objekt des Bauwerks gespeichert werden. Dabei ist das Innenleben nicht wichtig.
- Positionierungsmöglichkeiten auf dem Bauwerk mit Tragfähigkeit: Oft ist es möglich oder gar erforderlich bestimmte Baustellenobjekte auf dem Bauwerk zu positionieren. Trotzdem ist dies auch oft nicht erlaubt. Deshalb soll diese Information, zusammen mit der erlaubten Traglast, gespeichert werden. Falls diese nicht vorhanden ist, soll bei der Planung die Meldung erscheinen, dass der Planer die Tragfähigkeit überprüfen muss bzw. nicht sichergestellt werden kann, dass er das Objekt an diese Stelle auf dem Bauwerk positionieren kann.
- wichtige Anlieferpunkte: Durch die wichtigen Anlieferpunkte des Bauwerks können Bereiche identifiziert werden, wo die Materialbewegungen in und aus dem Bauwerk kommen. So kann später der Materialfluss leicht optimiert werden.

Über dem Baustellengelände wird ein Raster gelegt. Jede Rasterzelle muss die folgenden Informationen besitzen:

- Größe der Rasterzelle: Durch die Größe der Rasterzelle wird die Anzahl der Zellen festgelegt. Die Rastergröße ist dabei sehr wichtig. Je kleiner die Zellengröße gewählt wird, desto genauer wird das Modell, die Leistungsfähigkeit leidet jedoch.
- Position der Rasterzelle im Raster: Damit kann gespeichert werden, an welcher Position sich die Zelle im Raster befindet.
- Höheninformation: Dadurch können Gruben oder Erhöhungen abgebildet werden.

- Rotation der Zelle zu den Achsen, welche die Grundfläche beschreiben: Damit ist die Neigung des Bodens abgebildet. Eine Rotation um die vertikale Achse ist nicht möglich, da dies keine weitere Information bietet.
- Tragfähigkeit des Bodens: Durch die Tragfähigkeit des Bodens kann das System ermitteln, ob das positionierte Objekt an dieser Stelle stehen kann. Falls diese Information nicht vorhanden ist, soll eine Meldung erscheinen, dass der Planer die Tragfähigkeit überprüfen muss bzw. nicht sichergestellt werden kann, dass er das Objekt an diese Stelle auf dem Baugelände positionieren kann.
- Zeitabhängige Attribute: Wenn ein Objekt eine Rasterzelle belegt, ist es möglich dies festzustellen. Trotzdem soll zu jeder Zelle die Information gespeichert werden zu welcher Zeit eine Zelle frei, belegt oder gesperrt ist. Damit ist der Abruf dieser Information schneller, als wenn es über eine Abfrage erfolgt, ob an der Position zu einer bestimmten Zeit ein Objekt steht. Gesperrte Zellen sind Zellen an denen während einer Zeitperiode nichts platziert werden kann.

Die Baustelleneinrichtungselemente benötigen folgende Informationen um diese eindeutig zu beschreiben:

- Eine eindeutige ID: Durch die ID kann die Position eines BEE's einfach gespeichert und abgerufen werden.
- Abmessung, speichert die Außenabmessung eines Elementes.
- Detailarme BEE-Hülle ohne Innenleben: Es muss ein 3D-Objekt des Elements gespeichert werden. Dabei ist das Innenleben nicht wichtig.
- Position auf dem Baustellengelände: Damit wird abgespeichert wo sich das Objekt im Raum, in Relation zu einem Koordinatenursprung, befindet. Dabei ist es nur erforderlich einen Punkt des Elements zu speichern. Die x-, y- und z-Werte dieses Punktes und die Information wo dieser Punkt am Element liegt, wird abgespeichert.
- Gewicht: Das Gewicht ist erforderlich, um zu überprüfen ob die Traglast des Bodens ausreicht.
- Sicherheitsabstand: Der Sicherheitsabstand muss nicht bei jedem BEE gelten. Bei denen ohne Sicherheitsabstand wird keine Information angegeben.

- Leistungsdaten: Dadurch bekommt der Planer zu jeder Zeit eine Übersicht der Leistungsdaten der verwendeten Elemente.

4.1.2 Klassifizierung von Einrichtungselementen

Eine Klassifizierung der Einrichtungselemente ist wichtig, um die verschiedenen BEE's für die Planung leicht finden zu können. Dabei wurde die Einrichtung von Einrichtungsgegenstände nach Bisani [Bis-2005] gewählt, welche die Elemente wie in Abbildung 4-2 gezeigt wird, gruppiert:

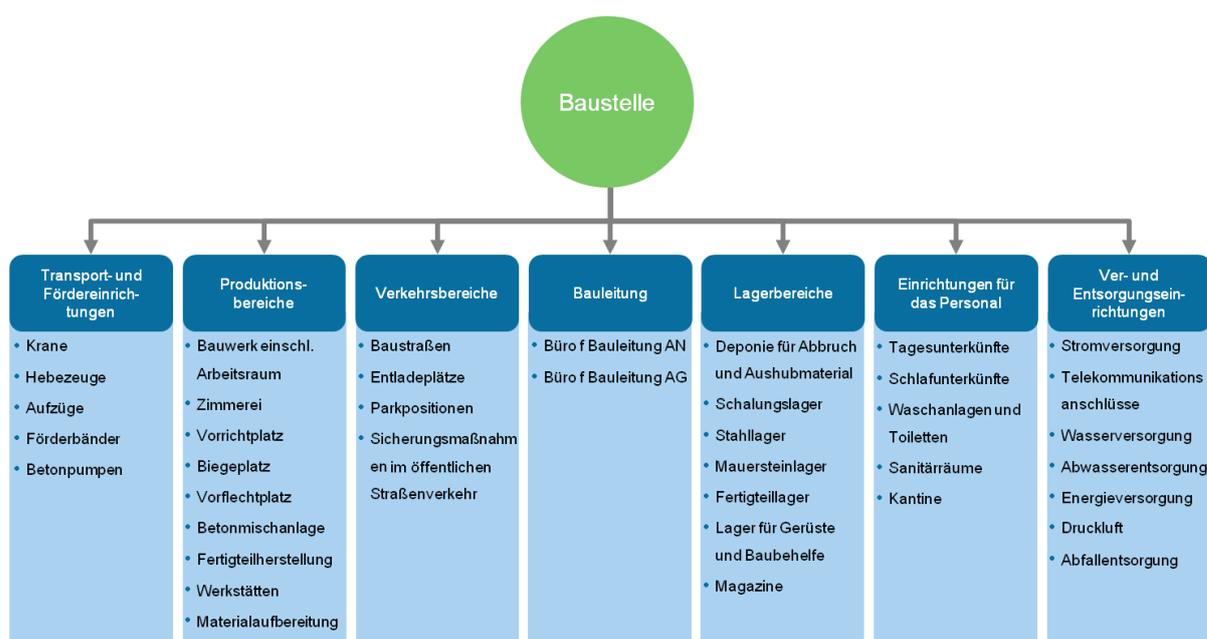


Abbildung 4-2: Klassifizierung der Baustelleneinrichtungselemente nach [Bis-2005]

Da Krane eine für die Planung sehr bedeutende Rolle spielen, da sie sehr viel Platz einnehmen und der Transport, sowie die Auf- und Abstellung genügend Platz benötigt, wurde für die Vorgehensweise eine neue Gruppe erstellt, welche alle Krane umfasst. Die restlichen Transport- und Fördermittel bleiben in der Kategorie nach Bisani [Bis-2005].

Anhand der Klassifizierung und ihren Elementen, wurde im Rahmen des Projektes eine Datenbankstruktur erstellt, welche die Elemente mit den notwendigen Informationen abbildet. Das Ergebnis wird im Anhang (vgl. 7.2Anhang A) aufgeführt.

4.2 Planungsreihenfolge der Einrichtungselemente

Die Vorgehensweise soll dem Planer eine Planungsreihenfolge vorgeben. Dadurch sollen die gruppierten Einrichtungselemente (vgl. 4.1.2) nacheinander auf das Layout bewegt werden. Als erstes soll die Position von Kranen bestimmt werden. Diese sind auf den meisten Baustellen die produktionsbestimmenden Geräte und eine neue Positionierung dieser erfordert sehr hohe Kosten. Die Positionierung von Kranen soll im Fokus der Planung liegen. Alle anderen Elemente sollen nach dem Kran positioniert werden.

An zweiter Stelle werden die Produktionsbereiche geplant. Hier geschieht die Wertschöpfung. Die benötigte Fläche ist dabei oft vergleichsweise groß. Die Festlegung dieser Bereiche übt großen Einfluss auf die Bestimmung der Baustraßenplanung aus.

Als drittes werden nun die Verkehrsbereiche geplant, sofern diese nicht bereits vorgegeben wurden. Für die logistische Planung von Großbaustellen ist die Bestimmung der Baustraßen sehr wichtig. Unter den Punkt der Verkehrsbereichsplanung fällt auch die Bestimmung der Entladeflächen und Pufferzonen. Dies ist für die bisherige Planung sehr wichtig, da dadurch bestimmt wird, wo die im ersten Schritt geplanten Krane das Material aufnehmen und abladen können. Eine genaue Planung ist hier sehr wichtig, da die Verkehrsbereiche viel Fläche einnehmen können.

Als nächstes werden sonstige Transport- und Fördereinrichtungen geplant. Diese zielt hauptsächlich auf die Bauaufzüge, sowie Fördereinrichtungen ab. Die meisten Baustellen verwenden zwar den Kran, doch die Planung weiterer Transport- und Fördereinrichtungen ist an vierter Stelle gestellt, weil auch diese Umpositionierung hohe Kosten verursachen kann.

Im fünften Schritt können nun die Lagerbereiche festgelegt werden. Laut Experteninterviews ist bekannt, dass es eigentlich meistens zu wenig Fläche für Lagerbereiche gibt und alles als Lager deklariert wird, was noch frei ist.

Nach den Lagerbereichen können die Ver- und Entsorgungseinrichtungen bestimmt werden. Diese erlauben die Inbetriebnahme anderer BEE's, hauptsächlich wegen der Stromanschlüsse. Die Planung dieser Bereiche erfordert meist eine vergleichsweise sehr geringe Fläche.

Anschließend können die ersten Container geplant werden. Zunächst werden die Büros für die Bauleitung positioniert. Die Position dieser Container soll einen Überblick über die gesamte Baustelle ermöglichen.

Als nächstes werden die nächsten Container positioniert. Die Einrichtungen für das Personal umfassen in erster Linie Schlafmöglichkeiten und sanitäre Anlagen. Die Container dürfen nicht im Schwenkbereich des Kranes liegen. Sie werden meistens dort positioniert, wo sie am wenigsten stören.

4.3 Verknüpfung der Einrichtungselemente

Die Vorgehensweise soll aufzeigen für welche BEE's andere BEE's notwendig sind. Oft werden Elemente bei der Planung vergessen. Durch den Hinweis, welche Elemente benötigt werden, wenn bereits geplante Elemente verwendet werden, kann das Vergessen verhindert werden. Die Vorgehensweise soll dabei einen Hinweis geben, welche Elemente bei der Positionierung eines BEE benötigt werden. Der Planer soll jedoch, auch um die Reihenfolge einzuhalten, seine Planung weiter ungestört durchführen können. Erst wenn er Objekte der nächsten Gruppe, also in der Reihenfolge voran gekommen ist, und diese Gruppe dem Element entspricht, welches er zu planen hat, soll der Hinweis erscheinen. Auch am Ende der Planung soll es eine Liste geben, welche dem Planer alle Elemente aufzeigt, die vergessen wurden.

Die Verknüpfung der Elemente erfolgt durch eine Muss- und Kann-Verbindung. Elemente mit Muss-Verbindung werden vom geplanten Objekt benötigt, während Elemente mit der Kann-Verbindung nicht immer benötigt werden. Dies muss in der Vorgehensweise berücksichtigt werden. Die Tabelle der Element-Verknüpfungen befindet sich im Anhang (vgl. 7.2Anhang B).

4.4 Hilfestellung für die Positionierung

Eine Hilfestellung für die Positionierung von Objekten, soll dem Planer über alle Hinweise informieren, welche für die Positionierung eines bestimmten Objektes erforderlich sind. Die Hinweise sollen dabei in einer Datenbank gesammelt werden und durch die eindeutige ID eines Elementes angezeigt werden.

Bei manchen Elementen müssen auch verschiedene Gesetze eingehalten werden. Dies soll ähnlich der Anzeige von Hinweisen geschehen. Am Ende der Planung soll der Planer zustimmen, alle Gesetze beachtet zu haben. Die Gesetze zu den Elementen, sowie die Hinweise, werden im Anhang (vgl. 7.2Anhang C) aufgeführt.

4.5 Planungsalgorithmen

Durch Planungsalgorithmen wird die durchgeführte Planung auf Korrektheit überprüft. Bei der Positionierung von BEE's auf das Baustellengelände wird automatisch überprüft, ob die Zelleneigenschaften des Rasters auf dem Gelände mit den Eigenschaften des Elementes übereinstimmen. So hat eine Rasterzelle eine bestimmte Tragfähigkeit. Durch das Gewicht eines Elementes das platziert wird, kann ermittelt werden, ob der Boden die notwendige Tragfähigkeit besitzt. Zudem soll der Abstand zu Böschungen, welche auch in der Rasterzelle gespeichert sind, überprüft werden. Dabei soll der Algorithmus dem Planer einen Hinweis anzeigen. Der Planer soll jedoch die Möglichkeit haben, trotz Planungsalgorithmus, wie gedacht fortzuführen.

Zu jeder Planung werden Informationen angelegt, die die Baustelle beschreibt. Durch die Informationen wie Projektgröße in Mitarbeitern, Fläche und Kosten, oder der Bauart können ähnliche Projekte, welche in der Vergangenheit durchgeführt wurden mit der derzeit zu planenden Baustelle überprüft werden. Ein prozentualer Wert soll die Gemeinsamkeiten vergangener Bauprojekte aufzeigen. Über eine Liste soll der Planer vergangene Planungsprojekte betrachten und mit seiner derzeitigen Planung vergleichen können.

Am Ende der Planung soll überprüft werden, ob alle Objektverknüpfungen eingehalten wurden, oder ob Elemente noch benötigt werden. Der Planer hat jedoch auch hier die Möglichkeit dem System mitzuteilen, dass er nichts vergessen hat. Dabei kann am Ende dann nachvollzogen werden, dass dieser in Kenntnis gesetzt wurde nichts zu vergessen. Ähnlich wird es bei der Einhaltung der Gesetze durchgeführt. Dem Planer wird am Ende der Planung angezeigt, welche Gesetze er noch nicht beachtet hat. Während der Planung, wenn bei der Positionierung eines Elementes ein Gesetz zu beachten ist, wird dieses angezeigt. Der Planer soll nun die Möglichkeit haben dieses durchzulesen und muss vermerken, dass er dieses beachtet oder noch nicht beachtet hat. All jene Gesetze die er am Ende der Planung noch nicht beachtet hat, werden aufgelistet.

4.6 Zusammenfassung der Planungsmethodik

Dieser Abschnitt fasst die Schritte der Planungsmethodik zusammen (vgl. Abbildung 4-3). Zu Beginn sind Vorarbeiten notwendig. Durch die Bestimmung der Bauphasen, die Beschaffung und das Laden vom Layout und dem Bauwerks-Modell in Abhängigkeit der einzelnen Bauphasen und der Festlegung des Baustellengeländes werden die grundlegenden Vorarbeiten geleistet. Anschließend sollte der Planer noch die Projektdaten bestimmen, die für die Auflistung ähnlicher Planungsprojekte wichtig ist und die Speicherung der aktuellen Planung strukturiert ermöglicht.

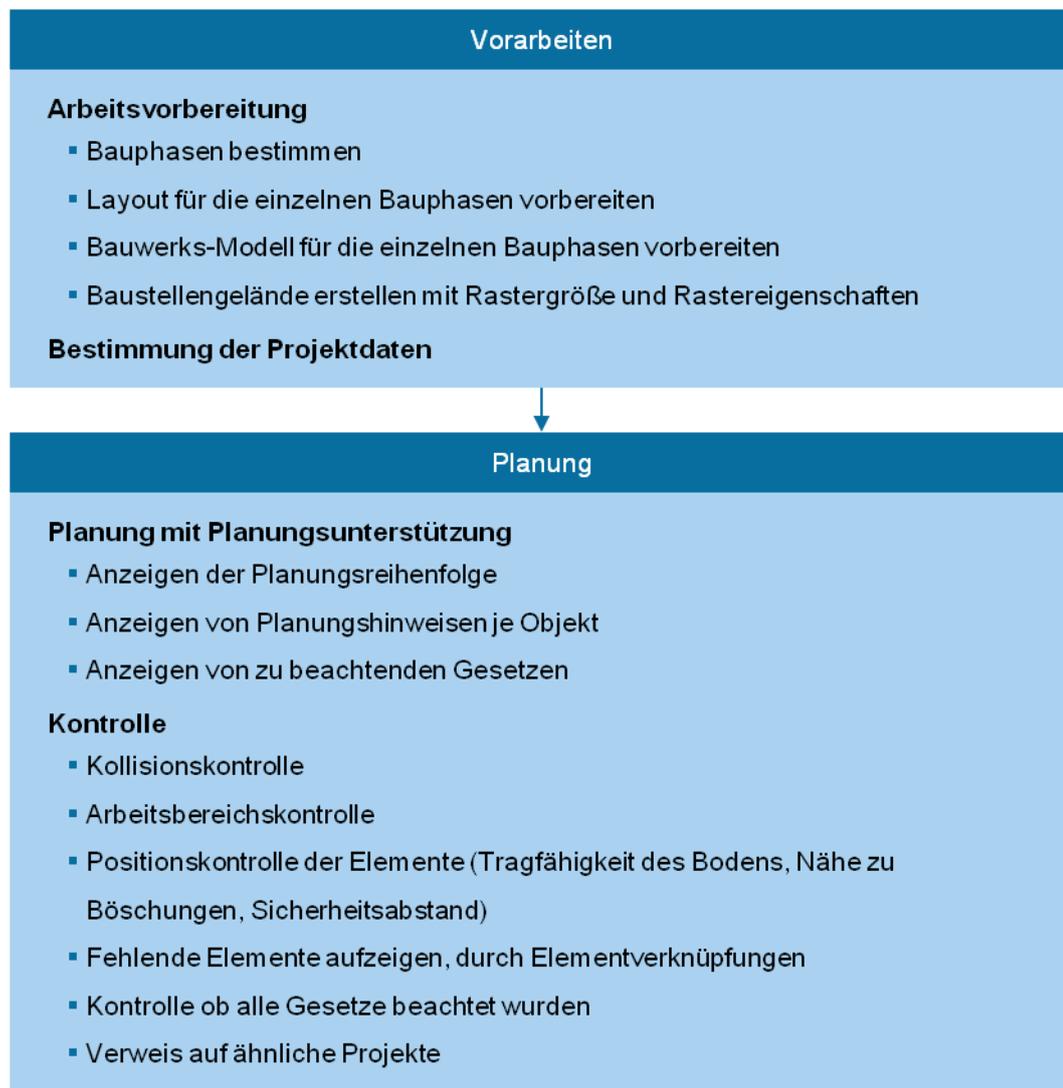


Abbildung 4-3: Aufbau der Planungsmethodik mit Planungsalgorithmen

Als nächstes kann mit der Planung begonnen werden. Der Planer wählt dabei Objekte aus der Bibliothek aus und positioniert diese auf das Layout bzw. dem Baustellengelände. Dabei geht er nach einer Planungsreihenfolge vor und beachtet die Hin-

weise und Gesetze, welche in Hinweis-Form angezeigt werden. Am Ende der Positionierung erfolgen verschiedene Kontrollfunktionen. Zu Beginn können Kollisions- und Arbeitsbereichskontrollen durchgeführt werden, anschließend erfolgt eine Positionskontrolle der Elemente auf dem Baustellengelände. Bevor auf ähnliche Projekte verwiesen wird, können noch Elemente aufgezeigt werden, welche der Planer vergessen haben könnte. Durch die Kontrolle, ob der Planer alle Gesetze beachtet hat, ist das Bauvorhaben genehmigungsfähig.

Die Kontrolle erfolgt dabei nicht nach der Planung mit Unterstützung, sondern es soll nach den Wünschen des Planers erfolgen.

Diese Vorgehensweise wurde zu einem großen Teil im Demonstrator integriert. Die Ergebnisse des Demonstrators werden im Kapitel 6 beschrieben.

5 Recherche geeigneter Systemkomponenten

Um das geplante Funktionsmuster zur logistischen Planung von Großbaustellen zu realisieren sind geeignete Hard- und Softwarekomponenten zu recherchieren. Anhand von Anforderungen können Bewertungskriterien definiert werden, mit dem die recherchierten Komponenten anschließend bewertet und letztendlich eine ausgewählt werden kann. Für das System ist eine Software notwendig mit der einzelne Baumodelle auf ein Layout positioniert werden können und anschließend eine logistische Auswertung stattfinden kann. Gleichmaßen wichtig ist jedoch die Auswahl an Interaktionsgeräten für die Planung, sowie für die 3D Visualisierung. Zudem gibt es noch Anforderungen an das Gesamtplanungssystem, da das System Funktionen bereitstellen muss, wobei es keine Rolle spielt, ob diese am Planungstisch oder in der 3D-Visualisierung integriert ist.

Nachdem die Anforderungen definiert werden, gilt es eine Auswahl an Geräten aufzulisten und diese zu erklären. Der Morphologische Kasten in Abbildung 5-1 zeigt auf, welche in den nächsten Abschnitten erklärt werden.

VR-Visualisierung	VR-Cave	VR-Powerwall		Mobile VR-Wand		3D-Monitor	3D-Blackboard	Head-Mounted-Display
VR-Interaktion	Multi-Touch	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für die Planung
Planungstisch-Ausgabe	Layout auf Papier			Layout auf einem Bildschirm			Layout mit Beamer projiziert	
Planungstisch-Objekte	Darstellung/Projektion			Einfache Objekte			Detaillierte Objekte	
Planungstisch-Eingabe	Multi-Touch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung

Abbildung 5-1: Morphologischer Kasten - Gesamtsystem

Nach der Beschreibung der einzelnen Geräte erfolgt eine Bewertung mit dem besten Planungssystem als Ergebnis.

5.1 Virtual Reality - System

Die Virtual Reality Software stellt hier nicht den Kern des Systems dar. Sie ist hauptsächlich dafür verantwortlich um die Ergebnisse, die in 2D auf dem Planungstisch

geplant werden, in 3D anzuzeigen. Da für das Planungssystem keine 3D-Ansicht verwendet wird, ist es wichtig, dass das VR-System die stereoskopische Darstellung aktivieren und deaktivieren kann. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn die 3D-Darstellung im VR-System nur mit Brillen möglich ist. Die Planer müssen jedoch auf dem Planungstisch in der Lage sein normal zu arbeiten, mit digitaler Unterstützung. Ein Planen mit stets aufgesetzten 3D-Brillen würde diesen Prozess erschweren. Ein ständiges auf- und absetzen der Brillen auch. Ein aus- und anschalten der stereoskopischen Darstellung ist somit wichtig, damit auch während der Planung das weitere Ausgabemedium, neben dem Planungstisch, verwendet werden kann.

5.1.1 Anforderungen an die VR-Basissoftware

Um die Anforderung an ein Virtual-Reality-System am Besten zu definieren, wird dies anhand der drei I's beschrieben [Wul-2008]. Die drei I's stehen für: Immersion, Interaktion und Imagination.

- Ein immersives System täuscht dem Nutzer eine realistische Umgebung vor. Er ist der Meinung sich in der virtuellen Welt zu befinden. Wahrnehmung zwischen Modell und Realität schwindet. Dies wird auch dadurch erreicht, dass die Aktionen des Nutzers in Echtzeit mit der Virtuellen Realität umgesetzt werden. Bei der Immersion werden weitgehend möglichst viele menschliche Sinne, wie Sehen, Hören und die Haptik natürlich stimuliert.
- Mit Interaktion versteht sich die Möglichkeit des Nutzers die Umgebung aktiv zu beeinflussen. Dies kann durch verschiedene Interaktionsgeräte geschehen, wie Joysticks, Systeme welche die Körperbewegungen registrieren oder anderen. In letzter Zeit werden auch viele VR-Systeme verwendet, welche die Kopfbewegung registrieren und dem Nutzer anschließend das natürliche neue Bild visualisieren, wie er es aus der Realität gewohnt ist.
- Die Imagination des menschlichen Nutzers entsteht durch die dynamische Darstellung von Szenen in der immersiven Umgebung. Dabei versetzt die Vorstellungskraft des Menschen ihn in die Lage, so in die Umgebung einzutauchen, dass er das Gefühl verspürt das Umfeld wäre lebendig und realitätsnah.

Erst wenn alle drei Faktoren harmonisch zusammenspielen, bekommt der Benutzer das Gefühl sich in einer natürlichen Umgebung zu befinden.

Die Objekte die in der VR-Basissoftware angezeigt werden, müssen so Detail treu sein, damit die Wiedererkennungsmerkmale vom Planer erkannt werden können. Trotzdem ist eine geringe Datenmenge wichtig, damit die Modelle in Echtzeit angezeigt werden: Werden Modelle am Planungstisch an eine bestimmte Stelle auf das Layout positioniert, so soll das VR-System diese zuverlässig und innerhalb einer bestimmten Zeitspanne visualisieren.

5.1.2 Anforderungen an die Interaktion mit dem VR-System

Obwohl das VR-System vorwiegend nur für die Visualisierung der Planungsergebnisse notwendig ist, gibt es auch hier Anforderungen für die Interaktion die erfüllt werden müssen. Es soll beispielsweise möglich sein, verschiedene Perspektiven anzuzeigen. Erst damit kann der Planer eine mögliche Schwachstelle, Engpässe oder Abstände zu anderen Objekten gut erkennen. Daher ist es notwendig die Kameraposition durch ein geeignetes Interaktionsgerät leicht zu verändern. Es sollen Funktionen wie Kameraverschiebung, Kameraneigung und Kameradrehung möglich sein. Durch die Kameraverschiebung kann der Fokuspunkt wo anders gesetzt werden. Dies würde auch gelingen, indem die Kamera an der gleichen Position bleibt, aber die Position der Umgebung sich verändert. Durch die Kameraneigung kann der Winkel der Kamera so verändert werden, dass der Nutzer von der Draufsicht in die Seitenansicht wechseln kann. Jede beliebige Position dazwischen ist auch möglich. Zudem soll die Kamera um die vertikale Achse des Punktes drehen, auf dem der Fokus liegt. Dies könnte wiederum durch Drehung des Modells gleichermaßen erreicht werden. Die verschiedenen Möglichkeiten werden in Abbildung 5-2 aufgezeigt. Des weiteren soll es auch möglich sein das Layout zu vergrößern bzw. zu verkleinern.

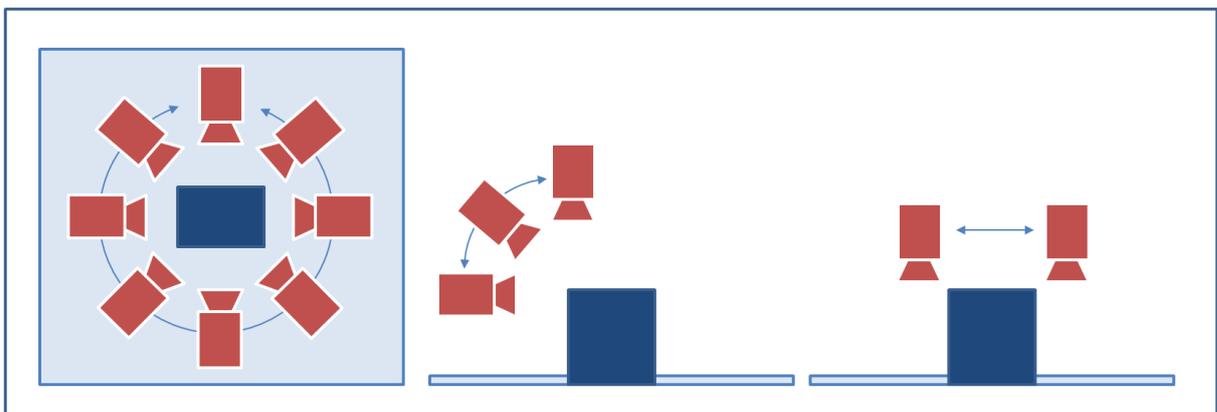


Abbildung 5-2: Manipulation der Kamera im VR-System

Durch die verschiedenen Möglichkeiten die Kamerapositionen zu verändern, können vom Baustellenlayout und den ganzen Objekten verschiedene Perspektiven angezeigt werden. Diese unterschiedlichen Perspektiven sollen von den Benutzern gespeichert werden können, damit sie schnell erreichbar sind. Wenn durch die Baustelle virtuell gegangen bzw. durch diese durchgeflogen werden könnte, so wird die Benutzung bzw. die visuelle Auswertung der 3D-Umgebung erleichtert. Dies ist zwar keine Anforderung, doch eine Funktion die mit der Kameraführung eine Rolle spielt.

Wichtig ist demnach ein Interaktionsgerät zu finden, welches die beschriebenen Funktionalitäten ermöglicht. Zudem soll das Gerät das Erstellen und Bearbeiten von Notizen zulassen. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn über die Planung diskutiert wird. In der Visualisierung können dann, in unterschiedlichen Perspektiven, Notizen zur Planung gespeichert werden.

Eine Bearbeitung der Planung direkt in der VR-Visualisierung ist nicht zwingend erforderlich, doch dies soll mit geringer Gewichtung auch in die Bewertung mit einfließen. Bei der Baustellenplanung ist die dritte Dimension sehr wichtig. Damit kann untersucht werden, ob verschiedene Baugeräte unter einer Brücke oder durch ein Tor passen. In der 3D-Visualisierung ist es somit sehr hilfreich, wenn eine Bearbeitung der Planung möglich ist.

5.1.3 Auswahl an Visualisierungs-Geräten

Obwohl die Definition von Immersiv schon seit Jahren die gleiche ist, ändert sich, durch die Fortschritte der IT-Technologie, die VR-Systeme. Vor über 10 Jahren galten schon einfache 3D-Computerspiele als immersiv, während heute für VR-Systeme eigentlich vorwiegend Powerwalls, Caves oder Head-Mounted-Displays (HMD) eingesetzt werden. Aber auch Geräte aus dem Consumer-Bereich sind denkbar. Im folgenden werden verschiedene mögliche Ausgabegeräte aufgelistet, kurz erläutert und eine grobe Einschätzung gegeben, ob diese für LogPlan Bau angeschafft werden könnten. Im Abschnitt 5.1.4 werden diese anschließend anhand der Anforderungen (vgl. Abschnitt 5.1.1) bewertet.

VR-Powerwall

Die Powerwall (vgl. Abbildung 5-3) ist eine Leinwand an der ein stereoskopisches Bild durch meistens 2 Beamer projiziert wird. Durch die Verwendung von aktiven oder passiven Brillen ist der Mensch der Meinung ein 3D-Bild zu sehen. Eine aktive Brille, oder auch Shutterbrille, zeigt abwechselnd das linke und rechte Halbbild an.



Abbildung 5-3: VR-Powerwall [Ray-2013]

Aufgrund der perspektivischen Verschiebung der beiden Stereo-Teilbilder erfolgt bei einem gesunden Menschen ein räumlich wirkender 3D-Effekt. Die aktiven Brillen besitzen eine Energiequelle und müssen die Flüssigkristalle der Brille, welche die beiden Gläser abwechselnd auf lichtdurchlässig und lichtundurchlässig schalten, den gleichen Takt wie die 3D-Teilbilder besitzen. Passive Brillen funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip. Um die beiden Teilbilder an den verschiedenen Augen zu sehen und somit den 3D-Effekt zu erzielen, können Pol- oder Farbfilter eingesetzt werden. Dabei sieht ein Auge jeweils nur die Hälfte der Pixel des Ausgabegerätes. Eine geringere Detailtreue ist die Folge.

VR-Cave

Bei einer Virtual Reality Cave werden verschiedene Leinwände in Würfelform kombiniert. Dabei können auch Leinwände auf dem Boden oder an der Decke montiert werden. Der Mensch hat noch mehr das Gefühl er bewege sich in einer realen Welt.

Am Leibniz Rechenzentrum in München (lrz) ist eine solche Cave installiert. Dort wird die Umgebung auf 5 Leinwänden projiziert, wie Abbildung 5-4 zeigt:

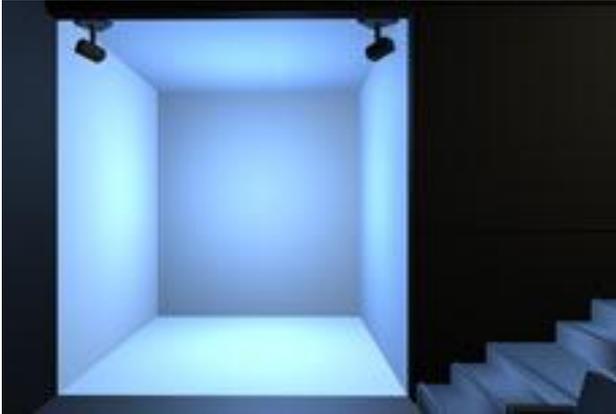


Abbildung 5-4: VR-Cave mit 5-Seiten-Projektion [Lrz-2013]

Head-Mounted-Display

Es gibt jedoch nicht nur Leinwände an denen die Umgebung angezeigt wird, sondern auch Head-Mounted-Displays (HMD). Ein HMD ist eine Brille mit einem Display auf dem die virtuelle Welt angezeigt wird (vgl. Abbildung 5-5).



Abbildung 5-5: Head-Mounted-Display (HMD) [Ocu-2013]

Meistens erfolgt eine Teilung der Ansichten über zwei verschiedene Bildschirme, eines für jedes Auge. Doch es sind auch Systeme möglich, welche mit einem Bildschirm, beispielsweise sogar mit einem Smartphone, funktionieren. Dabei werden zwei Bilder nebeneinander angezeigt. Durch die Konstruktion der Brille wird einem Auge ermöglicht nur das für dieses Auge notwendige Bild zu sehen. Das andere Auge sieht das andere. Damit ist die Erzeugung des 3D-Effekts möglich. Bei einem HMD kann nur eine Person agieren, die anderen können zwar auf einem weiteren

Bildschirm das sehen, was diese Person sieht, ein gemeinsames und gleichwertiges Erleben der virtuellen Umgebung ist jedoch nicht möglich.

Während eine HMD-Brille zwar sehr mobil ist und sich somit auch für unterschiedliche Standorte eines VR-Planungssystems für die Baustelle eignen würde, sind die Leinwände meist nur sehr schwer transportierbar. Im Jahre 2011 wurde das Forschungsprojekt VR-LogPlan am Lehrstuhl fml abgeschlossen, das eine mobile VR-Wand (vgl. Abbildung 5-6) zum Ergebnis hatte. Diese kann in kurzer Zeit und mit wenigen Handgriffen, ohne Zuhilfenahme von Kranen oder anderen Hebezeugen, auseinander oder zusammen gebaut werden. Die ganzen Teile passen leicht in ein Kleintransporter [Kam-2011].



Abbildung 5-6: mobile VR-Wand, Leinwand, Gerüst und Gesamtsystem [Kam-2011]

3D-Monitore

Auch handelsübliche 3D-TV-Geräte bieten dem Menschen die Möglichkeit eine 3D-Umgebung darzustellen. Diese sind dann auch weit mobiler als VR-Leinwände. Die Möglichkeit einer Diskussion ist auch gegeben. Ein solches System ist zusätzlich vergleichsweise sehr günstig und auch Ausfallsicherer, da es sich um ein Massenprodukt handelt. Eine Reparatur oder gar der Ersatz können schnell erfolgen. 3D-Monitore funktionieren meistens mit aktiven Brillen.

3D-Blackboard

Von einigen Herstellern gibt es auch digitale Blackboards auf denen ein stereoskopisches Bild projiziert wird. Dazu werden Beamer eingesetzt. Im Gegensatz zu einer normalen Projektion durch einen Beamer auf eine Leinwand, besitzen digitale Blackboards zudem eine Redlining-Funktion. Damit können einfach Notizen einge-

arbeitet werden oder Ansichten mit Kreisen, oder anderen Formen oder Linien, markiert werden.

5.1.4 Bewertung von Visualisierungs-Geräten

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Geräte, welche für die VR-Visualisierung in Frage kommen, anhand von gewichteten Kriterien bewertet. Die Bewertungskriterien wurden dabei aus den Anforderungen gebildet und werden im Folgendem noch erklärt.

Mobilitätsaufwand

Das Planungssystem soll vorwiegend in einem Planungsbüro installiert und verwendet werden. Trotzdem ging bei Interviews mit Projektpartnern hervor, dass das System auch für den Baustelleneinsatz verwendet werden soll. Dies bedeutet, dass die Mobilität des Planungssystem wichtig ist. Es bestünde zwar auch die Möglichkeit einer Konfiguration für ein Planungsbüro und eine geeignete baustellentaugliche Konfiguration für die verschiedenen Baustellen zu entwickeln, dies würde jedoch die Kosten für das Planungsbüro in die Höhe treiben. Daher ist es das Ziel ein System zu finden, welches leicht in seine Einzelteile zerlegt und an einem anderen Ort wiederaufgebaut werden kann.

Kosten

Dieses Kriterium vergleicht die Kosten. Hier werden nur die groben Anschaffungskosten miteinander verglichen.

Diskussionsfähigkeit

Die im Abschnitt 5.1.3 beschriebenen möglichen VR-Geräte, bieten nicht alle eine ausreichend gute Möglichkeit mit allen Beteiligten über die Planung zu diskutieren und Notizen einzuarbeiten. Ein HMD bietet beispielsweise nicht eine gute Voraussetzung für eine Diskussion. Auch wenn vorausgesetzt wird, dass jeder Teilnehmer ein HMD aufsetzt, können sich die an der Diskussion beteiligten Personen nicht anschauen oder mit den Finger oder anderen Hilfsmitteln den anderen Beteiligten Schwachstellen oder ähnliches zeigen. Um dies zu ermöglichen wären eigens zu entwickelnde Hilfsmittel notwendig.

Einarbeiten von Notizen

Nach der Planung, wenn die Baustelle auf dem VR-Gerät visualisiert wird, können Schwachstellen, Hinweise oder Probleme in Form von Notizen direkt eingearbeitet werden. Durch eine notwendige Installationen kann eine Notizfunktion zwar bei mehreren Geräten realisiert werden, doch der Aufwand und somit die Kosten sind bei manchen größer als bei anderen. Mit diesem Kriterium wird der notwendige Aufwand bewertet.

Baustellentauglichkeit

Anhand vom Kriterium „Baustellentauglichkeit“ soll bewertet werden, wie robust das System gegen externen Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Schmutz oder (Spritz-)Wasser. Generell sind wahrscheinlich viele Systeme geeignet, wenn diese von den Umgebungsbedingungen geschützt werden. Daher soll hier auch der Aufwand um einen solchen Schutz zu installieren bewertet werden.

Immersionsgrad

Dieses Kriterium beschreibt den Grad der Immersion. Im Vergleich zu einer VR-Cave ist der Grad der Immersion bei einem 3D-Bildschirm sehr schlecht. Hier soll untersucht werden, welches der Geräte die beste Anforderung für ein VR-Gerät besitzt.

Durchführung der Bewertung

Um die einzelnen Geräte untereinander zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Das Vorgehen kann im 7.2Anhang D nachgeschlagen werden. Das Ergebnis der Bewertung zeigt Tabelle 5-1:

Tabelle 5-1: Bewertung der VR-Systeme

g _k	Kriterium	VR-Cave		VR-Powerwall		mobile VR-Wand		3D-Monitor		3D-Blackboard		HMD	
		B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g
20%	Mobilitätsaufwand	0,0	0,0	1,0	0,2	2,0	0,4	3,8	0,8	3,3	0,7	5,0	1,0
20%	Kosten	0,3	0,1	1,8	0,4	1,8	0,4	5,0	1,0	3,4	0,7	5,0	1,0
27%	Diskussionsfähigkeit	1,3	0,4	5,0	1,3	5,0	1,3	2,4	0,6	3,4	0,9	0,3	0,1
13%	Einarbeiten von Notizen	1,0	0,1	3,0	0,4	2,0	0,3	4,0	0,5	5,0	0,7	0,0	0,0
13%	Baustellentauglichkeit	0,0	0,0	1,1	0,1	2,2	0,3	5,0	0,7	5,0	0,7	3,3	0,4
7%	Immersionsgrad	5,0	0,3	2,5	0,2	2,5	0,2	0,5	0,0	0,5	0,0	4,0	0,3
		0,870		2,617		2,831		3,615		3,613		2,781	

Tabelle 5-1 zeigt die Bewertung der verschiedenen Geräte anhand einer Nutzwertanalyse. Die erste Spalte g_k befindet sich die Gewichtung der Bewertungskriterien. Unter jeder Spalte der verschiedenen Geräte befinden sich zwei Spalten. Die erste Spalte B entspricht der Bewertung je Kriterium, in der zweiten Spalte B_g , befindet sich der gewichtete Wert. Laut Tabelle 5-1 ist die bevorzugende Lösung der 3D-Monitor.

5.1.5 Auswahl an Interaktionsgeräten für das VR-System

Um die verschiedenen Anforderungen (vgl. 5.1.2 Anforderungen an die Interaktion mit dem VR-System) zu erfüllen, sind verschiedene Interaktionsgeräte möglich. Mögliche Interaktionsgeräte reichen von einfachen Computer-Eingabegeräten, über Geräte von der Computerspielindustrie, bis zu diversen in verschiedenen Forschungsprojekten erstellen Prototypen. Vor allem für Konsolen bietet der Markt eine immer größer werdende Vielfalt an Geräten. Wurden zu Beginn einfache Joysticks oder Spielecontroller verwendet, gibt es jetzt Geräte wie den Wii-Controller von Nintendo oder handfreie Systeme wie Kinect von Microsoft. Viele Interaktionssysteme sind jedoch auch stark vom ausgewählten VR-System abhängig. So ist es beispielsweise möglich für Monitore und Leinwände einen Rahmen zu installieren, um das Ausgabegerät direkt in ein Multi-Touch-Gerät zu verwandeln. Da der Rahmen zwar auch hier verwendet werden kann, jedoch mehr am Planungstisch Sinn macht, wird er zwar anschließend mitbewertet, doch nicht näher erläutert (für eine genauere Beschreibung vgl. Kapitel 5.2.3). Damit kann der Planer jeden Punkt am Bildschirm direkt berühren und eine Interaktion mit dem System ist möglich. Ein solches System kann jedoch nicht mit einem Head-Mounted-Display eingesetzt werden, da dort der Bildschirm als Brille vor den Augen ist und Berührungen mit den Fingern somit nicht möglich sind.

Im folgenden werden verschiedene mögliche Eingabegeräte aufgelistet, kurz erläutert und eine grobe Einschätzung gegeben, ob diese für LogPlan Bau geeignet sind. Im Kapitel 5.1.6 werden diese anschließend anhand der Anforderungen (vgl. 5.1.2) bewertet.

Computer-Maus

Seit der Veränderung von Betriebssystemen, von textuellen zu grafischen Systemen, in den 1990er Jahre bildet die Maus neben der Tastatur eine der wichtigsten

Mensch-Maschine-Schnittstellen. Durch die Entwicklung von grafischen Benutzeroberflächen und die präzise Steuerung anhand einer Computermouse ist die Wichtigkeit der Maus in den Vordergrund geraten. Heute wird sie als selbstverständlich angesehen. Während frühere Maussysteme einen Ball als Richtungserkennungsmedium hatten, besitzen heutige Systeme einen optischen Tracker der anhand von einem LED und einem Sensor die Richtungsveränderung aufnimmt, oder Systeme mit einer Laserabtastung. Ein möglicher großer Nachteil von Computer-Mäusen könnte sein, dass diese nur auf einer Oberfläche funktionieren und nicht frei im Raum.

Trackballs

Ein Trackball (vgl. Abbildung 5-7) ist vom Prinzip eine auf den Rücken gelegte Maus. Sie wird so für die genaue Ansteuerung von einer grafischen Benutzeroberfläche in IT-Systemen verwendet. Die Unterseite dieser Maus ist flach, die Richtungserkennung wird anhand von einem Ball ermittelt, der sich auf der Mausoberfläche befindet und über optische oder optomechanische Sensoren gemessen wird. Eine solche Maus befindet sich meistens auf Oberflächen. Während bei der Standard-Computer-Maus diese über die Oberfläche bewegt werden muss, damit eine Richtungsänderung stattfindet, bewegt sich der Ort des Trackballs nicht.



Abbildung 5-7: Trackball von Logitech [Log-2013]

3D-Maus

Eine 3D-Maus, oder auch Spacemouse, ist eine Maus dessen Position zwar fest an einer Position bleibt, durch Bewegung der Module können jedoch 6 Freiheitsgrade gesteuert werden. So sind die 3 translatorischen und die 3 rotatorischen Bewegungen möglich (vgl. Abbildung 5-8). Eine 3D-Maus gibt es als tischgebundene Geräte, sowie als Handgeräte. Sie wird meistens dann eingesetzt, um 3D-Modelle leicht zu

bewegen. In CAD-Anwendungen ist sie somit ein beliebtes Zubehör, welches die Arbeit erleichtern kann. Zudem ist eine Bewegung in einem 3D-Raum vergleichsweise einfacher, wie mit einer Maus, welche nicht die Bewegung von 6 Freiheitsgraden (vgl. Abbildung 5-8) ohne die Verwendung von Zusatzfunktionen oder Zusatzbefehlen, ermöglicht.



Abbildung 5-8: Bewegungsfunktionen einer 3D-Maus [Con-2009]

Flystick

Ein Flystick ist ein Steuerknüppel der in der Hand gehalten wird. Die Richtungserkennung erfolgt dabei über ein optisches Trackingsystem, welches entweder aktiv mit Infrarot-LEDs oder passiv mit reflektierenden Kugeln funktioniert (vgl. Abbildung 5-9). Damit sind Bewegungen in allen 6 Freiheitsgraden möglich. Der Benutzer bewegt den Flystick einfach in die gewünschte Richtung oder dreht diesen. Flysticks können zudem auch mit mehreren Knöpfen ausgestattet werden, um eine erhöhte Funktionalität zu bieten. Die Sticks kommunizieren üblicherweise über Funk mit dem VR-System, damit eine freie Bewegung der Hand im Raum erleichtert wird. Durch die einfache Handhabung in allen 6 Freiheitsgraden ist es gut denkbar dieses Gerät für eine 3D-Visualisierung einzusetzen.

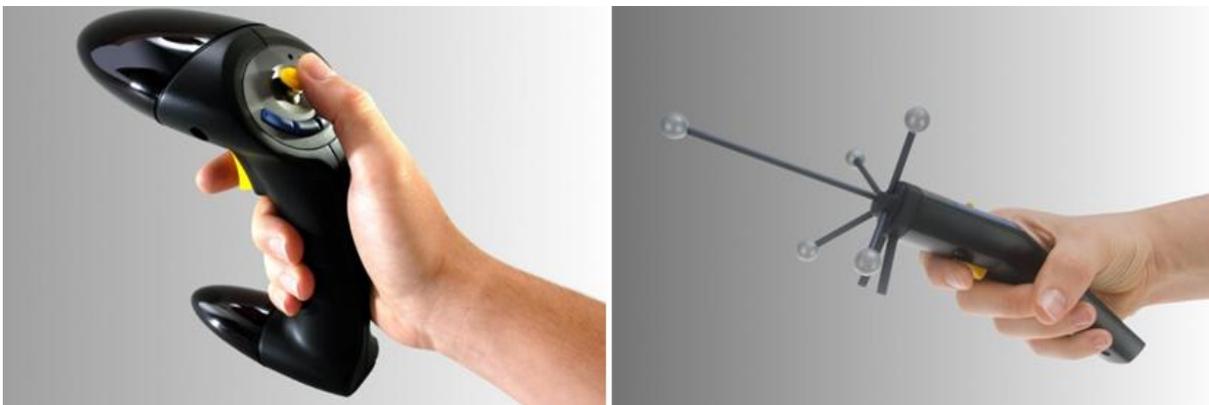


Abbildung 5-9: Zwei Flystick Varianten [Imi-2013]

Spielecontroller

Spielecontroller werden schon seit vielen Jahren für die Steuerung von Spielekonsolen eingesetzt. Üblicherweise wird ein solcher Controller mit beiden Händen gehalten. Durch die ergonomische Form der Steuereinheit und die gute erreichbare Position der verschiedenen Knöpfe oder Schalter, können Befehle dem IT-System übermittelt werden (vgl. Abbildung 5-10). Es gibt auch Modelle mit eingebautem Joystick oder Beschleunigungssensoren.



Abbildung 5-10: Dualshock 3 Controller von Sony [Son-2013]

Wii Controller

Ein weiteres mögliches Eingabegerät, welches vom Konsolenhersteller Nintendo, für eine neue und innovative Art der Spielesteuerung entwickelt wurde, ist der Wii Controller (vgl. Abbildung 5-11). Die Bedienung des Geräts erfolgt durch dessen Bewegung und mit Tasten. Die Bewegung wird mit drei Beschleunigungssensoren aufgenommen. Es ist batteriebetrieben und sendet die Befehle über eine Bluetooth-Schnittstelle an das IT-System. Das Gerät bietet die Möglichkeit es mit Zubehör zu kombinieren. Zudem ist die Ausgabe von einfachen Tonsignalen oder Ansagen über einen integrierten Lautsprecher möglich. Am Lehrstuhl fml wurde dieser Controller schon in einigen Forschungsprojekten erprobt.



Abbildung 5-11: Wii-Controller [Nin-2013]

Gleiche Eingabe wie für die Planung

Eine weitere Möglichkeit ist auf ein zusätzliches Gerät für die Interaktion mit dem VR-System zu verzichten, falls der Planungstisch über ein System verfügt, welches die Anforderungen der Steuerung für die VR-Umgebung erfüllen kann. Dies wäre die kostengünstigste Lösung, da keine zusätzliche Investition notwendig ist.

5.1.6 Bewertung von Interaktionsgeräten für das VR-System

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Interaktionsgeräte für das VR-System anhand von gewichteten Kriterien bewertet. Die Bewertungskriterien wurden dabei aus den Anforderungen (vgl. Kapitel 5.1.2) gebildet und werden im Folgendem noch erklärt.

Kamerabewegungen: Positionswechsel, Neigen, Drehen, Zoomen

Wie aus den Anforderungen für Interaktionsgeräte hervor geht, soll das Gerät die vier verschiedenen Kamerabewegungen Positionswechsel, Neigen, Drehen und Zoomen beherrschen. Mit diesem Kriterium wird bewertet mit welchem der verschiedenen Interaktionsgeräte alle vier Kamerabewegungen am Besten möglich sind. Jedes der Interaktionsgeräte ist sicherlich in der Lage eine der Kamerabewegungen zu steuern, doch die ergonomische und intuitive Steuerung soll hier bewertet werden.

Durchfliegen oder Durchgehen

Zusätzlich zu den vier Kamerabewegungen, soll das Interaktionsgerät in der Lage sein durch das Modell zu fliegen, oder durch dieses zu gehen. Auch hier wird der einfache Umgang mit dem Gerät mit der zusätzlichen Anforderung bewertet.

Bearbeiten der Planung

Um diese Anforderung gut zu erfüllen ist es zuerst notwendig, dass das Interaktionsgerät einen Punkt schnell und einfach ansteuern kann. Erst dann kann die Planung durch beispielsweise Veränderung der Position eines Gerätes oder durch Ersetzen des Gerätes durch ein anderes funktionieren. Daher wird hier das intuitive, leicht bedienbare und schnelle Erreichen eines Punktes bewertet.

Erstellen von Notizen

Um Notizen zu erstellen ist ein präzises und schnelles Erreichen eines Punktes wichtig. Damit können Notizen zu geplanten, positionierten Geräten erstellt werden. Trotzdem ist auch eine globale Notiz möglich. Da das schnelle und einfache Erreichen hauptsächlich im Kriterium „Bearbeiten der Planung“ bewertet wird, und ein Hauptbestandteil zum Erstellen von Notizen, das Schreiben ist, wird hier bewertet, wie einfach es ist Wörter zu schreiben ohne eine zusätzlichen Tastatur zu verwenden. Dabei sind je nach Interaktionsgerät verschiedene Konzepte möglich. Zum einen ist das Einblenden eines Tastatur-Layouts möglich, anhand von der der Planer jede Taste mit seinem Gerät erreichen muss, aber auch andere Systeme wie sie aus Autonavigationssysteme bekannt sind, sind denkbar. Bei einigen im Auto eingebauten Navigationssysteme sind die einzelnen Buchstaben im Kreis angeordnet. Mit einem Steuergerät, das meistens gedreht wird, wird der gewünschte Buchstabe erreicht und durch drücken einer Taste ausgewählt.

Kosten

Dieses Kriterium vergleicht die Kosten. Hier werden nur die groben Anschaffungskosten miteinander verglichen.

Durchführung der Bewertung

Um die einzelnen Interaktionsgeräte untereinander zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Der Benotungswert bzw. das Vorgehen kann im Anhang (vgl. 7.2Anhang E) nachgeschlagen werden. Das Ergebnis der Bewertung zeigen Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3:

Tabelle 5-2: Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System (Teil 1/2)

g _k	Kriterium	Multi-Touch		Maus		Trackball		3D-Maus		...
		B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g	
38%	Kamerabewegungen Positionswechsel, Neigen, Drehen, Zoomen	5,0	1,9	1,0	0,4	0,0	0,0	5,0	1,9	...
2%	Durchfliegen oder Durchgehen	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	...
24%	Bearbeiten der Planung	3,2	0,8	1,7	0,4	1,7	0,4	0,5	0,1	...
24%	Erstellen von Notizen	3,2	0,8	0,8	0,2	0,1	0,0	0,8	0,2	...
11%	Kosten	0,1	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,5	0,0	...
		3,473		1,010		0,455		2,220		

Tabelle 5-3: Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System (Teil 2/2)

g _k	Kriterium	Flystick		Spielecontroller		Wii-Controller		Gleiche Eingabe wie für die Planung	
		B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g
38%	Kamerabewegungen Positionswechsel, Neigen, Drehen, Zoomen	5,0	1,9	2,0	0,8	5,0	1,9	5,0	1,9
2%	Durchfliegen oder Durchgehen	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
24%	Bearbeiten der Planung	2,2	0,5	0,2	0,1	1,0	0,2	3,2	0,8
24%	Erstellen von Notizen	2,5	0,6	1,6	0,4	2,0	0,5	3,2	0,8
11%	Kosten	0,3	0,0	0,7	0,0	1,1	0,1	1,5	0,2
		3,058		1,201		2,754		3,636	

Die Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 zeigen die Bewertung der verschiedenen Geräte anhand einer Nutzwertanalyse. Die erste Spalte g_k beschreibt die Gewichtung der Bewertungskriterien. Unter jeder Spalte der verschiedenen Geräte befinden sich zwei Spalten. Die erste Spalte B entspricht der Bewertung je Kriterium, in der zweiten Spalte B_g, befindet sich der gewichtete Wert. Laut der Nutzwertanalyse ist die Verwendung der gleichen Eingabe wie für die Planung zu bevorzugen.

5.2 Planungstisch

In diesem Abschnitt werden im Grunde verschiedene Planungstisch-Systeme untersucht bzw. ihre Anforderungen definiert und anschließend die verschiedenen Systeme bewertet. Da die Unterschiede der Planungstische sich jedoch viel mehr in der Interaktion wiederfinden, werden die Anforderungen hierfür definiert.

5.2.1 Anforderungen an die Interaktion mit dem Planungstisch

Die Interaktion mit dem Planungstisch kann als die wichtigste Interaktion-Auswahl angesehen werden. Hier wird bestimmt, wie das Planungssystem aufgebaut wird. Hier wird das Anwendererlebnis (User Experience) für das aktive Planen bestimmt. Die Erfüllung der Anforderungen ist hier wichtiger als für die Visualisierung.

Der Planungstisch hat die Aufgabe ein Baustellenlayout anzuzeigen. Anschließend muss der Planer in der Lage sein verschiedene Objekte aus einer Bibliothek auszuwählen, und diese auf eine bestimmte Position auf das Layout zu bewegen. Die Objekte müssen parametrisierbar sein und eine Manipulation dieser kann die Planung erleichtern: Es soll möglich sein, ein Objekt zu verschieben, zu drehen oder es zu vergrößern. Die Vergrößerung soll jedoch nur bei parametrisierbaren Objekten zulässig sein, bei der beispielsweise ein Turmdrehkran eine andere Auslegerlänge bekommt, oder ein Lager eine andere Größe. Auch das Layout soll manipulierbar sein:

Drehen oder Vergrößern/Verkleinern und Verschieben der aktuellen Layoutansicht sollen möglich sein, um detaillierter oder gröber planen zu können. Dies alles soll möglichst intuitiv geschehen. Der Planer soll im Planungssystem mit den Objekten so umgehen, als würde er in der Realität die einzelnen Objekte direkt auf die Baustelle bewegen. Ein gemeinsames Planen soll auch möglich sein. Das Interaktionsgerät soll in der Lage sein, mehr als ein Bediener gleichzeitig zu erkennen: Die Positionierung oder Parametrisierung von verschiedenen Objekten sollen zeitgleich bzw. parallel möglich sein.

5.2.2 Auswahl an Planungstischen

Der Stand der Technik im diesem Bereich ist sowohl in der Interaktion (Multi-Touch, Objekterkennung) als auch in der Darstellung (simultane Visualisierung, 3D) weit fortgeschritten. Die Einsatzbereiche dieser Instrumente sind vielfältig und reichen von der Anwendung als Planungswerkzeug bis zur Visualisierung verschiedener Inhalte.

Microsoft bietet mit dem Surface ein großes, mit Multi-Touch-Funktion ausgestattetes Display, welches in einen Tisch integriert ist. Die Einsatzbereiche sind vielfältig und reichen von der Anwendung als Planungswerkzeug bis zur Visualisierung von Bildern und Karten. Durch ein entsprechendes Toolkit ist es möglich, eigene Programme und Funktionen für den Planungstisch zu implementieren und so den eigenen Bedürfnissen anzupassen [Mic-2011]. Diese Eigenschaft machte sich das Hasso-Plattner-Institut zu Nutze und erstellte auf Grundlage des Surface das sogenannte Lumino-System. Dieses zeichnet sich durch die Funktionalität aus, auf dem Bildschirm platzierte Objekte zu erkennen, indem sie mithilfe von eindeutigen 2D-Markern identifiziert werden. Hervorzuheben ist, dass auch übereinander gestapelte Objekte erfasst werden können [Bau-2010a].

Ähnlich dem Surface ist ein am Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme entwickeltes Multi-Touch-Panel. Das Anwendungsgebiet bezieht sich auf die Untersuchung seismischer Daten sowie der Analyse von Öl- und Gasvorkommen. Mehrere Personen können gleichzeitig mit dem System interagieren und gemeinsam ein Planungsergebnis erarbeiten [lai-2011].

Der am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) entwickelte Planungstisch ist für die teambasierte interaktive Produktionssystemplanung ausgelegt. Die multifunktionale Integrationsplattform i-plant besteht aus einem Pla-

nungstisch, auf dem das 2D-Layout projiziert wird. Auf dem Tisch platzierte kleine Klötze, sogenannte Bricks, werden durch ein Kamerasystem erkannt und ihre Position bestimmt (vgl. Abbildung 5-12). Die Bricks repräsentieren keine virtuellen Objekte, sondern dienen lediglich der Interaktion, bspw. Markieren, Kopieren und Verschieben von Komponenten. Die Planungsänderungen werden in einem 3D-Modell veranschaulicht [Bac-2000].



Abbildung 5-12: Planungstisch i-plant [lpa-2013]

Das an der ETH Zürich entwickelte System eines interaktiven, videobasierten Planungswerkzeugs (Build-It) kann für verschiedene Layout-Planungsprozesse in Fabriken verwendet werden [Eth-2011]. Dieses ist Grundlage für den am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit in Clausthal eingesetzten Planungstisch [Bra-2001]. Ähnlich dem i-plant wird eine 2D- und 3D-Projektion erzeugt und das System ebenfalls mithilfe sogenannter Bricks gesteuert. Allerdings repräsentieren letztere in diesem Ansatz unmittelbar Objekte, die für Untersuchungen der Fabrik- und Anlagenplanungen verwendet werden [Bra-2008].

Generell bieten derartige Planungstische zahlreiche Vorteile für den interdisziplinären Planungsprozess. Für eine ausführliche Überprüfung der Planungsergebnisse findet häufig eine zusätzliche Evaluierung innerhalb einer VR-Umgebung statt. Einer simultanen Kopplung von 2D-Planungsmethodik und VR-Projektion wurde bislang kaum Beachtung geschenkt.

5.2.3 Bewertung von Planungstischen

Die Bewertung bezieht sich in erster Linie nicht auf fertige Lösungen, wie in vorigen Abschnitt beschrieben, sondern auf die unterschiedlichen Systemmöglichkeiten. Unterschieden wird dabei die Eingabe, die Objekte, sowie die Ausgabe. Mit der Eingabe werden verschiedene Interaktionsmöglichkeiten untereinander verglichen. Die Kategorie Objekte bewertet verschiedene Darstellungsmöglichkeiten von Objekten und die Ausgabe, in welcher Form das Layout angezeigt wird. Der Morphologische Kasten (vgl. Abbildung 5-13) gibt Auskunft über die verschiedenen Systemmöglichkeiten.

Planungstisch-Ausgabe	Layout auf Papier			Layout auf einem Bildschirm			Layout mit Beamer projiziert	
Planungstisch-Objekte	Darstellung/Projektion			Einfache Objekte			Detaillierte Objekte	
Planungstisch-Eingabe	Multi-Touch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung

Abbildung 5-13: Morphologischer Kasten – Planungstisch

Für die Eingabe sind verschiedene Standard-Eingabegeräte möglich wie Tastatur oder eine Maus. Da diese tagtäglich verwendet werden, bedarf es an dieser Stelle keine Beschreibung dafür. Sie werden jedoch mitbewertet. Einige anderen möglichen Eingabegeräte wie Multi-Touch, die 3D-Maus und der Flystick wurden bereits in Kapitel 5.1.5 erklärt. Im folgenden werden noch die drei ausstehenden Interaktionsmöglichkeiten für die Planung erklärt.

Objekterkennung

Es gibt bereits verschiedenen Lösungen bei denen Objekte erkannt werden. Dies kann beispielsweise durch am Objekt angebrachte Barcodes erfolgen, aber auch durch Technologien wie Microsoft Kinect, ein Eingabegerät von der Spielekonsole X-Box. Durch einen Tiefensensor, ein 3D-Mikrofon, einer Farbkamera und einer geeigneten Software, können Bewegungen, aber auch Objekte erkannt werden. So nutzt beispielsweise das Projekt „collaborative design platform“ des Lehrstuhls für Architekturinformatik an der Fakultät Architektur der Technischen Universität München diese Technologie, um Modelle, die später auf einem Planungstisch gelegt

werden, zu erkennen. Dort wird auf dem Tisch bzw. der Projektionsfläche der Schatten angezeigt, der durch das auf dem Tisch gelegte Objekt zu einem bestimmten Datum und Uhrzeit erzeugt werden würde, wenn es sich um ein Gebäudeobjekt handeln würde [Col-2013]. Aber auch ein Multi-Touch-Tisch von Samsung, der SUR40, der die PixelSense-Technologie von Microsoft verwendet, ist in der Lage Objekte zu erkennen. Diese werden durch Infrarot-Reflexionen erkannt [Mic-2013]. Auch die Firma Kommerz aus Graz in Österreich hat ein System entwickelt das in der Lage ist Objekte zu erkennen. Dabei werden die Objekte mit Markern ausgestattet, welche sich untereinander unterscheiden. Eine Kamera nimmt die Bewegungen der Marker auf und eine Software bearbeitet diese. Durch die Verknüpfung von Markerform mit einem Objekt, kann eine Interaktion stattfinden [Kom-2013].

Hier muss unterschieden werden, dass die Objekterkennung als Eingabe verwendet wird und nicht für die zu planenden Objekte. Dies könnte zwar auch ein Anwendungsfall sein, doch bewertet werden hier Systeme, welche durch verschiedene Objekte bestimmte Menüs oder Funktionen erzeugen. Von der Firma Kommerz ist beispielsweise ein Objekt Kamera möglich, mit dem die Kameraposition festgelegt werden kann. Dies geschieht ganz einfach, in dem der Benutzer das Kameraobjekt an die gewünschte Position verschiebt und nach belieben dreht.

Gerätebasierte Gestenerkennung

Bei der gerätebasierten Gestenerkennung werden verschiedenen Hand- und Fingerbewegungen durch Sensorik am Handgelenk, beispielsweise in Form eines Handschuhes erfasst. Diese werden anschließend kabelgebunden oder kabellos an ein IT-System übermittelt. Ein solcher Sensorik-Handschuh könnte auch in Verbindung mit verschiedenen Knöpfen am Handgelenk realisierbar sein, anhand von dem mehr Funktionen und Befehle denkbar wären.

Kamerabasierte Gestenerkennung

Die kamerabasierte Gestenerkennung erfolgt ähnlich wie die gerätebasierte. Der Benutzer sendet dem IT-System Befehle, die er durch Hand- und Fingerbewegungen erzeugt. Das Erkennen der Bewegung erfolgt nicht über eine Sensorik an der Hand, sondern über eine Kamera. Diese übersetzt die Bewegungen und gibt sie anhand von Befehlen der Software weiter.

Durchführung der Bewertung

Für die Bewertung wurde eine Nutzwertanalyse gewählt. Die dafür notwendigen Bewertungskriterien wurden anhand der Anforderungen ermittelt. Die verschiedenen Systemmöglichkeiten wurden anhand des Paarweisen Vergleichs untereinander bewertet. In den zwei folgenden Tabellen (vgl. Tabelle 5-4 und Tabelle 5-5) wird das Ergebnis dieser Bewertung für die Eingabe dargestellt.

Tabelle 5-4: Bewertung der Interaktionsmöglichkeiten am Planungstisch (Teil 1/2)

g _k	Kriterium	Multi-Touch		Tastatur		Maus		3D-Maus		...
		B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g	
5%	Manipulation des Layouts (zoom, drehen, verschieben)	0,71	0,032	0,03	0,001	0,40	0,018	0,71	0,032	...
32%	Auswahl von Objekten aus Bibliothek mit Platzierung	5,00	1,591	0,22	0,069	4,57	1,453	1,09	0,346	...
23%	Parametrisierung von Objekten	3,08	0,700	3,57	0,812	1,85	0,420	0,86	0,196	...
14%	Manipulation von Objekten (vergrößern, drehen, verschieben)	2,14	0,292	0,37	0,050	1,85	0,252	0,67	0,091	...
17%	Gemeinsames Planen	2,26	0,376	0,45	0,075	0,45	0,075	0,45	0,075	...
11%	Kosten	0,06	0,006	1,67	0,177	1,44	0,152	1,21	0,128	...
		2,998		1,185		2,370		0,868		

Tabelle 5-5: Bewertung der Interaktionsmöglichkeiten am Planungstisch (Teil 2/2)

g _k	Kriterium	...	Flystick		Objekterkennung		Gerätebasierte Gestenerkennung		Kamerabasierte Gestenerkennung	
			B	B _g	B	B _g	B	B _g	B	B _g
5%	Manipulation des Layouts (zoom, drehen, verschieben)	...	0,59	0,027	0,34	0,016	0,40	0,018	0,53	0,024
32%	Auswahl von Objekten aus Bibliothek mit Platzierung	...	3,26	1,038	4,13	1,314	3,26	1,038	3,26	1,038
23%	Parametrisierung von Objekten	...	2,09	0,476	0,12	0,028	1,60	0,364	1,60	0,364
14%	Manipulation von Objekten (vergrößern, drehen, verschieben)	...	1,40	0,191	0,07	0,010	1,40	0,191	0,96	0,131
17%	Gemeinsames Planen	...	1,54	0,256	2,62	0,437	1,90	0,316	1,17	0,196
11%	Kosten	...	0,63	0,067	0,63	0,067	0,63	0,105	0,63	0,105
			2,055		1,871		2,033		1,857	

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse und somit der Bewertung ist ein Planungstisch mit Multi-Touch.

Die Bewertung der Objekte bezieht sich auf die Art der Benutzererfahrung mit diesen. Objekte können auf ein Blatt oder einer Leinwand mit einem Beamer projiziert werden, oder auf einem Bildschirm dargestellt werden. Zusätzlich sind Planungssysteme bekannt bei denen reelle, greifbare Objekte verwendet werden. Hier können einfache Objekte von detaillierten unterschieden werden. Die einfachen unterscheiden sich durch unterschiedliche Farben, Beschriftungen oder geometrisch unterschiedliche Grundflächen. Die detaillierten Objekte können zum Beispiel durch Verfahren wie Rapid Prototyping hergestellt werden. Diese ermöglichen eine realistische Darstellung, sind jedoch aufwendiger und teurer zu konstruieren als die einfachen

Modelle. Beide Modellvarianten können durch den Einsatz unterschiedlicher Technologien erkannt bzw. in das Planungssystem importiert werden. So ist es möglich, dass jedes Modell einen 2D-Code hat, die durch abfotografieren vom System erfasst werden können. Dies kann entweder automatisch geschehen oder am Ende der Planung durch eine manuelle Fotoaufnahme. Die manuelle Variante hätte zwar den Nachteil, dass eine Systemaufnahme in Echtzeit nicht möglich wäre und somit keine Auswertung und Analyse während der Planung, sie ist jedoch kostengünstiger und einfacher zu lösen. Es ist jedoch auch möglich reelle Objekte zu verwenden, welche von deren Unterseite gelesen werden können. Dies kann durch im Tisch eingebaute RFID-Lesegeräte möglich sein, durch 2D-Codes an der Unterseite, oder durch geometrisch unterschiedliche Modellgrundflächen.

Für die Bewertung wurde eine Nutzwertanalyse gewählt. Die dafür notwendigen Bewertungskriterien wurden anhand der Anforderungen ermittelt. Die verschiedenen Systemmöglichkeiten wurden anhand des Paarweisen Vergleichs untereinander bewertet. In der folgenden Tabelle (vgl. Tabelle 5-6) wird das Ergebnis dieser Bewertung für die Objekte dargestellt.

Tabelle 5-6: Bewertung der Darstellungsmöglichkeiten von Objekten am Planungstisch

g _k	Kriterium	Darstellung/Projektion		Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)		Genau Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	
		B	B _g	B	B _g	B	B _g
0,8%	Manipulation von Objekten (vergrößern (Lager), rotate, pan)	0,20	0,002	0,07	0,001	0,07	0,001
5,8%	Einfaches Erstellen von neuen Objekten	0,78	0,045	1,40	0,082	0,16	0,009
20,8%	Objekte: Flüssiges Arbeiten (Geringe Datenmengen)	0,71	0,149	5,00	1,042	5,00	1,042
20,8%	Objekte: Gute Unterscheidung versch. Objekte	5,00	1,042	0,56	0,116	2,78	0,579
5,8%	Kostengünstige Objekte	0,78	0,045	1,40	0,082	0,16	0,009
12,5%	mobil	3,00	0,375	1,67	0,208	0,33	0,042
12,5%	Baustellentauglich	3,00	0,375	1,67	0,208	0,33	0,042
20,8%	riesige Objektbibliothek	5,00	1,042	0,56	0,116	2,78	0,579
			3,075		1,854		2,301

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse und somit der Bewertung, ist die Verwendung von digitalen Objekten, welche entweder durch Projektion von einem Beamer, oder durch die Darstellung auf einem Bildschirm angezeigt werden.

Generell sind für die Ausgabe drei technische Lösungen denkbar. Das Layout kann entweder durch einen Ausdruck auf ein Papier, durch die Projektion auf einen Tisch oder durch einen Bildschirm dargestellt werden.

Für die Bewertung wurde eine Nutzwertanalyse gewählt. Die dafür notwendigen Bewertungskriterien wurden anhand der Anforderungen ermittelt. Die verschiedenen Systemmöglichkeiten wurden anhand des Paarweisen Vergleichs untereinander be-

wertet. In der folgenden Tabelle (vgl. Tabelle 5-7) wird das Ergebnis dieser Bewertung für die Ausgabe dargestellt.

Tabelle 5-7: Bewertung der Darstellungsmöglichkeiten von einem Layout am Planungstisch

g _k	Kriterium	Layout auf Papier		Layout auf einem Bildschirm		Layout wird mit Beamer projiziert	
		B	B _g	B	B _g	B	B _g
32%	Darstellung des Layouts	5,00	1,59	5,00	1,59	5,00	1,59
2%	Verschiedene Layout-Layer	0,00	0,00	0,24	0,00	0,24	0,00
17%	Layout - schnell Informationen einzeichnen	2,62	0,44	0,65	0,11	0,65	0,11
8%	Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	0,17	0,01	1,19	0,09	1,19	0,09
26%	Echtzeit-Auswertung der Planung	0,00	0,00	4,05	1,04	4,05	1,04
17%	Anschaffungskosten	2,62	0,44	1,46	0,24	0,29	0,05
			2,477		3,079		2,885

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse und somit der Bewertung, ist die Verwendung von einem Bildschirm, als Darstellungsmedium für das Layout.

Durch die drei Bewertungen ist ein System zu finden, welches das Layout, sowie die Objekte auf einem Bildschirm darstellt und durch einen Multi-Touch-Rahmen bedienbar ist.

5.3 Planungssoftware

Die Planungssoftware stellt den Kern des Systems dar. Mit ihr werden zukünftig die Planer Modelle an die geeignete Stelle positionieren, planungsunterstützende Algorithmen verwenden, sowie logistische Auswertungen anzeigen lassen. Die Entwicklung einer geeigneten Software bzw. das Anpassen einer bestehenden Software ist ein Hauptteil des gesamten Projektes. In diesem Abschnitt werden zunächst die Anforderungen an die Software definiert, damit verschiedene Software-Varianten anschließend miteinander bewertet werden können.

5.3.1 Anforderungen an die Planungssoftware

Die richtige Auswahl der Planungssoftware ist entscheidend für den Erfolg des Projektes und die Realisierung eines Demonstrators. Es gibt bereits am Markt verschiedene Planungssysteme für die stationäre Industrie, aber auch einige für die Bauindustrie oder Systeme für einen Planungstisch. Keines der Produkte genügt allerdings den Anforderungen für die logistische Planung von Großbaustellen unter Verwendung eines Planungstisches.

Die Planungssoftware muss ein Layout darstellen können. Das Anzeigen verschiedener Layout-Layer kann vom Vorteil sein, um bestimmte Informationen ein- und auszublenden. Dies kann wichtig sein, um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die Software soll das Laden einer Bibliothek ermöglichen, in der alle notwendigen Baustellenobjekte, gruppiert, abgespeichert werden. Nach der Auswahl eines Objektes, muss dieses auf eine bestimmte Layoutposition verschoben werden können. Die Eingabe von Information bzw. die Parametrisierung ist sehr wichtig. Hiermit können einem Objekt wichtige Planungsdaten hinzugefügt werden. Durch die Parametrisierung können weniger Objekte in der Bibliothek abgespeichert werden, als ohne. Falls digitale Modelle verwendet werden ist es wichtig, dass der Aufwand um Modelle zu erstellen, sehr gering ist bzw. es eine gute Importmöglichkeit gibt. Diese Objekte müssen untereinander für den Nutzer gut unterscheidbar sein. Trotzdem soll die Datenmenge so gering sein, dass ein flüssiges Arbeiten möglich ist. Bei der Verwendung von reellen Modellen ist es wichtig, dass die Planungssoftware die verschiedenen Objekte gut unterscheiden kann, damit es während der Planung zu keinen System bedingten Missverständnissen kommt. Wenn ein Objekt auf dem Layout positioniert wird, soll das Platzieren auf verschiedenen Ebenen möglich sein. Während in der stationären Industrie nur auf einer Ebene geplant wird, werden in der Baubranche die Modelle auf verschiedenen Ebenen, zum Beispiel in einer Grube oder einer Anhöhe, gelegt.

Um den Benutzer bei der Planung zu unterstützen, ist es notwendig eine Software zu verwenden, welche über eine gute Programmierschnittstelle verfügt. Damit können die Planungsalgorithmen entwickelt werden und ein Vorgehen angezeigt werden, in Abhängigkeit von Planungsereignissen, welche durch die Software erzeugt werden. So sollen Materialflüsse aufgezeigt werden, oder Hüllkurven von Baumaschinen und Krane angezeigt werden.

Das bestimmen der Position der verschiedenen Geräte und Lager in der zeitlichen Abhängigkeit wird durch Bauphasen definiert. Die Software muss demnach in der Lage sein, verschiedenen Bauphasen abzubilden bzw. planbar zu machen. Eigentlich kann die Planung jeder Bauphase als getrenntes Projekt angesehen werden, was auch das Finden einer geeigneten Software erleichtert. Trotzdem ist es wichtig, dass zwischen den Bauphasen eine Verbindung herrscht. Damit soll später durch Planungsalgorithmen möglich sein, zu kontrollieren, ob in Anbetracht der verschiedenen Bauphasen ein Objekt in einer bestimmten Bauphase an einer anderen Stelle stehen sollte, um einen besseren Materialfluss zu erreichen oder weniger Umlage-

rungen durchführen zu müssen. Zudem ist es denkbar, dass alle Objekte von Bauphase t0 in die Planung für die Phase t1 übernommen werden. Viel bleibt oft gleich und mit einer derartigen Kopierfunktion kann die Planungszeit verkürzt werden.

6 Realisierung des Demonstrators

Die Realisierung des Demonstrators unterteilt sich in den Systemkomponenten und der Funktionen der Software. Zu Beginn werden die verschiedenen ausgewählten Systemkomponenten erklärt und eine Übersicht mit Kosten des Hardwaresystems aufgelistet. Die Funktionen des Demonstrators beschreiben das Interaktionskonzept und das zweistufige Planungssystem. Am Ende wird noch auf die Objektbibliothek eingegangen und erklärt wie die Objekte konstruiert wurden.

6.1 Komponenten des Systems

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Komponenten des Systems erklärt. Im Kapitel 5 wurden die verschiedenen Hardware-Komponenten aus dem Morphologischen Kasten bewertet. Das Ergebnis dieser Bewertung zeigt Abbildung 6-1:

VR-Visualisierung	VR-Cave	VR-Powerwall		Mobile VR-Wand		3D-Monitor	3D-Blackboard	Head-Mounted-Display
VR-Interaktion	Multi-Touch	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für die Planung
Planungstisch-Ausgabe	Layout auf Papier			Layout auf einem Bildschirm			Layout mit Beamer projiziert	
Planungstisch-Objekte	Darstellung/Projektion			Einfache Objekte			Detaillierte Objekte	
Planungstisch-Eingabe	Multi-Touch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung

Abbildung 6-1: Morphologischer Kasten - Gesamtsystem mit Auswahl

Für die Visualisierung wird ein 3D-Monitor verwendet, die Interaktion dafür erfolgt durch die gleiche Eingabe, welche für die Planung verwendet wird. Der Planungstisch verwendet für die Anzeige des Layouts einen Bildschirm. Darauf werden verschiedene Objekte dargestellt, die durch Fingerberührungen auf den Bildschirm an die geeignete Stelle bewegt werden können. Dafür wird ein Multi-Touch-System verwendet.

6.1.1 Übersicht der Systemkomponenten

In den nachfolgenden Abschnitten werden die verschiedenen Komponenten des Systems beschrieben. Dies wird in Planungstisch, Workstation, VR-System und Software unterteilt. Am Ende gibt es noch eine Aufstellung des Gesamtsystems, wo ein Foto und eine Tabelle der Kosten des Demonstrators aufgezeigt werden. Abbildung 6-2 zeigt die notwendigen bzw. gekauften Komponenten des Systems mit ihrem Zusammenspiel. Die gesamte Abbildung beschreibt das Gesamtsystem, welches sich aus dem Visualisierungs- und dem Planungsteil, sowie aus der Workstation und einen Netzwerk-Router zusammensetzt. Auf der leistungsfähigen Workstation laufen die Programme für die Visualisierung und für die Planung. Die Fenster der Programme werden auf den beiden Ausgabegeräten angezeigt. Auf dem 3D-Bildschirm der vertikal aufgerichtet wird, wird die VR-Visualisierung dargestellt und auf dem horizontal angebrachten Bildschirm die Planung. Für beide Bildschirme werden dafür notwendige Halterungen benötigt.

Um die Planung zu bearbeiten bzw. um die benötigten Eingabebefehle zu erzeugen, wird ein Multi-Touch-Rahmen auf dem Planungsbildschirm montiert. Dieser Rahmen sendet die Eingaben an die Workstation, welche sie verarbeitet und am Ausgabe-medium anzeigt. Auch die Eingaben für die Visualisierung werden damit getätigt. Hier handelt es sich um die Manipulation der Kameraansichten oder um das Eingeben von Notizen.

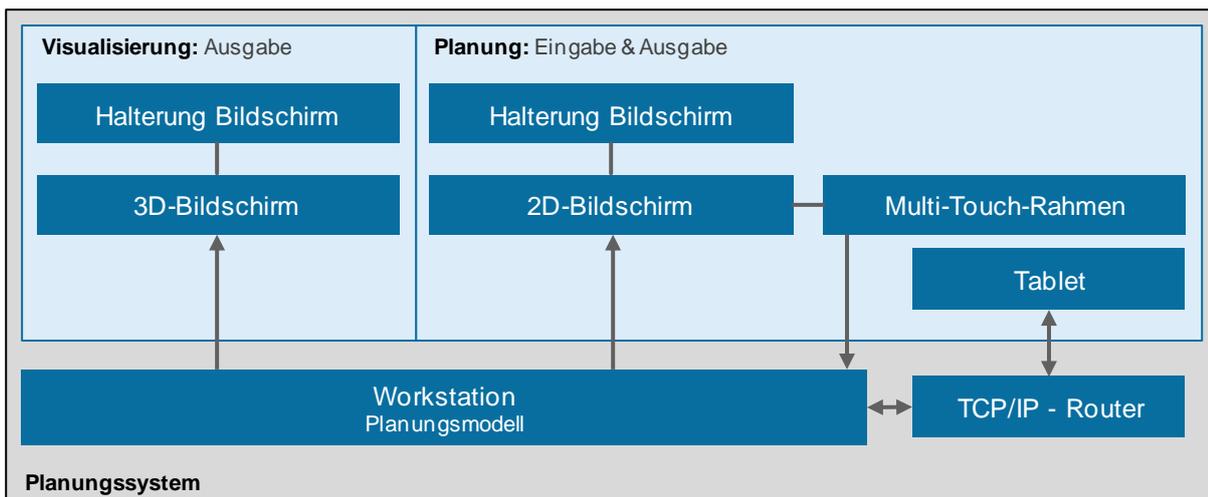


Abbildung 6-2: Hardwareaufbau des Planungssystems

Als zusätzliches Eingabegerät für die Planung wird ein Tablet verwendet. Dieses ist über WLAN mit einem Router verbunden. Über diese Schnittstelle kann sich das Ta-

blet mit der Baustelleneinrichtungselementedatenbank (BEE-DB) verbinden und diese dem Benutzer ausgeben. Die Eingaben werden anschließend auf dem Tablet verarbeitet, über den Router an die Workstation geschickt und auf dem 2D-Bildschirm angezeigt. Abschnitt 6.2 erklärt dabei die Funktionsweise des Tablets.

6.1.2 Planungstisch

Im Abschnitt 5.2.3 wurde selektiert, dass ein Planungstisch mit Multi-Touch-Technologie und Bildschirm zum Einsatz kommen soll. Auf dem Markt gibt es dazu verschiedene Anbieter. Ein Komplettsystem bietet Samsung mit dem Produkt SUR40 an. Dieses verwendet die Pixel-Sense-Technologie von Microsoft und erlaubt das Erkennen von bis zu 50 Berührungspunkte gleichzeitig. Zusätzlich ist es möglich Objekte die auf die Bildschirmplatte gelegt werden zu erkennen. Dadurch wären im Gegensatz zu einem reinen Multi-Touch-System, mehr Steuerungsvarianten möglich. Das Komplettsystem besitzt jedoch auch Nachteile. Der bereits eingebaute Computer ist nicht besonders leistungsfähig. Für die VR-Visualisierung wäre daher ein zweiter, sehr leistungsfähiger Rechner notwendig. Bei einem Ausfall müsste auch das komplette System zur Reparatur geschickt werden. Ein Totalausfall ist die Folge.

Andere Anbieter bieten nur einen Multi-Touch-Aufsatz für beliebige Monitorgrößen oder Monitore mit schon bereits installierten Multi-Touch-Rahmen an. Für das Projekt LogPlan Bau wurde ein System der Firma myMultiTouch ausgewählt. Diese Firma bietet ein MultiTouch-Kit an, einen Multi-Touch Aufsatz, sowie Multi-Touch Displays. Das Kit ermöglicht das selbstständige Zusammenbauen eines MultiTouch-Rahmens. Dieses Kit ist für Displaygrößen von 70“ bis 103“ möglich, sogar Maßanfertigungen von bis zu 300“ sind damit realisierbar. Der Multi-Touch Aufsatz bietet bereits einen vormontierten Rahmen für 32“ bis zu 65“ Displays im 16:9 Format. Zusätzlich gibt es auch schon Multi-Touch Displays die mit einem geeigneten Monitor ausgeliefert werden. Diese Monitore sind für den Dauerbetrieb ausgelegt und ermöglichen den horizontalen Betrieb. Dies ist nicht mit jedem Consumer-Monitor möglich, da dieser im waagrechten Betrieb überhitzen kann. Durch zusätzlich montierte Belüftungen ist dies bei den Displays der Firma myMultitouch möglich. Die Systeme der Firma bieten zudem verschiedene Varianten an. Es gibt Systeme mit 2, 6, 10, 12 oder 32 TouchPoints (Berührungspunkte). Je nach Anwendungsfall und jeweiligen Anforderungen kann demnach ein geeignetes System ausgesucht wer-

den. Für den Demonstrator wurde das Produkt Alvaro V46 gewählt, welches ein Display von 46“ besitzt und bis zu 12 gleichzeitige Touch-Points erkennt.

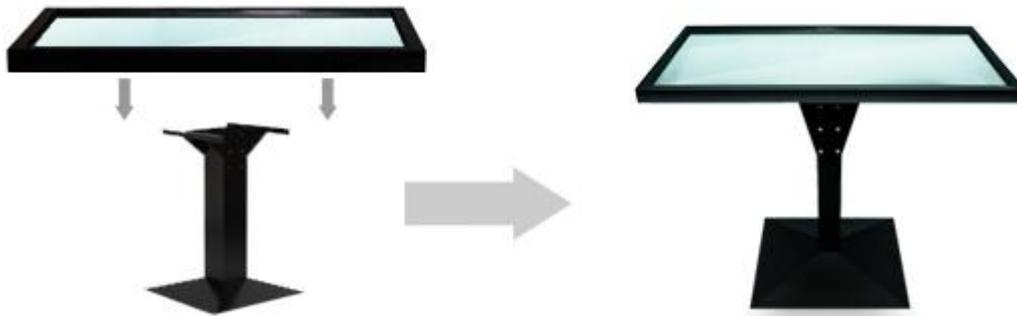


Abbildung 6-3: Montage des Planungstables mit dem Standfuß [Mym-2013]

Zudem wurde noch ein Standfuß (Visego H 950mm M von MyMultiTouch) gekauft, auf dem der Bildschirm montiert werden kann (vgl. Abbildung 6-3). Damit ist ein Arbeiten in Hüfthöhe möglich. Zwischen Monitor und MultiTouch-Rahmen ist eine Glasplatte montiert, welche das System noch zusätzlich schützt. Ein Betrieb auf der Baustelle oder das kurze Ablegen von Gegenständen, bereiten keine Probleme. Die Berührungspunkt-Technologie ermöglicht auch eine Bedienung mit Handschuhen.

Hardwarezubehör für den Planungstisch

Für das Planungssystem bietet sich zusätzlich die Verwendung eines Tablets an. Auf diesem können zusätzliche für die Planung sinnvolle Informationen angezeigt werden, wie zum Beispiel das Planungsvorgehen, Planungshinweise oder einzuhaltende Gesetze, es kann Planungsfunktionen beinhalten, wie das Konfigurieren von Elementen, die auf dem Planungstisch dann nur mehr an die richtige Position geschoben werden müssen, oder für die Betrachtung der Planung und somit für die Verwendung als Diskussionsgrundlage in Besprechungen, wo der Planungstisch nicht verwendet werden kann.

Hierfür wurden zwei verschiedene Tablets eingesetzt, welche sich hauptsächlich im Betriebssystem unterscheiden. Zum Einen wurde das iPad 3 von Apple gekauft, welches das Betriebssystem iOS verwendet, und zum anderen das Galaxy Tab 10.1n von Samsung, welches mit Google Android betrieben wird. Beide Geräte verfügen über eine WLAN-Schnittstelle, sowie über UMTS, um ein mobiles Arbeiten, zum Beispiel auf der Baustelle zu ermöglichen.

6.1.3 Workstation

Für den Demonstrator ist eine Workstation notwendig. Auf dieser wird das Planungsmodell aufgebaut und sie ist für die Visualisierung zuständig. Die Planung erfolgt zum Teil mit einer CAD-Software und zum Teil mit einer eigenen Software, für die allerdings keine große Rechenleistung erforderlich ist. Für die CAD-Software wird allerdings ein IT-System benötigt mit einer CAD-Grafikkarte, sowie ausreichend Arbeitsspeicher. Für die grafikintensiven Anwendungen der VR-Visualisierung werden hohe Ansprüche an die Grafikkarte gestellt.

Für die Auswahl der geeigneten Workstation wurden Experteninterviews mit der Firma RTT geführt. Auf Grundlage von den Projektanforderungen bzw. einer Anzahl an gleichzeitig in der Bauphase befindlichen Modellen und einer ungefähren Dateigröße je Modell, wurde die Workstation Fujitsu Celsius M720 empfohlen. Für den Demonstrator wurden zwischen 20 und 30 Modelle angegeben, die eine Dateigröße von ca. 15 Megabyte besitzen.

Die Workstations von Fujitsu lassen sich konfigurieren. Für den Demonstrator wurde folgende System ausgewählt:

- CPU: Xeon E5-1620 3.60GHz 10MB Turbo Boost
- Arbeitsspeicher: 16 GB DDR3-1600 ECC (4x4 GB)
- Grafikkarte: nVidia Quadro 5000 2.5 GB
- Festplatte: HDD SATA III 600 GB

Wichtigste Komponente ist die Grafikkarte. Diese ist notwendig für die ressourcenhungrige VR-Visualisierung. Grafikkarten mit Quadro-Grafikprozessor weisen eine sehr gute Leistungsperformance auf und ermöglichen mit ihren Schnittstellen einen stereoskopischen Aufbau des Systems. Im folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften der Grafikkarte aufgelistet:

- 1x DVI-I (digital + analog)
- 1x DVI-D (digital)
- 2x DP 1.2 (DisplayPort)
- Speichergröße 4 GB GDDR5

- Speicherbandbreite 173 GB/s
- OpenGL 4.3 und DirectX 11

Mit dem neuen DisplayPort 1.2 Standard kann das Bild auf bis zu 4 Bildschirmen gleichzeitig angezeigt werden, mit einer Auflösung bis zu 3840x2160. Damit lassen sich ganz einfach moderne Stereo 3D Umgebungen einrichten.

6.1.4 VR-System

Für das Virtual Reality System wurde ein handelsübliches Consumer 3D-TV-Gerät gekauft. Der Samsung UE55D7090 mit 55“ und 6 Shutterbrillen (Samsung, Modell: DDG-3700CR) ermöglicht die 3D-Visualisierung und eine einfache Handhabung. Das gekaufte Modell wird über den DisplayPort an die Workstation angeschlossen und kann auch mit anderen Ausgabegeräten, wie zum Beispiel ein 3D-Blackboard verwendet werden.

6.1.5 Software

Für den Demonstrator wurde verschiedene Software eingesetzt und auf die Anforderungen des Projektes LogPlan Bau angepasst. Zum einen wurde eine eigene Software entwickelt mit der verschiedene Benutzer gleichzeitig planen können. Für die Virtual Reality Visualisierung wird die Software Delta Gen 11 von RTT verwendet. Zudem wird für die genaue Grobplanung und Diskussion Factory Design Suite (FDS) 2013 von Autodesk verwendet (vgl. Abschnitt 6.2.1).

Um Autodesk FDS intuitiv auf dem MultiTouch-System zu verwenden ist ein Plugin notwendig, welches im Rahmen des Projekts entwickelt wurde. Damit sind ähnlich intuitive Steuerungen der 3D-Umgebung möglich, wie sie auf Consumer-Tablets bekannt sind.

Um Baumaschinen schon auf einem Tablet zu konfigurieren ist es notwendig ein Datenbanksystem zu installieren. Für den Demonstrator wurde dafür Microsoft SQL verwendet. Diese Datenbank wird auch für die Unterstützung des Planers benötigt. Hier werden Hinweise, Gesetze und die verknüpften Objekte gespeichert.

6.1.6 Gesamtsystem: Demonstratoraufbau und Kosten

Die Tabelle 6-1 zeigt eine Auflistung der wichtigen Hardware. Die Preise entsprechen den Stand 2012 und sind als einen ungefähren Richtwert zu verstehen. Da sich Preise in diesen Sektor stark ändern, kann der Preis als Maximalpreis angesehen werden.

Tabelle 6-1: Kostenübersicht der einzelnen Hardware des gewählten Planungssystems

Kategorie	Hardware	Preis
Planungssystem	MyMultiTouch Alvaro V46" Standard - based on NEC P462 (MYM-AVR46-P)	3.000 €
	Planungstischfuß MyMultiTouch Visego H 950mm M	700 €
	Tablet Samsung Galaxy Tab 10.1N WiFi + 3G, 16GB, schwarz	400 €
Visualisierung	3D-Bildschirm Samsung UE55D7090	1.000 €
Workstation	Fujitsu Celsius M720	3.500 €
Netzwerk	Router	100 €
SUMME		8.700 €

Abbildung 6-4 zeigt den aufgebauten Demonstrator mit Milti-Touch-Planungstisch auf dem Standfuß und dem 3D-Monitor. Auf dem Planungstisch ist Autodesk Inventor zu erkennen, auf dem Fernseher Autodesk Navisworks.



Abbildung 6-4: Aufbau des Planungssystems

6.2 Funktionen des Demonstrators

Nachdem die Systemkomponenten beschrieben wurden, gilt es nun die Funktionen des Demonstrator zu erläutern. Zu Beginn wird auf das Interaktionskonzept eingegangen, wo erklärt wird, wie das zweistufige Planungssystem verwendet wird.

6.2.1 Interaktionskonzept

Um den Anforderungen gerecht zu werden, wurden zwei Planungstools entwickelt bzw. angepasst. Das erste Planungstool bzw. die 1. Planungsstufe besteht aus einer im Rahmen des Projektes erstellten Software. Mit dieser können mehrere Personen gleichzeitig Objekte auf das Layout verschieben. Die Planung erfolgt in der Draufsicht in 2D. Die VR-Visualisierung erfolgt in Echtzeit mittels der Software Delta Gen 11 von RTT. Es wird nicht die Bewegung eines Elementes auf der VR-Ausgabe angezeigt, doch in dem Moment des Loslassens eines Elementes, wird dieses sofort an der richtigen Position angezeigt. Die erste Planungsstufe erkennt auch Kollisionen und besitzt Planungshilfen wie Ausrichten oder Gruppieren. Damit können einfach verschiedenen oder gleiche Objekte mit einem definierten Abstand aneinander ausgerichtet werden oder gruppiert verschoben werden. Wenn ein Element in der Draufsicht mit einem anderen Element oder dem Gebäude kollidiert, wird dieses signalisiert. Die Kollision erfolgt hier jedoch nur grob und zwar an den maximalen Abmessungen des Elementes.

Die 2. Planungsstufe basiert auf Factory Design Suite 2013 von Autodesk und wurde an die Anforderungen angepasst. Mit dem Softwarepaket, welches aus verschiedenen Programmen von Autodesk besteht ist ein genaueres Planen mehrerer Planungsalgorithmen möglich. Da hier jedoch keine gleichzeitige Planung möglich ist, wird das erste Planungstool bzw. die erste Planungsstufe für die Teamarbeit verwendet. Abbildung 6-5 verdeutlicht dieses Zusammenspiel:

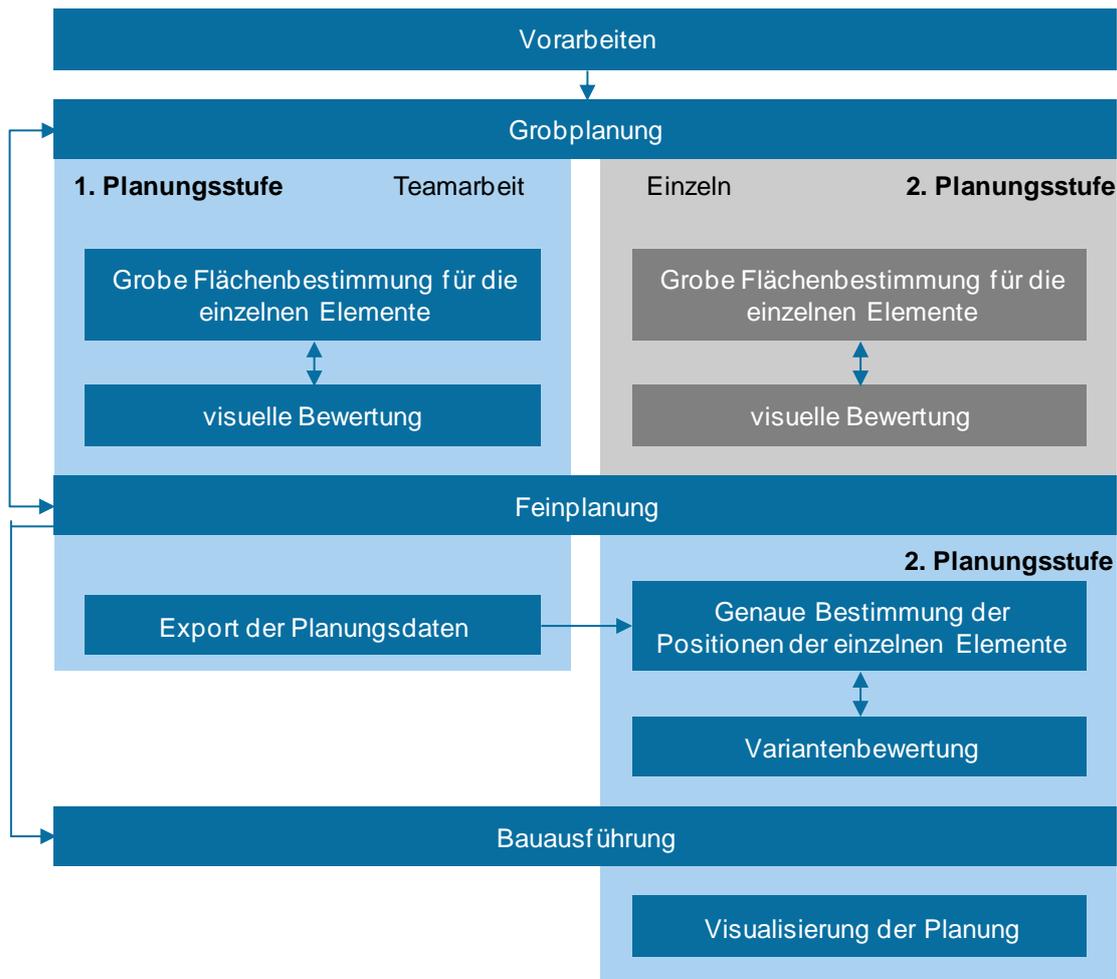


Abbildung 6-5: Planungsvorgehen mit Planungstools

Der Prozess beginnt schon mit den Vorarbeiten. Hier werden alle für die Planung notwendigen Daten gesammelt und ein 3D-Modell erzeugt. Zudem muss ein Layout vorhanden sein, welches im Planungstool importiert werden kann. Anschließend erfolgt eine grobe Flächenbestimmung der einzelnen Elemente durch die Verwendung der ersten Planungsstufe. Dies kann im Team, durch mehrere Benutzer gleichzeitig, oder auch als Einzelperson durchgeführt werden. Die Verwendung der 2. Planungsstufe ist zwar auch möglich und nur dann, wenn nicht mehrere Personen gleichzeitig Objekte positionieren möchten. Dies wird jedoch nicht empfohlen, da dies in der ersten Planungsstufe einfacher und schneller erfolgen kann. Nach der Flächenbestimmung durch das Team kann eine visuelle Bewertung erfolgen. Ist jeder mit dieser einverstanden, kann mit der Feinplanung begonnen werden. Die Daten der ersten Planungsstufe werden in eine xml-Datei abgespeichert. Diese können für die Feinplanung in die 2. Planungsstufe importiert werden. Dort erfolgt die genaue Festlegung der Position verschiedener Objekte. Dafür gibt es, wie in der ersten Pla-

nungsstufe, eine Baustelleneinrichtungselemente-Bibliothek (BEE-B). Während dem genauen Positionieren der verschiedenen Elemente werden dem Planer nützliche Hinweise und Gesetze, die zu beachten sind, eingeblendet. Durch die Verwendung verschiedener Elemente, weiß das Planungssystem, welche Objekte mit dem verwendeten Element verknüpft sind und kann daher eine Hilfestellung anbieten bzw. eine Liste von Objekten anzeigen, welche noch positioniert werden müssen, aber noch nicht positioniert wurden.

Die Planungsvarianten können anschließend in der Gruppe diskutiert werden. Die Software bietet dazu eine Redlining-Funktion, mit der Kommentare oder geometrische Formen zu erkannten Planungsfehlern, Schwachstellen sowie Hinweise und Vorschläge usw. eingezeichnet werden können. Dies kann dann später durch den Planer eingearbeitet werden.

Der Planungstisch kann später im Container auf der Baustelle verwendet werden. Durch die definierten Anforderungen wurde ein Planungssystem ausgewählt, welches auch auf der Baustelle gut eingesetzt werden kann. Dies kann für die wöchentliche Montagsbesprechung von Nutzen sein, bei der neue Anlieferungen und die geplanten Positionen gut visualisiert werden können. Ebenso lässt sich auch der Planungsfortschritt auf dem Planungstisch in der Besprechung aufzeigen.

6.2.2 1. Planungsstufe: Kooperatives Planen

Die erste Planungsstufe wurde für die Grobplanung entwickelt. Damit kann in der Gruppe einfach im Dialog geplant werden. Nach dem Laden von einem Layout für eine bestimmte Bauphase, können mehrere Planer Objekte an die richtige Stelle verschieben.

Programmübersicht

Nach dem Programmstart, kann der Planer ein neues Projekt anlegen, oder über eine Liste, gespeicherte Baustellen laden. Wenn das VR-System verwendet werden soll, muss der Softwareteil, RTT Delta Gen, vor dem neu Anlegen eines Projektes bzw. vor dem Laden eines gespeicherten Projektes geöffnet werden.

Bei der Neuerstellung einer Planung, muss ein Layout und ein Name ausgewählt werden. Verschiedene Layouts werden in einem Programmordner gespeichert und anschließend aufgelistet. Durch Hinzufügen oder Ändern der Layouts in diesem

Ordner kann dieser leicht verwaltet werden. Durch die Auswahl einer gespeicherten Planung oder durch die Neuplanung erscheint ein neues Fenster, der Planungsbereich und das Layout wird in 2D auf der ganzen Bildschirmbreite angezeigt. Auf der linken Seite kann die Bibliothek angezeigt werden. Dort befinden sich gruppiert alle möglichen Baustelleneinrichtungselemente. Zudem ist es möglich Lagerflächen auszuwählen deren Seiten oder deren Flächen individuell bestimmt werden können (vgl. Abbildung 6-6).

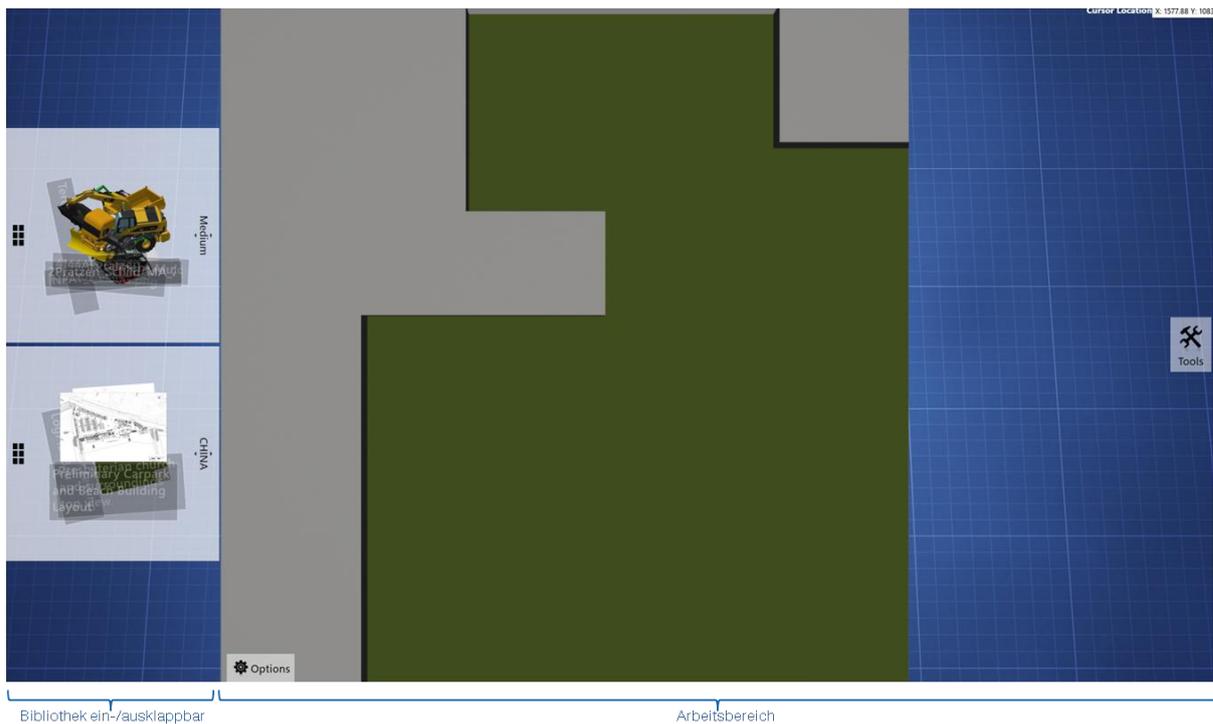


Abbildung 6-6: 1. Planungsstufe - Arbeitsbereich

Auf der unteren und rechten Seite befinden sich erweiterte Funktionen. Diese können nach Bedarf ein- und ausgeblendet werden, da sie nicht ständig verwendet werden und der sichtbare Planungsbereich somit größer ist. Auf der unteren Seite kann die aktuelle Planung gespeichert oder das Programm ohne zu speichern beendet werden (vgl. Abbildung 6-7).

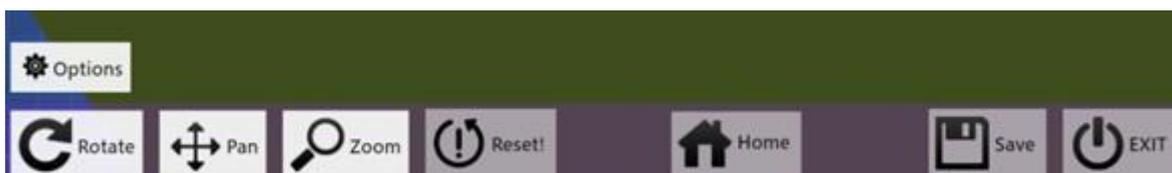


Abbildung 6-7: 1. Planungsstufe - Menü an der unteren Seite

Daneben gibt es die Funktionen um die Layoutansicht zu manipulieren. Durch ein- und ausschalten dieser Funktionen kann bestimmt werden, welche der Layoutansichtsmanipulationen aktiv ist und welche nicht. Damit kann das Layout vergrößert oder gedreht werden. Ein Verschieben der aktuellen Ansicht ist auch möglich. Durch diese Funktionen kann der Fokus auf einen bestimmten Bereich gelegt werden. Eine genauere Planung ist hierbei leichter möglich. Beim Vergrößern/Verkleinern des Layouts, werden die Modelle mitskaliert.

Auf der rechten Seite befinden sich die Funktionen:

- Elementgruppierung
- Ausrichtung der Elemente
- Interaktion mit der VR-Visualisierung.

Diese Funktionen werden in den nächsten Abschnitten genauer erklärt.

Jedes Objekt welches auf das Layout gezogen wird, erhält ein eigenes Menü. Dieses befindet sich in der Ecke der Draufsicht des Modells, wie in Abbildung 6-8 zu sehen ist.

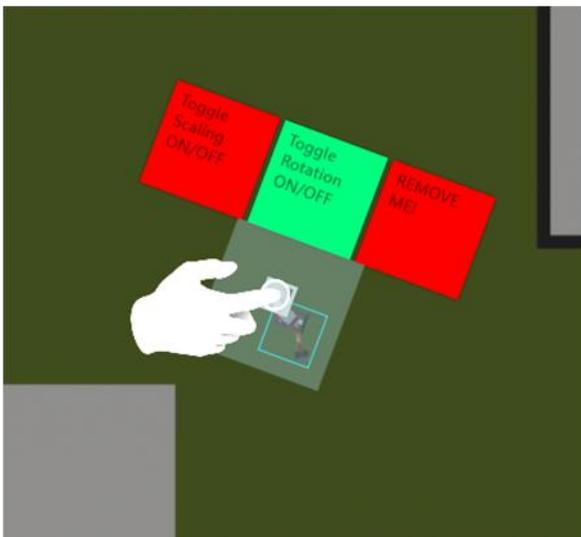


Abbildung 6-8: 1. Planungsstufe - Menü der Objekte

Damit können Funktionen aktiviert bzw. deaktiviert werden oder das Objekt wieder gelöscht werden. Es ist damit möglich die Rotation des Objektes auf dem Layout zu deaktivieren, genau so wie die Skalierung des Objektes. Die Skalierung ist stan-

dardmäßig deaktiviert und macht bei Baumaschinen keinen Sinn, kann aber bei anderen Objekten, wie zum Beispiel einem Lager verwendet werden.

Planungstabledt

Für jedes Objekt kann der Prozess in 3 Schritte unterteilt werden. Zuerst muss das richtige Objekt aus der Bibliothek ausgewählt werden. Dazu öffnet der Planer die Bibliothek, worin verschiedene Elemente in Gruppen zusammengefasst sind. Durch auswählen einer Gruppe gelangt dieser in die Untergruppe wo direkt ein Element ausgewählt werden kann.

Der zweite Schritt erfolgt sofort nach dem Bestimmen des Elementes. In Abhängigkeit des Objektes kann oder muss er dieses noch Parametrisieren. Bei Lagern ist dies beispielsweise notwendig, da diese ohne Länge, Breite und Höhe in der Bibliothek abgespeichert werden. Bei vielen anderen Geräten ist dies zwar nicht notwendig, aber sinnvoll. So kann zwar beispielsweise sofort ein Bagger ausgewählt werden und dieser im dritten Schritt an die notwendige Stelle auf dem Layout verschoben werden, doch auch hier macht eine Parametrisierung Sinn: Der Planer sollte bestimmen welchen Unterbau, welchen Ausleger, welchen Löffel oder welche Schaufel er für die vom Bagger auszuführende Tätigkeit benötigt.

Im dritten Schritt werden die im ersten Schritt ausgewählten Objekte und die im zweiten Schritt konfigurierten Objekte auf dem Layout positioniert. Um verschiedene Objekte zu positionieren ist es wichtig im Team zu arbeiten. Dafür müssen alle beteiligten Personen freie Sicht auf den Planungstisch haben. Dort wird dann hauptsächlich entschieden wo welches Objekt am besten platziert werden soll bzw. es sollen grob die Flächen für verschiedene Baumaschinen, Krane oder Lager bestimmt werden. Für die ersten beiden Schritte ist nicht unbedingt eine freie Sicht auf den Planungstisch notwendig (vgl. Abbildung 6-9).



Abbildung 6-9: Objektauswahl- und konfiguration mit Tablet

Die Auswahl und Konfiguration der Objekte kann als Vorarbeit für die Planung am Planungstisch gesehen werden. Durch die Trennung der drei Schritte in 2 Prozesse kann die Vorarbeit auf einem Tablet erfolgen, während die im Team stattfindende Positionierung auf dem Planungstisch erfolgen kann. Damit kann auch Zeit gespart werden, da die Prozesse parallelisiert werden können: Während die Planer diskutieren wo welches Objekt auf dem Planungstisch sein soll, können andere die notwendigen Objekte vorbereiten.

Eine geeignete App für das Tablet wurde im Rahmen vom Projekt entwickelt. Nach dem Starten der App erscheinen 2 Auswahlmöglichkeiten (vgl. Abbildung 6-10). Die linke Auswahlmöglichkeit startet die Bibliothek der Baugeräte, die rechte Auswahlmöglichkeit alles andere. Um die Bibliothek der Baugerätedatenbank zu starten verbindet sich die App mit der am Lehrstuhl entwickelten Datenbank EIS. EIS steht für Equipment Information System und beinhaltet sämtliche Baugeräte. Das Informationstool arbeitet mit einer MySQL Datenbank und bietet dem Benutzer eine Geräteauswahl mit allen wichtigen Leistungsdaten. Ein Papierkatalog wird damit überflüssig.

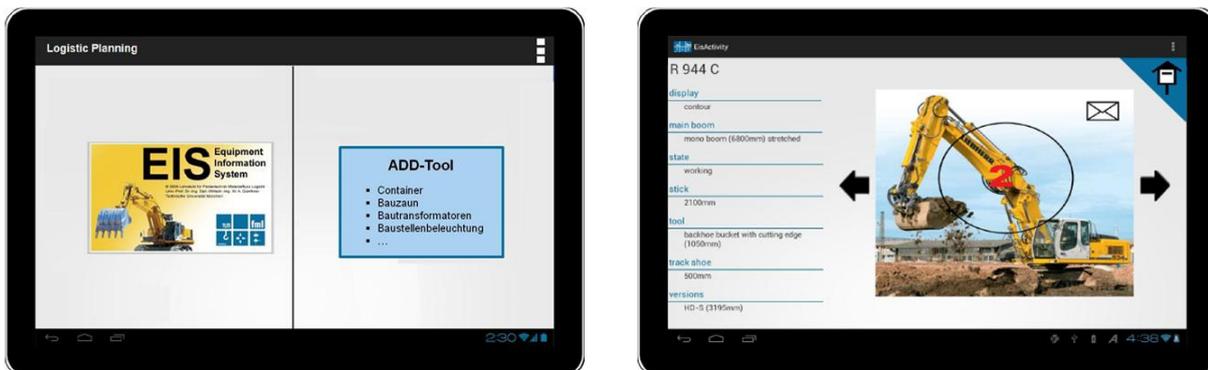


Abbildung 6-10: Software-Aufbau am Tablet

Nach Auswahl von EIS auf dem Tablet erscheinen die verschiedenen Baumaschinen in der identischen Gruppierung wie sie bei EIS üblich gruppiert werden. Nach Auswahl eines Objektes erscheint ein neues Bild mit den Informationen der Baumaschine und ein Bild. Durch Pfeiltasten neben dem Bild, können verschiedenen Ansichten angezeigt werden. Darunter kann die Baumaschine parametrisiert werden. Durch einen „Wisch-Bewegung“ mit dem Finger vom Bild auf das Postfach rechts oben, wird die Baumaschine zum Planungstisch versendet. Dies erfolgt über die TCP/IP-Schnittstelle.

Die rechte Auswahl der App (vgl. Abbildung 6-10) ist mit keiner vor dem Projekt existierenden Lösung verknüpft. Um alle anderen Elemente abzubilden, die nicht in EIS enthalten sind, wurde auf dem Planungstisch eine Datenbank erstellt, welche gruppiert alle anderen Elemente mit einer 3D-Datei und einem Bild für die Draufsicht enthält. Nach dem Auswählen dieser Bibliothek erscheinen die gruppierten Objekte. Die Benutzerinteraktion erfolgt identisch zur EIS-Auswahl.

Kollision

Werden Objekte auf dem Layout positioniert, erfolgt eine Kontrolle ob diese mit anderen Objekten kollidieren. Diese Kontrolle ist zu diesem Zeitpunkt noch grob, da sie nur die maximale Dimension eines Objektes mit der maximalen Dimension eines zweiten Objektes vergleicht. Dazu wird in einer Datei die Information beider Objekte als Umriss gespeichert. Schneiden sich diese beiden Umrisse, signalisiert die Software, dass es eine Kollision geben könnte. Zu diesem Zeitpunkt (Grobplanung) ist diese Kontrolle ausreichend, da erst in der Feinplanung die genaue Position mit jeweiligem Sicherheitsabstand eingezeichnet wird. Eine Kollisionskontrolle zwischen Objekt und Bauwerk erfolgt auch und nach der gleichen Methodik.

Ausrichten von Elementen

Wenn mit einem Finger das Planungssystem bedient wird und Objekte an eine bestimmte Stelle positioniert werden müssen, die parallel zu anderen Objekten sein sollen, ist dies ohne Zusatzfunktionen sehr schwer zu erreichen. Oft wird allerdings so eine Funktion gewünscht, da dadurch beispielsweise Container schnell aneinandergereiht werden können (vgl. Abbildung 6-11).



Abbildung 6-11: 1. Planungsstufe - Ausrichten von Elementen

Das Tool bietet eine Ausrichtungsfunktion, mit der gleiche aber auch unterschiedliche Objekte aneinandergereiht werden können. Durch Angabe eines Abstandswertes, in Millimeter, wird die Entfernung von einem zu jedem anderen Objekt angegeben. Es kann auch bestimmt werden, in welcher Richtung die anderen Objekte ausgerichtet werden können. So ist eine Ausrichtung auf der rechten, linken, vorderen oder hinteren Seite eines Objektes möglich. Werden die Objekte ausgerichtet, so kann der Winkel eines Objektes, falls gewünscht, verändert werden, bevor die Funktion quittiert wird.

Die Funktion wird über das rechte Menü des Planungsbereiches zum Vorschein gebracht, ansonsten bleibt diese verborgen. Nach dem Öffnen des rechten Menübereiches muss zuerst auf die Ausrichtungs-Funktion geklickt werden. Anschließend muss das erste Element bestimmt werden, an dem alle anderen Objekte ausgerichtet werden sollen. Jedes Objekt das jetzt ausgewählt wird, wird in der Reihenfolge, wie diese gewählt werden, ausgerichtet. Auf der rechten Menüseite sind 4 Pfeile sichtbar, welche farblich mit den Pfeilen übereinstimmen, welche am Objekt erscheinen, welches zuerst ausgewählt wurde. Durch das Bestimmen eines Pfeiles, werden die Objekte in diese gewählte Richtung ausgerichtet. Daneben ist ein Textfeld sichtbar, in dem der Abstandswert eingetragen werden kann. Durch berühren des Textfeldes mit dem Finger, erscheint eine Tastatur, mit der der Wert bestimmt werden kann. Erst mit dem erneuten Klicken auf die Ausrichtungs-Funktion, wird die Ausrichtungs-Funktion beendet.

Gruppierung von Elementen

Nachdem einige Objekte auf dem Layout positioniert sind, kann passieren, dass die Planer merken, dass die bereits verwendete Fläche eigentlich für andere Elemente benutzt werden sollte. Um nicht jedes Element, welches auf dieser Fläche steht einzeln und an eine neue Position zu verschieben, gibt es die Gruppierungs-Funktion. Bei der Planung kann es oft wichtig sein, Elemente die schon aneinander gereiht sind, in der gleichen Gruppierung an eine andere Stelle zu verschieben.

Diese Funktion wird, ähnlich der Ausrichtungsfunktion, im rechten Menü aktiviert. Durch Hervorheben des Menüs erscheint die Gruppierungsfunktion. Nach dem Berühren mit den Finger ist sie aktiv. Alle Objekte die jetzt ausgewählt werden, solange bis die Funktion wieder deaktiviert wird, werden gruppiert. Die Funktion kann beliebig oft, für verschiedene Elemente verwendet werden.

VR-Visualisierung und Interaktion

Die Software für die VR-Visualisierung startet mit der Planungssoftware, falls gewünscht. Ist diese aktiv, sehen die Planer in Echtzeit die Veränderungen im VR-System. Das Planungstool löst nach dem Platzieren eines neuen Elementes oder dem Verschieben eines vorhandenen Elementes, ein Ereignis aus. Dieses Ereignis wird genutzt, um die Positionsdaten mit der gewählten Rotation an die Visualisierungs-Software zu schicken.

Die Interaktion des VR-Systems erfolgt, wie in der Bewertung bestimmt, durch die gleiche Eingabe des Planungssystems (vgl. Abschnitt 5.1.6). Im rechten Menü des Planungsbereiches öffnen sich mehrere Funktionen um die Kameraposition im Visualisierungs-System zu verändern. Damit ist es möglich die Ansicht zu vergrößern bzw. zu verkleinern, die Rotation, Neigung und die Position zu verändern. Bei der Rotation dreht die Kamera um die vertikale Achse am Punkt, der von der Kamera fokussiert wird. Mit der Neigung wird der Winkel der Kamera zur Grundfläche des Layouts verändert. Damit ist es möglich von der Draufsicht in die Seitenansicht zu wechseln. Jeder Punkt dazwischen ist auch möglich (vgl. Abbildung 6-12).



Abbildung 6-12: 1. Planungsstufe - Manipulation der Kamera

Durch das Verändern der Kameraposition, wird ein neuer Punkt fokussiert. Um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen, kann ausgewählt werden, welche der Funktionen benutzt werden soll. Es ist möglich alle gleichzeitig, sowie nur eine der Kameramanipulationen zur gleichen Zeit zu verwenden. Dadurch wird verhindert, dass der Benutzer gleichzeitig dreht und zoomt, wenn er beispielsweise nur die Kamera drehen möchte.

Wird eine Kameraposition verändert, kann diese in einer Liste gespeichert werden. Diese können dann vom Benutzer sehr schnell aufgerufen werden. Über diese Liste kann dann bei Bedarf ein Showview für eine Demo bzw. eine Besprechung erstellt werden.

Datenschnittstelle

Die gesamte Planung wird im xml-Format gespeichert. Damit wird das zu Beginn ausgewählte Layout gespeichert, sowie jedes gewählte Objekt mit den Translations- und Rotationsinformationen. Dies ist wichtig um geplante Baustellen zu laden, aber kann auch für den Import in die 2. Planungsstufe verwendet werden.

6.2.3 2. Planungsstufe: Planen & Besprechung

Die 2. Planungsstufe wird für die Feinplanung verwendet. Damit können die groben Planungsdaten von der 1. Planungsstufe übernommen und eine genauere Planung durchgeführt werden. Nachdem in der Grobplanung hauptsächlich die Flächen bestimmt wurden, können hier die verschiedenen Objekte genauer positioniert werden. Dabei werden Informationen während der Planung eingeblendet. So kann sichergestellt werden, dass die Feinplanung ohne das Vergessen von notwendigen Objekten, Hinweisen oder zu beachtenden Gesetzen durchgeführt wird.

Aufbau des Planungssystems

Die 2. Planungsstufe benutzt die Factory Design Suite (FDS) 2013 von Autodesk. FDS wird oft für die digitale Planung von Fabriken in der stationären Industrie verwendet. Darin sind verschiedene Software-Produkte enthalten. Wichtig für die 2. Planungsstufe sind dabei AutoCAD, Inventor und Navisworks. In AutoCAD wird die 2D-Planung durchgeführt, in Inventor die 3D-Planung. Dabei wird immer die gleiche Bibliothek verwendet. Sobald ein Objekt in AutoCAD im 2D-Layout positioniert wird, kann die Synchronisation durchgeführt werden. Dabei wird das Layout mit den im 2D-Plan positionierten Objekte automatisch in Inventor geladen. Obwohl in AutoCAD die Objekte nur als Draufsicht visualisiert wurden, wird in Inventor das zugehörige 3D-Objekt angezeigt. Wenn in Inventor weiter geplant wird, können diese Veränderungen durch die gleiche Synchronisation in AutoCAD übernommen werden.

Navisworks wird am Ende der Planung für die Visualisierung und Besprechung verwendet. Durch eine Redlining-Funktion können wichtige Planungsfehler oder andere Hinweise eingezeichnet werden [Aut-2013]. In der 2. Planungsstufe wird Navisworks auch für die Verheiratung vom Planungsmodell mit einer Punktwolke verwendet. Damit kann die Planung der Baustelle mit der Umgebung visualisiert werden.

Bauphasen

Um verschiedene Bauphasen abzubilden ist es notwendig eine neue Datei zu öffnen und in diese das Layout für die jeweilige Bauphase zu laden. Die einzelnen Dateien bzw. Bauphasen werden anhand von Reitern an der Unterseite des Fensters angezeigt.

Objektkonfigurationen verändern

Bei der Erstellung eines Objektes z.B. einer Baumaschine, müssen in einer Tabelle die verschiedenen Konfigurationen von diesem gespeichert werden. Dazu sind zu den verschiedenen Komponenten des Objektes die unterschiedlichen Eigenschaften gespeichert (vgl. Abbildung 6-13: Tabelle der verschiedenen Objektkonfigurationen).

	Member	winkelkabine	winkelaus1	winkelaus2	winkelaus3	winkelplanierschaukel	Terex Minibagger_Ausleger_3:1: Einschließen/Ausschließen	Terex Minibagger_Ausleger_3_1800mm:1: Einschließen/Ausschließen	winkelgrab	Terex Arbeitsraumöffne Einschließen/Ausschließen	Terex Minibagger_Löffel_400:1: Einschließen/Ausschließen
1	arbeit_LS1600_GR1000	30 grd	10 grd	-60 grd	40 grd	-15 grd	Einschließen	Ausschließen	50grd	Einschließen	Ausschließen
2	arbeit_LS1600_TL400	30 grd	10 grd	-60 grd	40 grd	-15 grd	Einschließen	Ausschließen	50grd	Ausschließen	Einschließen
3	arbeit_LS1800_GR1000	30 grd	10 grd	-60 grd	40 grd	-15 grd	Ausschließen	Einschließen	50grd	Einschließen	Ausschließen
4	arbeit_LS1800_TL400	30 grd	10 grd	-60 grd	40 grd	-15 grd	Ausschließen	Einschließen	50grd	Ausschließen	Einschließen
5	fahr_LS1600_GR1000	0 grd	0grd	-100grd	110grd	10 grd	Einschließen	Ausschließen	-5grd	Einschließen	Ausschließen
6	fahr_LS1600_TL400	0 grd	0grd	-100grd	110grd	10 grd	Einschließen	Ausschließen	-5 grd	Ausschließen	Einschließen
7	fahr_LS1800_GR1000	0 grd	0grd	-100 grd	110grd	10 grd	Ausschließen	Einschließen	-5 grd	Einschließen	Ausschließen
8	fahr_LS1800_TL400	0 grd	0grd	-100 grd	110grd	10 grd	Ausschließen	Einschließen	-5grd	Ausschließen	Einschließen
9	transport_LS1600	0 grd	0grd	-100 grd	120grd	10 grd	Einschließen	Ausschließen	0grd	Ausschließen	Ausschließen
10	transport_LS1800	0 grd	0grd	-100 grd	120grd	10 grd	Ausschließen	Einschließen	0grd	Ausschließen	Ausschließen

Abbildung 6-13: Tabelle der verschiedenen Objektkonfigurationen

Wird ein Objekt auf das Layout positioniert, kann der Planer durch Auswahl der Zeile, die gewünschte Konfiguration, z.B. eine Baumaschine mit Hüllkurve des Arbeitsraumes, wählen. Mit diesem Vorgehen wird Zeit eingespart, im Vergleich zu einer Neuladung eines Objektes mit einer anderen Konfiguration aus der Bibliothek.

Kollision

In der 1. Planungsstufe werden Kollisionen einfach verwaltet (vgl. Abschnitt 6.2.2) ohne 3D-Kollisionsüberprüfung. In der 2. Planungsstufe kann eine genaue Kollisionsüberprüfung stattfinden. Dies wird mit einer Programmfunktion von Navisworks ermöglicht, welche Teil der FDS ist. Durch Aufrufen der „Clash-Detection“-Funktion werden alle Schnittmengen von Objekten zu anderen Objekten farblich markiert (vgl. Abbildung 6-14). Die Software bietet zudem eine Kollisionsverwaltung an. Damit wird ermöglicht durch Markierung von überprüften Kollisionen, diese bei späteren Kollisionsüberprüfungen zu ignorieren. Durch die Verwendung dieser FDS-Funktion können die Planer einfach kontrollieren, ob alle Objekte kollisionsfrei platziert werden.

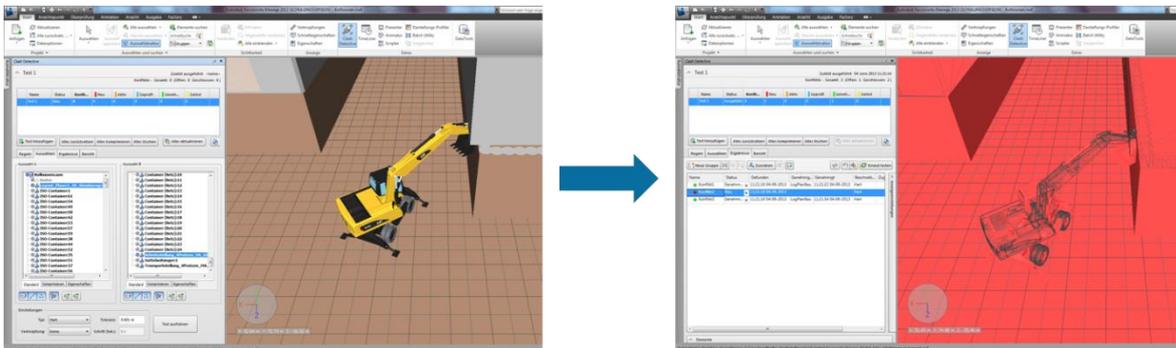


Abbildung 6-14: Kollisionskontrolle - Einstellung und Visualisierung

Es ist jedoch nicht nur eine stationäre Kollisionskontrolle möglich, bei der überprüft werden kann, ob die Objekte im Layout an der Position mit anderen Objekten oder dem Gebäude kollidiert, sondern auch eine Kollisionskontrolle über die Fahrt eines Objekts im Layout. Um dies zu ermöglichen, werden die maximalen Dimensionen der Baumaschine auf eine Fläche vor der Baumaschine projiziert und entlang einer Linie gezogen, welche den Weg beschreibt. Das Ergebnis eines solchen Vorgehens wird in Abbildung 6-15 gezeigt.



Abbildung 6-15: Kollisionskontrolle entlang einer Fahrstrecke

Arbeitsbereiche

Mit der 2. Planungsstufe wird dem Planer ermöglicht die Arbeitsbereiche von Baumaschinen genau zu überprüfen. Dies erfolgt durch Hüllkurven, welche um ein 3D-Baumaschinenmodell gelegt werden. Diese beschreiben den maximalen Arbeitsbereich einer Baumaschine und sind transparent gezeichnet.



Abbildung 6-16: 3D-Objekt mit Hüllkurve (Caterpillar Bagger M318)

Durch das Auswählen einer Baumaschine mit Hüllkurve und die genaue Platzierung von dieser auf das Layout, kann damit leicht kontrolliert werden, ob das Gerät alle erforderlichen Punkte erreichen kann. In Abbildung 6-16 wird der Bagger M318 von der Firma Caterpillar visualisiert. Durch die vom Benutzer ausgewählten Konfiguration werden Komponenten wie Auslegertyp, Löffelstiellänge und Löffel bestimmt und die richtige Hüllkurve angezeigt.

Planungsunterstützung

Der Planer wird in der Durchführung durch eine Vorgehensweise unterstützt. Nach dem Erstellen einer neuen Planung muss er ein neues Projekt anlegen. Dort müssen verschiedene Informationen (vgl. Abbildung 6-17) eingegeben werden. Anschließend kann mit der Planung begonnen werden.

Planung von Einrichtungselemente für die Baustelle

Projektübersicht | Neues Projekt | Verwaltung

Neues Projekt anlegen

Projektname

Ort:

Latitude:

Longitude:

Mitarbeiteranzahl

Projektkosten

Projektbeginn

Projektende

Arbeitsbereich Nicht definiert

Tags

Weiter

Geo-Koordinaten suchen

Adresse Suchen

Abbildung 6-17: Eingabemaske der Projektinformationen zu einer Baustelle

Es wird empfohlen eine bestimmte Planungsreihenfolge zu beachten (vgl. Kapitel 4.2). Dies wird angezeigt, während er Inventor verwendet. Zuerst sollten alle Krane, anschließend die Produktionsbereiche, dann die Verkehrsbereiche positioniert werden. Erst dann werden sonstige Transport- und Fördereinrichtungen geplant, gefolgt von den Lagerbereichen und Ver- und Entsorgungseinrichtungen. Am Ende legt der Planer die Baucontainer fest, zuerst für die Bauleitung und dann für das Personal. Die Reihenfolge beschreibt Gruppierungen von Elementen. Wird ein Element innerhalb einer Gruppe aus der Bibliothek ausgewählt, werden Hinweise eingeblendet,

die ihn für die korrekte Positionierung der Objekte unterstützen. Zusätzlich werden alle Gesetze angezeigt, die bei dem ausgewählten Objekt zu beachten sind. Das Fenster mit den Hinweisen kann entweder auf dem Planungstisch, neben der Planung, oder auf dem VR-Medium angezeigt werden. Dies ist die bessere Variante, da dadurch der Planungsbereich nicht von anderen Fenstern überdeckt wird. Die 3D-Ansicht am VR-Medium bzw. der 3D-Monitor muss dazu deaktiviert sein, damit Shutter-Brillen nicht benötigt werden.

Wird ein Objekt auf dem Layout platziert, wird diese Information in eine Datenbank abgelegt. Durch die Verknüpfung der Objektgruppen kann abgebildet werden welches Element ein anderes Element benötigt. Diese Hinweise werden während der Planung eingeblendet. Der Planer kann dabei entscheiden, ob sie andauernd erscheinen oder ob erst am Ende der Planung ein Fenster erscheint, welches Informationen liefert, welches Element noch vergessen wurde. Im Hinweis steht genau welches Element noch benötigt wird und warum. Der Planer muss dieses Element nicht zwingend platzieren, aber er muss ein Häkchen setzen womit er mitteilt, dass er diesen Hinweis gelesen hat. Dadurch kann vorgebeugt werden, dass die Planer unter Verwendung der Planungsunterstützung nichts vergessen bzw. daran erinnert werden, ob sie alle notwendigen Objekte platziert haben.

Alle abgespeicherten Projekte werden in der Datenbank gespeichert. Sie können von Nutzern auch über eine Website aufgerufen werden, entweder in Listenform, oder über die Einbindung einer Karte, wie Abbildung 6-18 zeigt:



Abbildung 6-18: Automatische Übersicht aller gespeicherten Projekte auf einer Karte

Durch auswählen einer Markierung auf der Karte, kann der Planer die Planungsdaten betrachten. Die verwendeten Objekte als Liste, sowie das Layout und andere Ansichten der Planung können angezeigt werden.

Interaktion mit dem Planungssystem

Wenn als Planungssoftware die Programme von Factory Design Suite verwendet werden, ist eine Steuerung der Software mit einem Multi-Touch zwar möglich, doch nicht so, wie es der Benutzer von anderen solchen Geräten (z.B: iPad, Smartphones) kennt. Jede Berührung der Oberfläche mit dem Finger, wird als Mausbewegung interpretiert. Mehrere Finger können damit nicht als Mehreingaben verstanden werden, da IT-Systeme die Steuerung nur einer Maus gleichzeitig zulassen. Im Rahmen des Projekts wurde für Inventor ein Add-In entwickelt, mit dem eine Manipulation der Kamera in Inventor möglich ist. Für AutoCAD wurde kein Add-In entwickelt, da dort nur in 2D geplant wird und eine Manipulation der Kamera mit Drehen und Neigen unwichtig ist. Das Add-In erlaubt die Manipulation der Kamera in allen notwendigen Freiheitsgraden:

- Drehen erfolgt mit einem Finger. Dazu wird der Finger auf das Modell gelegt und entweder nach rechts oder links bewegt. Die Umgebung wird dann um die senkrechte Achse gedreht.
- Verschieben des Modells erfolgt mit zwei Finger. Dazu werden diese auf das Modell gelegt und in eine beliebige Richtung verschoben. Dabei bleibt der Abstand beider Finger zueinander gleich.
- Auch Zoomen erfolgt mit zwei Finger. Diese werden auf das Modell gelegt und die Ansicht kann durch auseinanderbewegen der Finger vergrößert und durch zusammenbewegen der Finger verkleinert werden.
- Neigen des Modells wird mit drei Fingern gelöst. Dazu wird ein Finger, am besten mit einer Hand auf eine beliebige Position des Modells gelegt. Durch die Bewegung der zwei anderen Finger, vorzugsweise mit der anderen Hand, wobei der Abstand dieser zwei zueinander gleich bleibt, kann das Modell geneigt werden.

Das Add-In kann über das Menü aktiviert und deaktiviert werden. Dazu erscheint ein leicht durchsichtiger farblicher Rahmen über den Planungsbereich. Erscheint dieser, kann die Ansicht leicht und intuitiv über Multi-Touch verändert werden, ein Auswählen und Positionieren weiterer Objekte ist nicht möglich.

Die Bauphasen werden in Inventor in unterschiedlichen geöffneten Dateien verwaltet. Diese werden als Reiter am unteren Planungsbereich dargestellt. Auch hier greift das Add-In und ermöglicht ein Umschalten der Bauphasen durch mehrere Finger gleichzeitig. Benutzt der Planer vier Finger gleichzeitig, wird der Reiter bzw. die nächste Bauphase angezeigt.

VR-System und Interaktion

Um die Baustelle in der VR-Umgebung zu visualisieren, wird die Software Navisworks verwendet. Diese befindet sich auch in der FDS Suite von Autodesk. Das Fenster dieser Software wird dazu am 3D-Monitor visualisiert. Durch das Aktivieren der 3D-Ansicht, wird eine stereoskopische Ansicht erzeugt. Dazu müssen die Teilnehmer die Shutter-Brille aufsetzen um den Effekt betrachten zu können. Wird die

3D-Ansicht nicht aktiviert, kann die Ansicht auch ohne die Verwendung von den Shutter-Brillen verwendet werden.

In Kapitel 5.1.6 wurde evaluiert, dass die Interaktion des VR-Systems mit dem gleichen Gerät erfolgen soll, wie für die Interaktion mit dem Planungstisch, also mit Multi-Touch am Planungstisch. Da die Software jedoch nicht an dem Bildschirm angezeigt wird, der einen Multi-Touch-Rahmen zur Eingabe besitzt und die Software Navisworks ohnehin die Multi-Touch-Berührungen intuitiv bedient, wurde im Rahmen des Projektes ein Plugin entwickelt. Wird dieses in der Software aktiviert, erscheint ein Rahmen, dessen Größe und Position am Planungstisch verändert werden kann. Wenn die Größe dieses Bereiches den gesamten Planungstisch füllt, sind keine Planungstätigkeiten gleichzeitig möglich. Bei aktiviertem VR-Interaktionsbereich kann die Ansicht der Kamera gleich verändert werden, wie dies auch für die Planungsansicht gelöst wurde. Damit ist die Manipulation aller notwendigen Freiheitsgrade möglich und kann ganz einfach am Planungstisch verändert werden.

Punktewolken

Navisworks erlaubt den Import von Punktewolken. Diese können auch durch einfache Fotos erstellt werden. Autodesk bietet dazu eine Cloud-Lösung an, mit der eine Punktewolke, durch Fotos aus unterschiedlichen Perspektiven von einem Objekt, erstellt werden kann. Diese kann in Navisworks importiert werden und eignet sich nicht nur um eine schönere Visualisierung anzuzeigen, sondern auch für den Import von Objekten, welche nicht als Konstruktion vorhanden sind, z.B. der benachbarte Straßenzug bei einer Innenstadtbaustelle. Das Erstellen von Objekten mit Punktewolken sollte allerdings nur für statische Objekte verwendet werden. Eine Überprüfung von einem Arbeitsbereich oder eine Parametrisierung ist nicht mehr möglich. Während die Punktewolke aus der Distanz eine gute Detailtreue vorweist, werden aus der Nähe betrachtet, einige Schwachstellen (Löcher, Grobrasterung) sichtbar. Dadurch sollte die Punktewolke von Objekten auch nicht dort verwendet werden, wo dies wichtig ist. Für statische Objekte wie Container oder Silos ist sie jedoch gut geeignet.

6.3 Objektbibliothek

Die für die Planung verwendeten Objekte, werden in einer Objektbibliothek organisiert. Der Benutzer wählt diese direkt aus der Bibliothek aus und positioniert sie auf das Layout. Die Objekte sind mit einer Datenbank verbunden. Dort können weitere Informationen, Hinweise oder zum Objekt betreffende Gesetze gespeichert werden. Die 3D-Objekte müssen in der Vorbereitung konstruiert oder ausgewählt werden (vgl. Abbildung 6-19).

Handelt es sich um einen Kran, so kann dieser von der am Lehrstuhl fml entwickelten Software, den Turmdrehkraneinsatzplaner (TEP), ausgewählt werden. Darin sind die Krankomponenten verschiedener Hersteller gespeichert. Der Benutzer wählt dort das Turmfundament (Fundamentanker oder Kran auf Gleise), die Anzahl an Turm-elemente, sowie Ausleger, Hubwerk und den Gegenballast. Auf Grundlage seiner Auswahl erzeugt der TEP ein Modell, welches in die Objektbibliothek importiert wird.

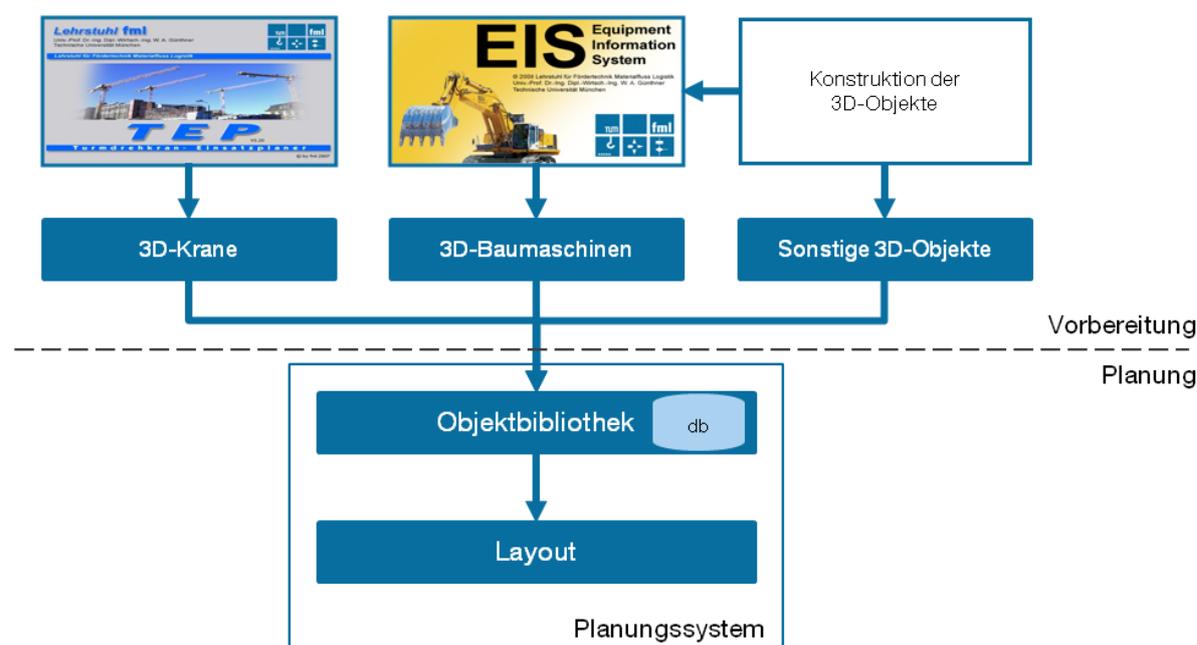


Abbildung 6-19: Quelle der verschiedenen 3D-Objekte

Alle anderen Objekte müssen selbst konstruiert werden. Im Rahmen des Projektes sind dabei zahlreiche Baumaschinen und sonstige Objekte entstanden. Die konstruierten 3D-Objekte von den Baumaschinen wurden dabei mit den Baumaschinenbeschreibungen im EIS verlinkt. Dadurch kann sichergestellt werden, dass auch für

zukünftige Projekte die CAD-Daten im EIS organisiert sind, welches eine einfache Suche & Filterung von Baumaschinen zulässt.

6.3.1 Konstruktion der Objekte

Bei der Konstruktion von Maschinen gibt es einen Zielkonflikt, den es zu lösen gab: Einerseits müssen die Objekte einen hohen Detaillierungsgrad besitzen um die Wiedererkennungsmerkmale zu erblicken, trotzdem darf die Performance des Systems nicht darunter leiden. Um eine gute Performance zu erreichen, müssen die Modelle eine geringe Datengröße besitzen oder eine entsprechend leistungsfähige und teure Workstation muss verwendet werden.

Die im Rahmen des Projektes erstellten Baumaschinen wurden auf das wesentliche reduziert, weisen dennoch eine gute Detailtreue auf. Dies wird erreicht, indem Kleinteile und nicht sichtbares, also das Innenleben, nicht konstruiert wird. Wichtig war, dass die Modelle die Originalfarbe und Logos mit den korrekten Produktbezeichnungen besitzen. Zudem werden Teile, die zur Funktion beitragen, auch konstruiert.

Die verschiedenen Objekte sollen im Planungssystem parametrisierbar sein. Die Modelle müssen daher modular konstruiert werden und erst bei der Auswahl durch den Benutzer richtig kombiniert werden. Ein Bagger besteht beispielsweise aus einem Oberwagen, Unterwagen, Auslegertyp, einer Löffelstiellänge, sowie dem Werkzeug. Dadurch würden sich viele zu konstruierende 3D-Objekte ergeben. Durch den modularen Ansatz verringert sich diese Zahl sehr und die Konstruktion verschiedener Modelle kann beschleunigt werden.

- Zu den verschiedenen Modulen, wurden die Baumaschinen in drei Zustände erstellt:
- Die **Transportstellung** beschreibt die Position der einzelnen Module so, wie diese im Transport, wenn die Baumaschine z.B. auf einem Tieflader transportiert wird, angeordnet sind (vgl. Abbildung 6-20). Dies ist für die Planung am Planungstisch wichtig, um die Baumaschine in Kombination mit einem Gespann auf Kollisionen mit anderen Objekten zu überprüfen. Dazu kann der Verlauf der Transport-Fahrt mit einer Hüllkurve erstellt werden und über die

Kollisionsüberprüfung kontrolliert werden, ob die Fahrt so möglich ist. Falls nicht, können Maßnahmen abgeleitet werden.



Abbildung 6-20: Transportstellung - Baggers CAT M318

- Fährt eine Baumaschine selbst, wird der Zustand der **Fahrstellung** verwendet (vgl. Abbildung 6-21). Hier sind die Module so angeordnet, wie sie der Fahrer ausrichten würde, wenn er mit der Baumaschine fährt. Auch hier können Kollisionen erkannt werden, wenn eine Hüllkurve über den Fahrtweg gezogen wird.



Abbildung 6-21: Fahrstellung - Baggers CAT M318

- Der dritte Zustand ist die **Arbeitsstellung** (vgl. Abbildung 6-22). Damit lässt sich die Arbeitsbereichskontrolle durchführen. Dies wird meist durch das Einblenden der Hüllkurve ermöglicht. Kapitel 6.2.3 beschreibt dieses Vorgehen.



Abbildung 6-22: Arbeitsstellung ohne Hüllkurve - Baggers CAT M318

7 Zusammenfassung der Forschungsergebnisse und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsprojekts war es, eine Vorgehensweise zur transparenten Planung von Einrichtungsgegenständen auf Großbaustellen zu entwickeln. Funktionseinheiten wie Lagerflächen oder Verkehrswege, Großgeräte und deren Arbeitsräume sowie statische Elemente (Container) sollen kostengünstig planbar werden.

Um die Ziele zu erreichen wurden die Baustelleneinrichtungselemente identifiziert und klassifiziert. Dazu wurden die betriebsmittelspezifischen und zeitabhängigen Parameter ermittelt und bestimmt. Anhand von den gewonnenen Daten konnte eine Objektbibliothek für die erste Planungsstufe erstellt werden, welches am innovativen Planungstisch mit VR-Visualisierung eingesetzt werden kann. Um zu wissen, welche Funktionen das Planungstool besitzen soll, wurden verschiedene Experten interviewt und bestehende Methoden und Werkzeuge der Baustellenplanung auf Schwachstellen analysiert. Daraus ist eine Anforderungsliste entstanden für das zweistufige Planungssystem, sowie für die Hardware des Demonstrators.

Durch eine Recherche verschiedener Planungstische, Interaktionsmöglichkeiten mit dem Planungstisch, sowie VR-Systeme und Interaktionsmöglichkeiten mit dem VR-System, wurden mögliche Systeme anhand von Kriterien, welche durch die Anforderungen ermittelt wurden, bewertet. Das Ergebnis wurde durch den Kauf der notwendigen Hardware vollendet. Zeitgleich wurden die Softwareanforderungen in das zweistufige Planungssystem umgesetzt. Die erste Planungsstufe wird dabei für die Grobplanung verwendet und die zweite für die Feinplanung. Beide ermöglichen das Positionieren verschiedener Objekte auf ein Layout über die verschiedenen Bauphasen hinweg und die virtuelle Darstellung der Szenen. Im Planungstool fließt die entwickelte Vorgehensweise mit ein. Der Benutzer wird durch diese während der Verwendung unterstützt.

Die Planungsunterstützung erfolgt durch eine empfohlene Planungsreihenfolge der verschiedenen Bauelementgruppen und durch objektbezogene Hinweise und Gesetze, welche nur dann eingeblendet werden, wenn das zugehörige Objekt verwendet bzw. platziert wird. Zudem wird über Planungsalgorithmen kontrolliert, ob Ele-

mente bei der Planung vergessen wurden. Durch weitere Funktionen können Kollisionskontrollen auch für Objekte durchgeführt werden, welche sich entlang eines definierten Weges befinden. Das Ergebnis zeigt, ob eine Maschine durch bestimmte Tunnel oder Brücken passt bzw. diese eventuell mit einer anderen ersetzt werden muss oder andere Vorkehrungen zu treffen sind. Auch die Kontrolle von Arbeitsbereichen wird durch die Verwendung von 3D-Hüllkurven leicht möglich. Die Hüllkurven beschreiben den maximal erreichbaren Arbeitsraum einer Maschine. Damit kann leicht überprüft werden, ob eine Maschine den notwendigen Arbeitsraum abdeckt. Werden Elemente auf das Baustellengelände platziert wird eine Positionskontrolle durchgeführt: Das Baustellengelände wird durch ein Raster beschrieben und als Objekt abgespeichert. Die Rasterzellen speichern die Neigung und Tragfähigkeit. Durch die Positionierung eines Elementes wird überprüft ob dieses, falls erforderlich, auf einer Ebene liegt, oder auf einer Böschung positioniert wurde.

Die Teilziele von LogPlan Bau wurden damit umgesetzt.

- Verschiedene Planungsalgorithmen unterstützen den Planer bei der Planung.
- Ein 4D-Modell des Planungsgegenstands über alle Bauphasen hinweg, kann leicht durch den Benutzer erstellt werden.
- Es wird ein intuitiv zu bedienendes Planungstablet eingesetzt, mit dem die Benutzer durch eine Multi-Touch-Bedienung leicht die Baustelle planen können und die Kameraposition in der virtuellen Welt verändern können.
- Als Ergebnis steht ein funktionsfähiger Demonstrator vor. Dieser kann auch für die Visualisierung und Diskussion des Planungsergebnisses verwendet werden. Änderungen, Hinweise oder Probleme bei der Planung können durch eine Redlining-Funktion eingegeben werden

Das IGF-Vorhaben 17342 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V. wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

7.2 Nutzen und industrielle Anwendungsmöglichkeiten

Das Ergebnis und der Nutzen für industrielle Anwendungsmöglichkeiten lässt sich in drei Schritte erklären. Zum einen wurde eine Vorgehensweise erstellt, anhand von der die logistische Planung von Baustellen durchgeführt werden kann. Anschließend wurde ein in der stationären Industrie gängiges Planungswerkzeug auf die Anforderungen der Baubranche angepasst und kann für die Planung von Bauprojekten ver-

wendet werden. Zuletzt ermöglicht der Demonstrator eine einfache Darstellung der Planungsergebnisse durch Multi-Touch, welche auch für Laien leicht zu bedienen ist. Im Demonstrator ist sowohl die Vorgehensweise, als auch das zweistufige Planungssystem enthalten. Damit bietet der Demonstrator verschiedene industrielle Anwendungsmöglichkeiten:

Die Vorgehensweise hat u.a. das Ziel Planungsgegenstände nicht zu vergessen. Durch die Verknüpfung von Elementen mit anderen Elementen und den Vergleich des aktuellen Projektes mit ähnlichen vergangenen Projekten, kann eine Liste mit Elementen erzeugt werden, die bei der aktuellen Planung vergessen wurden. Zudem werden Hinweise und Gesetze zu Elementen angezeigt, wenn diese positioniert werden und auch nur dann. Dadurch muss der Planer keine Checklisten verwenden, da das System diese enthält.

Das angepasste Planungswerkzeug beinhaltet die Vorgehensweise. Beim platzieren von Elementen auf das Layout durch das Planungswerkzeug, werden die Hinweise und Gesetze angezeigt. Zudem kann die Praxis von dem Planungstool profitieren, weil dadurch Kollisionskontrollen, sowie Arbeitsbereichsüberprüfungen leichter möglich sind, wie es derzeit gängige Praxis ist. Bei der herkömmlichen Planung mit 2D können Kollisionen und der Arbeitsbereich schwer überprüft werden. Derzeit geschieht dies mit Papier- oder Plastikmodellen. Mit dem Planungstool und der 3D-Bibliothek der Elemente, kann dies leicht visualisiert werden. Die Kollisionskontrolle erlaubt die Überprüfung der Kollision von verschiedenen Objekten, die statisch auf dem Layout positioniert sind, aber auch die Kollision von Objekten entlang des Fahrtweges ist möglich.

Auf dem Demonstrator läuft das Planungstool. Zudem wurden Planungstool-Addins entwickelt um das Tool auch mit der Multi-Touch-Interaktion so anzusprechen, dass Änderungen der Kameraposition auch durch Laien möglich sind. Dadurch bietet der Demonstrator eine Visualisierungsplattform auf dem die Planung in ihren verschiedenen Bauphasen dargestellt werden kann. Dies kann bei Planungsvorstellungen und Diskussionen eingesetzt werden. Für die Diskussion steht auch eine Redlining-Funktion bereit, mit der leicht Änderungen eingepflegt werden können.

Mit dem Forschungsende können nun Bauprojekte anhand eines Multi-Touch-Planungstisches geplant werden und die Ergebnisse direkt im virtuellen Raum dargestellt und diskutiert werden. Das entwickelte Vorgehen ist dabei fester Bestandteil der Planungstools und somit des Demonstrators.

Literaturverzeichnis

- [Aut-2013] Autodesk: Navisworks Funktionen
<http://www.autodesk.de/products/autodesk-navisworks-family/features.view-list>
Aufruf am 30.08.2013
- [Bac-2000] Bacher, S.; Dürr, M.:
Die virtuelle Fabrikplanung
In: Computer & Automation, Nr. 1-2, 2000, S. 16-17
- [Bau-2007] Bauer, H.:
Baubetrieb;
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [Bau-2010a] Baudisch, P.; Becker, T.; Rudeck, F.:
Lumino: Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles.
In: Proceedings CHI'10 (Conference on Human Factors in Computing Systems), 2010
- [Bau-2010b] bauserve Baulogistik: Logistics Service Award 2010;
<http://www.bauserve.net/188.html>
Aufruf am 08.02.2011
- [Bis-2005] Bisani, K.:
Baustelleneinrichtungsplanung, Skript zur Vorlesung
Bauingenieurwesen, Hochschule München, München, 2005
- [Bor-1994] Bormann, S.:
Virtuelle Realität – Genese und Evaluation
Addison-Wesley, Bonn, 1994
- [Bra-2001] Bracht, U.; Fahlbusch, M.:
Fabrikplanung mit Virtual Reality
In: ZWF, Jahrgang 96, 2001, S. 20-26
- [Bra-2008] Bracht, U.; Eckert, C.:
Digitale Fabrik – Ein Vorgehensmodell für Virtual Reality in der Fabrik- und Anlagenplanung
In: it – Information Technologie, Jahrgang 50, 2008, S. 185-191
- [Bur-1994] Burdea, G.; Coiffet, P.:
Virtual Reality Technology
New York, John Wiley & Sons, 1994
- [Col-2013] Lehrstuhl für Architekturinformatik: collaborative design platform
<http://cdp.ai.ar.tum.de/>
Aufruf am 30.08.2013
- [Con-2009] 3Dconnexion GmbH:
<http://www.3dconnexion.de/>
Aufruf am 04.05.2009
- [Dem-2008] Deml, A.:
Entwicklung und Gestaltung der Baulogistik im Tiefbau;
Kovac, Hamburg, 2008
- [Dom-2008] Dombrowski, U.; Vollrath, H.:
Einsatz von Virtual Reality in der Lagerplanung
In: PPS Management, Jahrgang 13, 2008, S. 25-28
- [Eth-2011] ETH-Zürich, Build-It:
<http://www.icvr.ethz.ch/research/projects/closed/build-it>
Aufruf am: 04.03.2011
- [Fit-2011] Fraunhofer FIT
Pressemeldung: System gehorcht auf Fingerzeig – Softwaresteuerung durch Gesten
<http://www.fit.fraunhofer.de/presse/10-07-13.html>, Aufruf am 01.03.11
- [Flä-2000a] Flämig, H.; Petschow, U.:
Baulogistik Potsdamer Platz
In: Zukunftsfähiges Berlin, 2000

- [Flä-2000b] Flämig, H.:
Produktionslogistik in Stadtregionen
TI 2; Wuppertal Institut f. Klima, Umwelt, Energie, 2000
- [For-2009] ForBAU
Zwischenbericht des Forschungsverbundes "Virtuelle Baustelle", München, 2009
- [For-2010] ForBAU
Abschlussbericht des Forschungsverbundes "Virtuelle Baustelle", München, 2010
- [Fri-2008] Friedewald, A.; von Lukas, U.; Mesing, B.; Schäfer, C.:
Leitfaden zur Auswahl eines VR-Systems
Technische Universität Hamburg-Harburg, 2008
- [Gün-2008] Günthner, W. A.; Zimmermann, J.; Eber, W.; Haas, B.; Lügger, M.; Sanladerer, S.; Schorr, M.:
Logistik in der Bauwirtschaft
Bayern Innovativ, Nürnberg, Bayern Innovativ - Cluster Logistik, 2008
- [Gün-2011] Günthner, W. A.; Borrmann, A.:
Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011
- [Has-2003] Haselberger, F.:
Trends in der Entwicklung von Virtual Reality Systemen
In: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 93, 2003, S. 2-6
- [Hof-2007] Hofstadler, C.:
Baublaufplanung und Logistik im Baubetrieb
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007
- [lai-2011] Fraunhofer IAIS, Pressemitteilung:
<http://idw-online.de/pages/de/news406833>
Aufruf am: 04.03.2011
- [ipa-2013] Fraunhofer IPA, Teambasierte interaktive Produktionssystemplanung
http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/www.ipa.fhg.de/pdf/Fabrikplanung_und_Produktionsoptimierung/Produktblatt_Planungstisch.pdf
Aufruf am 30.08.2013
- [Imi-2013] Imini-VR: Drivers and devices
<http://www.imin-vr.com/doc/1.2/ch04s03.html>
Aufruf am 30.08.2013
- [Kam-2011] Kammergruber, F.; Günthner, W.A.:
VR-LogPlan, Abschlußbericht
München, 2011
- [Kom-2013] Kommerz: Mixed Reality Interface
<http://www.kommerz.at/de/mri/mri-geraete.html>
Aufgerufen am 30.08.2013
- [Kra-2005] Krauß, S.:
Die Baulegistik in der schlüsselfertigen Ausführung
Bauwerk, Berlin, 2005
- [Küh-2006] Kühn, W.:
Digitale Fabrik
München, Carl Hanser, 2006
- [Lan-2009] Langhammer, M.:
Simulation baulegistischer Entscheidungsprozesse
VDM Verlag Dr. Müller, 2009
- [Len-1999] Lennerts, K.:
Entwicklung eines hybriden, objektorientierten Systems zur optimierten Baustelleneinrichtungsplanung (ESBE)
In: Bautechnik, 76, Nr.3 (1999), S. 204-215
- [Log-2013] Logitech: Trackballs
<http://www.logitech.com/de-de/mice-pointers/trackballs>
Aufruf am 30.08.2013

- [Lrz-2013] Leibniz-Rechenzentrum: VR and Visualisation Installations
http://www.lrz.de/services/v2c_en/installations_en/
Aufruf am 30.08.2013
- [Mic-2011] Microsoft Surface:
<http://www.microsoft.com/surface/gettingstarted.aspx>
Aufruf am: 04.03.2011
- [Mic-2013] Microsoft PixelSense:
<http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/default.aspx>
Aufruf am 30.08.2013
- [Mym-2013] MyMultiTouch
<http://www.mymultitouch.de/>
Aufruf am 30.08.2013
- [Nin-2013] Nintendo: Wii – A controller for everyone
http://iwataasks.nintendo.com/interviews/#/wii/wii_remote/0/1
Aufruf am 30.08.2013
- [Ocu-2013] <http://www.oculusvr.com/blog/>
- [Ong-2004] Ong, S.K.; Nee, A.Y.C.:
Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing
London, Springer, 2004
- [Ray-2013] Team Rayptile: VR Wall
<http://www.rayptile.de/vr-wall/images/vr-wall/mini-VR-Wall.jpg>
- [Sch-2003] Schmidt, N.:
Wettbewerbsfaktor Bauleistungslogistik
Univ, Hamburg, 2003
- [Sch-2008] Schach, R.; Otto, J.:
Baustelleneinrichtung
B.G Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [Son-2013] Sony: Dualshock 3 Controller
<http://www.sony.de/product/ps3-accessories/dualshock-3-controller>
Aufruf am 30.08.2013
- [Spa-2009] Spath, D.; Lentens, J.; Haselberger, F.:
Virtuelle Realität als Werkzeug in der Digitalen Produktion
In: ZWF, Jahrgang 104, 2009, S. 84-88
- [Tom-1993] Tommelein, I. D.; Zouein, P. P.:
Interactive dynamic layout planning;
In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 119, No. 2 (1993), S. 266–287
- [Töp-2001] Töpfer, R.:
Baustelleneinrichtungsplanung
expert, 2001
- [VDI4499] VDI 4499
Digitale Fabrik Grundlagen
Beuth, Berlin, 2008
- [Web-2007] Weber, J.:
Simulation von Logistikprozessen auf Baustellen auf Basis von 3D-CAD Daten
Universität Dortmund, Dortmund, 2007
- [Wie-2002] Wiendahl, H.-P.; Fiebig, C.; Heger, C. L.; Worbs, J.:
Freiflug durch die Fabrik
In: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 92, 2002, S. 139-143
- [Wul-2008] Wulz, J.:
Menschintegrierte Simulation in der Logistik mit Hilfe der virtuellen Realität
Dissertation, München, TU München, 2008
- [Zim-2009] Zimmermann, J.; Haas, B.:
Bauleistungslogistik: Motivation - Definition - Konzeptentwicklung
In: Tiefbau (2009) 1, S. 11–16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Potenzielle Kosteneinsparungen durch Baulegistik [Gün-2008]	3
Abbildung 1-2: Priorität und Flexibilität als mögliche Einflussgrößen der Planungsmethodik	5
Abbildung 1-3: Planungstisch Vision	6
Abbildung 4-1: Zusammenspiel der Teilmodelle mit der Vorgehensweise	26
Abbildung 4-2: Klassifizierung der Baustelleneinrichtungselemente nach [Bis-2005]	29
Abbildung 4-3: Aufbau der Planungsmethodik mit Planungsalgorithmen	33
Abbildung 5-1: Morphologischer Kasten - Gesamtsystem	35
Abbildung 5-2: Manipulation der Kamera im VR-System	37
Abbildung 5-3: VR-Powerwall [Ray-2013]	39
Abbildung 5-4: VR-Cave mit 5-Seiten-Projektion [Lrz-2013]	40
Abbildung 5-5: Head-Mounted-Display (HMD) [Ocu-2013]	40
Abbildung 5-6: mobile VR-Wand, Leinwand, Gerüst und Gesamtsystem [Kam-2011]	41
Abbildung 5-7: Trackball von Logitech [Log-2013]	45
Abbildung 5-8: Bewegungsfunktionen einer 3D-Maus [Con-2009]	46
Abbildung 5-9: Zwei Flystick Varianten [Imi-2013]	46
Abbildung 5-10: Dualshock 3 Controller von Sony [Son-2013]	47
Abbildung 5-11: Wii-Controller [Nin-2013]	47
Abbildung 5-12: Planungstisch i-plant [Ipa-2013]	52
Abbildung 5-13: Morphologischer Kasten – Planungstisch	53
Abbildung 6-1: Morphologischer Kasten - Gesamtsystem mit Auswahl	61
Abbildung 6-2: Hardwareaufbau des Planungssystems	62
Abbildung 6-3: Montage des Planungstisch mit dem Standfuß [Mym-2013]	64
Abbildung 6-4: Aufbau des Planungssystems	67
Abbildung 6-5: Planungsvorgehen mit Planungstools	69
Abbildung 6-6: 1. Planungsstufe - Arbeitsbereich	71
Abbildung 6-7: 1. Planungsstufe - Menü an der unteren Seite	71
Abbildung 6-8: 1. Planungsstufe - Menü der Objekte	72
Abbildung 6-9: Objektauswahl- und konfiguration mit Tablet	73
Abbildung 6-10: Software-Aufbau am Tablet	74

Abbildung 6-11: 1. Planungsstufe - Ausrichten von Elementen	75
Abbildung 6-12: 1. Planungsstufe - Manipulation der Kamera	77
Abbildung 6-13: Tabelle der verschiedenen Objektkonfigurationen	79
Abbildung 6-14: Kollisionskontrolle - Einstellung und Visualisierung	80
Abbildung 6-15: Kollisionskontrolle entlang einer Fahrstrecke	81
Abbildung 6-16: 3D-Objekt mit Hüllkurve (Caterpillar Bagger M318)	81
Abbildung 6-17: Eingabemaske der Projektinformationen zu einer Baustelle	82
Abbildung 6-18: Automatische Übersicht aller gespeicherten Projekte auf einer Karte	84
Abbildung 6-19: Quelle der verschiedenen 3D-Objekte	87
Abbildung 6-20: Transportstellung - Baggers CAT M318	89
Abbildung 6-21: Fahrstellung - Baggers CAT M318	89
Abbildung 6-22: Arbeitsstellung ohne Hüllkurve - Baggers CAT M318	90
Abbildung A-1: Datenbankstruktur der Baustellenobjekte	A-1

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Bewertung der VR-Systeme	43
Tabelle 5-2: Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System (Teil 1/2)	49
Tabelle 5-3: Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System (Teil 2/2)	50
Tabelle 5-4: Bewertung der Interaktionsmöglichkeiten am Planungstisch (Teil 1/2)	55
Tabelle 5-5: Bewertung der Interaktionsmöglichkeiten am Planungstisch (Teil 2/2)	55
Tabelle 5-6: Bewertung der Darstellungsmöglichkeiten von Objekten am Planungstisch	56
Tabelle 5-7: Bewertung der Darstellungsmöglichkeiten von einem Layout am Planungstisch	57
Tabelle 6-1: Kostenübersicht der einzelnen Hardware des gewählten Planungssystems	67

Anhang

Tabelle B-1: Verknüpfungen der Einrichtungselemente	B-1
Tabelle C-1: Liste der Hilfestellung für die Positionierung (Teil 1/2)	C-2
Tabelle C-2: Liste der Hilfestellung für die Positionierung (Teil 2/2)	C-2
Tabelle C-3: Gesetze für den Turmdrehkran	C-3
Tabelle C-4: Gesetze für mobile Krane	C-3
Tabelle C-5: Gesetze für Bagger, Radlader und Stapler	C-3
Tabelle C-6: Gesetze für Aufzüge und Förderbänder	C-3
Tabelle C-7: Gesetze für die Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	C-3
Tabelle C-8: Gesetze für Magazine	C-4
Tabelle C-9: Gesetze für Baustraßen	C-4
Tabelle C-10: Gesetze für Sicherungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenverkehr	C-4
Tabelle C-11: Gesetze für die Büros der Bauleitung	C-4
Tabelle C-12: Gesetze für Tagesunterkünfte und Schlafunterkünfte	C-5
Tabelle C-13: Gesetze für sanitäre Anlagen	C-5
Tabelle C-14: Gesetze für die Stromversorgung	C-5
Tabelle C-15: Gesetze für die Wasserversorgung	C-5
Tabelle C-16: Gesetze für die Energieversorgung	C-6

Tabelle C-17: Gesetze für Arbeits- und Schutzgerüste	C-6
Tabelle C-18: Gesetze für den Brandschutz	C-6
Tabelle D-1: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Mobilitätsaufwand	D-1
Tabelle D-2: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Kosten	D-1
Tabelle D-3: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Diskussionsfähigkeit	D-2
Tabelle D-4: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Notizen	D-2
Tabelle D-5: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Baustellentauglich	D-2
Tabelle D-6: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Immersionsgrad	D-2
Tabelle D-7: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für VR-Geräte	D-2
Tabelle E-1: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Kamerabewegungen	E-1
Tabelle E-2: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Durchfliegen/Durchgehen	E-1
Tabelle E-3: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Bearbeiten der Planung	E-2
Tabelle E-4: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Erstellen von Notizen	E-2
Tabelle E-5: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Kosten	E-2
Tabelle E-6: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien von der Interaktion mit dem VR-System	E-2
Tabelle F-1: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Layoutdarstellung	F-1
Tabelle F-2: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Layout-Layer	F-1
Tabelle F-3: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Informationen im Layout einzeichnen	F-1
Tabelle F-4: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Manipulation des Layouts	F-2
Tabelle F-5: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Echtzeit-Auswertung	F-2
Tabelle F-6: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Anschaffungskosten	F-2
Tabelle F-7: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für die Planungstisch-Ausgabe	F-2
Tabelle G-1: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Objektmanipulation	G-1

Tabelle G-2: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Objekterstellung	G-1
Tabelle G-3: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Flüssiges Arbeiten	G-1
Tabelle G-4: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: verschiedene und unterscheidbare Objekte	G-2
Tabelle G-5: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Kostengünstige Objekte	G-2
Tabelle G-6: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Mobilität	G-2
Tabelle G-7: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Baustellentauglich	G-2
Tabelle G-8: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Umsetzung einer riesigen Objektbibliothek	G-2
Tabelle G-9: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für die Objektdarstellung am Planungstisch	G-3
Tabelle H-1: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Layoutmanipulation	H-1
Tabelle H-2: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Auswahl von Objekten und Platzierung	H-1
Tabelle H-3: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Parametrisierung von Objekten	H-2
Tabelle H-4: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Objektmanipulation	H-2
Tabelle H-5: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Gemeinsames und gleichzeitiges Planen	H-2
Tabelle H-6: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Kosten	H-2
Tabelle H-7: Paarweiser Vergleich der Gewichtung für die Interaktion am Planungstisch	H-3

Anhang A Datenbankstruktur der Baustellenobjekte

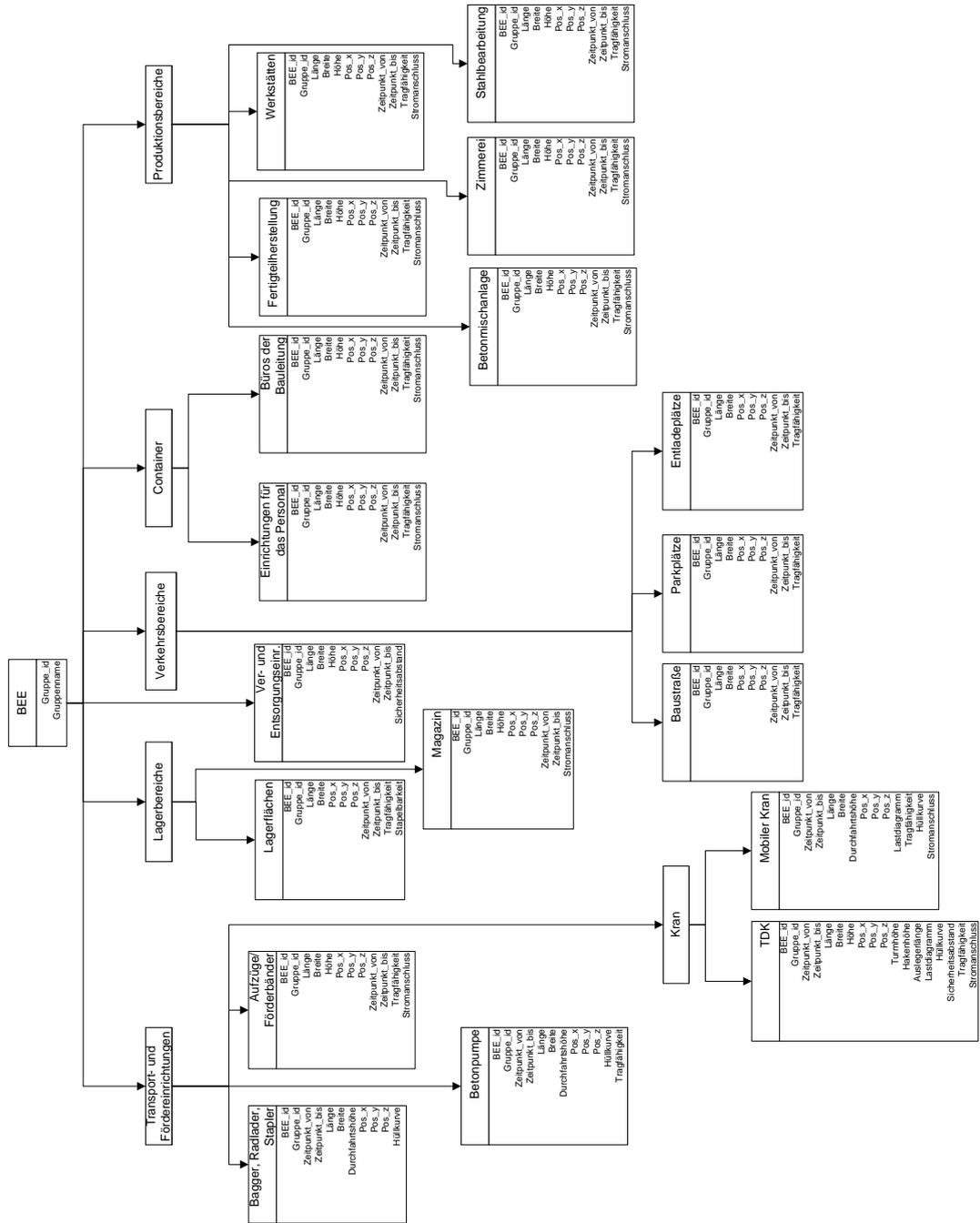


Abbildung A-1: Datenbankstruktur der Baustellenobjekte

Anhang B Verknüpfung der Einrichtungselemente

Verknüpfte BEE m...muss k...kann	Turmdrehkran	Kranbahn	mobile Krane	Bagger, Radlader, Stapler	Aufzüge, Förderbänder	Betonpumpen	Zimmerer	Betonmischanlage	Stahlbearbeitung	Fertigteilherstellung	Werkstätten	Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	Schalungslager	Stahllager	Mauersteinlager	Fertigteilager	Lager für Gerüste und Baubehelfe	Magazine	Baustraßen	Entladeplätze	Parkplätze	Sicherungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenverkehr	Büros der Bauleitung	Tagesunterkünfte	Schlafunterkünfte	sanitäre Anlagen	Kantine	Stromversorgung	Telekommunikationsanschlüsse	Wasserversorgung	Abwasserentsorgung	Energieversorgung (Druckluft, Gas, Treibstoff)						
Turmdrehkran				k				m	m	m			m	m	m	m																						
Kranbahn	k																																					
mobile Krane	k			k				k	k				k	k	k	k	k																					
Bagger, Radlader, Stapler				k																																		
Aufzüge, Förderbänder								k				k																										
Betonpumpen								m																														
Zimmerer										k							k																					
Betonmischanlage					m																																	
Stahlbearbeitung																k																						
Fertigteilherstellung																																						
Werkstätten	k					k	k	k	k	k																												
Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial																																						
Schalungslager						k																																
Stahllager								m																														
Mauersteinlager																																						
Fertigteilager						k			k																													
Lager für Gerüste und Baubehelfe																																						
Magazine							m	k	k																				m	k					k			
Baustraßen	m	m	m	m	m	m						m																										
Entladeplätze	k	m		k								k	k	k	k	k	k																					
Parkplätze		k	k	k																																		
Sicherungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenverkehr																																						
Büros der Bauleitung																																						
Tagesunterkünfte																																						
Schlafunterkünfte																																						
sanitäre Anlagen																																						
Kantine																																						
Stromversorgung	m	m		m	m	m	m	m	m																													
Telekommunikationsanschlüsse																																						
Wasserversorgung								m																														
Abwasserentsorgung								m																														
Energieversorgung (Druckluft, Gas, Treibstoff)		k	m			k				k	k																											

Tabelle B-1: Verknüpfungen der Einrichtungselemente

Anhang C Hilfestellung für die Positionierung

Hinweise

Die folgenden Hinweise sind in der Planungsmethodik integriert. Beim Positionieren eines Elementes, werden diese angezeigt.

NR	Gruppe	Element	Hinweis	Art
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Kranbahn	Geislänge an Enden um ca. 3m verlängern	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Kranbahn	Sicherheitsabstände beachten - Sicherheitsabstand Kranbahn min	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Kranbahn	tragfähiger Untergrund - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Kranbahn	parallel zur Bauwerkslängsseite - Kranbahn parallel Bauwerkslängsseite	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	mobile Krane	Sicherheitsabstände beachten	Hinweis
1	Transport- und Fördereinrichtungen	mobile Krane	Stellfläche vorsehen - Stellfläche BxT_min muss vorhanden sein	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	mobile Krane	Zufahrt ausreichend dimensionieren - Zufahrt für Kran in Fahrstellung BxHxT_min	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	mobile Krane	Stellfläche setzt tragfähigen Untergrund voraus - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	mobile Krane	Stellfläche ebenerdig	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	alle Teile des Bauwerks müssen erreicht werden - Schwenkbereich muss Bauwerk überdecken	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	alle Lagerflächen müssen erreicht werden - Schwenkbereich muss Lagerflächen überdecken	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Material sollte möglichst ohne Übergabe von Kran zu Kran transportiert werden	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Entladung von LKW möglich/ Teil der Baustraße muss überschwenkt werden - Schwenkbereich muss Teil der Baustraße überdecken	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Personaleinrichtungen sollten nicht überschwenkt werden - Schwenkbereich soll Personaleinrichtungen nicht überdecken	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	der Kran muss Produktionsbereiche wie Schalungsbau oder Stahlbearbeitung erreichen - Schwenkbereich muss Schalungsbau und Stahlbearbeitung überdecken	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Sicherheitsabstände beachten	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kollisionsprüfung 3D	Hinweis
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	möglichst außerhalb der Bauteile/ Gebäude - Kran soll nicht innerhalb Gebäude positioniert werden	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Abstand von wandschalungsintensiven Bauteilen - Kran soll nicht an wandschalungsintensiven Bauteilen positioniert werden	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Arbeitsbereiche sollten sich überschneiden - Wenn mehr als 1 Kran positioniert, sollten sich deren Arbeitsbereiche überschneiden	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Anlieferung der Teile über ausreichend dimensionierte Zufahrt - Zufahrt für Kran in Transportstellung BxHxT_min	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Bei Obendrehern wird für Auf- und Abbau Platz für einen Mobilkran benötigt	Hinweis
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	tragfähiger Untergrund - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	jeder Kran bestreicht Arbeitsbereiche gleicher Arbeitsintensität	Hinweis
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	bei 2 Kränen mit gleicher Auslegerlänge oder Kran mit längerem Ausleger niedriger, dann ist Sicherheitsabstand rmax +1m - Sicherheitsabstand zwischen 2 Kräne rmax +1m	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Sicherheitsabstand zwischen am weitesten ausladenden Teil zu Umgebung 1m - Sicherheitsabstand Kran zu Umgebung r+1m	Imperativ
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kran auf Seite des Bauwerks wo auch Baustraße liegt - Kran soll auf gleicher Seite vom Bauwerk wie Baustraße liegen	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kran auf Seite wo auch das Lager ist - Kran soll auf gleicher Seite vom Bauwerk wie Lager liegen	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kran an Außenseite des Bauwerks - Kran soll außerhalb Gebäude positioniert werden	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kran sollte öffentlichen Verkehr nicht überschwenken - Schwenkbereich soll öff. Verkehr nicht überdecken	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Kran auf Bauwerksseite, wo Aufbereitungsanlage steht - Kran auf gleicher Seite vom Bauwerk wie Aufbereitungsanlage	Empfehlung
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	Durchfahrtshöhe für Anlieferung und Abtransport	Hinweis
1	Transport- und Fördereinrichtungen	Turmdrehkran	ausreichend Fläche für Auf- und Abbau	Hinweis
2	Produktionsbereiche	Betonmischanlage	nahe am Verbrauchsschwerpunkt	Anforderung
2	Produktionsbereiche	Betonmischanlage	Zuteilern an Baustraße - Zuteilern muss an Baustraße liegen	Imperativ
2	Produktionsbereiche	Betonmischanlage	Mischer im Schwenkbereich der Krane - Mischer muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
2	Produktionsbereiche	Fertigteilerherstellung	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
2	Produktionsbereiche	Fertigteilerherstellung	in Nähe des Magazins - soll nahe am Magazin liegen	Empfehlung
2	Produktionsbereiche	Stahlbearbeitung	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
2	Produktionsbereiche	Stahlbearbeitung	nahe am Stahlager - soll nahe am Stahlager liegen	Empfehlung
2	Produktionsbereiche	Werkstätten	an Baustraße - muss an Baustraße liegen	Imperativ
2	Produktionsbereiche	Zimmerlei	im Schwenkbereich der Krane - soll im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
2	Produktionsbereiche	Zimmerlei	in Nähe des Magazins - soll in Nähe des Magazins sein	Empfehlung
2	Produktionsbereiche	Zimmerlei	Untergrund trocken und ebenerdig	Imperativ
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Zufahrt über Hauptstraßen meiden	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	teilweise im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen (teilweise)	Imperativ
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Anordnung längsseits zum Bauwerk - Baustraße parallel zur Bauwerkslängsseite	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Sicherheitsabstände beachten	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Wendemöglichkeiten einplanen	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	günstige Verkehrsführung (Durchfahrt anstatt Rangieren oder Rückwärtsfahrt)	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	maximal mögliche Steigung beachten - darf Steigung_max nicht überschreiten	Imperativ
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	möglichst geringe Störung des öffentlichen Verkehrsnetzes - soll an Nebenstraße angebunden sein	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Beschädigungen und Verschmutzungen von öffentlichen Verkehrswegen sind zu vermeiden	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	bei Baustellen mit hohem Transportaufkommen sind getrennte Zu- und Ausfahrten sinnvoll	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Beleuchtung an den Masten der TDK, wenn nicht möglich anderen Mastern vorsehen	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße auf Seite des Bauwerks, wo auch der Kran steht - soll auf Seite des Bauwerks, wo auch der Kran steht, liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße an Werkstätten, Magazinen - soll an Werkstätten, Magazinen liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße an sanitären Anlagen - soll an sanitären Anlagen liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße an Unterkünten, Bauleiterbüros - soll an Unterkünten, Bauleiterbüros liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße an Lagerplätzen - soll an Lagerplätzen liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Baustraße	Baustraße sollte am Bauwerk liegen - soll an Bauwerk liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Entladeplätze	an Baustraße - muss an Baustraße liegen	Imperativ
3	Verkehrsbereiche	Entladeplätze	nahe an Lagerflächen - soll nahe an Lagerflächen liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Entladeplätze	nahe am Bauwerk - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
3	Verkehrsbereiche	Entladeplätze	ebenerdig	Hinweis
3	Verkehrsbereiche	Parkplätze	an Baustraße - muss an Bauwerk liegen	Imperativ
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Aufzüge, Förderbänder	Sicherheitsabstände beachten - Sicherheitsabstand Fördergerät min	Imperativ
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Bagger, Radlader, Stapler	Sicherheitsabstände beachten	Hinweis
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Bagger, Radlader, Stapler	Durchfahrtshöhe beachten - Zufahrt für Gerät in Fahrstellung BxHxT_min	Anforderung
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Betonpumpen	Sicherheitsabstände zu Baugruben und Böschungen	Hinweis

Tabelle C-1: Liste der Hilfestellung für die Positionierung (Teil 1/2)

NR	Gruppe	Element	Hinweis	Art
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Betonpumpen	Durchfahrtshöhe 4m - Zufahrt für Betonpumpe in Fahrstellung BxHxT_min	Anforderung
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Betonpumpen	tragfähiger Untergrund - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Betonpumpen	Stellfläche ebenerdig	Imperativ
4	Transport- und Fördereinrichtungen	Betonpumpen	Stellflächen an Baustraße - Stellfläche soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Abwasserentsorgung	evtl. vor Einfrieren schützen	Hinweis
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Abwasserentsorgung	nötiges Gefälle berücksichtigen	Hinweis
5	Lagerbereiche	Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	an Baustraße - muss an Baustraße liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	Containermulden im Schwenkbereich der Krane - Containermulden sollen im Schwenkbereich der Krane liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	Rangierflächen müssen vorgesehen werden	Imperativ
5	Lagerbereiche	Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial	evtl. Arbeitsflächen für Mülltrennung	Hinweis
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Energieversorgung	Sicherheitsabstände beachten - Sicherheitsabstand_min	Imperativ
5	Lagerbereiche	Fertigteillager	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Fertigteillager	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Fertigteillager	nahe am Bauwerk - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Fertigteillager	befestigter Boden - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
5	Lagerbereiche	Fertigteillager	evtl. Abladefläche für autonomes Abladen durch LKW-Kran	Hinweis
5	Lagerbereiche	Lager für Gerüste und Baubehelle	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Lager für Gerüste und Baubehelle	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Lager für Gerüste und Baubehelle	evtl. Abladefläche für autonomes Abladen durch LKW-Kran	Hinweis
5	Lagerbereiche	Magazin	an Baustraße - muss an Baustraße liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Magazin	möglichst nahe an Bearbeitungsschwerpunkten - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Magazin	im Schwenkbereich der Krane - soll im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Mauersteinlager	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Mauersteinlager	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Mauersteinlager	nahe am Bauwerk - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Mauersteinlager	befestigter Boden - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
5	Lagerbereiche	Mauersteinlager	evtl. Abladefläche für autonomes Abladen durch LKW-Kran	Hinweis
5	Lagerbereiche	Schalungslager	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Schalungslager	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Schalungslager	nahe am Bauwerk - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Schalungslager	befestigter Boden - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
5	Lagerbereiche	Schalungslager	Lagerbereiche sollten zwischen Bauwerk und Baustraße sein - Lagerbereich soll zwischen Bauwerk und Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Schalungslager	evtl. Abladefläche für autonomes Abladen durch LKW-Kran	Hinweis
5	Lagerbereiche	Stahlager	im Schwenkbereich der Krane - muss im Schwenkbereich von Kran liegen	Imperativ
5	Lagerbereiche	Stahlager	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Stahlager	nahe am Bauwerk - soll nahe am Bauwerk liegen	Empfehlung
5	Lagerbereiche	Stahlager	befestigter Boden - Tragfähigkeit Wert_min	Anforderung
5	Lagerbereiche	Stahlager	evtl. Abladefläche für autonomes Abladen durch LKW-Kran	Hinweis
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Stromversorgung	Sicherheitsabstände gegen Spannungsüberschlag von 5m - Sicherheitsabstand_min 5m	Anforderung
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Stromversorgung	Kran sollte eigene Zuleitung haben und einen separaten Hauptsicherungssatz	Hinweis
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Stromversorgung	Durchfahrtshöhe von 4,50m soll gewährleistet werden - Durchfahrtshöhe_min 4,5m	Anforderung
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Telekommunikations-anschlüsse	Kollisionsprüfung - Durchfahrtshöhe_min 4,5m	Anforderung
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Wasserversorgung	evtl. vor Einfrieren schützen	Hinweis
5	Ver- und Entsorgungseinrichtungen	Wasserversorgung	nötiges Gefälle berücksichtigen	Hinweis
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	gute Übersicht auf Baustelle und Zufahrt - soll an Baustelleneinfahrt liegen	Empfehlung
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	außerhalb des Schwenkbereichs der Krane - soll nicht im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	Stromversorgung einfach möglich	Hinweis
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	entfernt zu Aufbereitungsanlagen und Betonmischanlage - soll nicht an Betonmischanlage liegen	Empfehlung
6	Bauleitung	Büros der Bauleitung	an Baustelleneinfahrt	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Kantine	nahe bei Tagesunterkünften - soll nahe an Tagesunterkünften liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Kantine	Rettnungswege vorsehen	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	nahe bei Tagesunterkünften - soll nahe an Tagesunterkünften liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	Wasser und Abwasseranschluss möglich - soll an Wasser- und Abwasseranschluss liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	entsprechend Arbeitsfortschritt positionieren (Geschossdecke oder Straßenbauabschnitt) - soll an Bearbeitungsschwerpunkt liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	Anlieferung und Abholung durch LKW möglich	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	außerhalb des Schwenkbereichs der Krane - soll nicht im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	sanitäre Anlagen	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	außerhalb des Schwenkbereichs der Krane - soll nicht im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	nicht an Hauptverkehrsstraßen oder anderen Lärmquellen anordnen - soll nicht an Hauptverkehrsstraße liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	Stromversorgung einfach möglich	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	Anlieferung und Abholung durch LKW möglich	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	Rettnungswege vorsehen	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	an Baustraße - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	entfernt zu Aufbereitungsanlagen und Betonmischanlage - soll nicht an Betonmischanlage liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Schlafunterkünfte	nicht zwischen Lagerplatz und Bauwerk - soll nicht zwischen Lagerplatz und Bauwerk liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	am Rand des Baufeldes, aber kurze Wege für Arbeiter - soll am Baustellenrand liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	außerhalb des Schwenkbereichs der Krane - soll nicht im Schwenkbereich von Kran liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	Anlieferung und Abholung durch LKW möglich - soll an Baustraße liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	Stromversorgung einfach möglich	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	Rettnungswege vorsehen	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	an Baustraße	Hinweis
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	entfernt zu Aufbereitungsanlagen und Betonmischanlage - soll nicht an Betonmischanlage liegen	Empfehlung
7	Einrichtungen für das Personal	Tagesunterkünfte	nicht zwischen Lagerplatz und Bauwerk - soll nicht zwischen Lagerplatz und Bauwerk liegen	Empfehlung

Tabelle C-2: Liste der Hilfestellung für die Positionierung (Teil 2/2)

Gesetze

Die folgenden Gesetze sind in der Planungsmethodik integriert. Beim Positionieren eines Elementes, werden diese angezeigt.

Turmdrehkran
Bausteine der BG Bau B 146 – Lastaufnahmemittel im Tiefbau
Bausteine der BG Bau B 58 – Turmdrehkrane (Aufstellung), B 59 – Turmdrehkrane (Betrieb)
Bausteine der BG Bau B 60 – Autokrane
Bausteine der BG Bau B 69 – Lastaufnahmemittel im Hochbau
Bausteine der BG Bau D 36 – Anschlagmittel von Lasten
BGG 905 – Prüfung von Kranen
BGG 961 – Kran-Kontrollbuch
BGI 555 – Kranführer
BGI 556 – Anschläger
BGI 622 – Belastungstabellen für Anschlagmittel aus Rundstahlketten, Stahldrahtseilen, Chemiefaserhebebändern, Chemiefaserseilen,
BGR 500 – Betreiben von Arbeitsmitteln (Kapitel 2.8 Lastaufnahmeeinrichtungen im Hebezeugbetrieb mit BetrSichV, Abschnitt 2, Anhang 1 und 2)
BGV A8 – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz
BGV D6 – Krane
DIN 15 002 – Hebezeug; Lastaufnahmeeinrichtungen, Benennungen
DIN 15 003 – Hebezeug; Lastaufnahmeeinrichtungen, Lasten und Kräfte, Begriffe
DIN 4124 – Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
DIN VDE 0105-1 – Betrieb von elektrischen Anlagen

Tabelle C-3: Gesetze für den Turmdrehkran

mobile Krane
Bausteine der BG Bau B 63 – Betonpumpen und Verteilmaste
BGR 182 – Umgang mit Betonpumpen und Verteilmaste
BGV C22 – Bauarbeiten
DIN 4124 – Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
Sicherheitshandbuch Förder- und Verteilmaschinen für Beton

Tabelle C-4: Gesetze für mobile Krane

Bagger, Radlader, Stapler
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung, Abschnitt 2, Anhang 1 und 2
BGR 500 – Betreiben von Arbeitsmitteln, Kapitel 2.12 – Betreiben von Erdbaumaschinen
BGV A8 – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz
DIN 4124 – Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten
EN 474 – Erdbaumaschinen – Sicherheit, z. B. Teil 5: Anforderungen für Hydraulikbagger
GBV D27 – Flurförderzeuge
StVZO – Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung

Tabelle C-5: Gesetze für Bagger, Radlader und Stapler

Aufzüge, Förderbänder
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung
BGR 500 – Betreiben von Arbeitsmitteln (Abschnitt 2.10)
DIN EN 12 158 – Bauaufzüge für den Materialtransport
DIN EN 12 159 – Bauaufzüge zur Personen- und Materialbeförderung mit senkrecht geführten Fahrkörben

Tabelle C-6: Gesetze für Aufzüge und Förderbänder

Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung
BGR 500 – Betreiben von Arbeitsmitteln (Abschnitt 2.10)
DIN EN 12 158 – Bauaufzüge für den Materialtransport
DIN EN 12 159 – Bauaufzüge zur Personen- und Materialbeförderung mit senkrecht geführten Fahrkörben
BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz
BestüVAbfV – Verordnung zur Bestimmung überwachungsbedürftiger Abfälle zur Verwertung (nur zur Information, Verordnung ist aufgehoben)
BImSchG – Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIN 18 459 – Abbruch- und Rückbauarbeiten (VOB/C)
GewAbfV – Gewerbeabfallverordnung
KrW-/AbfG – Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz
TgV – Transportgenehmigungsverordnung

Tabelle C-7: Gesetze für die Deponie für Abbruch- und Aushubmaterial

Magazine
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV),
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung
Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn (GGVSE),
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV),
Landeswassergesetze (z. B. SächsWG) oder das Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
SächsWG – Landeswassergesetze, z. B. Sächsisches Wassergesetz
Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbG)
Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)
TRBS – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF)
WHG – Wasserhaushaltsgesetz

Tabelle C-8: Gesetze für Magazine

Baustraßen
ArbSchG – Arbeitsschutzgesetz
ArbStättV (2004) – Arbeitsstättenverordnung vom 12.08.2004, ab 2011 neu § 3a und 4 (Anhang Anforderungen an Arbeitsstätten nach § 3 Abs. 1,
BGR 113 – Sicherheit von Treppen bei Bauarbeiten
BGV A1 – Grundsätze der Prävention
BGV A8 – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz
BGV C22 – Bauarbeiten (§ 15 a Baustellenverkehr, § 36 Sicherung von Verkehrswegen)
BGV D29 – Fahrzeuge
DIN 18 920 – Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen
RAS-K-1 – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Knotenpunkte – Abschnitt 1: Plangleiche Knotenpunkte
RAS-L – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung
RAS-LP 4 – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Landschaftspflege – Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen
RAS-Q – Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitte
StVO – Straßenverkehrs-Ordnung
Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A2.3 Fluchtwege, Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan
ZTV-SA 97 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen

Tabelle C-9: Gesetze für Baustraßen

Sicherungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenverkehr
§823Abs.1BGB183
BGV C22 – Bauarbeiten
HAV – Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen
Kommunale Satzungen, z. B. für Sondernutzungserlaubnisse, bei der Inanspruchnahme von öffentlichen Flächen, z. B. für Gerüstaufstellung
MVAS – Merkblatt über Rahmenbedingungen für erforderliche Fachkenntnisse zur Verkehrssicherung von Arbeitsstellen an Straßen
RiLSA – Richtlinien für Lichtsignalanlagen; Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr
RMS – Richtlinien für die Markierung von Straßen
RPS – Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen
RSA – Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen
SächsBO – Bauordnungen der Bundesländer, z. B. Sächsische BO 184
StVO – Straßenverkehrs-Ordnung (insb. verkehrsrechtliche Anordnungen und Sicherungsarbeiten im Straßenraum gemäß §§ 44 f. StVO bei Einschränkung und Gefährdung des Verkehrs auf öfftl. Straßen)
StVwV – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung
StVZO – Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
VZKat – Verkehrszeichenkatalog
ZTV-SA 97 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen

Tabelle C-10: Gesetze für Sicherungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenverkehr

Büros der Bauleitung
ArbStättV (1975) – Arbeitsstättenverordnung vom 20. 3. 1975 (nur noch als Orientierung)
ArbStättV (2004) – Arbeitsstättenverordnung vom 12. 8. 2004, 70
Technische Regeln für Arbeitsstätten (z. B. ASR A4.4 Unterkünfte)

Tabelle C-11: Gesetze für die Büros der Bauleitung

Tagesunterkünfte und Schlafunterkünfte
Ab 2011 neu & 6 (Anhang: Anforderungen an Arbeitsstätten nach § 3 Abs. 1, Pkt. 4.2
ArbStättV (2004) – Arbeitsstättenverordnung vom 12. 8. 2004 (dort besonders § 6 und Nr. 5.2 des Anhangs)
ASR 29/1-4 – Pausenräume
ASR 34/1-5 – Umkleieräume
ASR 45/1-6 – Tagesunterkünfte auf Baustellen
ASR 47/1-3, 5 – Waschräume für Baustellen
ASR 48/1-2 – Toiletten u. Toilettenräume auf Baustellen
Hinweise zur Anwendung der Verordnung über Arbeitsstätten der Länder, z. B. des Ministeriums für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Familie des Landes Brandenburg, Potsdam, Dezember 2004
LASI (Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik) LV 40 – Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung
Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A4.4, Unterkünfte, Ausgabe: Juni 2010)
Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR A4.5, Raumtemperatur, Ausgabe: Juni 2010)
Technische Richtlinien des Ausschusses für Arbeitsstätten (TRA, nach deren Veröffentlichung)

Tabelle C-12: Gesetze für Tagesunterkünfte und Schlafunterkünfte

sanitäre Anlagen
ArbStättV (2004) – Arbeitsstättenverordnung vom 12. 8. 2004 (dort insbesondere § 6 Abs. 4 und Nr. 4.3 des Anhangs), ab 2011 neue § 6 (Anhang: Anforderungen an Arbeitsstätten nach § 3 Abs. 1, Pkt. 1.3)
ASR 38/2 – Sanitäräume
BGV A1 – Grundsätze der Prävention (insbesondere § 25)
DIN 13 157 – Erste-Hilfe-Material – Verbandkasten C
DIN 13 169 – Erste-Hilfe-Material – Verbandkasten E
DIN 4844 1-3 – Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen
Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 (Raumtemperatur)

Tabelle C-13: Gesetze für sanitäre Anlagen

Stromversorgung
BGI 531 – Installationsarbeiten; Heizung, Lüftung, Sanitär
BGI 594 – Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln bei erhöhter elektrischer Gefährdung
BGI 600 – Auswahl und Betrieb ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel nach Ein- satzbereichen
BGI 608 – Auswahl und Betrieb elektrischer Anlagen und Betriebsmittel auf Bau- und Montagestellen. Diese Regeln sind eine für den Praktiker interessante Zusammenfassung der DIN VDE. Außerdem sind in dieser Regel zusätzliche Festlegungen aufgeführt, welche in der DIN VDE 0100-704 nicht berücksichtigt werden. Von besonderer Bedeutung ist hier vor allem Abschnitt 3: Maßnahmen zur Verhütung von elektrischen
BGI 867 – Auswahl und Betrieb von Ersatzstromerzeugern auf Bau- und Montagestellen
BGV A3 – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
BGV C22 – Bauarbeiten, § 43: Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
DIN 18 382 – Nieder- und Mittelspannungsanlagen mit Nennspannungen bis 36 kV (VOB/C)
DIN VDE 0100 – Bestimmung für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V, hier sind insbesondere Teil 200 (Begriffe), Teil 410 (Schutzmaßnahmen, Schutz gegen gefährliche Körperströme), Teil 430 (Schutz von Kabeln und Leitungen gegen Überstrom), Teil 551 (Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen), Teil 704 (Baustellen), Teil 706 (Begrenzte, leitfähige Räume), Teil 728 (Ersatzstromversorgungsanlagen) und Teil 737 (Feuchte und nasse Bereiche und Räume; Anlagen im Freien) von Belang
DIN VDE 0105-1 – Betrieb von elektrischen Anlagen
DIN VDE 0250 – Isolierte Starkstromleitungen
DIN VDE 0281 – Starkstromleitungen mit thermoplastischer Isolierhülle für Nennspannungen bis 450/750 V
DIN VDE 0282-4 – Starkstromleitungen mit vernetzter Isolierhülle für Nennspannungen bis 450/750 V – Teil 4: Flexible Leitungen
DIN VDE 0292 – System für Typkurzzeichen von isolierten Leitungen
DIN VDE 0293-308 – Kennzeichnung der Adern von Kabeln/Leitungen und flexiblen Leitungen durch Farben
DIN VDE 0470-1 – Schutzarten durch Gehäuse
DIN VDE 0660-501 – Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 4: Besondere Anforderungen an Baustromverteiler
DIN VDE 0701 – Instandsetzung, Änderung und Prüfung elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke
DIN VDE 0740-1 – Handgeführte motorbetriebene Elektrowerkzeuge – Sicherheit – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
IEC/EN 60 364-7-704 ist die internationale Norm entsprechend der DIN VDE 0100-704
VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. – Regelwerk
Weiterhin ist zu beachten, dass Elektroinstallationen an Baustellen den Bestimmungen der DIN 43 868 sowie den „Technischen Anschlussbedingungen“ des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft e. V. (VDEW) entsprechen müssen.

Tabelle C-14: Gesetze für die Stromversorgung

Wasserversorgung
BGR 126 – Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen
kommunale Abwassersatzungen
KrW-/AbfG – Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
SächsWG – Landeswassergesetze, z. B. Sächsisches Wassergesetz
TRBA 220 – Sicherheit und Gesundheit bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen in abwassertechnischen Anlagen
WHG – Wasserhaushaltsgesetz

Tabelle C-15: Gesetze für die Wasserversorgung

Energieversorgung
ADR – Europäische Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
Betriebs- und Verhaltensvorschriften nach der Lagerordnung des jeweiligen Bundeslandes
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung
GefStoffV – Gefahrstoffverordnung
GGBefG – Gefahrgutbeförderungsgesetz
GGVSE – Gefahrgutverordnung Straße und Eisenbahn
Landesspezifische Verordnungen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
SächsWG – Landeswassergesetze, z. B. Sächsisches Wassergesetz
TRbF – Technische Regeln für brennbare Flüssigkeiten
TRGS – Technische Regeln für Gefahrstoffe
VbF – Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
VwVwS – Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe
WHG – Wasserhaushaltsgesetz

Tabelle C-16: Gesetze für die Energieversorgung

Arbeits- und Schutzgerüste
„Bausteine“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft B45 – Fassadengerüste
„Bausteine“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft B46 – Schutzdächer
„Bausteine“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft B8 – Absturzsicherung auf Baustellen
„Bausteine“ der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft B9 – Fanggerüste
8. GPSGV – Verordnung über das Inverkehrbringen von persönlichen Schutzausrüstungen
BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung (insbesondere §§ 10 und 11)
BGI 515 – PSA – Informationsschrift für Unternehmer und Versicherte zur Auswahl, Bereitstellung und Benutzung von persönlichen
BGI 663 – Handlungsanleitung für den Umgang mit Arbeits- und Schutzgerüsten – auch veröffentlicht als LASI-Veröffentlichung LV 37
BGI 870 – Haltegurte und Verbindungsmittel für Haltegurte
BGR 184 – Seitenschutz und Dachschutzwände als Absturzsicherung bei Bauarbeiten (nur zur Information, BGR wurde zurückgezogen)
BGR 189 – Einsatz von Schutzkleidung
BGR 190 – Benutzung von Atemschutzgeräten
BGR 191 – Benutzung von Fuß- und Beinschutz
BGR 192 – Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz
BGR 193 – Benutzung von Kopfschutz
BGR 194 – Einsatz von Gehörschützern
BGR 195 – Einsatz von Schutzhandschuhen
BGR 196 – Benutzung von Stechschutzbekleidung
BGR 198 – Einsatz von persönlichen Schutzausrüstungen gegen Absturz
BGR 199 – Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen zum Retten aus Höhen und Tiefen
BGR 201 – Regeln für den Einsatz von persönlichen Schutzausrüstungen gegen Ertrinken
BGV C22 – Bauarbeiten § 6/1 Standsicherheit und Tragsicherheit, § 12/1 Absturzsicherungen)
DIN 4420-1 – Arbeits- und Schutzgerüste – Teil 1: Schutzgerüste – Leistungsanforderungen, Entwurf, Konstruktion und Bemessung
DIN 4420-2 – Arbeits- und Schutzgerüste – Leitergerüste; Sicherheitstechnische Anforderungen
DIN 4420-3 – Arbeits- und Schutzgerüste – Teil 3: Ausgewählte Gerüstbauarten und ihre Regelausführungen
DIN 4421 – Traggerüste (wurde zurückgezogen, vgl. DIN EN 12812 Traggerüste 12/08)
DIN 4422 – Fahrbare Arbeitsbühnen (vgl. DIN EN 1004 03/2005 Entwurf)
DIN EN 12 810 – Fassadengerüste aus vorgefertigten Bauteilen
DIN EN 12 811-1 – Temporäre Konstruktionen für Bauwerke – Teil 1: Arbeitsgerüste – Leistungsanforderungen, Entwurf, Konstruktion und
DIN EN 12 812 – Traggerüste – Anforderungen, Bemessung und Entwurf (2008)
PSABV – PSA-Benutzungsverordnung

Tabelle C-17: Gesetze für Arbeits- und Schutzgerüste

Brandschutz
ArbStättV (2004) – Arbeitsstättenverordnung vom 12. 8. 2004
ASR 13/1,2 – Feuerlöscheinrichtungen
BGR 133 – Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern
BGV A8 – Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz
DIN 14 406 – Tragbare Feuerlöscher
DIN 4066 – Hinweisschilder für die Feuerwehr
DIN EN 2 – Brandklassen
DIN EN 3 – Tragbare Feuerlöscher

Tabelle C-18: Gesetze für den Brandschutz

Anhang D Bewertung von Visualisierungs-Geräten

Um die Visualisierungs-Geräte zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Steht in einer Zelle eine 2, so ist das Gerät in der Reihe, besser als jenes in der Spalte. Der Wert 0 bedeutet, dass er schlechter ist und 1, dass er gleich ist. In Tabelle D-1 ist der Wert von 1,5 vertreten. Dies bedeutet, dass er leicht besser ist als das Gerät in der Spalte.

Nach dem Paarweisen Vergleich wird die Summe gebildet. Summe und Summe* unterscheidet sich insoweit, dass bei Summe* der Wert aus der Addition der einzelnen Zellen in einer Reihe zusätzlich 0,5 gebildet wurde. Dies wurde verwendet, damit bei Geräten, welche das Kriterium zwar sehr schlecht, aber erfüllen, der Wert nicht 0 beträgt. Dies würde zu einem falschen Ergebnis führen.

Der Wert für die Bewertung ist der relative Betrag, multipliziert mit 5. Der relative Wert wird aus der Summenzelle der jeweiligen Reihe und der Gesamtsumme der Spalte Summe gebildet.

Mobilitätsaufwand	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe	Bewertung
VR-Cave	-	0	0	0	0	0	0	0,00
VR-Powerwall	2	-	0	0	0	0	2	1,00
mobile VR-Wand	2	2	-	0	0	0	4	2,00
3D-Monitor	2	2	2	-	1,5	0	7,5	3,75
3D-Blackboard	2	2	2	0,5	-	0	6,5	3,25
HMD	2	2	2	2	2	-	10	5,00

Tabelle D-1: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Mobilitätsaufwand

Kosten	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe*	Bewertung
VR-Cave	-	0	0	0	0	0	0,5	0,26
VR-Powerwall	2	-	1	0	0	0	3,5	1,84
mobile VR-Wand	2	1	-	0	0	0	3,5	1,84
3D-Monitor	2	2	2	-	2	1	9,5	5,00
3D-Blackboard	2	2	2	0	-	0	6,5	3,42
HMD	2	2	2	1	2	-	9,5	5,00

Tabelle D-2: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Kosten

Diskussionsfähigkeit	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe*	Bewertung
VR-Cave	-	0	0	0	0	2	2,5	1,32
VR-Powerwall	2	-	1	2	2	2	9,5	5,00
mobile VR-Wand	2	1	-	2	2	2	9,5	5,00
3D-Monitor	2	0	0	-	0	2	4,5	2,37
3D-Blackboard	2	0	0	2	-	2	6,5	3,42
HMD	0	0	0	0	0	-	0,5	0,26

Tabelle D-3: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Diskussionsfähigkeit

Einarbeiten von Notizen	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe	Bewertung
VR-Cave	-	0	0	0	0	2	2	1,00
VR-Powerwall	2	-	2	0	0	2	6	3,00
mobile VR-Wand	2	0	-	0	0	2	4	2,00
3D-Monitor	2	2	2	-	0	2	8	4,00
3D-Blackboard	2	2	2	2	-	2	10	5,00
HMD	0	0	0	0	0	-	0	0,00

Tabelle D-4: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Notizen

Baustellentauglich	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe	Bewertung
VR-Cave	-	0	0	0	0	0	0	0,00
VR-Powerwall	2	-	0	0	0	0	2	1,11
mobile VR-Wand	2	2	-	0	0	0	4	2,22
3D-Monitor	2	2	2	-	1	2	9	5,00
3D-Blackboard	2	2	2	1	-	2	9	5,00
HMD	2	2	2	0	0	-	6	3,33

Tabelle D-5: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Baustellentauglich

Immersionsgrad	VR-Cave	VR-Powerwall	mobile VR-Wand	3D-Monitor	3D-Blackboard	HMD	Summe	Bewertung
VR-Cave	-	2	2	2	2	2	10	5,00
VR-Powerwall	0	-	1	2	2	0	5	2,50
mobile VR-Wand	0	1	-	2	2	0	5	2,50
3D-Monitor	0	0	0	-	1	0	1	0,50
3D-Blackboard	0	0	0	1	-	0	1	0,50
HMD	0	2	2	2	2	-	8	4,00

Tabelle D-6: Paarweiser Vergleich der VR-Geräte – Kriterium: Immersionsgrad

Gewichtung der Bewertungskriterien	Mobilitätsaufwand	Kosten	Gruppentauglichkeit	Einarbeiten von Notizen	Baustellentauglich	Immersionsgrad	Summe	Bewertung
Mobilitätsaufwand	-	1	1	2	2	0	6	20%
Kosten	1	-	1	1	1	2	6	20%
Gruppentauglichkeit	1	1	-	2	2	2	8	27%
Einarbeiten von Notizen	0	1	0	-	1	2	4	13%
Baustellentauglich	0	1	0	1	-	2	4	13%
Immersionsgrad	2	0	0	0	0	-	2	7%

Tabelle D-7: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für VR-Geräte

Anhang E Bewertung der Interaktionsgeräte für das VR-System

Um die Visualisierungs-Geräte zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Steht in einer Zelle eine 2, so ist das Gerät in der Reihe, besser als jenes in der Spalte. Der Wert 0 bedeutet, dass er schlechter ist und 1, dass er gleich ist

Nach dem Paarweisen Vergleich wird die Summe gebildet. Summe und Summe* unterscheidet sich insoweit, dass bei Summe* der Wert aus der Addition der einzelnen Zellen in einer Reihe zusätzlich 0,5 gebildet wurde. Dies wurde verwendet, damit bei Geräten, welche das Kriterium zwar sehr schlecht, aber erfüllen, der Wert nicht 0 beträgt. Dies würde zu einem falschen Ergebnis führen.

Der Wert für die Bewertung ist der relative Betrag, multipliziert mit 5. Der relative Wert wird aus der Summenzelle der jeweiligen Reihe und der Gesamtsumme der Spalte Summe gebildet.

Kamerabewegungen Positionswechsel, Neigen, Drehen, Zoomen	Multitouch am 3D-Ausgabegerät	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für Planung	Summe	Bewertung
Multitouch am 3D-Ausgabegerät	-	2	2	1	1	2	1	1	10	5,00
Maus	0	-	2	0	0	0	0	0	2	1,00
Trackballs	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0,00
3D-Maus	1	2	2	-	1	2	1	1	10	5,00
Flystick	1	2	2	1	-	2	1	1	10	5,00
Spielecontroller	0	2	2	0	0	-	0	0	4	2,00
Wii-Controller	1	2	2	1	1	2	-	1	10	5,00
Gleiche Eingabe wie für Planung	1	2	2	1	1	2	1	-	10	5,00

Tabelle E-1: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Kamerabewegungen

Durchfliegen oder Durchgehen	Multitouch am 3D-Ausgabegerät	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für Planung	Summe*	Bewertung
Multitouch am 3D-Ausgabegerät	-	2	2	0	0	0	0	1	5,5	1,90
Maus	0	-	2	0	0	0	0	0	2,5	0,86
Trackballs	0	0	-	0	0	0	0	0	0,5	0,17
3D-Maus	2	2	2	-	0	1	1	2	10,5	3,62
Flystick	2	2	2	2	-	2	2	2	14,5	5,00
Spielecontroller	2	2	2	1	0	-	0	2	9,5	3,28
Wii-Controller	2	2	2	1	0	2	-	2	11,5	3,97
Gleiche Eingabe wie für Planung	1	2	2	0	0	0	0	-	5,5	1,90

Tabelle E-2: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Durchfliegen/Durchgehen

Anhang E

Bearbeiten der Planung (Fokus: intuitiv, leicht bedienbar, schnelles Erreichen eines Punktes)	Multitouch am 3D-Ausgabegerät	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für Planung	Summe	Bewertung
Multitouch am 3D-Ausgabegerät	-	2	2	2	2	2	2	1	13	5,00
Maus	0	-	1	2	0	2	2	0	7	2,69
Trackballs	0	1	-	2	0	2	2	0	7	2,69
3D-Maus	0	0	0	-	0	1	1	0	2	0,77
Flystick	0	2	2	2	-	2	1	0	9	3,46
Spielecontroller	0	0	0	1	0	-	0	0	1	0,38
Wii-Controller	0	0	0	1	1	2	-	0	4	1,54
Gleiche Eingabe wie für Planung	1	2	2	2	2	2	2	-	13	5,00

Tabelle E-3: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Bearbeiten der Planung

Erstellen von Notizen ohne Zusatzgerät (Tastatur)	Multitouch am 3D-Ausgabegerät	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für Planung	Summe*	Bewertung
Multitouch am 3D-Ausgabegerät	-	2	2	2	2	2	2	1	13,5	5,00
Maus	0	-	2	1	0	0	0	0	3,5	1,30
Trackballs	0	0	-	0	0	0	0	0	0,5	0,19
3D-Maus	0	1	2	-	0	0	0	0	3,5	1,30
Flystick	0	2	2	2	-	2	2	0	10,5	3,89
Spielecontroller	0	2	2	2	0	-	0	0	6,5	2,41
Wii-Controller	0	2	2	2	0	2	-	0	8,5	3,15
Gleiche Eingabe wie für Planung	1	2	2	2	2	2	2	-	13,5	5,00

Tabelle E-4: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Erstellen von Notizen

Kosten	Multitouch am 3D-Ausgabegerät	Maus	Trackballs	3D-Maus	Flystick	Spielecontroller	Wii-Controller	Gleiche Eingabe wie für Planung	Summe*	Bewertung
Multitouch am 3D-Ausgabegerät	-	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,17
Maus	2	-	1	2	2	2	1	0	10,5	3,62
Trackballs	2	1	-	2	2	2	1	0	10,5	3,62
3D-Maus	2	0	0	-	2	0	0	0	4,5	1,55
Flystick	2	0	0	0	-	0	0	0	2,5	0,86
Spielecontroller	2	0	0	2	2	-	0	0	6,5	2,24
Wii-Controller	2	1	1	2	2	2	-	0	10,5	3,62
Gleiche Eingabe wie für Planung	2	2	2	2	2	2	2	-	14,5	5,00

Tabelle E-5: Paarweiser Vergleich der Interaktion mit dem VR-System – Kriterium: Kosten

Gewichtung der Bewertungskriterien	Kamerabewegungen Positionswechsel, Neigen, Drehen, Zoomen	Durchfliegen oder Durchgehen	Bearbeiten der Planung	Erstellen von Notizen	Kosten	Summe*	Bewertung
Kamerabewegungen ...	-	2	2	2	2	8,5	38%
Durchfliegen oder Durchgehen	0	-	0	0	0	0,5	2%
Bearbeiten der Planung	0	2	-	1	2	5,5	24%
Erstellen von Notizen	0	2	1	-	2	5,5	24%
Kosten	0	2	0	0	-	2,5	11%

Tabelle E-6: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien von der Interaktion mit dem VR-System

Anhang F Bewertung der Planungstisch-Ausgabe

Um die Visualisierungs-Geräte zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Steht in einer Zelle eine 2, so ist das Gerät in der Reihe, besser als jenes in der Spalte. Der Wert 0 bedeutet, dass er schlechter ist und 1, dass er gleich ist

Nach dem Paarweisen Vergleich wird die Summe gebildet. Summe und Summe* unterscheidet sich insoweit, dass bei Summe* der Wert aus der Addition der einzelnen Zellen in einer Reihe zusätzlich 0,5 gebildet wurde. Dies wurde verwendet, damit bei Geräten, welche das Kriterium zwar sehr schlecht, aber erfüllen, der Wert nicht 0 beträgt. Dies würde zu einem falschen Ergebnis führen.

Der Wert für die Bewertung ist der relative Betrag, multipliziert mit 5. Der relative Wert wird aus der Summenzelle der jeweiligen Reihe und der Gesamtsumme der Spalte Summe gebildet.

Darstellung des Layouts	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe*	Bewertung
Layout auf Papier	-	1	1	2,5	5
Layout auf einem Bildschirm	1	-	1	2,5	5
Layout wird mit Beamer projiziert	1	1	-	2,5	5

Tabelle F-1: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Layoutdarstellung

Verschiedene Layout-Layer	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe	Bewertung
Layout auf Papier	-	0	0	0	0
Layout auf einem Bildschirm	2	-	1	3	5
Layout wird mit Beamer projiziert	2	1	-	3	5

Tabelle F-2: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Layout-Layer

Layout - schnell Informationen einzeichnen	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe	Bewertung
Layout auf Papier	-	2	2	4	5
Layout auf einem Bildschirm	0	-	1	1	1,25
Layout wird mit Beamer projiziert	0	1	-	1	1,25

Tabelle F-3: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Informationen im Layout einzeichnen

Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe*	Bewertung
Layout auf Papier	-	0	0	0,5	0,7
Layout auf einem Bildschirm	2	-	1	3,5	5,0
Layout wird mit Beamer projiziert	2	1	-	3,5	5,0

Tabelle F-4: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Manipulation des Layouts

Echtzeit-Auswertung der Planung	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe	Bewertung
Layout auf Papier	-	0	0	0	0
Layout auf einem Bildschirm	2	-	1	3	5
Layout wird mit Beamer projiziert	2	1	-	3	5

Tabelle F-5: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Echtzeit-Auswertung

Anschaffungskosten	Layout auf Papier	Layout auf einem Bildschirm	Layout wird mit Beamer projiziert	Summe*	Bewertung
Layout auf Papier	-	2	2	4,5	5,0
Layout auf einem Bildschirm	0	-	2	2,5	2,8
Layout wird mit Beamer projiziert	0	0	-	0,5	0,6

Tabelle F-6: Paarweiser Vergleich der Planungstisch-Ausgabe – Kriterium: Anschaffungskosten

Gewichtung der Bewertungskriterien	Darstellung des Layouts	Verschiedene Layout-Layer	Layout - schnell Informationen einzeichnen	Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	Echtzeit-Auswertung der Planung	Anschaffungskosten	Summe*	Bewertung
Darstellung des Layouts	-	2	2	2	2	2	10,5	5,0
Verschiedene Layout-Layer	0	-	0	0	0	0	0,5	0,2
Layout - schnell Informationen einzeichnen	0	2	-	2	0	1	5,5	2,6
Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	0	2	0	-	0	0	2,5	1,2
Echtzeit-Auswertung der Planung	0	2	2	2	-	2	8,5	4,0
Anschaffungskosten	0	2	1	2	0	-	5,5	2,6

Tabelle F-7: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für die Planungstisch-Ausgabe

Anhang G Bewertung der Objektdarstellung am Planungstisch

Um die Visualisierungs-Geräte zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Steht in einer Zelle eine 2, so ist das Gerät in der Reihe, besser als jenes in der Spalte. Der Wert 0 bedeutet, dass er schlechter ist und 1, dass er gleich ist

Nach dem Paarweisen Vergleich wird die Summe gebildet. Summe und Summe* unterscheidet sich insoweit, dass bei Summe* der Wert aus der Addition der einzelnen Zellen in einer Reihe zusätzlich 0,5 gebildet wurde. Dies wurde verwendet, damit bei Geräten, welche das Kriterium zwar sehr schlecht, aber erfüllen, der Wert nicht 0 beträgt. Dies würde zu einem falschen Ergebnis führen.

Der Wert für die Bewertung ist der relative Betrag, multipliziert mit 5. Der relative Wert wird aus der Summenzelle der jeweiligen Reihe und der Gesamtsumme der Spalte Summe gebildet.

Manipulation von Objekten (vergrößern (Lager), rotare, pan)	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	2	2	4,5	5,0
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	0	-	1	1,5	1,7
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	1	-	1,5	1,7

Tabelle G-1: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Objektmanipulation

Einfaches Erstellen von neuen Objekten	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	0	2	2,5	2,8
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	2	-	2	4,5	5,0
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	0	-	0,5	0,6

Tabelle G-2: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Objekterstellung

Objekte: Flüssiges Arbeiten (Geringe Datenmengen)	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	0	0	0,5	0,7
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	2	-	1	3,5	5,0
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	2	1	-	3,5	5,0

Tabelle G-3: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Flüssiges Arbeiten

Objekte: Gute Unterscheidung versch. Objekte	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	2	2	4,5	5,0
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	0	-	0	0,5	0,6
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	2	-	2,5	2,8

Tabelle G-4: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: verschiedene und unterscheidbare Objekte

Kostengünstige Objekte	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	0	2	2,5	2,8
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	2	-	2	4,5	5,0
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	0	-	0,5	0,6

Tabelle G-5: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Kostengünstige Objekte

mobil	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	2	2	4,5	5,0
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	0	-	2	2,5	2,8
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	0	-	0,5	0,6

Tabelle G-6: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Mobilität

Baustellentauglich (robuste Lösung)	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	2	2	4,5	5,0
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	0	-	2	2,5	2,8
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	0	-	0,5	0,6

Tabelle G-7: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Baustellentauglich

riesige Objektbibliothek	Darstellung/Projektion	Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	Summe*	Bewertung
Darstellung/Projektion	-	2	2	4,5	5,0
Einfache Objekte (z.B. Klötzchen)	0	-	0	0,5	0,6
Genauere Objekte (z.B. Rapid-Prototyping)	0	2	-	2,5	2,8

Tabelle G-8: Paarweiser Vergleich der Objektdarstellung am Planungstisch – Kriterium: Umsetzung einer riesigen Objektbibliothek

G Bewertung der Objektdarstellung am Planungstisch

Gewichtung der Bewertungskriterien	Manipulation von Objekten (vergrößern (Lager), rotate, pan)	Einfaches Erstellen von neuen Objekten	Objekte: Flüssiges Arbeiten (Geringe Datenmengen)	Summe*	Bewertung
Manipulation von Objekten (vergrößern (Lager), rotate, pan)	-	0	0	0,5	0,8%
Einfaches Erstellen von neuen Objekten	2	-	0	3,5	5,8%
Objekte: Flüssiges Arbeiten (Geringe Datenmengen)	2	2	-	12,5	20,8%
Objekte: Gute Unterscheidung versch. Objekte	2	2	1	12,5	20,8%
Kostengünstige Objekte	2	1	0	3,5	5,8%
mobil	2	2	0	7,5	12,5%
Baustellentauglich	2	2	0	7,5	12,5%
riesige Objektbibliothek	2	2	1	12,5	20,8%

Tabelle G-9: Paarweiser Vergleich der Bewertungskriterien für die Objektdarstellung am Planungstisch

Anhang H Bewertung der Interaktionsmöglichkeiten am Planungstisch

Um die Visualisierungs-Geräte zu bewerten wurde der Paarweise Vergleich verwendet. Steht in einer Zelle eine 2, so ist das Gerät in der Reihe, besser als jenes in der Spalte. Der Wert 0 bedeutet, dass er schlechter ist und 1, dass er gleich ist

Nach dem Paarweisen Vergleich wird die Summe gebildet. Summe und Summe* unterscheidet sich insoweit, dass bei Summe* der Wert aus der Addition der einzelnen Zellen in einer Reihe zusätzlich 0,5 gebildet wurde. Dies wurde verwendet, damit bei Geräten, welche das Kriterium zwar sehr schlecht, aber erfüllen, der Wert nicht 0 beträgt. Dies würde zu einem falschen Ergebnis führen.

Der Wert für die Bewertung ist der relative Betrag, multipliziert mit 5. Der relative Wert wird aus der Summenzelle der jeweiligen Reihe und der Gesamtsumme der Spalte Summe gebildet.

Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	2	2	1	2	2	1	1	11,5	5,0
Tastatur	0	-	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2
Maus	0	2	-	0	0	0	2	2	6,5	2,8
3D-Maus	1	2	2	-	1	1	2	2	11,5	5,0
Flystick	0	2	2	1	-	2	1	1	9,5	4,1
Objekterkennung	0	2	2	1	0	-	0	0	5,5	2,4
Gerätebasierte Gestenerkennung	1	2	0	0	1	2	-	0	6,5	2,8
Kamerabasierte Gestenerkennung	1	2	0	0	1	2	2	-	8,5	3,7

Tabelle H-1: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Layoutmanipulation

Auswahl von Objekten aus Bibliothek und Platzierung	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	2	2	2	2	2	2	2	14,5	5,0
Tastatur	0	-	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2
Maus	0	2	-	2	2	0	2	2	10,5	4,6
3D-Maus	0	2	0	-	0	0	0	0	2,5	1,1
Flystick	0	2	0	2	-	1	1	1	7,5	3,3
Objekterkennung	0	2	2	2	1	-	1	1	9,5	4,1
Gerätebasierte Gestenerkennung	0	2	0	2	1	1	-	1	7,5	3,3
Kamerabasierte Gestenerkennung	0	2	0	2	1	1	1	-	7,5	3,3

Tabelle H-2: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Auswahl von Objekten und Platzierung

Anhang H

Parametrisierung von Objekten	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	0	2	2	2	2	2	2	12,5	4,3
Tastatur	2	-	2	2	2	2	2	2	14,5	5,0
Maus	0	0	-	1	0	2	2	2	7,5	2,6
3D-Maus	0	0	1	-	0	2	0	0	3,5	1,2
Flystick	0	0	2	2	-	2	1	1	8,5	2,9
Objekterkennung	0	0	0	0	0	-	0	0	0,5	0,2
Gerätebasierte Gestenerkennung	0	0	0	2	1	2	-	1	6,5	2,2
Kamerabasierte Gestenerkennung	0	0	0	2	1	2	1	-	6,5	2,2

Tabelle H-3: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Parametrisierung von Objekten

Manipulation von Objekten (vergrößern (Lager), rotate, pan)	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	2	2	2	2	2	2	2	14,5	5,0
Tastatur	0	-	0	0	0	2	0	0	2,5	0,9
Maus	0	2	-	2	2	2	2	2	12,5	4,3
3D-Maus	0	2	0	-	0	2	0	0	4,5	1,6
Flystick	0	2	0	2	-	2	1	2	9,5	3,3
Objekterkennung	0	0	0	0	0	-	0	0	0,5	0,2
Gerätebasierte Gestenerkennung	0	2	0	2	1	2	-	2	9,5	3,3
Kamerabasierte Gestenerkennung	0	2	0	2	0	2	0	-	6,5	2,2

Tabelle H-4: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Objektmanipulation

Gemeinsames Planen	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	2	2	2	2	0	2	2	12,5	4,3
Tastatur	0	-	1	1	0	0	0	0	2,5	0,9
Maus	0	1	-	1	0	0	0	0	2,5	0,9
3D-Maus	0	1	1	-	0	0	0	0	2,5	0,9
Flystick	0	2	2	2	-	0	0	2	8,5	2,9
Objekterkennung	2	2	2	2	2	-	2	2	14,5	5,0
Gerätebasierte Gestenerkennung	0	2	2	2	2	0	-	2	10,5	3,6
Kamerabasierte Gestenerkennung	0	2	2	2	0	0	0	-	6,5	2,2

Tabelle H-5: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Gemeinsames und gleichzeitiges Planen

Kosten	Multi-Toch	Tastatur	Maus	3D-Maus	Flystick	Objekterkennung	Gerätebasierte Gestenerkennung	Kamerabasierte Gestenerkennung	Summe*	Bewertung
Multi-Toch	-	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2
Tastatur	2	-	2	2	2	2	2	2	14,5	5,0
Maus	2	0	-	2	2	2	2	2	12,5	4,3
3D-Maus	2	0	0	-	2	2	2	2	10,5	3,6
Flystick	2	0	0	0	-	1	1	1	5,5	1,9
Objekterkennung	2	0	0	0	1	-	1	1	5,5	1,9
Gerätebasierte Gestenerkennung	2	0	0	0	1	1	-	1	5,5	1,9
Kamerabasierte Gestenerkennung	2	0	0	0	1	1	1	-	5,5	1,9

Tabelle H-6: Paarweiser Vergleich der Interaktion am Planungstisch – Kriterium: Kosten

H Bewertung der Interaktions-möglichkeiten am Planungstisch

Gewichtung der Bewertungskriterien	Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	Auswahl von Objekten aus Bibliothek mit Platzierung	Parametrisierung von Objekten	Manipulation von Objekten	Gemeinsames Planen	Kosten	Summe*	Bewertung
Manipulation des Layouts (zoom, rotate, pan)	-	0	0	0	0	1	1,5	5%
Auswahl von Objekten aus Bibliothek mit Platzierung	2	-	2	2	2	2	10,5	32%
Parametrisierung von Objekten	2	0	-	2	2	1	7,5	23%
Manipulation von Objekten	2	0	0	-	0	2	4,5	14%
Gemeinsames Planen	2	0	0	2	-	1	5,5	17%
Kosten	1	0	1	0	1	-	3,5	11%

Tabelle H-7: Paarweiser Vergleich der Gewichtung für die Interaktion am Planungstisch