Karlsruher Institut für Technologie

PROF. DR.-ING. SASCHA GENTES

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb

PROF. DR.-ING. PETRA VON BOTH

Institut für Entwerfen und Bautechnik, Fachgebiet Building Life Cycle Management

DIPLOMARBEIT

Verknüpfung von Modell und erbrachter Leistung im 5D Prozess
des Building Information Modelling

von

cand.-Ing. Nikolas Früh

eingereicht am 30.04.2012

Betreuer: Dipl.-Ing. Tobias Bregenhorn, Dr.-Ing. Volker Koch, Dipl.-Ing. Wolfgang Müller

„Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

Karlsruhe, den

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG 1

2 DER PROZESS „MODELLORIENTIERTE ARBEITSWEISE“ 3

2.1 Historie 4

2.2 Chancen und Herausforderungen der modellorientierten Arbeitsweise 6

2.3 Elemente der modellorientierten Arbeitsweise 8

2.3.1 Das objektorientierte Modell 9

2.3.2 Das Building Information Model 10

2.3.3 Multi-Modell-Container 11

2.3.4 Expertensystem für den Baubetrieb - RIB iTWO 11

3 MODELLIERUNG EINES BAUTEILS 13

3.1 Vorstellung des ausgewählten Bauvorhabens 13

3.2 Modellierungsverfahren 14

3.2.1 Übergabe der Trassendaten in die Modellierungssoftware 15

3.2.2 Modellierung von Brückenpfeilern in Autodesk Revit 15

3.2.3 Übergabe des Modells an RIB iTWO 16

4 ANALYSE DER FÜR DIE LEISTUNGSMELDUNG IM BAUWESEN RELEVANTEN DATEN 18

4.1 Was ist Leistungsmeldung? 18

4.2 Mengenermittlung und Abrechnung im Infrastrukturbau 20

4.2.1 Mengenermittlung nach Soll-Daten 20

4.2.2 Mengenermittlung nach Ist-Daten 22

4.3 Datenanalyse auf Basis des vorgestellten Brückenbauwerks 23

4.3.1 Aufmass und Mengen 24

4.3.2 Datenerfassung 26

4.3.3 Leistungsmeldung 27

4.3.4 Konzept „Modellorientierte Leistungsmeldung“ 29

4.4 Anforderungen an die modellorientierte Leistungsmeldung 30

4.5 Aktuelle Umsetzung der modellorientierten Leistungsmeldung in iTWO 31

5 ANFORDERUNGEN AN EINE DIGITALE ERFASSUNG DER LEISTUNGSDATEN 33
5.1 Modellversuche zur Datenerfassung mit Microsoft Kinect 33
5.1.1 Versuchsaufbau 36
5.1.2 Modellversuche 38
5.2 Verwendungsmöglichkeiten der durch Scannen erzeugten Modelle 46
5.3 Möglichkeiten der Implementierung von Leistungsdaten in den modellorientierten Arbeitsprozess 47
5.3.1 Erzeugung der Attribute in der Modellierungssoftware Autodesk Revit 49
5.3.2 Erzeugung der Attribute in IFC 2x3 50
6 KONZEPTION EINES BAUSTELLENINTERFACES ZUR DATENERFASSUNG AUF DER BAUSTELLE 53
6.1 Steuerung der Oberfläche mit der Hand 53
6.2 Erfassung von Leistungsdaten in vier Schritten 54
7 OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS ZUR ERFASSUNG VON LEISTUNGSDATEN AUF DER BAUSTELLE 59
7.1 Modell- oder vorgangsorientierte Bauteilauswahl 59
7.2 Auswahl und Anzeige grundlegender Informationen des Bauteils 60
7.3 Vorgeschlagene Attribute zur Erfassung von Leistungsdaten 60
7.4 Aufnahme einer 3D-Punktwolke vom Bauzustand des ausgewählten Objekts 62
8 FAZIT UND AUSBLICK 63
9 ANHANG 65
ABBILDUNGSVERZEICHNIS I
TABELLENVERZEICHNIS IV
LITERATURVERZEICHNIS V
INTERNETVERZEICHNIS VIII

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGK	Allgemeine Geschäftskosten
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
B-Rep	Boundary Represantation Approach
BGK	Baustellengemeinkosten
BIM	Building Information Modeling
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CSG	Constructive Solid Geometry
DA	Datenart
DGM	Digitales Geländemodell
DWG	Dateiformat für CAD Zeichnungen von Autodesk
DXF	Drawing Interchange Format, Dateiformat für CAD Zeichnungen von Autodesk
GAEB	Gemeinsamer Ausschuss Elektronik im Bauwesen
GPS	Global Positioning System
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HVA-B-StB	Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau
IAI	Industrieallianz für Interoperabilität
IFC	Industry Foundation Classes
LE-Menge	Leistungsmenge
LV	Leistungsverzeichnis

PLY	Polygon File Format
RE-Menge	Rechnungsmenge
REB-VB	Regelungen für die elektronische Baubrechnung - Verfahrensbeschreibung
SDK	Software Development Kit
VOB	Vertrags- und Vergabeordnung im Bauwesen
XML	Extensible Markup Language

1 EINLEITUNG

Die computergestützte, virtuelle Abbildung eines geplanten Projekts ist in einigen Branchen nicht mehr wegzudenken. Die Vorteile der digitalen Fabrik, wie das Vorgehen in der Fertigungsindustrie bezeichnet wird, beginnen langsam auch die Baubranche zu überzeugen [Pfaff, Wimmer, 2011]. Das Potential moderner Kommunikations- und Informationstechnologien wird im Bauwesen bisher nicht ausschöpfend genutzt. Das gilt vor allem für den Datenfluss und die Verwendung bereits vorhandener digitaler Daten. Zwar wird zahlreich Spezialsoftware eingesetzt, doch die Schnittstellen in der heterogenen Softwarewelt der Bauindustrie fehlen oft. An dieser Stelle setzt die *modellorientierte Arbeitsweise* an (international als *Buildiung Information Modeling*, kurz *BIM* bezeichnet), die alle am Bau beteiligten Fachdiszplinen an einem zentralen, virtuellen Bauwerksmodell zusammenbringt.

Die Brauchbarkeit der Modelldaten hängt von deren Aktualität ab. Ziel dieser Arbeit ist ein Konzept zu erarbeiten, das die Datenaktualisierung verbessert. Virtuelle und reale Baustelle sollen in der Ausführungsphase über bauteilbezogene Leistungsdaten miteinander verknüpft werden. Durch den Einsatz kostengünstiger Geräte sollen 3D-Geometriedaten von Bauzuständen erzeugt werden. Zur Erfassung von Leistungsdaten für den modellorientierten Arbeitsprozess soll ein Baustelleninterface konzipiert werden. Die Aufgabenstellung wurde zusammen mit der RIB Software AG erarbeitet.

Der Leser wird zunächst theoretisch an das Thema modellorientierte Arbeitsweise herangeführt. Es wird erläutert, was in dieser Arbeit unter den Begriffen *BIM* bzw. *modellorientierter Arbeitsweise* verstanden wird und wie sich die Methode entwickelt hat. Chancen und Herausforderungen sowie Bestandteile des Vorgehens werden erläutert. Der Theorieteil endet mit der Beschreibung der Logik des semantischen Modells.

Entwicklung und Einsatz der modellorientierten Arbeitsweise fanden bisher weitgehend in Verbindung mit Hochbauprojekten statt. Ansätze zur Verwendung im Ingenieurbau, besonders im Brückenbau sind bisher wenig verbreitet. Daher wird das zu erarbeitende Konzept anhand eines Brückenbauwerks entwickelt, somit wird auch auf die Modellierung von Brücken eingegangen. Beispielhaft werden die Pfeiler der ausgewählten Brücke modelliert.

Die Leistungsmeldung im Bauwesen, insbesondere im Infrastrukturbau, wird theoretisch beschrieben. Anhand des ausgewählten Brückenbauwerks werden die relevanten Daten und deren Ermittlung analysiert.

Um bei der Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle auch 3D-Geometriedaten der Bauzustände zu erhalten wird die, für die Videospielkonsole Microsoft XBOX entwickelte, Sensoreinheit Microsoft Kinect auf Verwendbarkeit und Genauigkeit untersucht. Dazu wird ein physikalisches Modell im Maßstab M 1:10 des Baugrubenverbaus für das Pfeilerfundament, der Brückenpfeiler angefertigt. Die umschlossene Baugrube wird ausgewählt, da sich unterschiedliche Bauzustände gut darstellen lassen, um so der Realität einer laufenden Baumaßnahme möglichst nahe zu kommen.

Die einfache und kostengünstige Erfassung von Leistungsdaten, insbesondere von 3D-Daten hergestellter Bauteile, soll eine frequentere und somit aussagekräftigere Leistungsmeldung ermöglichen.

Zur Verknüpfung der Leistungsdaten mit dem Bauwerksmodell werden unterschiedliche Varianten untersucht. Darauf abgestimmt wird ein Baustelleninterface für Tablet-Computer entworfen, mit dessen Hilfe ein Bauleiter Leistungsdaten erfassen kann.

Abschließend wird das erarbeitete Konzept mit einem Experten hinsichtlich Einsetzbarkeit und Funktionalität diskutiert. Die Optimierungspotentiale, die sich daraus ergeben, werden im letzten Kapitel vorgestellt.

2 DER PROZESS „MODELLORIENTIERTE ARBEITSWEISE“

Building Information Modeling (BIM) oder modellorientierte Arbeitsweise ist ein neuartiges Vorgehen bei der Planung, der Konstruktion und der späteren Verwaltung von Bauwerken. Der Begriff steht nicht nur für eine Technologie, sondern für einen ganzen Prozess, der weitreichende Veränderungen gegenüber dem konventionellen Bauprozess beinhaltet. [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011, S.vii]

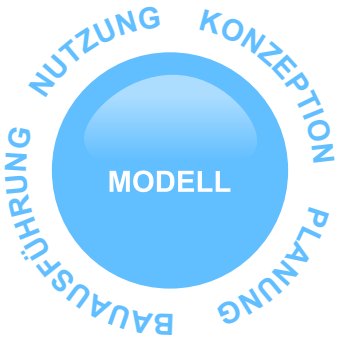


Abbildung 2-1 Modellorientierte Arbeitsweise [Eigene Darstellung]

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick, was unter der modellorientierten Arbeitsweise verstanden wird und wie sie sich entwickelt hat.

Im Zentrum des Verfahrens steht das virtuelle Abbild der Baumaßnahme. Im ersten Schritt werden geometrisch exakte, dreidimensionale Modelle des Bauwerks erstellt, die über Geometrieparameter veränderbar bleiben. Diese werden im zweiten Schritt mit allen Informationen gespeist, die für den Herstellungprozess notwendig sind. Zentrale Faktoren sind dabei die kalkulierten Kosten und der angestrebte Terminplan. Nach Zusammenführung der Daten spricht man vom 5D-Modell (Länge, Breite, Höhe, Zeit und Kosten). Modellorientiertes Arbeiten heißt also, ein digitales Abbild der Baumaßnahme zu erschaffen, es kontinuierlich zu pflegen und es im Bauprozess mit Hilfe entsprechender Software zu verwenden.

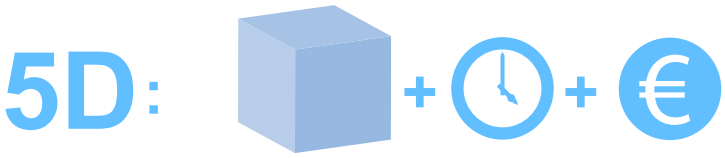


Abbildung 2-2 Der 5D Prozess bestehend aus Modell, Zeit und Kosten [Eigene Darstellung]

Die zu erbringende Leistung wird durch Modelle deutlich genauer definiert, als durch das Zusammenspiel von zweidimensionalen Plänen und Leistungsbeschreibungen in Textform. Durch die Arbeit aller Fachdisziplinen an einem zentralen Modell werden Mehrwerte geschaffen und genutzt. Die Chancen und Herausforderungen der modellorientierten Arbeitsweise werden in 2.2 diskutiert.

2.1 HISTORIE

In den 1960er Jahren begann die Erforschung der Modellierung dreidimensionaler Geometrien. Ivan Sutherland entwickelte 1963 das wegweisendes Zeichensystem Sketchpad. Es setzte Maßstäbe im Bereich der Interaktion von Mensch und Computer. Revolutionär war die Kombination von grafischer Oberfläche und Eingabestift (Lightpen) zur Steuerung des Zeichenprozesses. [Sutherland, 2003]

Um 1980 wurden Computer bezahlbar und das Reißbrett wurde durch Computer Aided Design (CAD) ersetzt. Der Entwurfsprozess, basierend auf Grundrissen, Ansichten und Schnitten, blieb jedoch gleich. Allerdings konnte die Effizienz, durch die Verwendung von CAD, erheblich gesteigert werden. [Weisberg, 2008, S.12]

Ian Braid (Camebridge University), Bruce Baumgart (Stanford University), Ari Requish und Herb Voelcker (University of Rochester) entwickelten 1973 unabhängig voneinander, verschiedene Verfahren für das *Solid Modeling*. Dabei wird die Erstellung von Volumenkörpern beschrieben. Dafür wurden zwei Ansätze entwickelt, die in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

Tabelle 2-1 Solid Modeling Verfahren [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011],S.33ff]

BOUNDARY REPRESENTATION APPROACH (B-REP)	CONSTRUCTIVE SOLID GEOMETRY (CSG)
Geschlossene Formen bilden das volumen-einschliessende Kriterium. Daraus entstehen durch Rotation oder Extrusion Volumenkörper.	Eine Gruppe von Funktionen beschreibt in einer Textfolge die primitiven Polyeder (Quader, Zylinder etc.).
Formen werden durch *Boole'sche Operationen* zusammengesetzt: Überlappung, Schnittmenge und Abzug.	
Das Verfahren eignet sich für Visualisierungen, benötigt jedoch mehr Speicherplatz als CSG.	Die Modelle bleiben durch Parameter editierbar und benötigen daher aber auch mehr Rechenkapazität des Computers.

Die folgende Abbildung zeigt aus primitven Funktionen entstandene Körper.

Abbildung 2-3 Quader, Kugel, Kreiszylinder, Kegel, Pyramide und Torus [Eigene Darstellung]

Die beiden grundlegenden Modellierungsoperationen, aus denen Körper entstehen können, sind in Abbildung 2-4 dargestellt. Der linke Körper entsteht durch Extrusion einer Fläche entlang eines Pfades und der rechte durch Rotation einer Fläche um eine Achse.

Abbildung 2-4 Extrusions- und Rotationskörper [Eigene Darstellung]

Man erkannte, dass die Kombination beider Methoden die besten Ergebnisse liefern konnte. So wurde B-Rep zur Darstellung verwendet und CSG zur Modellierung unter Zuhilfenahme von Parametern. In den späten 1970er Jahren waren die Solid Modeling Systeme einsatzfähig. Allerdings war die damals gängige Computerhardware noch nicht performant genug. Der Preis für einen Modellierungsarbeitsplatz betrug circa 35.000 US $. Die Luftfahrt- und Maschinenbauindustrie sahen großes Potential in der Verwendung der Modelle für Berechnungen, zur frühzeitigen Fehlererkennung und zur Anbindung an die Fertigung (Computer Aided Manufacturing). Die Mehrheit der Bauindustrie beschränkte sich weiterhin auf reine Zeichenanwendungen, die den konventionellen 2D Entwurfsprozess unterstützten. [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011,S.33ff]

In Budapest begannen Gábor Bojár und István Gábor Tári 1982 Graphisoft ArchiCAD für die Verwendung mit Apple Computern zu entwickeln [Archicad BIM Center, 2010]. Autodesk arbeitete an CAD Systemen für den Personal Computer, um sie einer großen Anwendergruppe zugänglich zu machen. Bereits 1983 waren ungefähr 1.000 AutoCAD Lizenzen im Wert von einer Million US $ verkauft. Ein Jahr zuvor hatte Walt Disney den ersten Film mit dreidimensionalen Computergrafiken „Tron“ veröffentlicht [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011,S.33]. Die Parametric Technology Corporation lieferte 1987 die parametrische Modelliererungssoftware Pro/ENGINEER, die sehr erfolgreich vermarktet wurde und die Nutzer nachhaltig beeindruckte [Weisberg, 2008, S.19ff]. Im selben Jahr wurde das *objektorientierte* Modellierungswerkzeug Graphisoft ArchiCAD fertiggestellt. Die Anwendung ist bis heute auf dem Markt und wird kontinuierlich weiterentwickelt. [Archicad BIM Center, 2010], [BIMechanics, 2009]

Mit dem Ziel, die modellorientierte Arbeitsweise im Arbeitsalltag zu etablieren, gründete sich 1995 die Industrieallianz für Interoperabilität (IAI), später umbenannt in buildingSMART: Ein Zusammenschluss internationaler Planungs-, Bauausführungs- und Softwareunternehmen. Im Fokus von buildingSMART steht die Standardisierung des Datenaustausches in einem offenen, herstellerunabhängigen Format. Hierzu wurde das ISO[1] zertifizierte Industry Foundation Classes (IFC) Format entwickelt. Diese Schnittstelle soll eine breite Akzeptanz der neuen Arbeitsweise begünstigen. [buildingSMART, 2011]

Die Entwickler von Pro/ENGINEER präsentierten 2000 die erste Version von Revit, einer speziell für das Bauwesen entwickelten, objektorientierten Modellierungssoftware. Zwei Jahre später wurde Revit von Autodesk aufgekauft, die auch den Begriff *Building Information Modeling* für diese Art von Anwendung einführt. [Harmonic Media, 2012]

1 International Organization for Standardization

Eine Lösung zur Nutzung der Modelle für baubetriebliche Zwecke wurde 2004 mit 5D Virtual Construction von Graphisoft vorgestellt. Später wurde dafür die eigene Firma Vico Software gegründet [Vico Software, 2012]. Die vollständige Integration des Modellansatzes in den Bauprozess schaffte 2009 das Unternehmen RIB (Rechenzentrum im Bauwesen) mit iTWO. Über das dafür entwickelte *Construction Process Integration* Protokoll (CPI) können Modelle, die mit unterschiedlichen Werkzeugen erstellt wurden, für den 5D-Prozess nutzbar gemacht werden. Die Basis des Systems bildet die bauteilbasierte Verknüpfung der 3D Geometriedaten mit alphanumerischen Daten. Einige Beispiele sind die modellbasierte Erstellung des Leistungsverzeichnisses, die Mengenberechnung aus der Modellgeometrie, die Kostenkalkulation und die Visualisierung des Bauablaufs. RIB konnte besonders im Bereich Kalkulation und Ressourcenplanung jahrelange Erfahrung im Bauwesen einbringen.

2.2 CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN DER MODELLORIENTIERTEN ARBEITSWEISE

Die modellorientierte Arbeitsweise erfordert eine neue Herangehensweise an Bauprojekte. Um einen Eindruck der entstehenden Chancen und der Herausforderungen zu bekommen, werden diese im Folgenden gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, welche Schwächen des konventionellen Bauprozesses im Sinne einer Verbesserung aufgegriffen werden.

MODELLMEHRWERT

✓	?
/ Sehr klar verständliche Darstellungsform / Modell kann vom Entwurf bis zum Abriss über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks genutzt werden. / Modelle können zu Simulationszwecken weiterverwendet werden, beispielsweise bei baustatischen oder energetischen Analysen. / Kollisionsprüfung erkennt Inkosistenzen der Planung und kann Verzögerungen des Baublaufs vorbeugen. / Erste Kostenschätzungen sind durch die maschinelle Mengenermittlung schnell verfügbar. Es können unterschiedliche Varianten aus Kostensicht diskutiert werden. / Zeiteinsparung und Fehlerreduzierung während des ganzen Bauprozesses sind durch Vermeiden von redundanten Dateneingaben möglich.	/ Mehraufwand bei der anfänglichen Modellierung muss vergütet werden. / Spätere Projektbeteiligte können durch das Modell erheblich Einsparungen erzielen, da nicht jeder die Ausschreibungsunterlagen neu aufbereiten muss. Sie könnten die Modellierung mitfinanzieren.

DATENAUSTAUSCH, INFORMATIONSFLUSS UND ZENTRALE DATENHALTUNG

- Alle Projektbeteiligten arbeiten an einem Datenmodell und können die Änderungen der Anderen sofort erkennen und berücksichtigen. Telefonate, Treffen und Schrifwechsel können reduziert werden.
- Schnittstellen, die nach unterschiedlichen Datenformaten verlangen, entfallen weitgehend.
- Pläne , können entsprechend der jeweiligen Anforderungen der einzelnen Akteure direkt aus dem Modell generiert werden. Es entsteht kein Mehraufwand durch zusätzliche Zeichenarbeit.

- Die zentrale Verwaltung und Pflege des Modells wird unentbehrlich. Damit kein Chaos entsteht, muss ein Modellmanager die Daten kontinuierlich pflegen.
- Hersteller unabhängige Datenaustausch-formate wie das IFC Format müssen von Softwareherstellern anerkannt und verwendet werden. Sonst droht Gefahr der Monpolstellung einzelner Unternehmen.

PROJEKTFORM

- Auskömmlichere Preise wären wegen der erhöhten Transparenz denkbar.
- Miteinander statt Gegeneinander. Zentrale Datenhaltung begünstigt gutes Verhältnis unter den Projektbeteiligten. Rechtliche Auseinandersetzungen, die auf Missverständnissen basieren, können vermieden werden.

- Gefahr des ungewollten Know-How Transfers durch sichtbar werdendes Firmenwissen.
- Gegenseitiges Vertrauen ist Voraussetzung.
- Daten müssen selektiv geschützt werden.
- Nachträge könnten durch die gesteigerte Transparenz auf ein Minimum beschränkt werden.

MENGENBERECHNUNG

- Fehlerquellen und Zeitaufwand bei der Mengenberechnung können stark minimiert werden. Übertrag des Aufmaßes vom Plan, in Tabellen und Kalkulationssystem entfallen.
- Bei Änderungen am Modell können Mengen automatisch aktualisiert werden.

- Formelsprache der Mengenberechnung von 5D Prozess Anwendungen muss erlernt werden. Diese könnte sich je nach Hersteller unterscheiden. Bindung an ein System schafft gewisse Abhängigkeit.
- Auch komplexe Mengenberechnungen müssen prüfbar sein. Hier fehlen (noch) Standards.

ABLAUF- UND KOSTENENTWICKLUNGSVISUALISIERUNG

✓	?
/ Durch die Zuordnung von Vorgängen, wie zum Beispiel „Einschalen“ zu Bauteilen kann der Bauablauf visualisiert werden. Grobe Planungsfehler sind schnell zu erkennen. / Vorgänge sind mit Ressourcen hinterlegt. So kann auch die Kostenentwicklung über die Zeit visualisiert werden. Soll-Ist Vergleiche können veranschaulicht werden.	/ Hoher Pflegeaufwand bei Änderungen während des gesamten Bauvorgangs. / Modell muss permanent aktualisiert werden, sonst wird es wertlos.

[Juli, Lederhofer, Baumgärtel, 2011], [Mack, Baumgärtel, 2011]

Aufbauend auf diese Gegenüberstellung und der anfänglichen Beschreibung, was grundsätzlich unter dem Begriff *modellorientierte Arbeitsweise* zu verstehen ist, werden nun deren Bestandteile näher erläutert.

2.3 ELEMENTE DER MODELLORIENTIERTEN ARBEITSWEISE

Eine Aufstellung der Werkzeuge, die zur modellorientierte Arbeitsweise benötigt werden, liefert die 5D Initiative. Ins Leben gerufen von den Firmen Züblin/Strabag, Max Bögl, Consolidated Contractors Company (Griechenland), Balast Nedam (Holland) und von Royal BAM Group (Holland) definiert sie in ihren Zielen den 5D Prozess wie folgt:

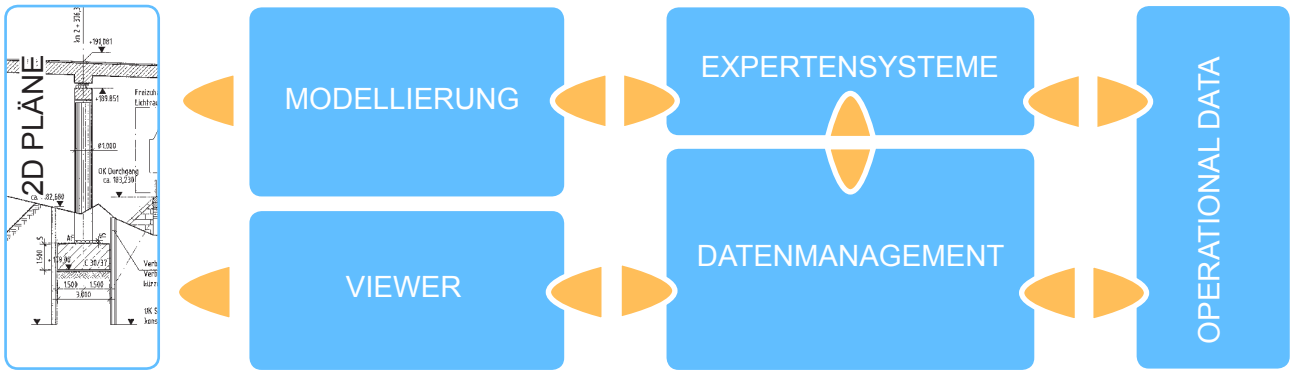


Abbildung 2-5 5D Prozess der 5D Initiative [http://www.5d-initiative.eu/]

Die modellorientierte Arbeitsweise beginnt mit der *Modellierung* des Bauvorhabens. Das Modell ist in der Lage, alle gewünschten 2D Pläne zu generieren. Diese Planungsgrundlage wird von *Expertensystemen* mit Detailinformationen und Berechnungen komplettiert. Jede am Bauprojekt beteiligte Fachdisziplin nutzt ihr spezifisches Expertensystem, um bei der Lösung ihrer Teilproblematik unterstützt zu werden. Die erarbeiteten Informationen werden im *Datenmanagement* zentral gesammelt und verwaltet.

Die Masse der Daten muss kontrolliert und gepflegt werden, ist aber dadurch auch für jeden Beteiligten einsehbar und zugänglich. Aus diesem zentralen Datencontainer werden alle Informationen erzeugt (*Operational Data*), die für Planung, Ausführung, Nutzung und Abriss eines Bauwerks erforderlich sind. Es werden also Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks vorgehalten.

Als elementarer und namensgebender Bestandteil des Vorgehens wird an dieser Stelle die Systematik des *semantischen Modells* näher erläutert, um dem Leser ein Verständnis der Modelllogik zu ermöglichen.

2.3.1 DAS OBJEKTORIENTIERTE MODELL

Das BIM Modell ist objektorientiert und parametrisch [Bormann, Liebich, Juli, 2011, S.35]. Die kleinste Einheit sind *Objekte*, die vielfältige Informationen über sich und ihr *Verhalten* bereit halten.

Abbildung 2-6 Objekt mit Parameter [Eigene Darstellung]

Die Objekte werden definiert durch *Parameter* und *Attribute*. Die Parameter bestimmen die Geometrie. Über Formeln können Parameter miteinander gekoppelt werden. Die Eigenschaften der Objekte werden durch Attribute festgelegt. [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011, S.32]

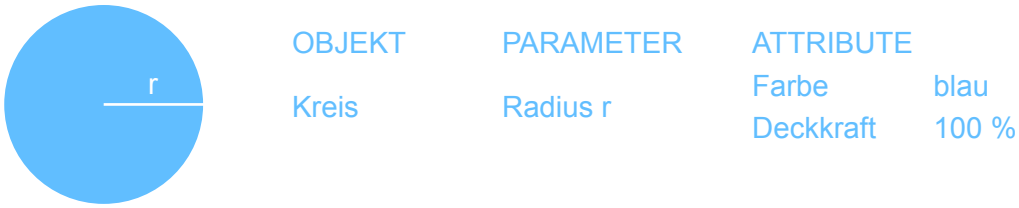
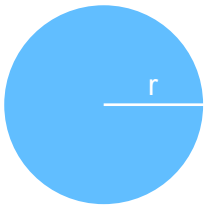


Abbildung 2-7 Objekt mit Parameter und Attributen [Eigene Darstellung]

Objekte mit gleicher Datenstruktur (Attribute) und gleichem Verhalten werden in *Klassen* zusammengefasst (siehe Abbildung 2-8 auf der nächsten Seite). Dabei stimmen die *Attributsnamen* überein, die *Attributswerte* jedoch können variieren.
Als *Verhalten* wird die selbstständige Objektänderung bei Veränderung des Kontexts bezeichnet. Das Verhalten bei Interaktion mit anderen Objekten legt die Klasse fest.
Attributsnamen, Parameter und Verhalten in einer Klasse bleiben auch für hierarchische Unterteilungen in *Subklassen* bestehen. Die Werte von Parametern der einzelnen Objekte werden nicht weiter vererbt.

[Rumbaugh, Blaha, Premerlani et al., 1991, S.1]



OBJEKT	PARAMETER	ATTRIBUTE	
Kreis	Radius r	Farbe	blau
		Deckkraft	100 %

OBJEKT	PARAMETER	ATTRIBUTE	
Kreis	Radius r_1	Farbe	orange
		Deckkraft	95 %

Abbildung 2-8 Objekte einer Klasse [Eigene Darstellung]

2.3.2 DAS BUILDING INFORMATION MODEL

Um die Theorie des objektorientierten, parametrischen Modells auf das Bauwesen zu übertragen wird exemplarisch die Klasse „Fundament“ erläutert. Diese hat Objekte mit den Geometrieparametern *Länge*, *Breite* und *Höhe*. Sowie beispielsweise die Attribute *Betondruckfestigkeitsklasse: C30/37* und *Elastizitätsmodul: 20.000 N/mm²*. Über Attribute wird auch die Weiterverwendung in unterschiedlichen Softwareprodukten, wie beispielsweise zur baustatischen Analyse (Beispiel: Objekt kennt sein Symbol in der statischen Systemskizze) angesteuert.

Folgende Kriterien grenzen das Building Information Model klar gegenüber 3D-Modellen zu reinen Visualisierungszwecken ab:

/ Ein Modell kann in unterschiedlichen Fachdisziplinen verwendet werden.
/ Änderungen sind durch die Parametriesierung nachträglich und ohne erheblichen Aufwand möglich

[Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011]

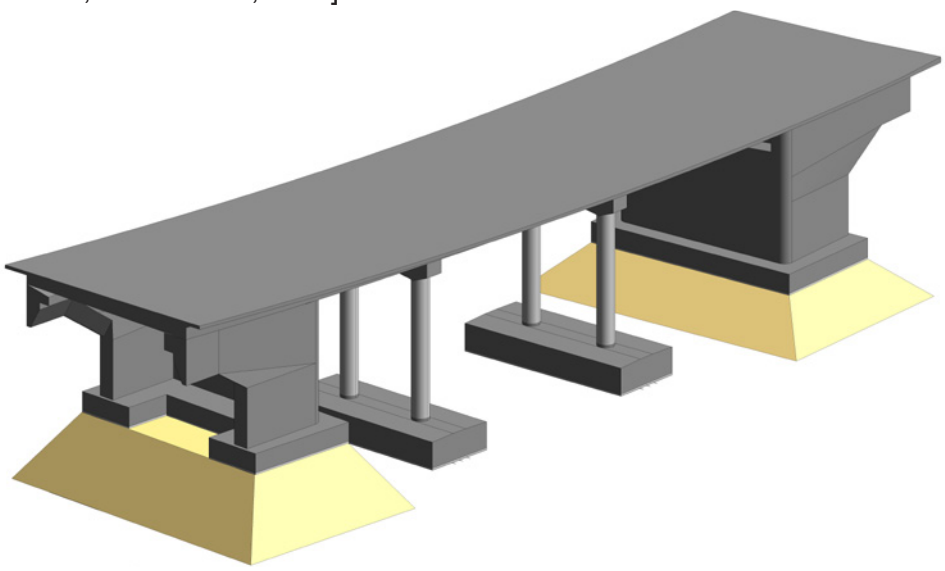


Abbildung 2-9 BIM Modell einer Brücke, modelliert in Autodesk Revit [Eigene Darstellung]

2.3.3 MULTI-MODELL-CONTAINER

Das Ergebnis der Zusammenführung einzelner Teilmodelle für baubetriebliche Zwecke in ein Modell wird als *Multi-Modell-Container* bezeichnet. Definiert wurde der Multi-Modell-Container im Forschungsprojekt „MEFISTO - Management, Information, Simulation in Construction“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Nach dieser Definition besteht der Multi-Modell-Container aus Fachmodellen, die über das Linkmodell verknüpft werden.

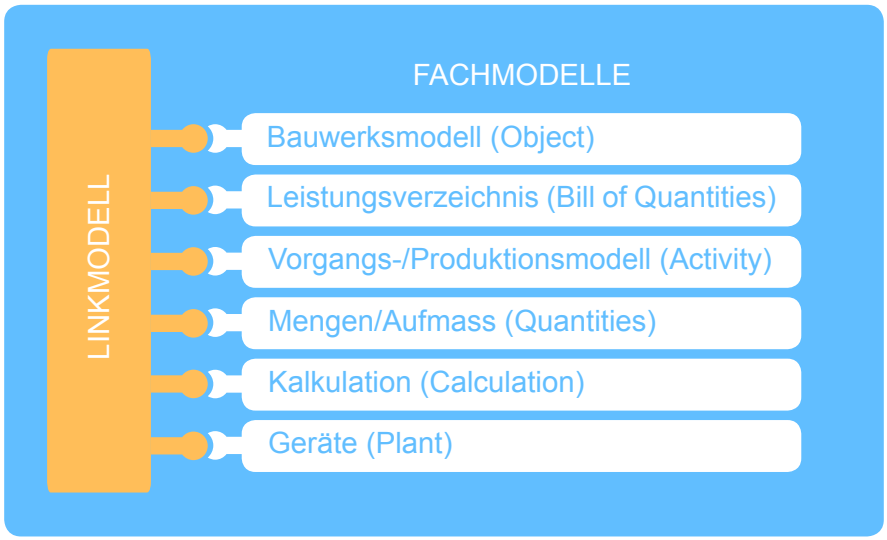


Abbildung 2-10 Multi-Modell-Container [Demharter, 2011]

2.3.4 EXPERTENSYSTEM FÜR DEN BAUBETRIEB - RIB ITWO

Im letzten Abschnitt der allgemeinen Einführung in das Thema modellorientierte Arbeitsweise werden die grundlegenden Funktionen des Baubetrieb-Expertensystems RIB iTWO kurz vorgestellt. Mit dieser Sofware ist es möglich, die in Abbildung 2-10 dargestellten Fachmodelle (abgesehen vom Geräte/Plant Modell) zu erzeugen.

Zunächst werden Leistungsverzechnis (LV) und dreidimensionales Bauwerksmodell in die Software integriert. Das LV wird über ein GAEB Dateiformat und das BIM Modell über eine CPIXML Datei eingelesen. Dieses von RIB entwickelte *Construction Process Integration* Format ist in seiner Funktion dem von buildingSMART entwickelten Modellaustauschstandard IFC gleichzusetzen. Die CPIXML Dateien können mit Hilfe von Plug-Ins direkt in der Modellierungssoftware erzeugt werden.

Anschliessend werden LV und Modell im Dokument *Ausstattung (Assignment)* zusammengeführt. Das heißt, die Positionen des LVs werden mit den zugehörigen Bauteilen verknüpft. Zur Mengenberechnung (*Quantity Take-Off*) werden Berechnungsformeln eingegeben. Die Formeln, die für eine Position zugelassen sind, ergeben sich aus der Objektklasse des Bauteils. Das Ergebnis der Berechnungen sind die (Soll-)Mengen (*Quantities, Mengen-Split*).

Auf Basis der errechneten Mengen kann die Kalkulation erfolgen (*Calculation, Estimate*). Dafür eventuell notwendige Angebote von Nachunternehmern können eingelesen und verwaltet werden. Es ergeben sich Einheitspreise und Angebotssumme.

Zur Veranschaulichung der Ausführungsplanung kann ein Vorgangsmodell (*Activity*) auf Basis eines programmeigenen oder eines importierten Terminplans angelegt werden. Dazu werden die Vorgänge mit den zugehörigen Bauteilen und LV Positionen verknüpft. Der Bauablauf und die Kostenentwicklung können so über die Zeit visualisiert werden.

Während der Ausführung können die Aufmaße protokolliert, Soll- und Ist-Mengen verglichen und der Ressourceneinsatz überwacht werden. Ein Ansatz zur modellorientierten Leistungsmeldung ist bereits integriert, dieser wird in 4.5 vorgestellt.

Nach dieser theoretischen Heranführung an die modellorientierte Arbeitsweise, wird im nächsten Kapitel deren praktische Grundlage, die Modellierung, an einem Beispiel aus dem Ingenieurbau beschrieben.

3 MODELLIERUNG EINES BAUTEILS

Als Datenquelle der Untersuchungen, im Rahmen dieser Diplomarbeit, wurde eine fertiggestellte Brückenbaumaßnahme ausgewählt. Daher wird im Folgenden untersucht, wie Brücken modelliert werden können. Dazu wird der Modellierungsprozess beispielhaft für die beiden Pfeilder der ausgewählten Brücke durchgeführt.

Maßgebend für die Geometrie von Brücken ist die Trasse, an der sich der Überbau orientiert. Die Kombination aus Kreisbogen, Übergangsbogen, Höhenunterschied und Querneigung kann eine in drei Raumrichtungen gekrümmte Geometrie ergeben. Auf zweidimensionalen Plänen ist diese nur mit großer Erfahrung vollständig nachzuvollziehen. Es bietet sich also ein dreidimensionales Modell an. Zur Tragwerksberechnung nach der finiten Element Methode wird beispielsweise auch ein räumliches Modell benötigt, das so nicht extra erstellt werden muss.

Zunächst werden die Pfeiler der Brücke in Autodesk Revit Structure 2012 maßgenau modelliert. Nach der Modellierung wird das Modell über das CPI Protokoll in RIB iTWO importiert.

3.1 VORSTELLUNG DES AUSGEWÄHLTEN BAUVORHABENS

Die für die Diplomarbeit erfoderlichen Daten und Informationen konnten zu der Maßnahme Bauwerk 4 (BW 4) “Neubau Brücke über DB-Strecke” auf der Bundesstraße 38 vom zuständigen Bauleiter der Firma MAX FRÜH GmbH & Co KG bereitgestellt werden.

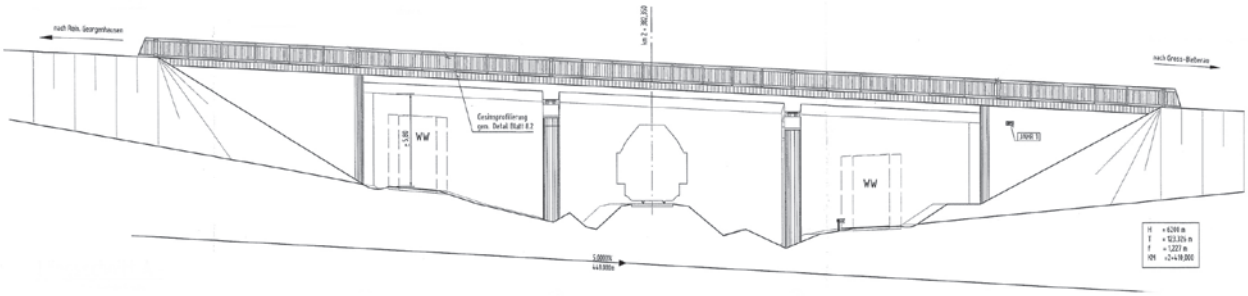


Abbildung 3-1 Reinheim Bauwerk 4 [Konstruktionsgruppe Bauen Konstanz GmbH]

Die flachgegründete Plattenbrücke aus Stahlbeton mit zwei Fahrstreifen führt über eine eingleisige Bahnlinie ohne Oberleitung. Die Brücke wurde im Zuge einer Umgehungsstraße der Ortschaft Reinheim, im südlichen Hessen, geplant und ausgeführt. Der Auftrag wurde vom Amt für Straßen- und Verkehrswesen in Darmstadt ausgeschrieben. Die Bauarbeiten wurden im Juni 2010 begonnen und im Dezember 2011 abgeschlossen. Der Überbau wurde mit Hilfe eines Lehrgerüsts hergestellt. Die Brücke hat drei Felder mit Spannweiten von 12,0 - 15,0 - 12,0 m. Daraus ergibt sich für den Überbau eine Gesamtlänge von 40,30 m. Die Mittelachse verläuft in Form eines Kreisbogens mit einem Radius von 300 m. Der überwindete Höhenunterschied liegt bei 1,38 m. Die konstante Querneigung des Überbaus beträgt 7 %.

3.2 MODELLIERUNGSVERFAHREN

Als Vorbild des angewendeten Modellierungsverfahrens dient das vom Ingenieurbüro Schmidt Stumpf Frühauf, im Rahmen des Forschungsprojekts ForBAU (Abschluss 2011), entwickelte Vorgehen.

Die Modellierung basiert auf drei 3D-Referenzlinien. Diese zeigen den räumlichen Verlauf der Trasse in der Bauwerksmitte, sowie an den beiden Rändern an. Erzeugt werden die Linien aus Vermessungspunkten, die im LandXML Format gespeichert wurden.

Mit Hilfe des Integrators „Integrator2NX“ (speziell für das Forschungsprojekt entwickelt) werden die Trassendaten in 3D-Koordinaten der maschinenbauspezifischen CAD Anwendung Siemens NX umgewandelt. Die verwendete Modellierungssoftware muss vollparametrische Volumen- beziehungsweise Freiformflächenmodelle erstellen können. Die 3D-Koordinaten dienen dann als Stützpunkte für die Modellierung der 3D-Splines[2]. Die mittlere Spline dient als Extrusionspfad des Überbauprofils.

Die „Master Skizze“ entsteht aus diesen Referenzlinien und dem Grundriss der wichtigsten Objekte, wie Widerlager, Pfeiler etc.. Ausgehend von dieser Grundlage werden die Teilmodelle der einzelnen Bauteile mit Referenz zur Master Skizze modelliert. [Obergrießer, Posch, Borrmann et al., 2011, S.69ff]

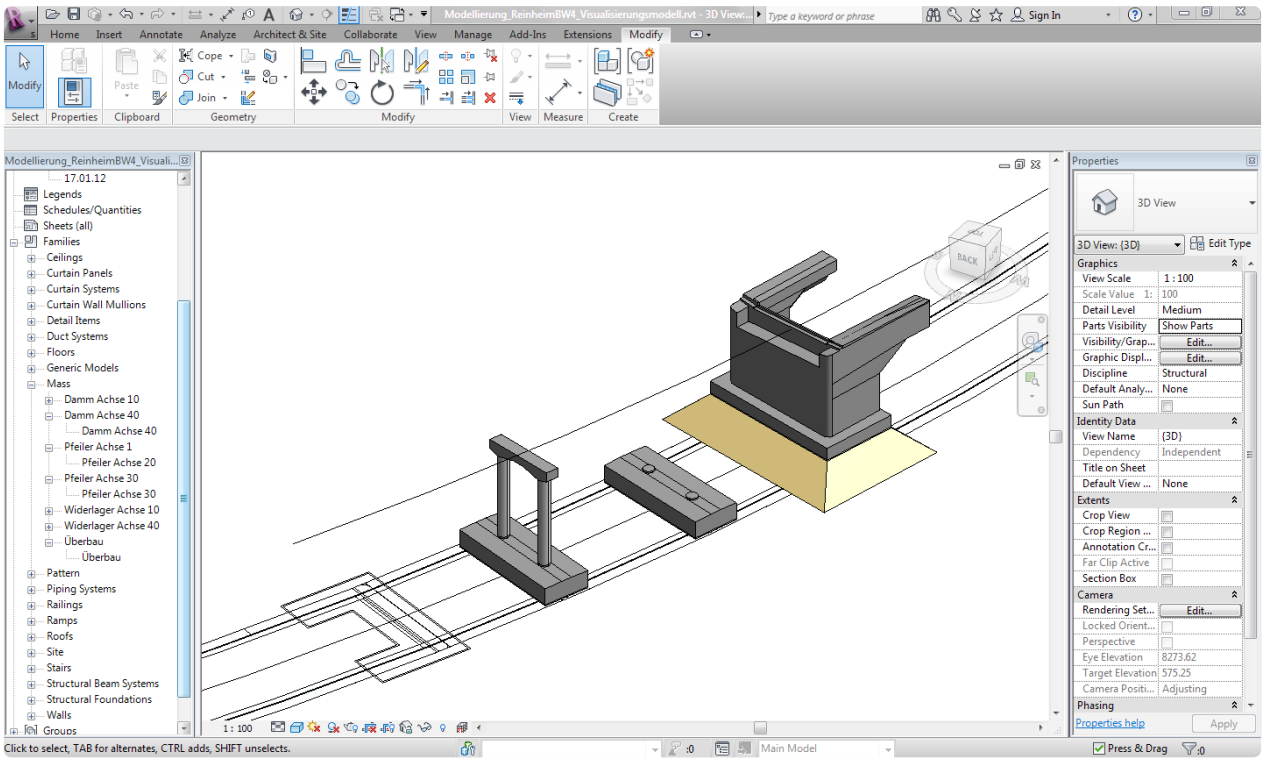


Abbildung 3-2 „Master-Skizze“ nach ForBAU in Autodesk Revit Structure [Eigene Darstellung]

2 Die Spline ist eine zwischen gegeben Stützpunkten ausgleichende Kurve [Obergrießer,Posch,Borrmann et al., 2011, S.30]

Die gängigen Modellierungstechniken sind hierbei:

/ Extrusion einer Fläche entlang eines Pfades
/ Rotation von Flächen um eine Achse
/ Kombination von Voll- und Abzugskörpern auf von einander abhängigen Bezugsebenen
/ Boole‘sche Operationen (Überlappung, Schnittmenge und Abzug)

3.2.1 ÜBERGABE DER TRASSENDATEN IN DIE MODELLIERUNGSSOFTWARE

Im vorliegenden Fall wurden die Trassendaten in der Tief- bzw. Straßenbausoftware RIB Stratis vom Bauleiter verwaltet, um über Querprofile entlang der Trasse prüf- und darstellbare Abrechnungsmengen zu berrechnen (siehe 4.3). Den Kern von Stratis bildet eine CAD Anwendung. Mit dieser wurde bereits eine Punktwolke, bestehend aus *Achskleinpunkten* erzeugt. Diese Punkte haben einen lotrechten Abstand zur Achse und eine Stationsnummer. Erstellt wurde der Grundriss von Widerlagern und Pfeilern mit Höhenreferenz zu Normal Null.

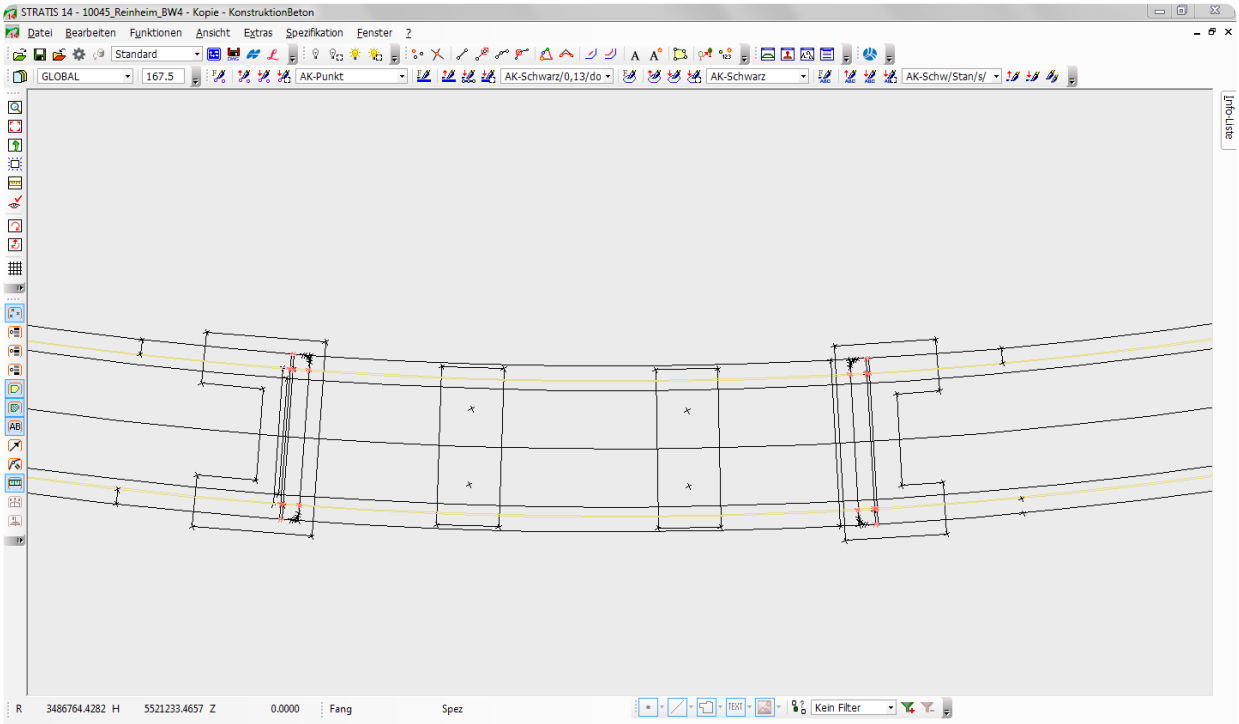


Abbildung 3-3 Punktwolke erzeugt mit RIB Stratis als Modellierungsgrundlage [Eigene Darstellung]

Die Punktwolke wurde im Autodesk AutoCAD Format .dwg exportiert und in Autodesk Revit importiert. Die Höheninformationen der Punkte ging bei der Umwandlung ins programmeigene Format verloren.

3.2.2 MODELLIERUNG VON BRÜCKENPFEILERN IN AUTODESK REVIT

Beide Pfeiler der Brücke sind gleich konstruiert und variieren nur in der Höhe. Die Systematik von Autodesk Revit sieht die Verwendung von Familien (Familie = Klasse, siehe 2.3.1) vor. In einer Projektdatei werden dann Objekte aus Familien zusammengesetzt.

Diese sind entweder vom Software Hersteller erstellte Familien, die Standardbauteile wie beispielsweise Stahlträger enthalten oder vom Anwender erstellte Familien.

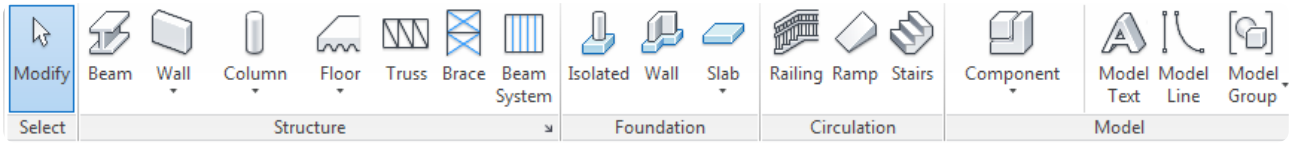


Abbildung 3-4 Vom Hersteller erstellte Familien in Autodesk Revit Structure [Eigene Darstellung]

Die Standardfamilien von Autodesk Revit Structure enthalten bis auf Fundamente keine geeigneten Objekte für die Brückenmodellierung. Daher wurde für einen der Pfeiler eine eigene Pfeilerfamilie im Projekt erstellt. Für den anderen Pfeiler wurden Sauberkeitsschicht und Fundamdent als Standardfamilie angelegt. Stützen und Kopfbalken wurden wiederum als eigene Familie erstellt. Diese Variation in der Modellierung wurde gemacht, um das Resultat beider Varianten in iTWO miteinander zu vergleichen.

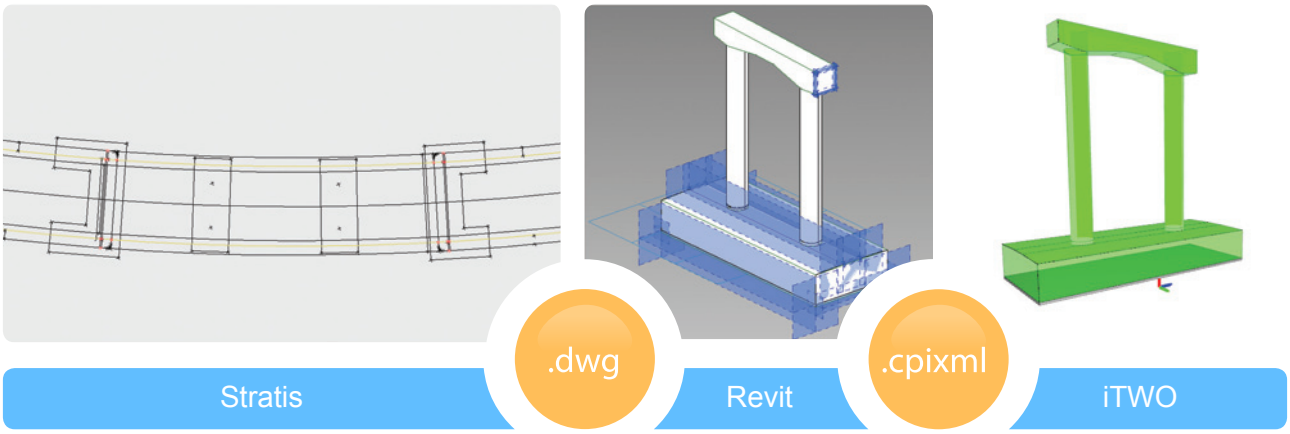


Abbildung 3-5 Modellierungsprozess Stratis - Revit und Modellübergabe an iTWO [Eigene Darstellung]

3.2.3 ÜBERGABE DES MODELLS AN RIB ITWO

Über das CPI Protokoll (.cpixml, Ausgabeprotokoll siehe Anhang 9.1) wurde das Revit Modell in RIB iTWO übergeben. Zunächst wurde das Modell auf Fehlerfreiheit geprüft, dazu wurden Mengenberechnungen durchgeführt, um festzustellen ob alle Volumenkörper von Flächen umschlossen sind.

Die Standardfamilien von Autodesk Revit werden in iTWO erkannt und können direkt verwendet werden (Mengenberechnung, Zuweisung von LV-Positionen, etc.). An selbst erstellte Familien müssen nach dem CPI Import, über die Funktion 3D-Kontrolle, händisch Attribute und ein Bauteiltyp vergeben werden (siehe Abbildung 3-6 auf der nächsten Seite). Der Bauteiltyp bestimmt das Verhalten des Objekts in iTWO. Dazu wird ein Objekt über ein eindeutiges Kriterium (z.B. über die Identifikationsnummer „cpiID“) ausgewählt und einem Bauteiltyp zugeordnet.

Den selbst erstellten Familien wurden via Attribut folgende Bauteiltypen zugewiesen:

/	Sauberkeitsschicht	=	Foundation_Slab
/	Fundament	=	Foundation
/	Stützen	=	Column
/	Kopfbalken	=	Beam

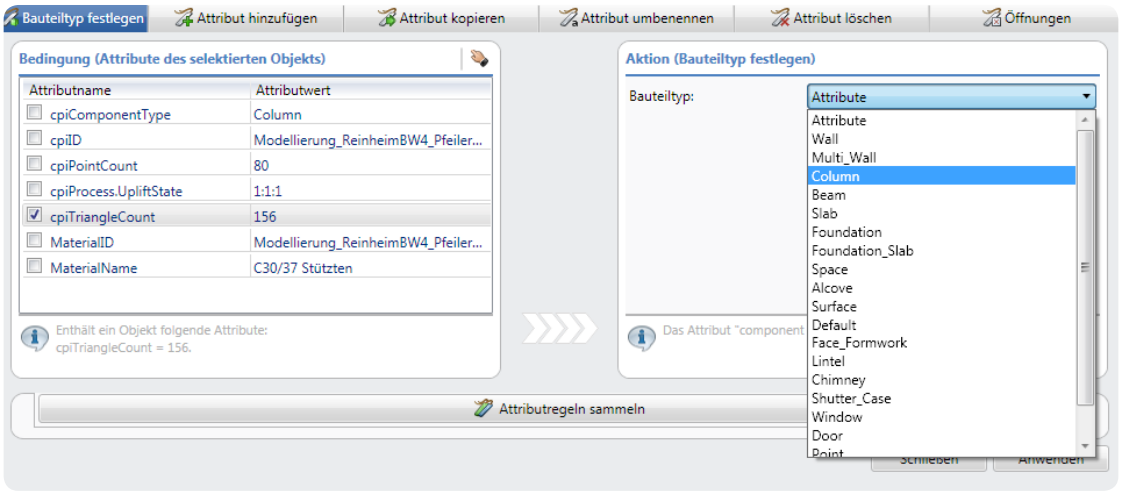


Abbildung 3-6 RIB iTWO 3D-Kontrolle um die CPI Daten zu bearbeiten [Eigene Darstellung]

Der in Abbildung 3-7 gezeigte Ortedialog listet alle Objekte des Modells auf und bietet die Möglichkeit die Objektnamen anzupassen.

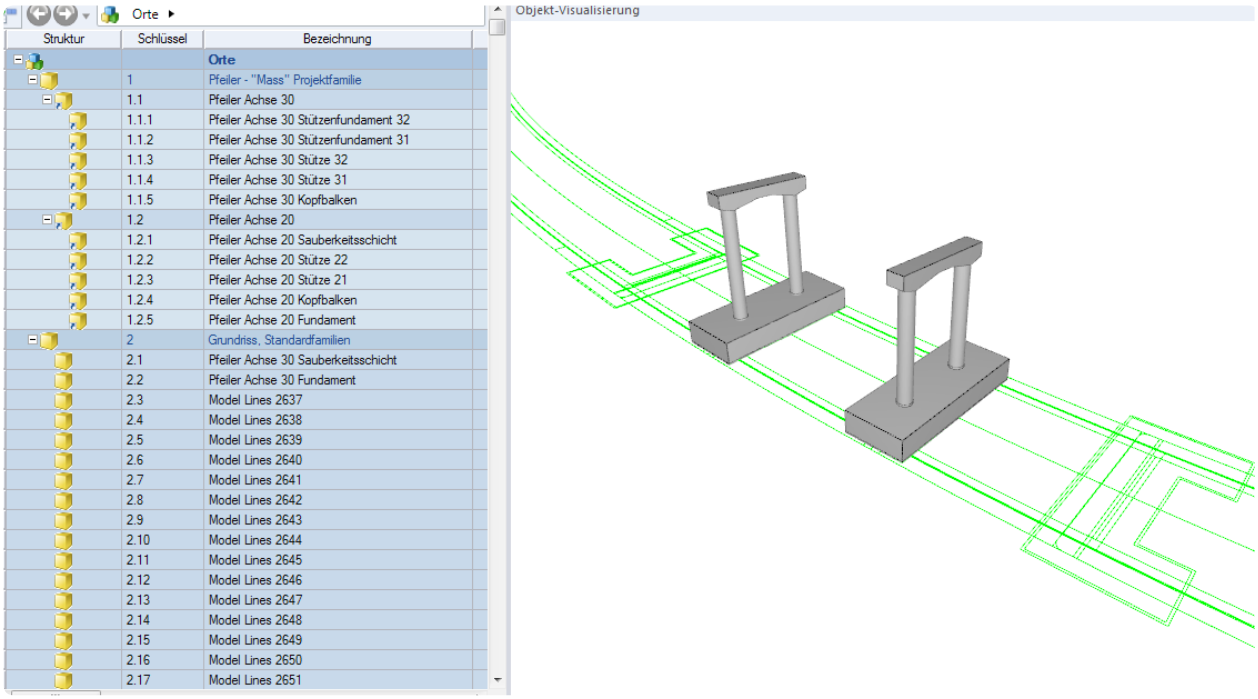


Abbildung 3-7 Ortedialog [Eigene Darstellung]

4 ANALYSE DER FÜR DIE LEISTUNGSMELDUNG IM BAUWESEN RELEVANTEN DATEN

Die Konzeption einer modellbezogenen Datenerfassung zur Leistungsmeldung wird mit der Analyse der dafür notwendigen Daten begonnen. Um eine eindeutige Basis zu schaffen, was in dieser Arbeit unter dem Begriff Leistungsmeldung verstanden wird, werden die theoretischen Grundlagen erläutert. Daraufhin werden die erforderlichen Daten anhand des in Kapitel 3 vorgestellten Musterprojekts bestimmt und ausgewertet.

> *„Leistung ist das in geldwerten Einheiten bewertete (abhnahmefähige) Ergebnis eines betrieblichen Erzeugungsprozesses."* [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S.217]

Um eine Leistung melden zu können muss zunächst ermittelt werden, was geleistet wurde. Also geht der Leistungsmeldung die Leistungsermittlung voraus. Nachdem die Leistungsmeldung erfolgt ist gehen daraus Mengen hervor, die einerseits die Grundlage der Abrechnung mit dem Bauherrn liefern und andererseits die der Betriebskostenermittlung. Die Abrechnung mit dem Bauherrn wird durch diesen kontrolliert (Leistungskontrolle).

4.1 WAS IST LEISTUNGSMELDUNG?

Das Ergebnis der Leistungsmeldung ist eine, auf einen Stichtag bezogene, Auswertung einer Baustelle. Nach der Theorie beträgt der gängige Zeitraum für diese Auswertung einen Monat. Dabei wird zwischen interner und externer Leistungsmeldung unterschieden:

/ Interne Leistungsmeldung: Grundlage aktueller Kennzahlen für die Unternehmensführung
/ Externe Leistungsmeldung: Grundlage der Abrechnung mit dem Bauherrn

Die Art der Abrechnung ist vertragsabhängig. Im Bauwesen gängige Vertragsformen sind:

/ Einheitspreisverträge
/ Einheitspreisverträge mit Gleitklausel
/ Pauschal- oder Festpreisverträge (oft beim schlüsselfertigen Bauen)

Die am häufigsten auftretende Form ist der Einheitspreisvertrag, bei dem über die einzelnen Positionen des Leistungsverzeichnisses und die zugehörigen Einheitspreise abgerechnet wird. Daher wurde diese Vertragsform als Grundlage der in 4.3 beschriebenen Analyse ausgewählt.

Zur Erstellung der Leistungsmeldung (im Einheitspreisvertrag) muss der Bauleiter die erbrachte Leistung zum Stichtag seiner Baustelle ermitteln. Für die, in dem berichteten Zeitraum, bearbeiteten Positionen des Leistungsverzeichnises werden die *Leistungsmengen (LE-Mengen)* erfasst.

Nach Ermittlung der geleisteten Mengen erfolgt die Rechnungsstellung durch Multiplikation der geleisteten Mengen mit den Einheitspreisen.

Dabei wird zwischen *Leistungsmengen* und *Rechnungsmengen (RE-Mengen)* unterschieden, denn es gibt folgende Fälle bei denen sie nicht übereinstimmen:

/ Leistungen werden wegen vertraglicher Bedingungen zurückgestellt. Beispielsweise bei zusätzlichen, bereits erbrachten, Leistungen zu denen noch kein offzieller Auftrag vorliegt.
/ Leistungen werden während der Rechnungsstellung erst erbracht, sind aber bis zur Prüfung der Rechnung beendet.

Zur externen Leistungsmeldung bzw. Abrechnung ergibt die Menge multipliziert mit dem Einheitspreis den Gesamtpreis je Position. Werden alle Positionen summiert erhält man die Gesamtvergütung.

Die interne Leistungsmeldung bzw. Betriebskostenermittlung ist die Grundlage für Übersichten zur Steuerung des Unternehmens. [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S.216ff]

Die wichtigsten Stationen auf dem Weg von der Leistungsbeschreibung bis zur Leistungsmeldung sind in Abbildung 4-1 zusammengefasst:

/ Eine Leistung wird laut Leistungsbeschreibung unter Einsatz von Ressourcen (Personal, Geräte, Material und Zeit) erbracht.
/ Die Leistung wird mit Hilfe einer Mengenermittlung quantifiziert. Die Ermittlung findet entweder auf Basis von Ist- oder von Soll-Daten statt. Der Unterschied wird in 4.2 erklärt
/ Bei den sich ergebenden Mengen wird zwischen Leistungs- und Rechnungsmenge unterschieden.
/ Die Leistungsmengen werden bewertet um daraus Rechnungsmengen zu erzeugen. Diese werden mit dem Bauherrn abgerechnet und von diesem kontrolliert.
/ Zur Ermittlung der Betriebskosten sind die Leistungsmengen relevant. Soll-Ist Vergleiche des Unternehmens basieren auf Kosten, die aus diesen Mengen ermittelt werden.

Abbildung 4-1 Von der Leistungsbeschreibung zur Leistungsmeldung [Eigene Darstellung]

Es wird deutlich, dass die Erstellung der Leistungsmeldung auf den geleisteten und abrechenbaren Mengen basiert. Die Mengenermittlung, auch als Mengen- oder Massenberechnung bezeichnet, kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Das ist abhängig von der Art der Leistung und von den vertraglichen Vereinbarungen zwischen Auftraggeber und -nehmer. [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S. 175]

4.2 MENGENERMITTLUNG UND ABRECHNUNG IM INFRASTRUKTURBAU

Das Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau [HVA-B-StB], herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) enthält Richtlinien zur Abwicklung von Verträgen. Vor der Vergabe eines Bauprojekts wird in der „Vereinbarung zur Bauabrechnung“ (siehe Anhang 9.2) festgelegt, wie abgerechnet wird. In diesen Richtlinien wird zwischen der Abrechnung nach Soll-Daten und Ist-Daten unterschieden.

In Abbildung 4-2 sind die verschiedenen Möglichkeiten der Leistungserfassung zur Mengenermittlung dargestellt. Zur Abrechnung nach der Fertigstellung anhand von Soll-Daten müssen diese von Auftragnehmer und Auftraggeber anerkannt werden. Wenn Ist-Daten die Abrechnungsgrundlage bilden, müssen diese bei einem gemeinsamen Aufmaß festgestellt werden. Das kann auch durch Beauftragung Dritter erfolgen, deren Ergebnisse dann von beiden Parteien unterzeichnet werden müssen.

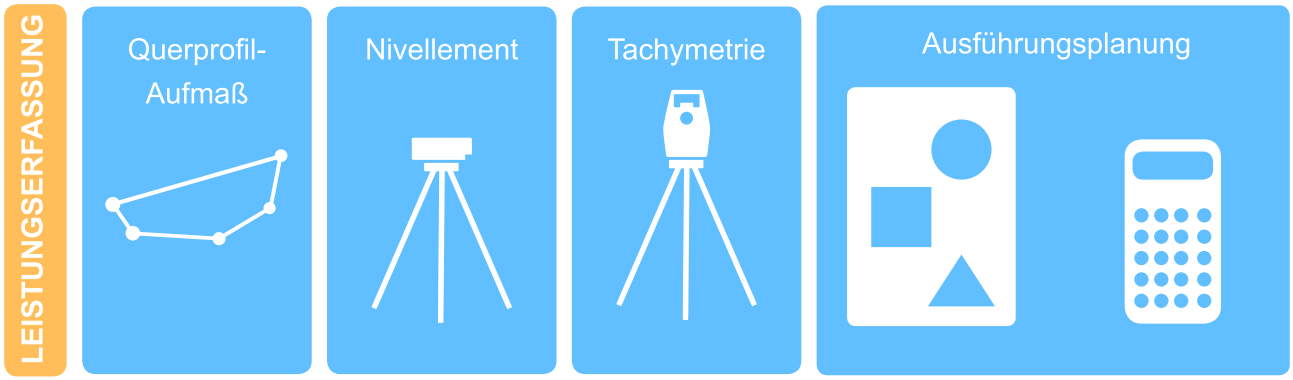


Abbildung 4-2 Möglichkeiten der Leistungserfassung zur Mengenermittlung [Eigene Darstellung]

4.2.1 MENGENERMITTLUNG NACH SOLL-DATEN

Soll-Daten sind vom Bauherr übergebene Pläne oder von ihm anerkannte Pläne. Verfahren zur Mengenermittlung auf Basis dieser Pläne (rechnerisches Aufmaß) werden in den Verfahrensbeschreibungen der Sammlung der Regelungen für die elektronische Bauabrechnung [REB] erläutert. Herausgegeben werden diese vom BMVBS. Auch der Gemeinsame Ausschuss Elektronik im Bauwesen (GAEB) befasst sich mit dieser Thematik und formuliert Verfahrensbeschreibungen zur Mengenberechnung. Die für den Infrastrukturbau relevanten Beschreibungen sind unter Angabe des zugehörigen Titels und der entsprechenden Nummerierung in Tabelle 4-1 aufgelistet.

Universell anwendbare Verfahren zum rechnerischen Aufmaß werden in der Verfahrensbeschreibung REB-VB 23.003 „Allgemeine Mengenberechnung“ erläutert. Die Mengenermittlung für alle Positionen von Baumaßnahmen jeder Art (Hoch-, Tief-, Straßen-, Ingenieur- und Wasserbau) soll damit ermöglicht werden. Zur Berechnung von einfachen geometrischen Figuren sind Formeln hinterlegt. Die Berechnung erfolgt durch Zerlegung der Baukörper in diese Figuren. Alternativ kann der Nutzer auch in üblicher mathematischer Schreibweise mit den Operatoren der vier Grundrechenarten freie Rechenansätze eingeben.

Für umfangreichere Mengenermittlungen an unregelmäßigen Vielecken, Polygonen und Querprofilen sind die spezialisierten Verfahren der REB-VB 21 (veröffentlicht 1979) besser geeignet.

Tabelle 4-1 REB-Verfahrensbeschreibungen [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S. 191]

REB-VB 21	REB-VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN, ABSCHNITT 21 ERDMASSENBERECHNUNGEN AUS QUERPROFILEN
REB 21.003	Massenberechnungen aus Querprofilen
REB 21.013	Massenberechnungen zwischen Begrenzungslinien
GAEB	Mengenberechnungen aus Begrenzungen
REB 21.033	Oberflächenberechnungen aus Querprofilen
REB-VB 22	REB-VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN, ABSCHNITT 22 BESONDERE ERDMASSENBERECHNUNGEN
REB 22.013	Massen und Oberflächen aus Prismen
GAEB	Ermittlung von Rauminhalten und Flächen aus Horizonten
REB-VB 23	REB-VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN, ABSCHNITT 23 ALLGEMEINE BERECHNUNGSVERFAHREN
REB 23.003	Allgemeine Bauabrechnung
GAEB	Allgemeine Mengenberechnungen
REB-VB 25	REB-VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN, ABSCHNITT 25 BESONDERE ABRECHNUNGSVERFAHREN IM INGENIEURBAU
REB 25.003	Gewichtsberechnung von Bewehrungsstahl

Ausgetauscht werden Berechnungen nach den REB-Verfahrensbeschreibungen über Datenarten (DA), die eine der Verfahrensbeschreibung zugeordnete Nummerierung haben. Der in Abbildung 4-3 dargestellte Aufbau sieht pro Zeile 80 Zeichen (untere Zeile in der Abbildung) für Informationen vor. Die Nummerierung der Datenart sagt aus, welche Informationen welcher Stelle (1-80) zu entnehmen sind.

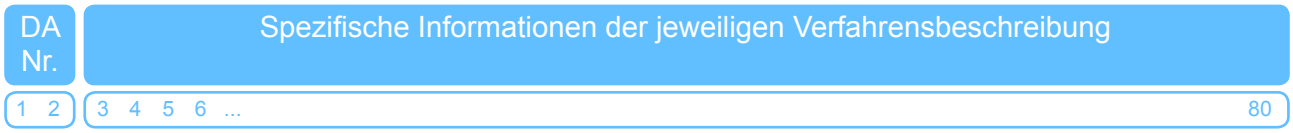


Abbildung 4-3 Genereller Aufbau der REB-VB Datenarten [Eigene Darstellung]

Die in Abbildung 4-3 abstrahiert dargestellten Daten werden in Abbildung 4-4 an einem Beispiel konkretisiert. Dargestellt ist die zur REB-VB 21.003 „Massenberechnung aus Querprofilen (Elling)“ gehörende Datenart 54 „Koordinaten der Profilpunkte“. Durch Einlesen der angegebenen Koordinaten kann der Bauherr die, aus den Querprofilen, berechneten Mengen prüfen.

DA Nr.	Position (LV)		Station xxxxxx,xxx [m]		Zeilen je Profil		Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
							y	z	y	z	y	z
54	000901	I	401765	000	1		-570000	189932	-470000	189555	-462500	189126

Abbildung 4-4 Zeile der Datenart 54 an Station 0 + 401,765 der in 3.1 vorgestellten Brücke [REB-VB 21.003, 1979, S. 4]

Die von RIB Stratis (siehe 3.2.1) erzeugte Abbildung 4-5 zeigt die Koordinaten aller Punkte die das Querprofil an Station 0 + 401,765 definieren. Die Punkte, markiert durch die orangene Umrandung, gehören zu der in Abbildung 4-4 abgebildeten Zeile.

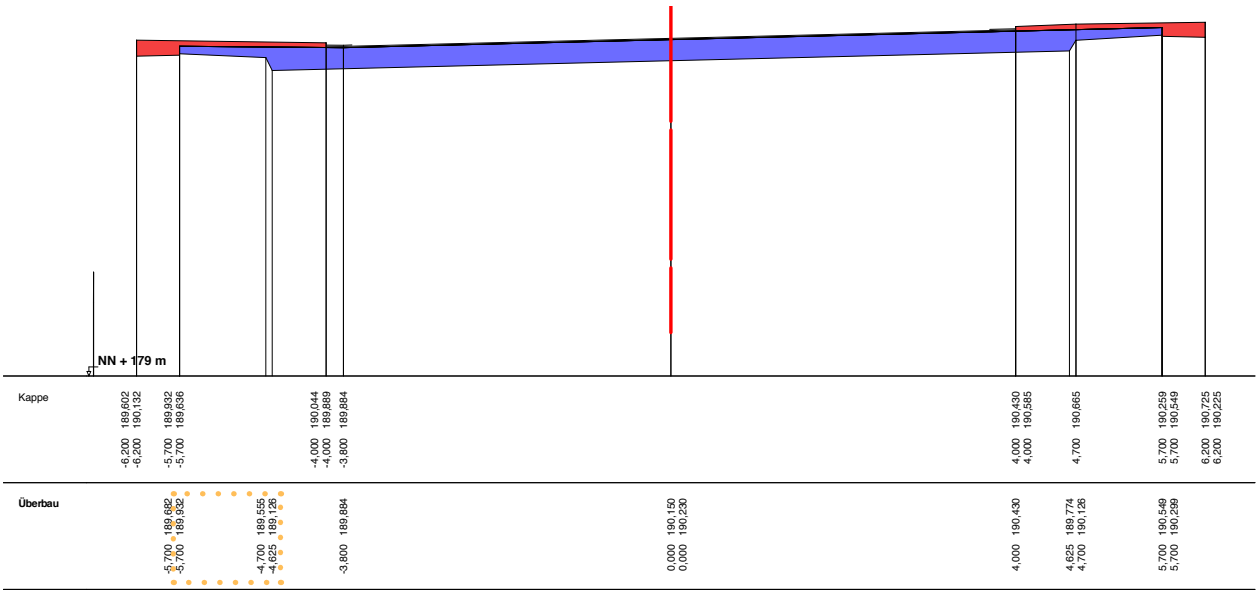


Abbildung 4-5 Querprofil der Kappen (rot) und des Brückenüberbaus an Station 0 + 401,765 [RIB Stratis]

4.2.2 MENGENERMITTLUNG NACH IST-DATEN

Ist-Daten sind die tatsächlich erbrachten Leistungen erfasst in Stundenlohnzetteln, Aufmaßen, Lieferscheinen und Wiegescheinen. Im Bautagebuch werden vom Bauherr und auf Auftragnehmerseite vom Polier Arbeitszeiten, Wetter und Temperatur, Arbeitskräfte, Wasserstände, Lieferungen von Stoffen und Großgeräteeinsätze festgehalten. Es dokumentiert den Fortschritt der Baustelle und ist Grundlage aller Meldungen und Berichte. Richtlinien zum Führen des Bautagebuchs enthält das HVA-B-StB. In Tabelle 4-2 sind die REB-Verfahrensbeschreibungen zur Messwertaufbereitung aufgelistet. Darin wird die Dokumentation und der digitale Austausch der Messwerte für die unterschiedlichen Messverfahren geregelt. [BMVBS, 2011, 3.1 - Seite 13]

Wiege- und Lieferscheine werden vom Polier gesammelt, vom Bauleiter verwaltet und in einer Liste mit Bezug zu den Positionen des LV dokumentiert (siehe 4.3.2). Die geleisteten Arbeitsstunden und die Kolonnenstärke werden monatlich in Sammelstundenlisten vom Polier erfasst.

Für Aufmaße mit selbstregistrierenden Geräten, wie Tachymeter oder GPS (Global Positioning System), gelten nach HVA-B-StB folgende Regelungen [BMVBS, 2011, 3.2 - Seite 1f]:

/ Vorgesehene Gerätetypen zur Datenerfassung, Datenspeicherung und Messung müssen dem Auftraggeber vor Beginn der Messungen mitgeteilt werden.
/ Die vom Auftraggeber geforderten Messtoleranzen müssen eingehalten werden.
/ An jedem Instrumentenstandpunkt müssen vor und nach der Messung bekannte Punkte angemessen werden, um die Messgenauigkeit zu überprüfen.
/ Direkt nach Beendigung der Messtätigkeit muss mindestens einmal täglich ein übersichtlicher Ausdruck der Messdaten als Aufmaßblatt für den Auftraggeber zur Unterschrift erstellt werden.

Tabelle 4-2 REB-Verfahrensbeschreibungen zur Messwertaufbereitung [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S. 191]

REB-VB 20	REB-VERFAHRENSBESCHREIBUNGEN, ABSCHNITT 20 MESSWERTAUFBEREITUNG
REB 20.003	Querprofilbestimmungen durch Interpolation
REB 20.073	Bestimmung von Begrenzungslinien in Querprofilen
REB 20.103	Auswertung von Nivellements
REB 20.203	Auswertung von Tachymeteraufnahmen
REB 20.214	Auswertung elektrooptischer Tachymeteraufnahmen
REB 20.303	Terestrische Querprofilaufnahme
REB 20.314	Auswertung elektrooptischer Querprofilaufnahmen
GAEB	Automatische Dreiecksvermaschung

4.3 DATENANALYSE AUF BASIS DES VORGESTELLTEN BRÜCKENBAUWERKS

Im Hinblick auf eine mobile Lösung, die den 5D Prozess um den Baustelleneinsatz erweitert und dabei insbesondere die Erfassung von Leistungsdaten erleichtern soll, ist es notwendig, die für den Bauleiter relevanten Daten zu ermitteln. Daraus soll hervorgehen welche Funktionen für ein mobiles System erforderlich sind und für welche Aufgaben sich ein angebundenes Aufmaßsystem eignet.

Dazu wurde der Bauleiter, der in 3.1 vorgestellten Maßnahme befragt (beantworteter Fragebogen befindet sich im Anhang 6.2). Bei der Befragung wurden die Themen Aufmaß und Mengen, Datenerfassung, Leistungsmeldung und das Konzept „modellorientierte Leistungsmeldung“ diskutiert.

Die Ergebnisse sind nachstehend dargestellt. Am Ende von jedem Thema werden Vor- und Nachteile des jeweiligen Vorgehens einander gegenüber gestellt.

4.3.1 AUFMASS UND MENGEN

4.3.1.1 Betonbau

Die Berechnung der Betonbauvolumina für Überbau, Kappen und Widerlager wurde, wie im Ingenieurbau üblich, auf Grundlage der Soll-Daten durchgeführt.

Die genaueste Mengenermittlung war über Querprofile nach REB-Verfahrensbeschreibung 21.003 „Massenberechnung aus Querprofilen (Elling)“ möglich. Als Eingangsdaten für die Berechnung werden die Koordinaten der Profilpunkte und die Werte des Kurvenbandes bei gekrümmter Achse benötigt. Die Koordinaten der Profilpunkte können entweder (wie in diesem Fall) direkt den Ausführungsdaten entnommen (Soll-Daten), oder durch Aufmaß (vgl. REB-VB 20) bestimmt werden (Ist-Daten). [REB-VB 21.003, 1979, S.3ff]

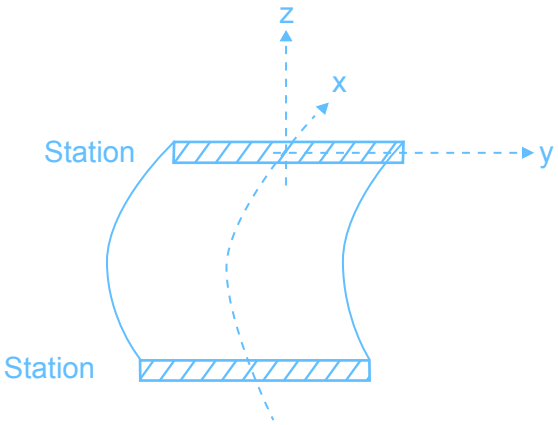


Abbildung 4-6 Massenberechnung aus Querprofilen [REB-VB 21.003, 1979, S. 3]

Zur Mengenermittlung wurde zunächst eine Achsdatenbank in RIB Stratis erstellt. Die Daten dazu wurden dem Absteckplan (Teil der Vertragsunterlagen) entnommen. In dieser Achsdatenbank sind Anfangs- und Endstation, Radius des Kreisbogens, Gradiente, sowie die Querneigung des Bauwerks abgelegt.

Entlang der Achse wurden die benötigten Achskleinpunkte (siehe 3.2.1) in einer Punktdatenbank gespeichert. Aus dem daraus entstandenen Grundriss (dargestellt in Abbildung 3-3) ergab sich die Einteilung der Querprofile, an Stellen, an denen sich die Bauteile über die Länge ändern. In Abbildung 4-5 ist eine mögliche Einteilung der Querprofile beispielhaft für ein Widerlager dargestellt.

Die Stationsnummern, die sich aus der Einteilung ergaben, wurden händisch in einen Plan vermerkt auf dem das ganze Bauwerk von der Seite zu sehen ist. Von der Leistungsbeschreibung abweichende, sowie Leistungen wurden ebenfalls in diesen Plan eingezeichnet (z.B. geänderte Regenwasserleitungen). Mit Hilfe von diesem Abrechnungsplan und der Querprofilkoordinaten kann die Berechnung der Volumina des Betonbaus über Querprofile nach REB 21.003 durchgeführt und nachvollzogen werden.

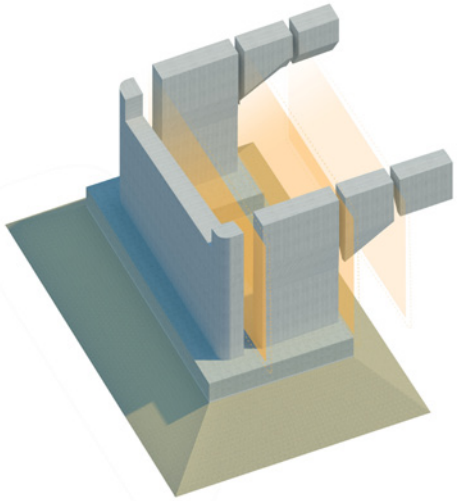


Abbildung 4-7 Beispielhafte Einteilung von Querprofilen entlang der Bauwerksachse an einem Brückenwiderlager [Eigene Darstellung]

Das Betonvolumen der Brückenpfeiler wurde nach der universell einsetzbaren Verfahrensbeschreibung REB-VB 23.003 „Allgemeine Bauabrechnung“ berechnet.

Der Bauherr konnte durch einlesen der Datenarten nach REB-Verfahrensbeschreibung 23.003 und 21.003 die Mengen mit seinem Prüfprogramm nachrechnen und so das, vom Auftragnehmer berechnete, Ergebnis verifizieren.

4.3.1.2 Erdbau

Vor Baubeginn wurde ein digitales Geländemodell (DGM) vom Urgelände erstellt. Eine Möglichkeit dafür ist das *terestrische Laserscanning*. Dabei werden Oberflächen und Körper anhand eines Rasters mit einem Laserstrahl überstrichen. Der Strahl richtet sich über einen rotierenden Spiegel aus. Durch schnelle Positionierung und hohe Messrate ist die Aufnahme von großen Flächen mit vertretbarem zeitlichen Aufwand möglich.

Die sich ergebende 3D-Punktwolke muss nach der Aufnahme ausgedünnt (Faktor 1.000 - 10.000) und vermascht werden. Vermascht werden die Punkte zu Dreiecken nach der Delaunay-Triangulation, benannt nach dem dem russischen Mathematiker Boris Nikolajewitsch Delone (1890 - 1980). Dabei werden Punkte so zu einem Dreieck vernetzt, dass sich innerhalb des Kreises auf dem sie liegen, keine weiteren Punkte befinden (Umkreisbedingung). [Delauny, 1934, S. 793ff]

Das Zeitverhältnis von Aufnahme zu Ausdünnen und Vermaschen der Punktwolke kann bis zu 1:10 betragen. Ausgetauscht werden die Daten in Textform (Dateigrößen von 40-50 Gigabyte) über das ASCII[3] Format. Das triangulierte Geländemodell kann über CAD Formate wie DWG und DXF (Dateigröße des abgebildeten DGM: 420 kB), oder durch das LANDXML Format (Dateigröße des abgebildeten DGM: 42 kB) ausgetauscht werden. [Plank, Stockbauer, Hirzinger, et al., 2011, S.25ff]

3 American Standard Code for Information Interchange

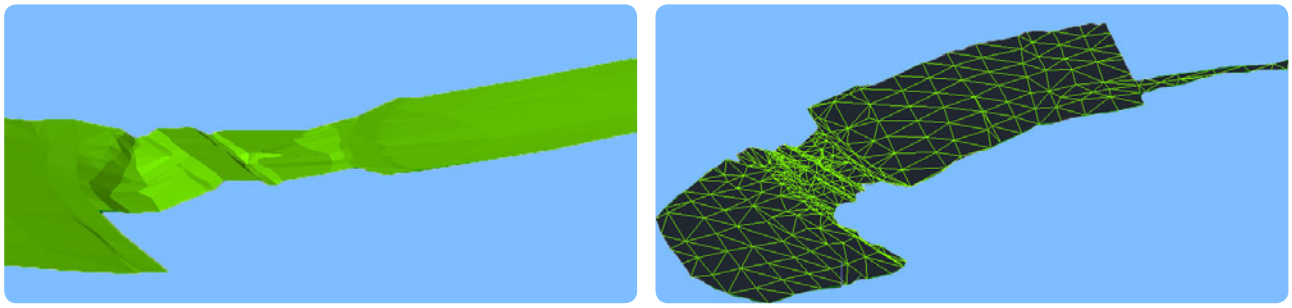


Abbildung 4-8 Digitales Geländemodell in Autodesk AutoCAD Civil 3D, links mit eingezeichneten Flächen, rechts das Dreiecksnetz [Eigene Darstellung]

Nach Abschluss der Bauarbeiten wurde erneut ein DGM erstellt, um durch Überlagern beider Modelle die verbauten Erdmassen zu berechnen.

/ Sehr genaue und nachvollziehbare Mengenermittlung nach REB-VB 21.003 möglich. / Veränderung der Erdmassen durch DGM gut nachvollziehbar.	/ Hoher Zeitaufwand von fünf Arbeitstagen für die Aufbereitung der Daten zur Mengenermittlung. / Erstellung des DGM meist nur durch Nachunternehmer möglich.

4.3.2 DATENERFASSUNG

Die geleisteten Stunden des Baustellenpersonals und die Kolonnenstärke wurden in einer Sammelstundenliste vermerkt, die monatlich im Unternehmen zur Nachkalkulation und zum Controlling ausgewertet wird. Die Besetzung wird wöchentlich geprüft und bei Bedarf geändert.

Die Leistungsdaten zur Baustelle wurden mit Bezug zu den einzelnen Position des Leistungsverzeichnis in einer Microsoft Excel Tabelle mit folgenden Spalten erfasst:

/ LV Position oder Gruppenstufe
/ Menge und Einheit
/ kalkulierte Stunden
/ Rechnungsmenge / Einheitspreis / Summe
/ Leistungsmenge, sowie die Differenz von LE-Menge und RE-Menge mit Pfeilsymbolen zur Veranschaulichung der Ergebnisse LE > RE, LE < RE und LE = RE
/ Nachunternehmer
/ Einheitspreis Nachunternehmer

Für Materialien wurden (positionsbezogen) Bestell-, Soll- und Ist-Menge erfasst und die Zustände „bestellt“, „geliefert“ und „bezahlt“ in unterschiedlichen Farben markiert.

- Farbige Markierung für „Materialzustände“ ermöglicht schnelle Übersicht.
- Pfeilsymbolik verhilft zu einem schnellen Überblick beim Vergleich von Mengen.

- Stundenerfassung mit Bezug zu den Gruppenstufen des LV, oder zu Bauteilen wäre sinnvoller. Die Auswertung der benötigten Arbeitsstunden für ein Bauteil ist schneller möglich, wie für einzelne Positionen. Eine bauteilbezogene Erfassung von Leistungswerten bietet eine bessere Planungsgrundlage für die Personalplanung, die Kalkulation und die Arbeitsvorbereitung.

4.3.3 LEISTUNGSMELDUNG

Die für die Leistungsmeldung relevanten Daten sind:

- Soll- und Ist-Mengen
- Arbeitszeiten Personal und Geräte
- Restmengen („Welche Leistungen sind noch zu erbringen?“)
- Rückstellungen
- Mehr- und Mindermengen

Der übliche Zeitraum, der einer Leistungsmeldung voraus geht ist ein Monat (siehe 4.1). Für die Betriebsrechnung wird das als ausreichend angesehen. Für die Abrechnung mit dem Bauherrn wäre hingegen eine möglichst kurze Zeitspanne hilfreich um Differenzen zwischen Leistungs- und Rechnungsmenge zu vermeiden. Außerdem wäre ein kürzerer Erfassungshorizont für ein gezieltes Controlling sinnvoll.

Die Meldung der erbrachten Leistung erfolgte im Beispielprojekt monatlich auf Basis der in 4.3.2 erläuterten Tabelle. In einem Formular wurden Leistungs- und Rechnungsmengen mit zugehörigen Kosten (durch Multiplikation mit den Einheitspreisen) aufgeführt. Es stellt eine Übersicht der internen und externen Leistungsmeldung einer Baumaßnahme dar. Die Bestandteile dieser Übersicht werden auf der folgenden Seite aufgelistet. In dem Formular wird nach Behinderungen gefragt. Für die Leistungsmeldung als isoliert betrachteten Vorgang, sind Behinderungen im Bauablauf irrelevant. In der Realität ist es für die Führung eines Unternehmens essentiell über Behinderungen informiert zu sein, um bei deren Auftreten entsprechende Anpassungen hinsichtlich Budget-, Personal- und Geräteeinsatzplanung vornehmen zu können.

LEISTUNGEN

/ Schlussrechnungen
/ Abschlagsrechnungen mit Vermerk von noch nicht in Rechnung gestellten
  // Vertragsarbeiten
  // Stundenlohnarbeiten
  // Vorbereitete Arbeiten
  // Nachträge

KOSTENBERICHTIGUNG

/ Lieferung von Stoffen, die noch nicht in Rechnung gestellt wurden
/ Nachunternehmerleistungen, die noch nicht in Rechnung gestellt wurden
/ Bestände an Stoffen, die nicht in Leistungen enthalten sind

LEISTUNGSBERICHTIGUNGEN

(Erfasste, aber noch nicht geleistete Arbeiten)
/ Vorgriff
/ Restarbeiten
/ Räumung und Abtransport
/ evtl. erwartete Rechnungsabstriche
/ Rückstellungen
/ Nachträge
/ Bereits ausgeführte, aber noch nicht abgerechnete Arbeiten

AUFTRAGSBESTAND

Voraussichtliche Endsumme der
/ Vertragsarbeiten
/ Nachtragsarbeiten
/ Stundenlohnarbeiten

FRAGEN

/ Gleitklausel (Vertragsform)?
/ Behinderung?
/ Bauzeitüberschreitung?
/ Massenänderung?

ERWARTETE ENDSUMME

SUMME RESTAUFTRAGSBESTAND

Die Vor- und Nachteile der bisherigen Leistungsmeldung der Max Früh GmbH & Co. KG sind in den folgenden Punkten zusammengestellt.

✓

/ Durch eine strukurierte Aufbereitung der Daten ist sowohl für den Bauleiter eine übersichtliche Darstellung seiner Maßnahme in Zahlen, als auch für Buchhaltung und Geschäftsleitung möglich.

?

/ Für die Leistungsmeldung steht dem Bauleiter wenig Zeit zur Verfügung, sie muss also neben dem Tagesgeschäft erledigt werden.
/ Die Aktualität der erfassten Daten leidet unter diesem Zeitproblem.
/ Erschwerte Koordination für die Arbeitsvorbereitung wegen nicht aktueller Zahlen.
/ Eine intelligente Verknüpfung von Zeitplanung und Leistungsmeldung würde den Überblick über den weiteren Bauablauf und Zahlungsfluss verbessern.

4.3.4 KONZEPT „MODELLORIENTIERTE LEISTUNGSMELDUNG“

Als grundlegend wichtige Funktionen für eine Baustellenlösung zur Leistungsmeldung haben sich im Dialog ergeben:

/ Das Bauwerksmodell, das Informationen über das Bauvorhaben in verschiedenen Detailgraden wiedergeben kann, je nach aktuellem Bedarf.
/ Aktueller Rechnungsstand - „Was wurde abgerechnet?“
/ Aktueller Leistungsstand - „Was wurde gebaut - was muss noch gebaut werden?“
/ Visualisierung des Fertigstellungsgrads
/ Darstellung des Rechnungsstands
/ Vorgangsmodell (siehe 2.3.4) bzw. Terminplan
/ Bestandsaufnahme durch Aufmaß, Notizen und Fotografien

Die Datenerfassung sollte bauteilorientiert sein, um die Auswertung der Kalkulationsansätze zu erleichtern und um die Zuordnung von Ressourcen zu Bauteilen zu erleichtern. Die Informationen, die ein Bauteil (=Gruppenstufe des LV) bereit halten muss sind:

/ Bauzustände: z.B. geschalt, bewehrt, betoniert, ausgeschalt, nachbehandelt und Mängel beseitigt
/ Ressourcenbedarf zur Herstellung: Personal, Zeit, Material und Geräte

4.4 ANFORDERUNGEN AN DIE MODELLORIENTIERTE LEISTUNGSMELDUNG

Aus der Diskussion der vorangegangenen Themen können folgende Ergebnisse für die Konzeption einer modellorientierten Leistungsmeldung festgehalten werden.

Ein Bauvorhaben ist durch einen terminlichen Rahmen, vorgegeben vom Bauherrn, begrenzt. Neben dem Tagesgeschäft einer Baumaßnahme, das vom Bauleiter koordiniert wird, bleibt nur ein geringer Teil seiner Arbeitszeit für die Erfassung und Auswertung von Leistungsdaten übrig. Die Leistungsmeldung ist jedoch für die laufende Baustelle und für die Unternehmensführung äußerst wichtig. Daher muss das Konzept einer modellorientierten Leistungsmeldung ein äußerst *zeitsparendes und effizientes Vorgehen* ermöglichen.

Die Datenerfassung mit Bezug auf einzelne Positionen im Leistungsverzeichnis ist nicht immer sinnvoll. Eine detailliertere Zuordnung verbrauchter Ressourcen (Zeit, Personal, Material, Geräte und dadurch entstandene Kosten) zum *ganzen Bauteil* wäre übersichtlicher, auch im Hinblick auf zukünftige Bauvorhaben. So können beispielsweise Kalkulationsansätze auf den Kubikmeter Fundament- oder Stützenbeton zurückgerechnet werden.

Um Abrechnungen gut nachvollziehbar und übersichtlich zu halten wären *wöchentliche Abrechnungszeiträume* erforderlich. Das bedeutet wiederrum, dass die Erfassung von Lieferscheinen, Personalzeiten und Geräteeinsätzen in einem kürzeren Turnus als üblich durchgeführt werden müssen. Für das ausführende Unternehmen entsteht ein deutlicher Mehrwert durch Reduzierung der finanziellen Vorgriffe.

Die zeitlichen Auswirkungen von Änderungen im laufenden Bauprozess müssen in der *Zeitplanung* der Baustelle berücksichtigt und festgehalten werden. Auch an dieser Stelle ist ein Bezug zur einzelnen LV-Position meist wenig zielführend und eine Orientierung am ganzen Bauteil deutlich aussagekräftiger.

Es stellt sich also das Bauteil als Bezugsgröße heraus. Dem Bauteil als Objekt im objektorientierten parametrischen Bauwerksmodell können in Form von Attributen (siehe 2.3.1) Leistungsdaten zugeordnet werden.

Mit einem Tablet-Computer kann somit auf der Baustelle ein Bauteil ausgewählt werden, dem Leistungsdaten zugeordnet werden sollen. Nach der Auswahl der Kategorie der Leistungsdaten (PERSONAL, MATERIAL, GERÄTE, BAUZUSTAND und SCAN) wird das Attribut der zu erfassenden Daten ausgewählt und mit einem Wert hinterlegt. Die Attribute sollten logisch mit dem Vorgangs- und dem Kalkulationsmodell verbunden sein, um automatisierte Schlussfolgerungen (z.B. für den Terminplan) aus den eingetragenen Werten zu ermöglichen.

In der Kategorie BAUZUSTAND werden abgesehen von den allgemeingültigen Attributen beispielhaft zwei Teilbereiche des Bauens aufgeführt: Betonbau und Tiefbau.

Die Aufstellung ist unvollständig und bedarf einer Anpassung auf die Tätigkeitsbereiche des jeweiligen Unternehmen.

PERSONAL

/ Anzahl Poliere
/ Anzahl Vorarbeiter
/ Anzahl Facharbeiter
/ Anzahl Aushilfen
/ voraussichtlich benötigte Arbeitszeit
/ benötigte Arbeitszeit

GERÄTE

/ Gerätetyp
/ Anzahl
/ Mietgerät
/ geplante Einsatzdauer
/ geleistete Einsatzdauer
/ Vorhaltezeit

SCAN

/ Achse
/ Punkt
/ Himmelsrichtung der Blickrichtung im Ausgangspunkt
/ Datum und Uhrzeit
/ Dateipfad

MATERIAL

/ Lieferscheine
  // bestellt?
  // geliefert?
  // bezahlt?
/ Lieferdatum
/ Standort
/ Zustand

BAUZUSTAND

/ Allgemein
  // fertiggestellt
  // Nacharbeiten nötig
  // für Restarbeiten benötigte Arbeitszeit
/ z.B. Betonbau
  // vorbereitet
  // geschalt
  // bewehrt
  // betoniert
  // nachbehandelt
  // Mängel beseitigt
/ z.B. Tiefbau
  // Verbau hergestellt
  // Gurtung eingebaut
  // Anker gesetzt
  // Wasserhaltung installiert
  // Baugrube ausgehoben
  // Baugrubensohle hergestellt

Diese Aufstellung wurde in Kapitel 7 überarbeitet und ergänzt. Die vollständige Liste ist auf Seite 61 abgebildet.

4.5 AKTUELLE UMSETZUNG DER MODELLORIENTIERTEN LEISTUNGSMELDUNG IN ITWO

In Version 3.0 der Software RIB iTWO ist die modellorientierte Leistungsmeldung bereits möglich. Voraussetzungen zur Anwendung dafür sind:

/ Verknüpfung von Bauteilen (Objekten) mit LV-Positionen
/ Festlegen der zur LV-Position gehörenden Mengenberechnungsformel (*Mengensplitt*), wie beispielsweise Volumen- oder Oberflächenberechnung. Daraufhin wird die Geometrie des Bauteils abgefragt und die gewünschte Menge berechnet.

/ Verknüpfung eines Vorgangs des Vorgangsmodells mit dem Mengensplitt
/ Auswahl eines Berichtszeitraums

Nach Erfüllung aller genannten Kriterien können Leistungsmengen erzeugt werden. Dazu wird das betreffende Objekt (somit auch die betreffenden LV-Positionen) des Bauwerkmodells selektiert. Daraufhin kann der Fertigstellungsgrad des Bauteils angegeben und die entsprechende Leistungsmenge berechnet werden. Die Berechnung erfolgt anhand der Berechnungsformel (*Quantity Take Off, QTO*), die im Ausstattungsdokument hinterlegt wurde. Rechenwege und Ergebnisse der Mengenberechnung können in tabellarischer Form dargestellt werden.

Im ausgewählten Berichtszeitraum kann der Leistungsstand einer Baustelle am Modell visualisiert werden:

IM AKTUELLEN BERICHTSZEITRAUM GEBAUT

Bereits fertiggestellte Bauteile im ausgewählten Berichtszeitraum.

BEREITS IM VORMONAT VOLLSTÄNDIG GEBAUT

Der im Moment unterstützte Berichtszeitraum beträgt ein Monat. Die Objekte, die bereits vor dem ausgewählten Berichtszeitraum fertiggestellt waren.

SOLL-ZUSTAND IM AKTUELLEN BERICHTSZEITRAUM

Alle Objekte, die im ausgewählten Berichtszeitraum (noch) zu bauen sind.

SOLL-ZUSTAND FÜR DEN NÄCHSTEN BERICHTSZEITRAUM

Alle Objekte, die im nächsten Berichtszeitraum zu bauen sind.

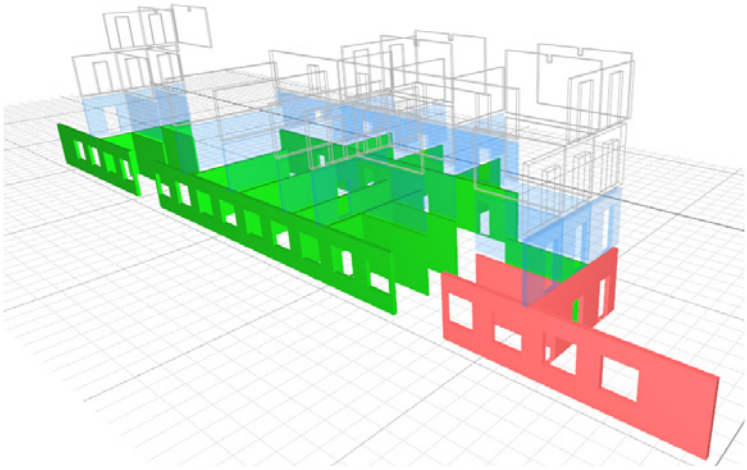


Abbildung 4-9 Visualisierung der modellorientierten Leistungsmeldung in RIB iTWO 3.0 [RIB Software AG]

5 ANFORDERUNGEN AN EINE DIGITALE ERFASSUNG DER LEISTUNGSDATEN

Als zentrale Problematik auf dem Weg zur Leistungsmeldung stellt sich die mangelnde Zeit zu Erfassung und logischer Verknüpfung der Fülle an Daten heraus. Es müssen Bauzustände dokumentiert werden, Lieferscheine erfasst und ausgewertet werden, Geräteeinsätze müssen geplant werden etc.. Händisch werden alle Informationen zusammengetragen und ausgewertet. Es muss also Ziel der modellorientierten Leistungsmeldung sein, einen Prozess zu schaffen, der auf einfache Weise die Parameter Personal, Material, Geräte und Bauzustand erfassen kann und der (automatisierte) Schlüsse für die Zeit- und Kostenentwicklung der Baustelle zulässt.

Zur Erfassung von 3D-Geometriedaten des Bauzustandes werden im Rahmen dieser Arbeit 3D-Geometrien untersucht, die von der kostengünstigen Sensoreinheit Microsoft Kinect erzeugt werden können. Dazu wird ein Modell der Baugrube mit Spundwandverbau zur Herstellung eines Fundaments der modellierten Brückenpfeiler (siehe 3.2) im Maßstab M 1:10 angefertigt. Von drei Bauzuständen der Modellbaugrube werden mit Hilfe der Microsoft Kinect vermaschte 3D-Punktwolken erzeugt. Die erhaltenen 3D-Daten werden auf Genauigkeit und Verwendbarkeit untersucht.

Hochwertige Laserscans, wie das in 4.3.1.2 erläuterte terestrische Laserscanning sind zur Bestandsaufnahme und für einfache Aufmaßarbeiten zu aufwändig und zu teuer. Die rein fotographische Dokumentation des Bauprozesses und der Bauzustände hingegen lässt, wenn überhaupt, nur sehr einfache Mengenermittlungen zu (beispielsweise Stückzahlbestimmung). Das Potential der modellorientierten Arbeitsweise lebt von der kompromisslosen Aktualität des virtuellen Abbilds der Maßnahme. Daher wird eine Lösung gesucht, wie sich objektbezogene Leistungsdaten auf direktem Wege dem Bauwerksmodell anheften lassen.

5.1 MODELLVERSUCHE ZUR DATENERFASSUNG MIT MICROSOFT KINECT

Eine simple Möglichkeit 3D-Daten des Ist-Zustandes zu generieren eröffnet das, für die Unterhaltungsbranche entwickelte, Gerät Micorosoft Kinect. Die Gewinnung von Tiefendaten wurde in Verbindung mit den kostenfreien Programmen skanect (http://manctl.com/), sowie ReconstructMe (http://reconstructme.net) untersucht. Die erzeugten (vermaschten) Punktwolken können über die Dateiarten Polygon File Format (PLY) und Surface Tesselation Language (STL) an das Open Source Programm MeshLab (http://meshlab.sourceforge.net/) weitergegeben werden. Dort können die Punktwolken editiert, vermessen und konvertiert werden (z.B. in das CAD Dateiformat DXF).

In 4.3.1 wurde deutlich, dass die Mengenermittlung für den Betonbau primär auf Grundlage der Soll-Daten erfolgt. Erdmassen werden hingegen vor Ort aufgenommen. Für eine Baugrube mit Verbau bietet sich ein Aufmaß und die (geometrische) Erfassung der Bauzustände an. Daher wird für die Modelluntersuchungen, die Baugrube des Pfeilerfundaments (siehe 3.1) im Maßstab M 1:10 nachgebildet. Auf der nächsten Seite ist der Modellplan abgebildet. Der Verbauplan der echten Baugrube ist im Anhang 9.4 abgedruckt.

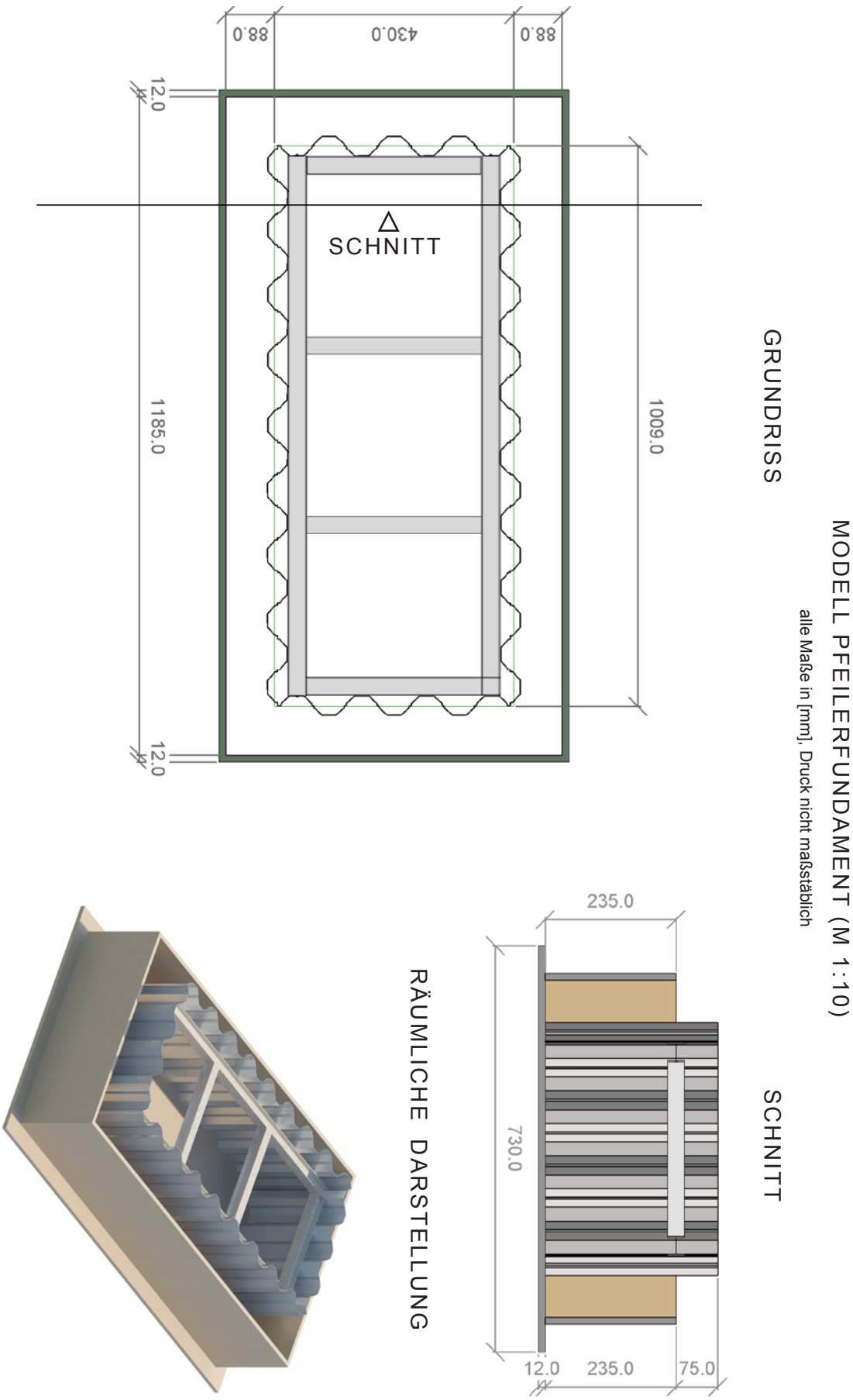


Abbildung 5-1 Plan zur Modellherstellung [Eigene Darstellung]

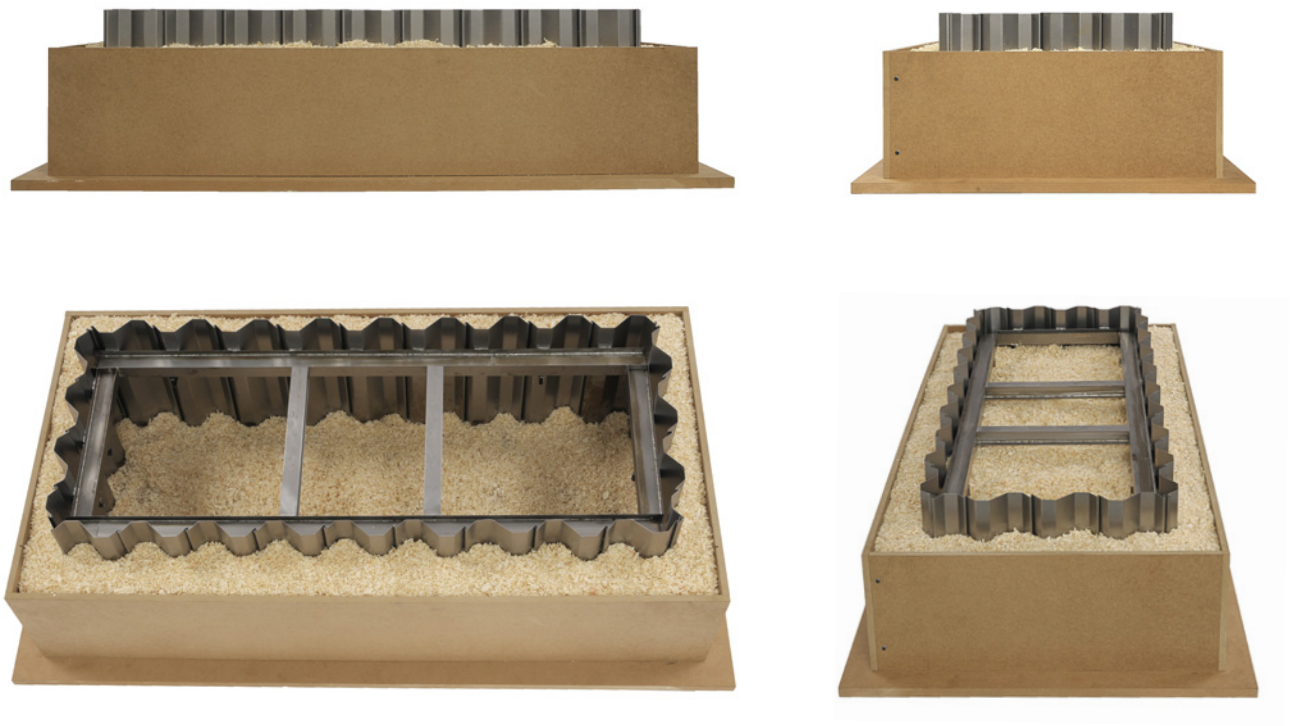


Abbildung 5-2 Modell der Baugrube zur Herstellung des Pfeilerfundaments [Eigene Darstellung]

Die Baugrube wurde aus mitteldichten Faserplatten (MDF) hergestellt. Spundwände und Träger wurden aus 7,5 mm dickem Stahlblech gefertigt. Als Modell-Mutterboden wurden Sägespäne verwendet.

Für die Scan-Versuche wurden die drei Bauzustände gewählt, die zur Herstellung der Baugrube maßgebend sind. Zunächst werden auf der grünen Wiese die Spundwände (Profil GU 7S, Länge 7,00 m) eingerüttelt. Anschliessend wird bis auf circa 1,00 m unter der Geländeoberkante ausgehoben und die Aussteifungen (2 x HEB 360, Länge 10,50 m; 2x HEB 360, Länge 3,00 m; 2 x HEB 300, Länge 3,00 m) eingebaut. Nun kann von außen bis auf das Sohlniveau bei 2,75 m unter GOK ausgehoben werden. Die Baugrube ist hergestellt, das Fundament kann bewehrt und betoniert werden. Die Spundwände verbleiben im Boden.

Abbildung 5-3 Bauzustände bei der Herstellung des Pfeilerfundaments [Eigene Darstellung]

5.1.1 VERSUCHSAUFBAU

MICROSOFT KINECT

Die Microsoft Kinect ist eine Sensoreinheit, die Bewegungen und Klänge im Raum erfassen und weitergeben kann. Das Gerät wurde zur Steuerung von Videospielen durch Bewegungen für die Spielekonsole Microsoft XBOX entwickelt und ist seit November 2010 erhältlich. Eine verbesserte Version für den Gebrauch mit dem Betriebssystem Windows 7 stellte Microsoft im Februar 2012 vor. Dazu wurde auch ein Software Development Kit (SDK) veröffentlicht mit dem Applikationen für das Gerät programmiert werden können. Es können Bewegungen, Körper (Skeletal Tracking), Gesichter und Stimmen erkannt werden. [KINECT for Windows, 2012]

Abbildung 5-4 Microsoft Kinect und ihre Komponenten [Eigene Darstellung]

Den Kern der Microsoft Kinect bildet der mit strukturiertem Infrarotlicht arbeitende Tiefensensor. Der Infrarotlaser-Projektor projeziert ein Muster auf das aufzunehmende Objekt. Aus dem Muster können über die bekannten Parameter Brennweite, Distanz Projektor - Brennpunkt und Bildpunkt auf dem Kamerasensor 3D-Koordinaten berechnet wereden. Mit einer Frequenz von 30 Hz entseht eine 11-bit 640x480 Pixel große Tiefenkarte mit 11 Bit Farbtiefe.

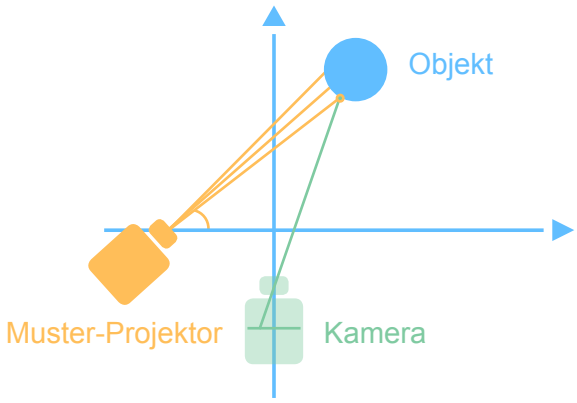


Abbildung 5-5 Koordinatenerzeugung durch strukturiertes Licht [Informatik Departement Universität Basel, 2012]

Für den relativ geringen Preis der Kinect im Vergleich zu professionellen Laserscannern sind die Ergebnisse (3D-Punktwolke) sehr gut.

Allerdings entstehen Löcher an Stellen, wo feine Oberflächenstrukturen auftreten und wo Infrarotlicht zurückgeworfen wird. Auch durch Bewegungsunschärfe können Löcher entstehen

Eine Lösung, wie die Kinect sich selbst orten kann, wurde im Forschungsprogramm „KinectFusion“ von Microsoft gefunden. Die Benutzerbewegung und -position wird aus den Tiefeninformationen aus jedem der 30 Bilder (*Frames*) pro Sekunde errechnet. So entsteht eine konsistente Punktwolke. Das Verfahren besteht aus vier Schritten [Newcombe, Izadi, Hilliges et al., 2012]:

1. Oberflächenmessung (*Surface Measurement*)
2. Aktualisierung der Oberflächenrekonstruktion (*Surface Reconstruction Update*):
   Zusammensetzung von Positionsermittlung und Oberflächenvermessung
3. Schätzung der Oberfläche (*Surface Estimation*):
   Vergleich von aktuellem Tiefenbild mit dem bis dahin zusammengesetzten Modell
4. Schätzung der Sensorposition (*Sensor Pose Estimation*):
   Vergleich zwischen angenommener Oberfläche und aktueller Messung (aus jedem der 30 Frames) mittels einem *Iterative Closest Point Alignment* Algorithmus. Dabei wird durch Rotation und Translation des Bildes der Abstand zwischen zwei Punkten minimiert. So entsteht aus einem 2D-Bild eine 3D-Punktwolke.

MANCTL SKANECT

Skanect von MANCTL ist eine kostenlose Software, die aus den Tiefendaten der Microsoft Kinect eine 3D-Punktwolke erzeugen kann. Das Programm kann aus den aufgenommenen Punkten auch ebene Flächen erkennen. Es wurde die Version 0.2 unter Mac OS X 10.6.8 verwendet. Durch kopieren der Programmdatei (.app) in den Application Ordner von Mac OS X wird die Verwendung möglich. Es ist keine weitere Treiberinstallation der Microsoft Kinect erforderlich.

RECONSTRUCTME

ReconstructMe wurde 2012 von Christoph Heindl bei Profactor GmbH entwickelt. Die Software ermöglicht die Aufnahme einer 3D-Punktwolke in einem definierten Volumen (Quader). Die Punkte werden von der Software trianguliert. Es wurde die Version 231 unter Windows 7 64-bit verwendet. Die Installation der Open NI Treiber (http://75.98.78.94/default.aspx) für die Microsoft Kinect und des Microsoft Visual C++ 2008 Service Pack 1 Redistributable Package (x86) sind notwendig.

MESHLAB

Mit der 2005 veröffentlichten Open Source Software Meshlab können 3D-Daten (Punktwolken und Dreiecksnetze) (siehe 4.3.1.2) editiert und weiterverarbeitet werden. Das System hilft beim Editieren, Inspizieren und Exportieren von größeren Dreiecksnetzen (*Mesh*) aus 3D-Scandaten. Der größte Teil an Entwicklungsarbeit für dieses Projekt wurde von Studenten des Computer Science Department der Universität Pisa geleistet. Es wurde die Version 1.3.0 unter Mac OS X 10.6.8 verwendet.

VORGEHEN

Das Modell wird in einem Raum mit der Microsoft Kinect abgescannt. Das Gerät wird über 220 V mit Strom versorgt. Zur Verwendung der Software skanect wurde die Sensoreinheit über USB an ein Macbook Pro (2,2 GHz Intel i7 Prozessor,4 GB Arbeitsspeicher, AMD Radeon HD 6750M Grafikchip mit 1024 MB Speichergröße). ReconstructMe wurde auf einer Lenovo Think Station S20 (2,66 Ghz Intel Xeon, 12 GB Arbeitsspeicher, Nvidia Quadro FX 1800 mit 768 MB Speichergröße) ausgeführt. Mit skanect und ReconstructMe wurden 3D-Daten erzeugt und mit Meshlab weiterverarbeitet. Die Microsoft Kinect wurde mit einer entsprechenden Halterplatte auf ein Einbeinstativ (Monostat RS 16 ART) montiert.

5.1.2 MODELLVERSUCHE

5.1.2.1 Scannen mit skanect 0.2

Die Software konnte problemlos durch Aufrufen der Programmdatei skanect.app gestartet werden. Das Programmfenster zeigt das Tiefensignal, das RGB Signal, das rekonstruierte Modell sowie die benötigten Schaltflächen an.

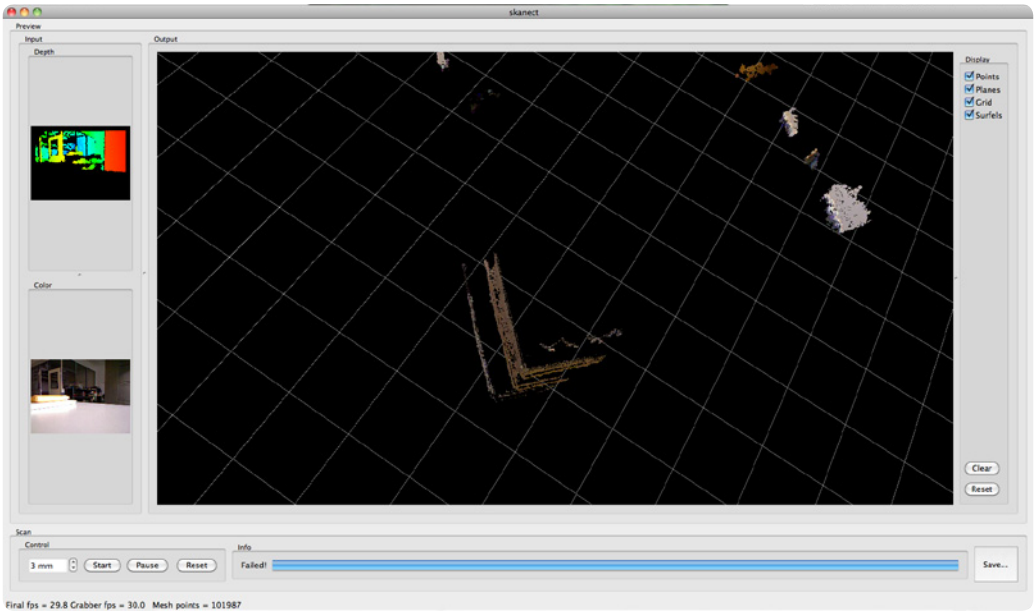


Abbildung 5-6 Oberfläche von skanect 0.2 [Eigene Darstellung]

Die ersten Tests ergaben einen Mindestabstand zum Modell von 1,5 m um eine Aufzeichnung von Punkten zu erreichen. Die Füllung der Modellbaugrube konnte bei Einwirkung von starkem Sonnenlicht nicht aufgezeichnet werden. Auf dem Boden wurde im gleich bleibenden Abstand von 2,00 m zum Modell eine Linie eingezeichnet, auf der die Kinect um das Modell herum geführt wurde. In 60 Minuten wurden drei Scans gemacht, von denen einer brauchbare Ergebnisse lieferte.

Das Ergebnis ist in Abbildung 5-7 dargestellt, die nicht verwendeten Scans sind im Anhang 9.5 abgebildet.

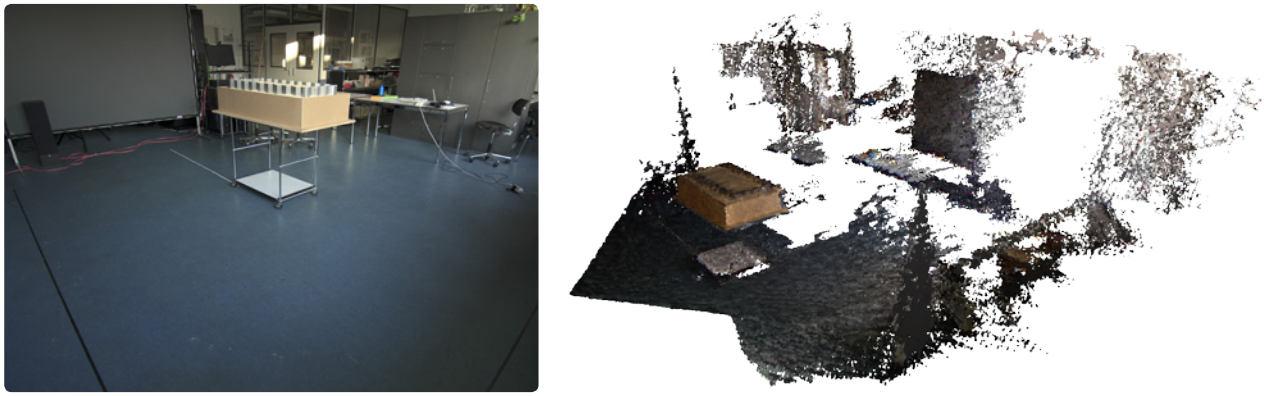


Abbildung 5-7 Scan mit skanect 0.2 im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung]

Es ist deutlich zu erkennen, dass von dem Spundwandverbau zu wenig Punkte aufgezeichnet wurden um Messungen oder eine Stückzahlenermittlung zu ermöglichen. Lediglich der Kasten des Modells konnte in Meshlab vermessen werden.

Tabelle 5-1 Vermessung des Modells der skanect Punktwolke im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung]

	[mm]	Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
Kasten	Länge	1023	1208	185	15,3
	Breite	653	630	23	3,6
	Höhe	232	235	2	1,2
	Arithmetisch gemittelte Abweichung			70 mm	6,7 %

Durch die unkontrollierte Aufzeichnung aller messbaren Punkte im Raum muss die 3D-Punktwolke nachträglich bereinigt werden. Die mittlere Abweichung der Dimensionen beträgt fast 7 %. Das heißt es lassen sich mit skanect 0.2 nur Modelle mit geringen Anforderungen an die Präzision erstellen. Weiterhin konnte die entstandene Punktwolke nicht in ein gängiges Austauschformat (mit Hilfe der Software Meshlab), wie etwa DXF, umgewandelt werden. Dadurch wird eine Weiterverwendung des Scanmodells schwierig.

Auf Grund der genannten Schwächen von skanect 0.2 wurde daraufhin ReconstructMe zum Scannen mit der Microsoft Kinect auf Funktion, Genauigkeit und Verwendbarkeit getestet.

5.1.2.2 Scannen mit ReconstructMe 231

ReconstructMe muss über die Eingabeaufforderung von Windows gestartet werden. Der Programmordner enthält die beiden Ordner „bin“ und „licenses“. Im Ordner „bin“ ist die ausführbare Datei „reconstructme.exe“ enthalten.

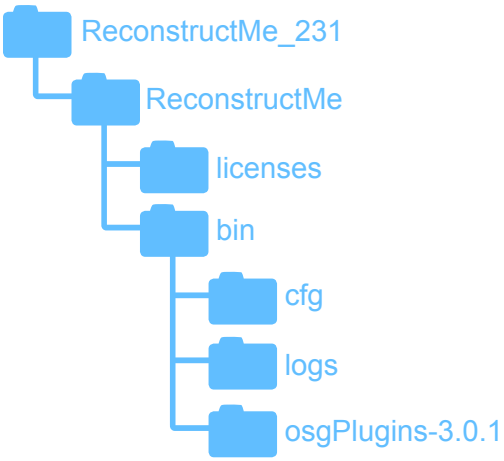


Abbildung 5-8 Ordnerstruktur von ReconstructMe [Eigene Darstellung]

Die Software zeichnet sich durch das definierte Volumen (Quader) aus, in dem aufgezeichnet werden soll. Weiterhin werden die Punkte auch direkt zu einem Dreiecksnetz vermascht. Durch das Aufzeichnen eines definierten Quaders wird das Entfernen nicht benötigter Punkte in der erzeugten Punktwolke überflüssig. Das Verzeichnis „cfg“ enthält die, für die Volumenkörper nötigen, Konfigurationsskripte. In „logs“ werden die Protokolle der Scans abgelegt (siehe Anhang 9.7).

Der Befehl zum Starten der Echtzeitaufzeichnung unter den Standardeinstellungen lautet:

```
Dateipfad\ReconstructMe_231\ReconstructMe\bin>reconstructme.exe --realtime
```

Der Ursprung des von der Software verwendeten Koordinatensystems sitzt auf der Sensoreinheit. Der Standpunkt beim Starten der Scanvorgangs definiert also die Position des aufzuzeichnenden Volumenkörpers im Raum (veranschaulicht in Abbildung 5-10).

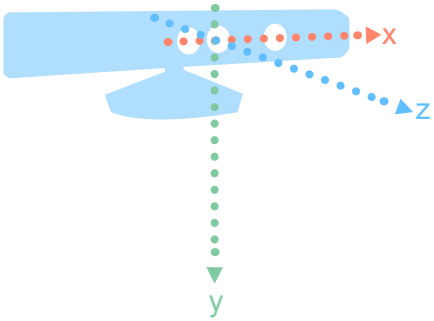


Abbildung 5-9 Von ReconstructMe verwendetes Koordinatensystem [http://reconstructme.net/usage/]

Die Standardeinstellung (default settings) des Volumenkörpers sind im Skript `volume_1m.txt` abgelegt. Das Modell der Baugrube ist allerdings größer als der Volumenkörper der default settings. Also wurden Volumenkörper in passender Größe definiert. Für den Scan von vorne (Bauzustand 1 und 2) und für den Scan von oben (Bauzustand 3) wurde je ein Volumenkörper zur Aufzeichnung definiert.

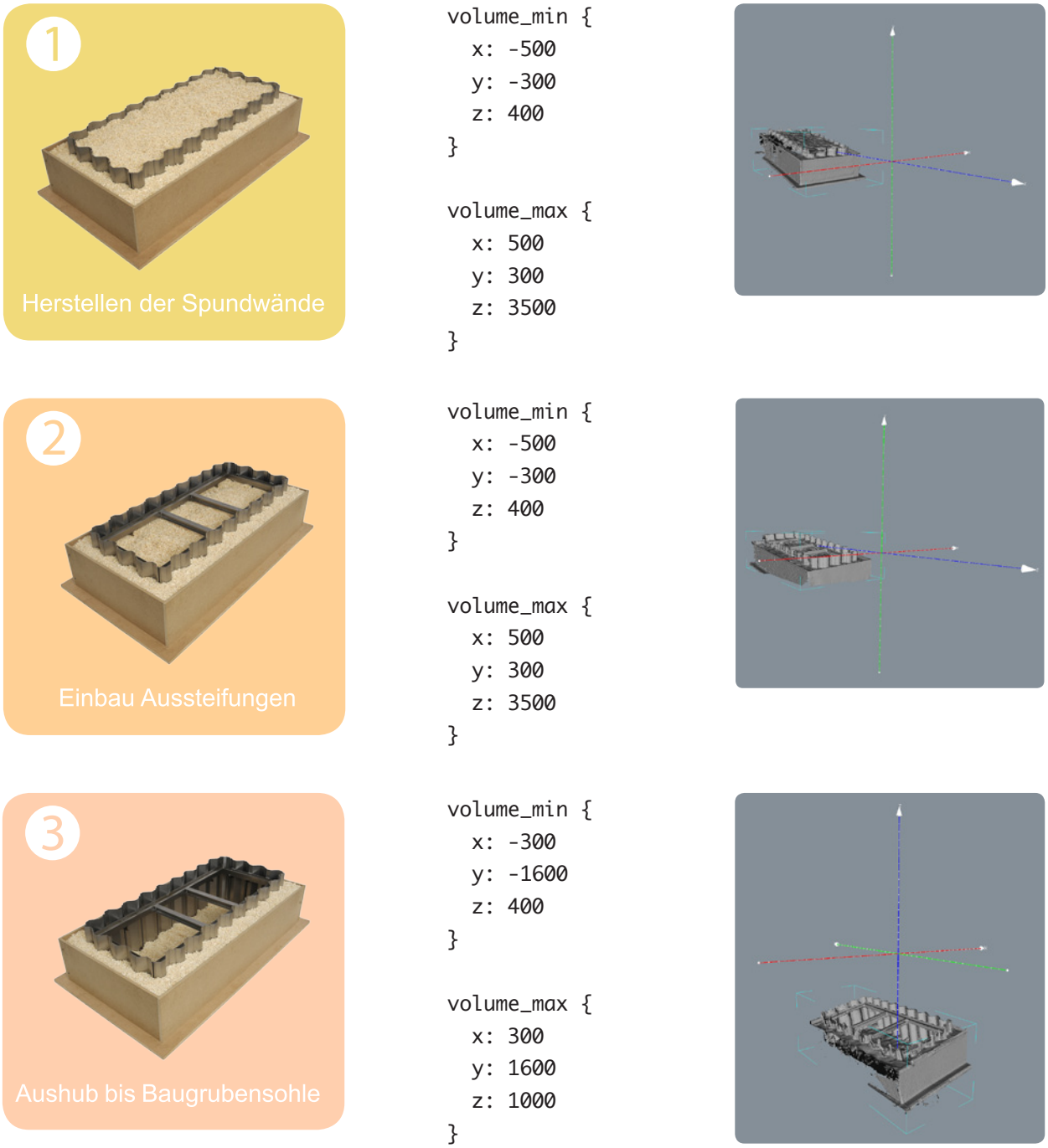


Abbildung 5-10 Zu den Bauzuständen passende Volumenkörper [Eigene Darstellung]

Beim Programmstart muss eingegeben werden, welches Konfigurationsskript aus dem Ordner „cfg“ geladen werden soll (wenn nicht die Standardeinstellungen geladen werden sollen). Die selbst erstellten Konfigurationen wurden mit `volumen_baugrube_bz1_bz2.txt` und `volumen_baugrube_bz3.txt` benannt.

Daher lautete der einzugebende Befehl:

```
Dateipfad\ReconstructMe_231\ReconstructMe\bin>reconstructme.exe --realtime --config
cfg\volumen_baugrube_bz1_bz2.txt oder volumen_bz3.txt
```

DATENAUFZEICHNUNG

Das Modell wurde in den drei beschriebenen Bauzuständen jeweils mindestens drei mal gescannt. Der entsprechende Ausgangspunkt der Scans ist der Abbildung 5-10 zu entnehmen. Aufgezeichnet wurde durch Schwenken des Einbeinstatives und freies Herumlaufen um das Modell.

ReconstructMe erzeugt einen Ton, wenn die Software die Position der Microsoft Kinect nicht mehr korrekt orten kann. Ein weiteres Signal ertönt, wenn die Ortung, durch Rückführen des Geräts in die auf dem Bildschirm angezeigte Position, wieder gegeben ist. Durchschnittlich wurden für jeden Scan zehn Minuten benötigt. Während der Datenaufzeichnung zeigt die Software einen geteilten Bildschirm an, auf dem links das RGB Videosignal der Microsoft Kinect zu sehen ist und rechts das erzeugte Modell. Gesteuert wird das Programm mit den Tastaturbefehlen „P“ für Start und Pause der Aufzeichnung, „R“ für Zurücksetzen des aktuellen Scanmodells, sowie „ESC“ für Beenden und Speichern der Aufzeichnung.

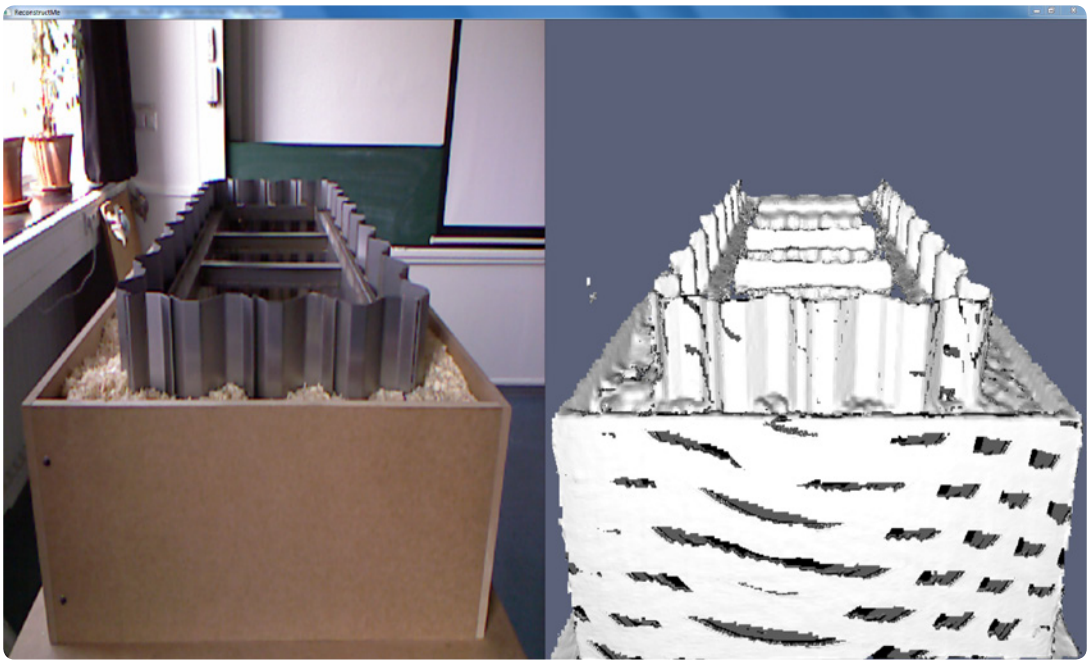


Abbildung 5-11 ReconstructMe Programmfenster [Eigene Darstellung]

DATENAUSWERTUNG

Die erstellten 3D-Dreiecksnetze wurden nach der Aufzeichnung im STL Format in Meshlab 1.3.0 importiert und dort vermessen. Die Ergebnisse der Messungen wurden tabellarisch erfasst und hinsichtlich Abweichungen in Millimeter und in Prozent ausgewertet. In der nachstehenden Tabelle 5-2 ist für jeden Bauzustand exemplarisch eine Messung aufgeführt. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang 9.6 zu finden.

Tabelle 5-2 Auszug aus der Vermessung des Modells der ReconstructMe Punktwolke [Eigene Darstellung]

		[mm]	Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
BAUZUSTAND 1, VERSUCH 1	Kasten	Länge	1229	1208	21	1,7
		Breite	643	630	13	2,0
		Höhe	234	235	1	0,5
	Verbau	Länge	1030	1043	13	1,3
		Breite	413	400	13	3,1
		Diagonale	1121	1138	17	1,5
BAUZUSTAND 2, VERSUCH 1	Kasten	Länge	-	-	-	-
		Breite	630	630	0	0,0
	Verbau	Länge	1051	1043	8	0,8
		Breite	407	400	7	1,7
		Diagonale	1121	1138	17	1,5
	Aussteifung	Abstand 1	342	338	4	1,2
		Abstand 2	319	330	11	3,4
		Höhe HEB 300	305	300	5	1,6
BAUZUSTAND 3, VERSUCH 2	Kasten	Länge	1210	1208	2	0,2
		Breite	-	-	-	-
	Verbau	Höhe Sohle Aus-steifung	204	222	18	8,8
	Aussteifung	Breite HEB 360	426	360	66	15,5
		Länge HEB 300	321	322	1	0,3
		Höhe HEB 300	343	300	43	12,5
					...	
Arithmetisch gemittelte Abweichung aller Ergebnisse					15 mm	3 %

Die durchschnittliche Abweichung von 3 % bei 55 durchgeführten Messungen spricht für eine sehr hohe Genauigkeit der erzeugten 3D-Daten. Abbildung 5-12 verdeutlicht das durch Abbildung der prozentualen Abweichungen aller Messungen. Die größte Dichte der Punkte liegt unterhalb der 3 % Grenze. Die Ausreisser oberhalb der 5% sind auf nicht korrekt interpretierte Bewegungen mit dem Sensor zurückzuführen.

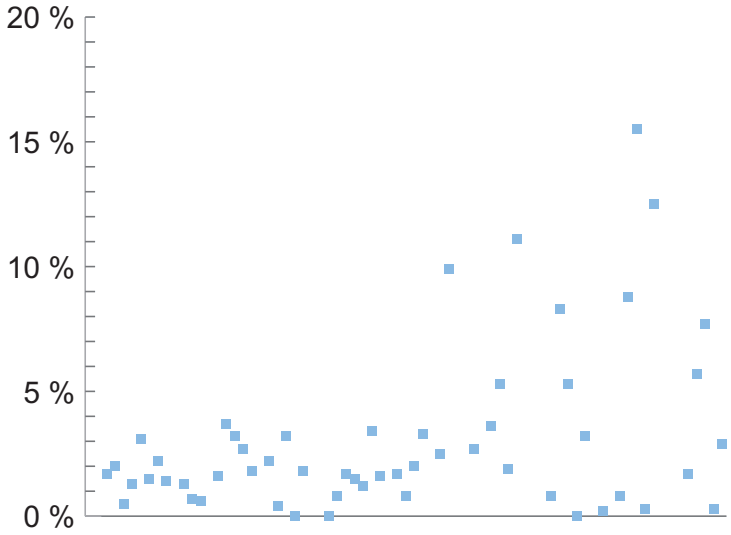


Abbildung 5-12 Prozentuale Abweichungen aller durchgeführten Messungen in allen Bauzuständen [Eigene Darstellung]

ERZEUGTE 3D-MODELLE

Aus Meshlab konnten die erzeugten Daten problemlos ins DXF Dateiformat exportiert werden. Somit werden sie für alle gängigen CAD Anwendungen, sowie für objektorientierte Modellierungssoftware les- und nutzbar. Weiterhin wurde erkannt, dass Detailaufnahmen, zu deren Aufnahme wenig Bewegung des Sensors nötig ist, auf den Millimeter genau der Realität entsprechen.

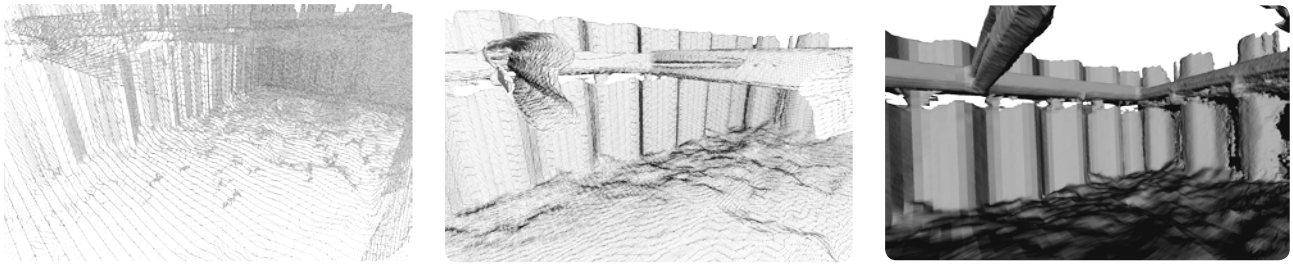


Abbildung 5-13 Punktwolke - Dreiecksnetz - mit Flächen ausgefülltes Dreiecksnetz in Meshlab [Eigene Darstellung]

An dieser Stelle wird deutlich, dass die Methode großes Potential zur Bestandsaufnahme auf dem Baufeld bietet. Es stellt keine Konkurenz zur Vermessung mit Tachymeter oder Laserscanner dar, sondern bietet die Möglichkeit in kurzer Zeit, mit wenig Aufwand und wenig Fachwissen echte Geometrieinformationen zu erzeugen. Die Distanz des am weitesten entfernten Punktes bei einer Aufnahme ist auf ca. 6 m begrenzt.

Die Verwendung der, in dieser Arbeit nicht beschriebenen, Funktion *Volume Stitching* der Software ReconstructMe kann jedoch mehrere seperat aufgezeichnete Volumen zu einem Körper zusammenfügen [ReconstructMe Volume Stitching, 2012]. Bei größeren Bauteilen könnten somit mehrere Aufnahmen zusammengesetzt werden.

In ungefähr zehn Minuten wurden 3D-Modelle von realen Objekten erzeugt, deren Erstellung mit einer Modellierungssoftware (mit vorausgehender Vermessung des Objekts) deutlich länger gedauert hätte und ein Vielfaches an fachlicher Kompetenz erfordert hätte.

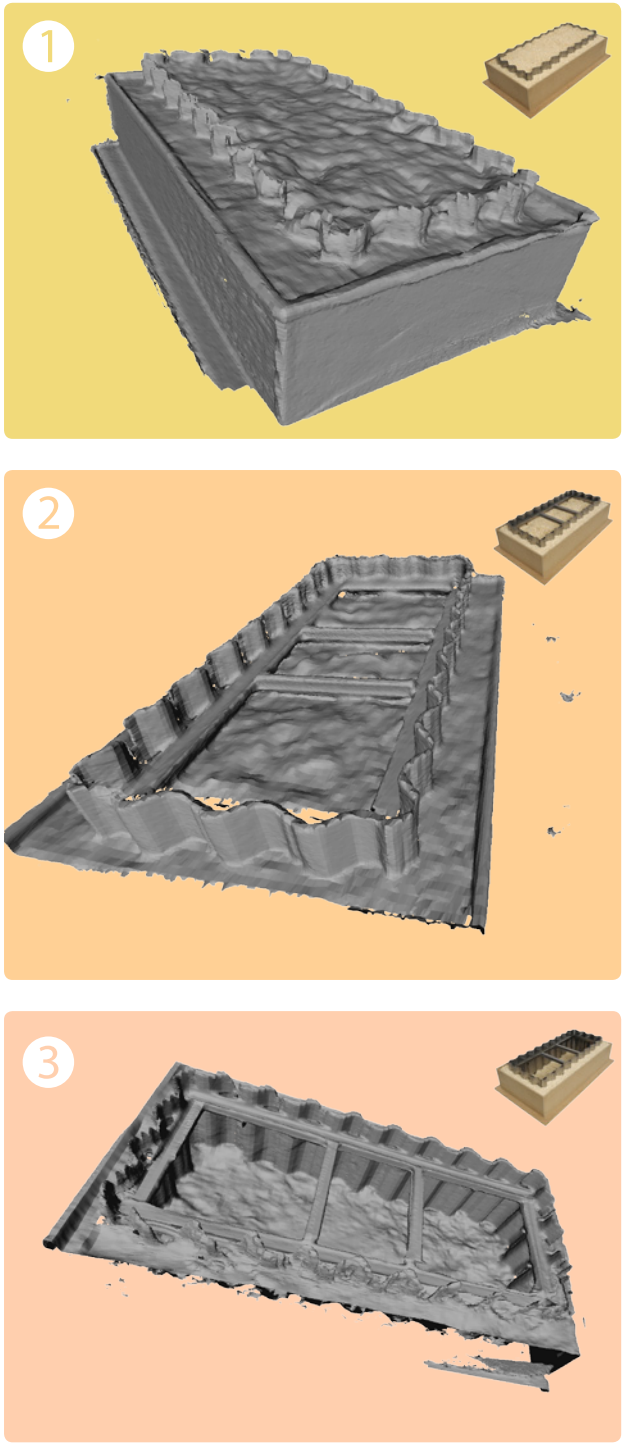


Abbildung 5-14 Erzeugte 3D-Modelle [Eigene Darstellung]

5.2 VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN DER DURCH SCANNEN ERZEUGTEN MODELLE

Nach dem Scanvorgang entsteht eine Vielfalt an Verwendungsmöglichkeiten des dreidimensionalen Ist-Zustands für bauliche Zwecke im Rahmen der modellorientierten Arbeitsweise.

Anwendungen wie Google Street View zeigen das Potential von 3D-Punktwolken. Während einer Autofahrt mit dem Aufnahmefahrzeug von Google Street entsteht in Echtzeit das Oberflächenmodell eines Gebäudes, das sofort mit der ebenfalls aufgezeichneten Bildtextur[4] belegt wird. Das Ergebnis ist ein dreidimensionales, begehbares Abbild der Realität.

Der verwendete Versuchsaufbau zeigt weiterhin nur zwei von vielen Möglichkeiten zur Aufnahme von 3D-Punktwolken mit einfachen Mitteln. Ein weiteres Gerät mit dem auf gleichem Weg 3D-Daten erzeugt werden können (auch mit der Software ReconstructMe) ist die Sensoreinheit ASUS Motion Sensor Xtion PRO LIVE (http://www.asus.com/Multimedia/Motion_Sensor/Xtion_PRO_LIVE/).

Einige Ideen zur Verwendung von 3D-Punktwolken im Bauwesen werden nachstehend in Kategorien zusammengefasst vorgestellt. Vorschläge der erforderlichen Genauigkeiten zur Bauausführung werden jeweils vor dem Text angezeigt.

ARBEITSVORBEREITUNG/BAUSTELLENEINRICHTUNG

5 cm

Durch die Möglichkeit selbst ein Modell des Urgeländes mit geringem Aufwand zu erstellen, kann das Baufeld virtuell eingerichtet werden. Die Anordnung zentraler Bestandteile der Baustelleneinrichtung, wie beispielsweise Kranplatz, Manschafts- und Materialcontainer oder Lagerflächen kann schnell und anschaulich durchgeführt werden. Für den Bauprozess kritische Höhen, Längen und Flächen können im Vorfeld erkannt und berücksichtigt werden. Auch für die Planung der Baustraßen kann eine Anwendung in Anbetracht der vorhandenen Höheninformationen vorteilig sein. Da das Geländeprofil eingesehen werden kann, können unnötige Steigungen in Baustraßen vermieden und so Kraftstoffverbrauch und Zeitbedarf von Transportfahrzeugen reduziert werden.

LEISTUNGSDATEN

5 cm

Während einer Betonage können zu bekannten Zeitpunkten Aufnahmen von einem Standpunkt gemacht werden. Später können die Modelle übereinander gelegt werden. Durch die vorhandenen Geometrieinformationen kann so beispielsweise die Betoniergeschwindigkeit im Verhältnis zu betoniertem Volumen oder zur betonierten Fläche ermittelt werden.

4 Projektion von fotografischen Aufnahmen auf Oberflächen von 3D-Körpern

DOKUMENTATION DER BAUZUSTÄNDE / BAUÜBERWACHUNG

1 cm

Später nicht mehr sichtbare Bauteile, wie etwa Bewehrungseisen oder nicht zurückgewonnenes Verbaumaterial können erfasst und dokumentiert werden. So bleibt auch nach Fertigstellung des Bauwerks nachvollziehbar, was tatsächlich eingebaut wurde. Durch Übereinanderlegen von Scans (erstellt zu verschiedenen Zeitpunkten) kann der Baufortschritt visualisert werden. Falls nachträglich Fehler an Bauteilen entdeckt würden, könnte so auch mit Gewissheit nachvollzogen werden, in welchem Bauzustand (z.B. falsches Einmessen der Schalung) diese gemacht wurden.

MENGENERMITTLUNG

5 cm

Aus dem Übereinanderlegen von Scans verschiedener Zeitpunkte können Mengen ermittelt werden. In einem Versuch der University of Stanford konnten Berechnungen von Erdmassen mit Hilfe von Punktwolken (erzeugt von Laserscannern) schneller durchgeführt werden, als durch bloßes Zählen der LKWs, die den Aushub abtransportierten [Shih, Wu, Kunz, 2004].

Aus dieser unvollständigen Liste geht hervor, dass ein großes Spektrum von Anwendungen im Bauwesen für die Verwendung von 3D-Geometriedaten des Ist-Zustandes denkbar ist. Erkannte Vorteile, auf diese Art Ist-Daten zu erfassen, sind:

/ einfache Bedienung ohne viel nötiges Fachwissen (Aufwand und Nutzeranforderungen vergleichbar mit dem Erstellen eines Videoclips mit einer Digitalkamera)
/ geringer Zeitbedarf zur Erstellung eines vielfach einsetzbaren 3D-Modells
/ „Mitnehmen“ echter Geometriedaten von der Baustelle

Die Methode ist deutlich einfacher als ein herkömmliches Aufmaß (sowohl mit dem Nivellier als auch mit dem Tachymeter), setzt allerdings den Einsatz eines Computers voraus. Der zeitliche Aufwand zur Erstellung eines 3D-Modells ist deutlich geringer, wie bei einer Modellierung mit entsprechender Software. Voraussetzung dafür ist der Mehraufwand bei der Erstellung des virtuellen Referenzmodells.

Lösungsvorschläge zur Integration der Scandaten in das Datenmodell der modellorientierten Arbeitsweise werden in 5.3 erarbeitet.

5.3 MÖGLICHKEITEN DER IMPLEMENTIERUNG VON LEISTUNGSDATEN IN DEN MODELLORIENTIERTEN ARBEITSPROZESS

Die in 4.4 ermittelten Parameter zur Erfassung der Leistungsdaten sollen als Attribute einem Objekt zugeordnet werden. Da das Objekt der in 4.4 erarbeiteten Bezugsgröße „Bauteil“ entspricht, wird dieses als Datenträger der Leistungsdaten ausgewählt. Im 5D-Prozess sind Objekt und enstprechende LV Positionen miteinander verknüpft, so können wenn nötig nach der Datenerfassung die Mengen auf einzelne LV-Positionen aufgeteilt werden. Es soll also ein Objekt angewählt werden können, um den vorhandenen Attributen für Leistungsdaten Werte zuweisen zu können.

Die Scanmodelle werden in einer Datei auf der Festplatte des verwendeten Gerätes abgelegt. Der zugehörige Dateipfad wird auch in einem Attribut eines Objekts angegeben. So kann zu einem späteren Zeitpunkt problemlos das aufgenommene Scan-Modell dem entsprechenden Bauteil zugeordnet werden.

Attribute können unterschiedlich erzeugt werden und verschiedene Werte annehmen. In dieser Arbeit werden die Attribute betrachtet, die von IFC 2x3 (siehe 2.1), Autodesk REVIT und RIB iTWO geschrieben und gelesen werden können. In Tabelle 5-3 sind die vier Attribute aufgelistet, die gleichermaßen von allen genannten Systemen erzeugt werden können.

Tabelle 5-3 Gleiche Attribute von IFC, Autodesk REVIT und RIB iTWO [Eigene Darstellung]

SEMANTIK	IFC	AUTODESK REVIT	RIB iTWO
Ganze Zahl	IFCINTEGER	Integer	Ganzzahlig
Ja / Nein	IFCBBOLEAN	Yes/No	Wahr / Falsch
Kommazahl	IFCREAL	Number	Dezimalzahl
Text	IFCLABEL	Text	Text

Autodesk REVIT und RIB iTWO bieten weitere (spezifische) Attribute zur Auswahl an, die nachstehend aufgelistet sind. Die grundsätzliche Semantik unterscheidet sich nicht von den Attributen in Tabelle 5-3, es wird also nur genauer definiert, was das Attribut wiedergeben soll.

AUTODESK REVIT

- Length
- Volume
- Angle
- Slope
- Currency
- URL
- Material

RIB ITWO

- Datum
- Koordinate

Die Attribute aus Tabelle 5-3 eignen sich auf Grund ihrer systemübergreifenden Gültigkeit für die Erfassung der Leistungsdaten mittels Attribut. Es werden zwei Lösunsgsansätze dieser Problematik betrachtet. Als Beispielobjekt dient das Betonfundament des in 3.2 modellierten Brückenpfeilers. Leistungsdaten der Kategorie „GERÄTE“ (siehe 4.4) wird diesem Beispielobjekt auf verschiedene Arten zugeordnet. Es wird dabei fiktiv von zwei benötigten Geräten ausgegangen. Die für die jeweilige Datenabfrage verwendeten Attribute sind der Tabelle 5-4 zu entnehmen.

Tabelle 5-4 Attribut und zugehörige Bedeutung [Eigene Darstellung]

ATTRIBUT	SEMANTIK
Gerätetyp	Text
Anzahl	Ganze Zahl
Mietgerät	Ja / Nein
geplante Einsatzdauer	Ganze Zahl
geleistete Einsatzdauer	Ganze Zahl

5.3.1 ERZEUGUNG DER ATTRIBUTE IN DER MODELLIERUNGSSOFTWARE AUTODESK REVIT

In der Modellierungssoftware können Attribute definiert werden. Autodesk REVIT bietet die Möglichkeit „Shared Parameters“ zu erzeugen, die von verwendeten Projekten und Familien (siehe 3.2.2) genutzt werden können. Shared Parameters werden von REVIT in Gruppen zusammengefasst. Die Zuordnung der Attribute zu Familien eines Projekts kann allerdings nicht gruppiert vorgenommen werden, sondern muss durch einzelne Auswahl erfolgen.

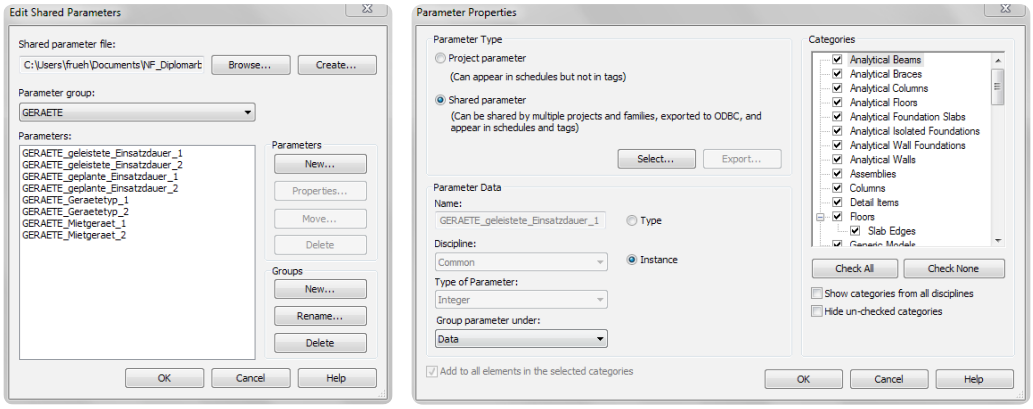


Abbildung 5-15 Shared Parameters und Project Paremeters Dialog in Autodes REVIT [Eigene Darstellung]

Das Skript der angelegten Shared Parameters das von Autodesk REVIT erstellt wird ist im Anhang 9.8 aufgeführt.

In RIB iTWO werden die per CPIXML (siehe 3.2.3) eingelesenen Attribute alphabetisch aufgelistet. Die selbst erzeugten Attribute (alle beginnend mit GERAETE_) wurden erfolgreich mit der vorgesehenen Semantik (Ja / Nein, Kommazahl, etc.) übertragen.

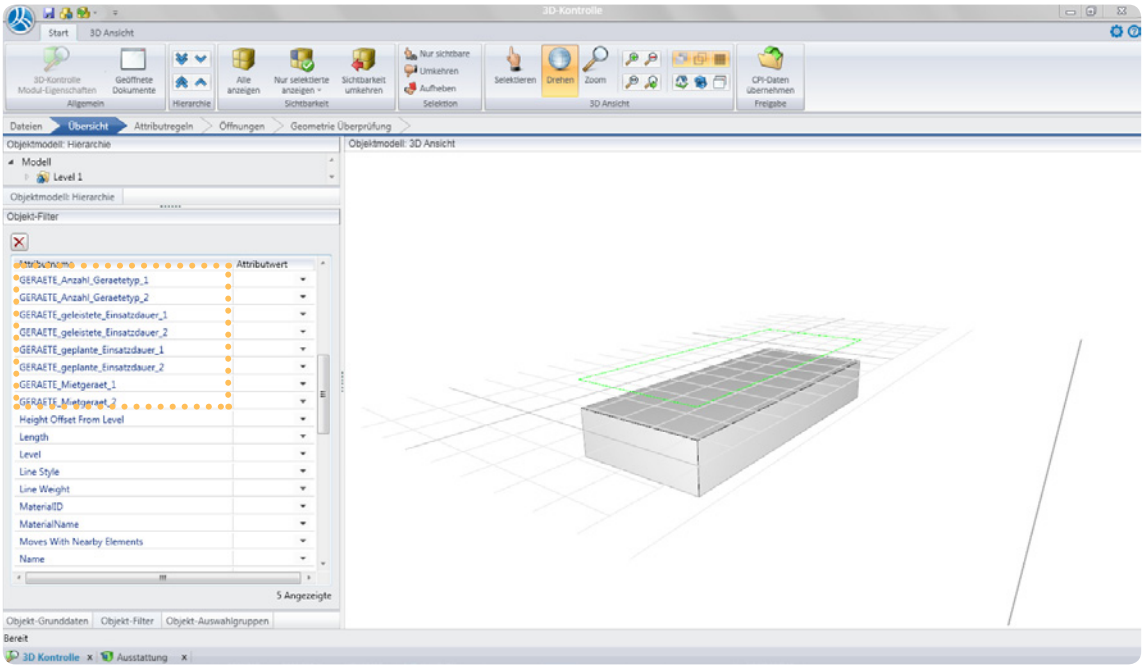


Abbildung 5-16 CPIXML Import in der RIB iTWO 3D-Kontrolle [Eigene Darstellung]

5.3.2 ERZEUGUNG DER ATTRIBUTE IN IFC 2X3

Das Modell des Pfeilerfundaments wurde als IFC 2x3 Datei (XML) aus Autodesk REVIT exportiert. Die erzeugte IFC Datei wurde anschliessend mit einem Texteditor bearbeitet. Mit Hilfe von Property Sets (`IFCPROPERTYSET`) wurden die benötigten Attribute „Leistungsdaten des Gerätebedarfs“ erzeugt. Mit dem Befehl `IFCRELDEFINESBYPROPERTIES` wurden die erstellten Attribute `IFCPROPERTYSINGLEVALUE` über die Zeilennummer (`#103`) eindeutig dem Objekt Fundament `IFCSLAB` zugeordnet. Der Abschnitt der IFC 2x3 Datei, in dem die Attribute für Leistungsdaten definiert werden, ist im folgenden aufgeführt:

```
#33=IFCOWNERHISTORY(#32,#2,$,.NOCHANGE.,$,$,$,0);
...
#103=IFCSLAB(,2GPVtodYf7dg_zUsc$Xerz‘,#33,‘Foundation Slab:Pfeilerfundament:53408‘,$,‘
Foundation Slab:Pfeilerfundament‘,#92,#102,‘53408‘,.FLOOR.);
...
/*Relation zwischen Fundament (#103) und PropertySet (#267)*/

#280=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES(,0qm2uIRHX2Dwhqop9tRQTb‘,#33,$,$,(#103),#267);

/*Definition des Property Sets (#268, #269, #270, #271, #272, #273, #274,
#275,#276,#277*/

#267=IFCPROPERTYSET(,3mpePO111CzQ1Kpi3z0vMK‘,#33,‘GERAETEBEDARF‘,‘Leistungsdaten des
Geraetebedarfs‘,(#268,#269,#270,#271,#272,#273,#274,#275,#276,#277));

/*Definition der Properties (Name, Beschreibung, Wert, Einheitsangabe*/
```

```
/*Erstes Geraet*/
#268=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,Geraetetyp_1‘,‘Geraetebezeichnung des 1.
Gerates‘,IFCLABEL(,TEST‘),$);
#269=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,Anzahl_Geraetetyp_1‘,$,IFCINTEGER(1),$);
#270=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,Mietgeraet_1‘,‘Mietgeraet?‘,IFCBOOLEAN(.F.),$);
#271=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,geplante_Einsatzdauer_1‘,‘Einsatzdauer laut Arbeitskalkul
ation‘,IFCINTEGER(1),$);
#272=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,geleistete_Einsatzdauer_1‘,$,IFCINTEGER(1),$);

/*Zweites Geraet*/
...
/*Relation zwischen Fundament (#103) und PropertySet (#276)*/

#280=IFCRELDEFINESBYPROPERTIES(,0qm2uIRHX2Dwhqop9tRQTb‘,#33,$,$,(#103),#276);

/*Definition des Property Sets (#278)/
#278=IFCPROPERTYSET(,3mpePO111CzQ1Kpi3z0vMv‘,#33,‘SCAN‘,‘Dateipfad der abgelegten
Scandatei‘,(#277));

/*Definition der Properties (Name, Beschreibung, Wert, Einheitsangabe*/

#279=IFCPROPERTYSINGLEVALUE(,Scanfile‘,‘Dateipfad der Scandatei‘,IFCLABEL(,C:\Users\
Projects\Scan‘),$);
```

Über die 3D-Kontrolle wurde die IFC 2x3 Datei in RIB iTWO importiert und in CPIXML konvertiert. Die erstellten Attribute konnten auch auf diesem Weg erfolgreich übernommen werden. Allerdings ging die Höheninformation der Lage des Fundaments verloren. Es befindet sich eigentlich 1,60 m unter dem Nullniveau. Das via IFC eingelesene Modell beginnt auf Nullniveau, was in Abbildung 5-17 deutlich zu sehen ist.

Anhand dieser beiden einfachen Beispiele wurde gezeigt, dass eine Integration der Leistungsdaten ins Modell als Attribut grundsätzlich möglich ist. Mit IFC 2x3 können Attribute auch unabhängig von den verwendeten Softwareprodukten erstellt und geändert werden.

Zum Erstellungszeitpunkt dieser Arbeit war es noch nicht möglich die Werte der erzeugten Attribute in RIB iTWO auf unkompliziertem Weg zu ändern. Im oben abgebildeten Dokument *3D-Kontrolle* konnten Werte lediglich durch Überschreiben der Attribute mit sich selbst geändert werden. Dieser Prozess wäre allerdings für eine mobile Lösung der modellorientierten Leistungsmeldung zu komplex.

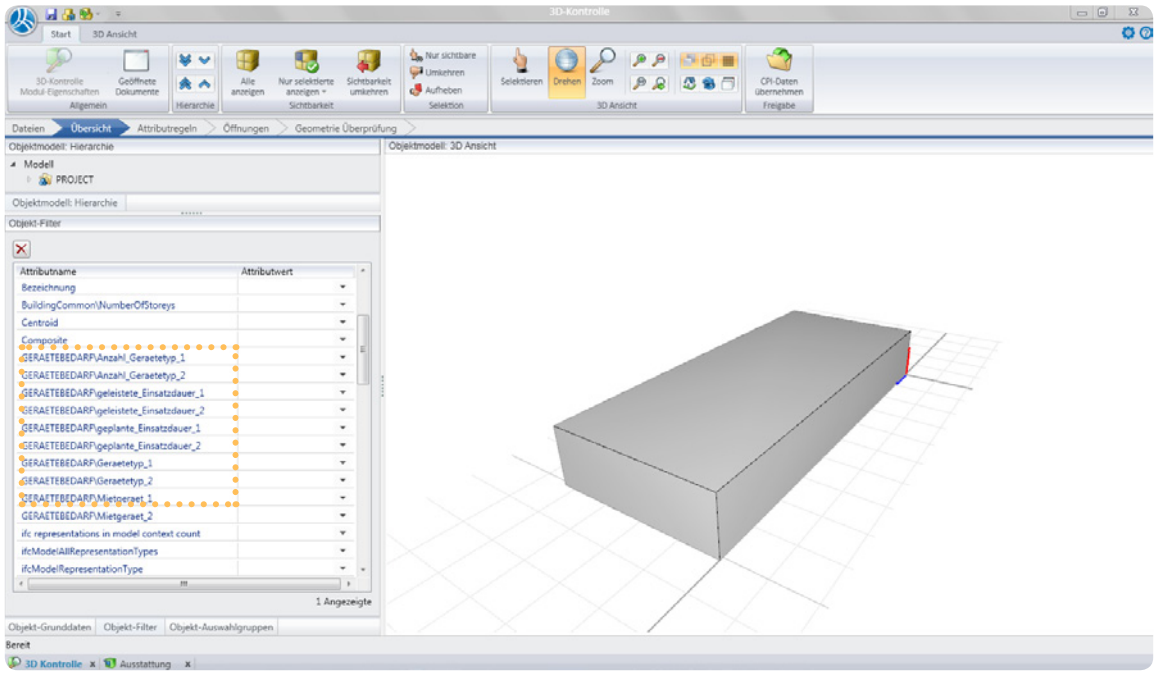


Abbildung 5-17 IFC 2x3 Import in RIB iTWO 3D-Kontrolle [Eigene Darstellung]

6 KONZEPTION EINES BAUSTELLENINTERFACES ZUR DATENERFASSUNG AUF DER BAUSTELLE

Ziel der Aufgabe war es eine intuitive und einfach zu bedienende Oberfläche zu konzipieren, mit deren Hilfe die objektbezogene Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle möglich ist. Dieser Prozess wurde dazu in vier Elemente eingeteilt:

1. Auswahl des gewünschten Bauteils, über die Modellübersicht oder anhand des Terminplans (Vorgangsmodell)
2. Anzeige der zugehörigen Basisinformationen und Bestätigen oder Verwerfen der Bauteilauswahl
3. Datenerfassung durch Ändern von Attributswerten der Attribute für Leistungsdaten
4. Durchführen von Scans zur Erstellung von 3D-Geometriedaten des Ist-Zustands

Die Bedienung der Oberfläche erfolgt ausschließlich mit der Hand ohne zusätzliche Eingabegeräte (vom 3D-Scanner abgesehen). Im Folgenden wird zunächst die grundsätzliche Steuerung erklärt und anschliessend die erarbeiteten Oberflächen mit den zugehörigen Funktionalitäten vorgestellt.

6.1 STEUERUNG DER OBERFLÄCHE MIT DER HAND

Im Modell kann durch Gestensteuerung navigiert werden. Die beschriebene Steuerung wurde bereits in der Applikation „BIMx“ zur Darstellug von 3D-Modellen von Graphisoft für das Betriebssystem „iOS“ von Apple Inc. für mobile Geräte umgesetzt (http://www.graphisoft.com/products/bim-explorer/). Horizontale Fingerbewegungen erzeugen eine Drehung um die vertikale Achse, vertikale Fingerbewegungen leiten eine Drehung um die horizontale Achse ein.

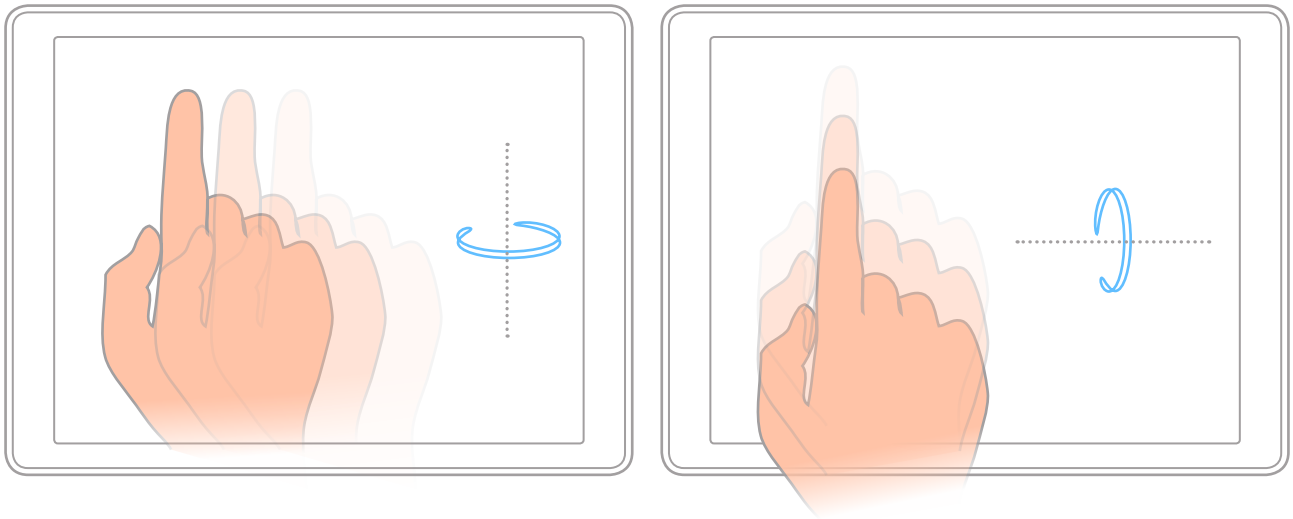


Abbildung 6-1 Drehen des Modells durch horizontale und vertikale Fingerbewegung [Eigene Darstellung]

Durch die Bewegung von zwei Fingern über den Bildschirm kann das Modell in der Ebene bewegt werden (*Panning*). Wenn nur zwei Finger auseinander oder zueinander bewegt werden, kann das Modell vergrößert oder verkleinert werden.

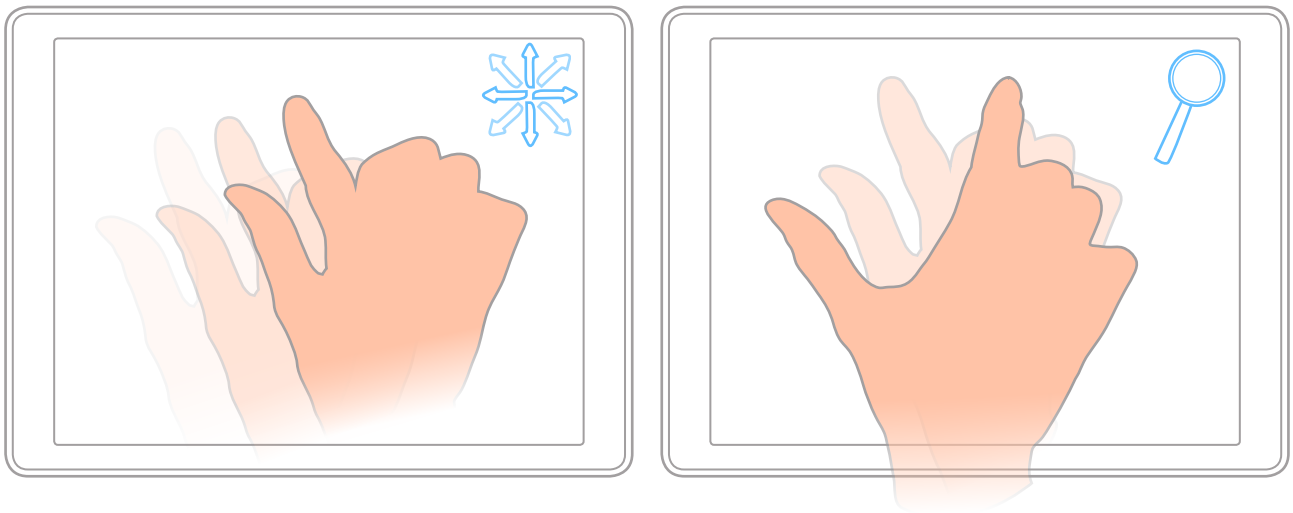


Abbildung 6-2 Pannen und Zoomen im Modell [Eigene Darstellung]

6.2 ERFASSUNG VON LEISTUNGSDATEN IN VIER SCHRITTEN

1. Das zu bearbeitende Bauteil (Objekt) kann einerseits, durch Auswahl in der 3D-Ansicht des kompletten Modells, oder andererseits durch Auswahl eines Vorgangs im Vorgangsmodell erfolgen. Zur Auswahl am Bauwerksmodell wird dieses über den ganzen Bildschirm dargestellt. Um das gewünschte Bauteil über das Vorgangsmodell auszuwählen wird der Bildschirm geteilt und sowohl Vorgänge, als auch das Modell zum gewählten Zeitpunkt dargestellt.

Abbildung 6-3 Symbole für die Wahl zwischen modellorientierter oder vorgangsorientierter Bauteilauswahl [Eigene Darstellung]

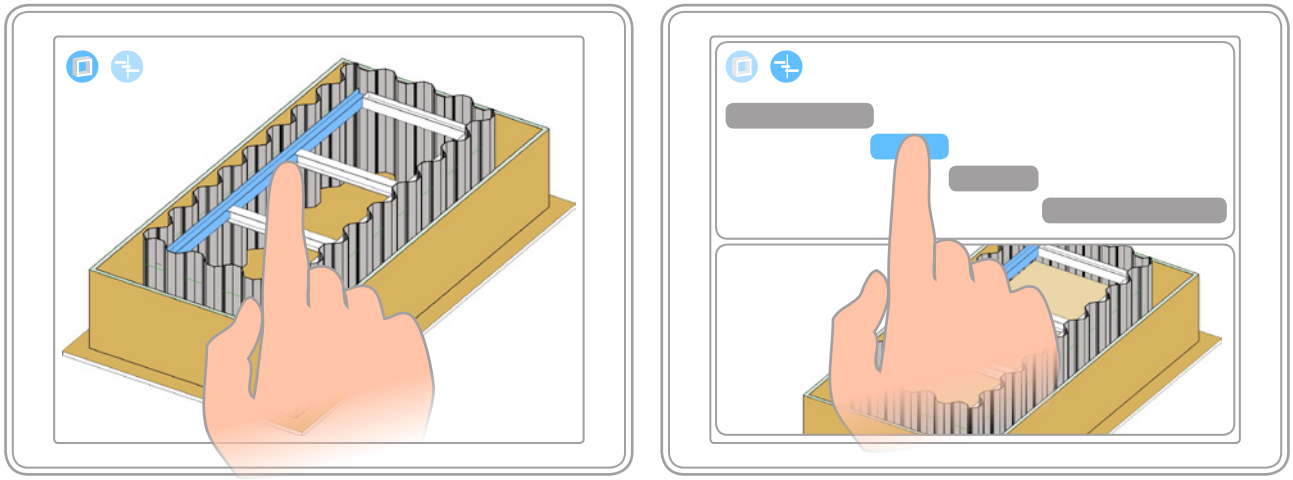


Abbildung 6-4 Zwei Möglichkeiten der Auswahl in Schritt 1 [Eigene Darstellung]

2 Nach Auswahl und Bestätigung durch doppeltes Antippen des Objekts verkleinert sich das Bauwerksmodell in ein Teilfenster. Das ausgewählte Bauteil wird isoliert mit zugehörigen Informationen dargestellt. Um die Auswahl aufzuheben wird das Bauteil in der isolierten Darstellung doppelt angetippt, um sie zu bestätigen nur einfach.

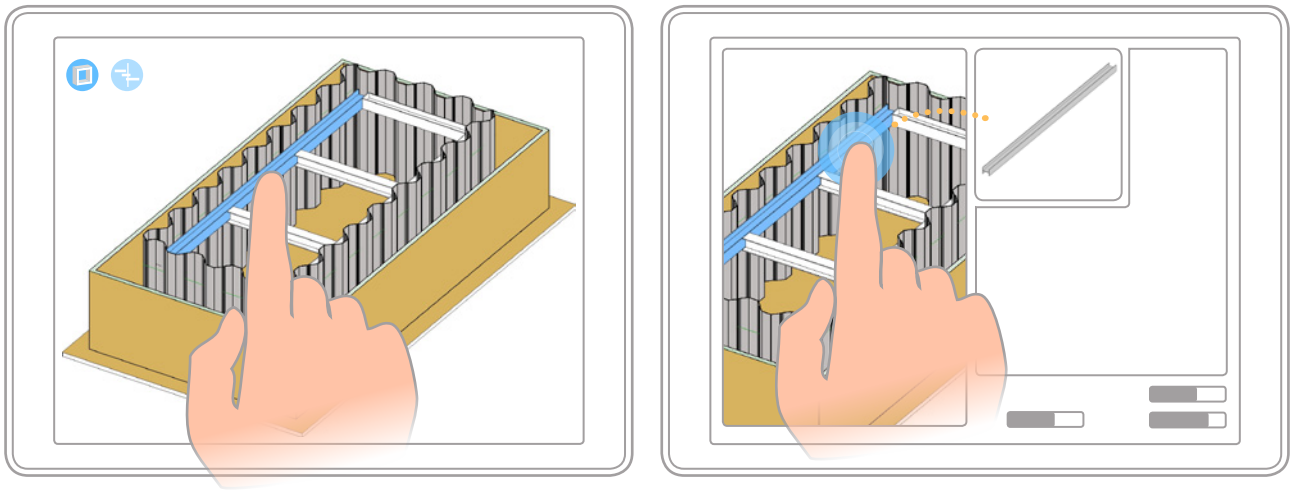


Abbildung 6-5 Schritt 1 und Schritt 2 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung]

Unter dem Informationsfenster werden folgende Kosten in einer Kurzübersicht dargestellt:

/ Die bereits abgerechnete Auftragssumme, dahinter ein Balken der den Prozentsatz gegenüber der kalkulierten Auftragssumme darstellt.
/ Das prozentuales Verhältnis bereits verbrauchter Baustellengemeinkosten (BGK), gegenüber den, in der Auftragssumme, enthaltenen BGK.
/ Das prozentuales Verhältnis der, für das Projekt benötigten, allgemeinen Geschäftskosten (AGK) gegenüber den kalkulierten AGK.

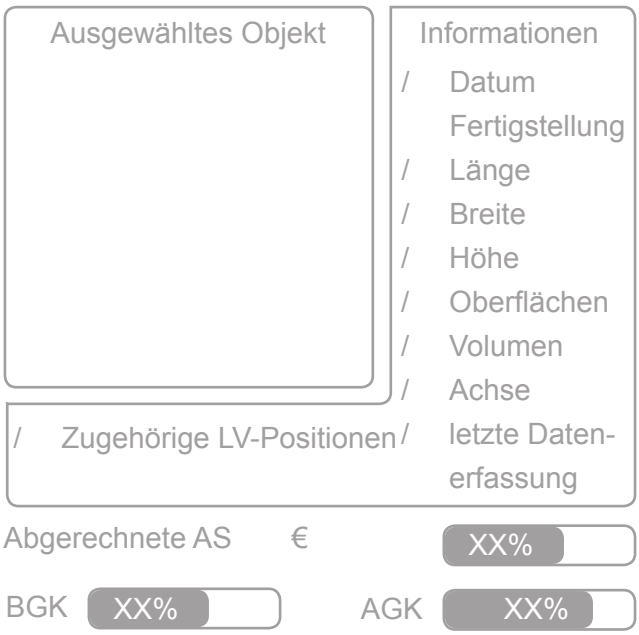


Abbildung 6-6 Informationsanzeige im Schritt 2 [Eigene Darstellung]

Diese Übersicht ermöglicht dem Bauleiter sowohl den Stand der ganzen Baustelle (durch die eingeblendeten Kostenverhältnisse) zu überblicken, als auch den Leistungsstand von einzelnen Bauteilen einzusehen (z.B. „Wann wurde das Bauteil zuletzt begutachtet?“, „Ist die Fertigstellung noch im vorgesehenen Zeitraum möglich?“ etc.). Mit Hilfe der LV-Positionen können eingebaute Materialien auf Richtigkeit kontrolliert und Mengen überprüft werden (z.B. Einbau der korrekten Bewehrungseisen).

3. Im dritten Schritt können die (vorher angelegten) Attribute ausgewählt und mit einem entsprechendem Wert versehen werden. Die fünf vorgeschlagenen Kategorien für Leistungsdaten PERSONAL, MATERIAL, GERÄTE, BAUZUSTAND und SCAN werden von Symbolen wiedergegeben und können durch Antippen ausgewählt werden. Nach Auswahl einer Kategorie erscheinen darunter die angelegten Attribute zum Eintragen oder Ändern der Werte. Zum Wechseln in eine andere Kategorie wird einfach das entsprechende Symbol berührt. Während dem Vorgang werden sowohl das isolierte Bauteil, als auch das Gesamtmodell weiterhin eingeblendet. Wenn alle gewünschten Änderungen eingegeben sind, kann der Vorgang durch berühren des Bestätigungsfeldes (blauer Haken) beendet werden. Das Programm kehrt dann wieder zu Schritt 1 zurück.

Abbildung 6-7 Symbole für PERSONAL, MATERIAL, GERÄTE, BAUZUSTAND und SCAN im dritten Schritt [Eigene Darstellung]

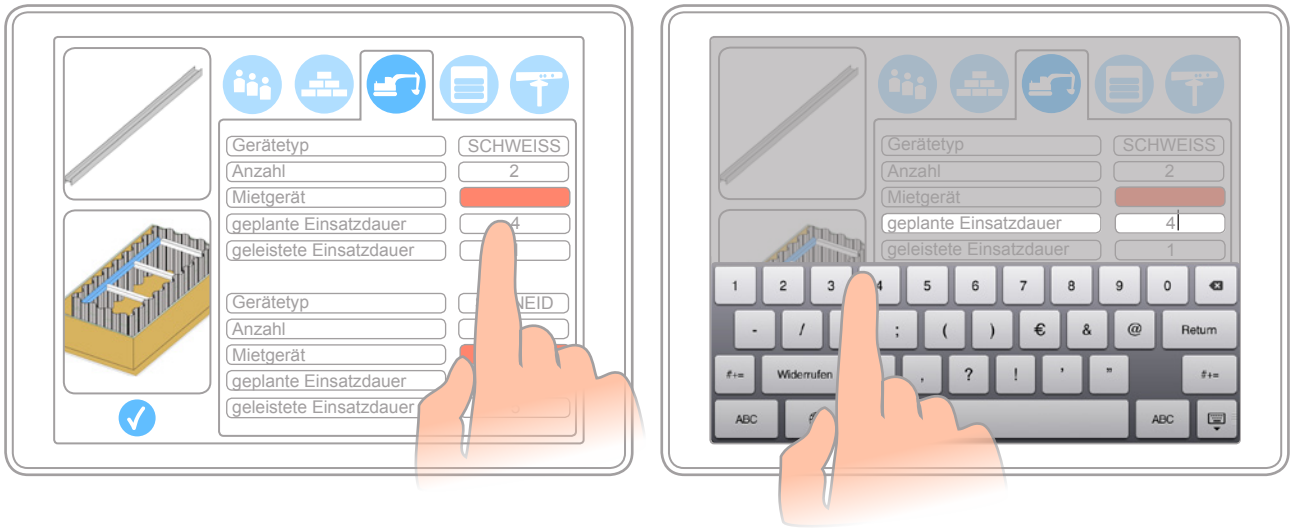


Abbildung 6-8 Schritt 3 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung, Tastatur: Apple Inc. iOS 5]

Die Ja / Nein Attribute werden durch farbige Kästchen repräsentiert, grün bedeutet „JA“ und rot „NEIN“.

Alle weiteren Attributarten (ganze Zahl, Kommazahl und Text) werden über die Bildschirmtastatur eingegeben, die erscheint sobald ein zutreffendes Feld berührt wird. Durch Scrollen (auf und ab bewegen des Bildschirminhalts mit einem Finger) werden Felder, die durch die Tastatur verdeckt werden sichtbar. Beispielhaft für den Vorgang ist die Kategorie GERÄTE in Abbildung 6-8 dargestellt.

4 Im vierten und letzten Schritt kann durch antippen des SCAN Symbols eine triangulierte 3D-Punktwolke, beispielsweise mit Hilfe einer Microsoft Kinect, vor Ort erzeugt werden. Dazu sind folgende Eingaben notwendig:

/ Die nächste Planachse zum Ausganspunkt des Scans
/ Himmelsrichtung, in die das Gerät in der Ausgansposition gerichtet ist
/ Eingabe der x y z Koordinaten des Volumenkörpers, in dem aufgezeichnet werden soll (siehe 5.1.2.2)

Zur Steuerung des Scanvorgangs sind vier Befehle nötig: Start / Pause, Reset (der aktuellen Aufzeichnung) und Ende der Aufzeichnung. Diese werden in Form von drei gängigen Symbolen wiedergegeben. Zum Durchführen des Scanvorgangs ist weiterhin die Anzeige des RGB Signals des Sensors und die (aktuell) rekonstruierte Punktwolke notwendig, ähnlich wie in Abbildung 5-11.

Abbildung 6-9 Symbole zur Steuerung des Scans [Eigene Darstellung]

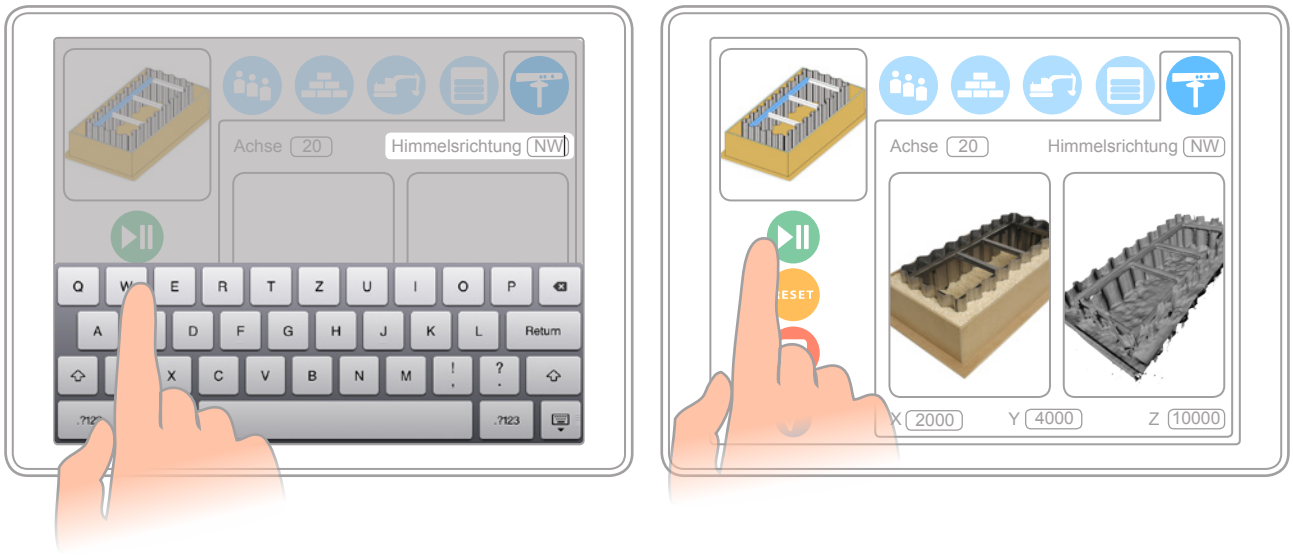


Abbildung 6-10 Schritt 4 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung, Tastatur: Apple Inc. iOS]

Mit den vorgestellten vier Schritten ist die Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle möglich. Die Daten werden dabei direkt einem ausgewählten Bauteil und den zugehörgen LV-Positionen angehängt. Damit werden einige Arbeitsschritte überflüssig und die Leistungsmeldung kann beschleunigt werden. Durch die Möglichkeit den Terminplan und das Modell zu den entsprechenden Zeitpunkten einzusehen, ist eine klare Übersicht über die Baumaßnahme (vor Ort) möglich.

Die vorgestellten Entwürfe des Baustelleninterfaces werden durch den bereits in Kapitel 4 befragten Bauleiter evaluiert. Die daraus entstehenden Verbesserungen werden im folgenden Kapitel 7 vorgestellt und erläutert.

7 OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS ZUR ERFASSUNG VON LEISTUNGSDATEN AUF DER BAUSTELLE

Der vierteilige Arbeitsablauf zur Erfassung von Leistungsdaten, sowie die vorgeschlagene Einteilung der Leistungsdaten in Kategorien wirde zusammen mit einem Bauleiter analysiert und daraufhin entsprechend optimiert. Das Verfahren wird chronologisch von Schritt 1 bis Schritt 4 durchgegangen und im einzelnen besprochen. In Schritt 3 werden auch die in 4.4 vorgeschlagenen Kategorien für Leistungsdaten diskutiert. Das zugehörige Protokoll der Evaluation befindet sich im Anhang 9.9. Die Erläuterung des optimierten Verfahrens ist ebenfalls in die vier Schritte zur Erfassung von Leistungsdaten gegliedert.

7.1 MODELL- ODER VORGANGSORIENTIERTE BAUTEILAUSWAHL

Wie bereits vorgestellt kann das Bauteil, dem Leistungsdaten zugeordnet werden sollen, vorgangs- oder modellorientiert ausgewählt werden (siehe Abbildung 6-4).

Zur Auswahl über den Vorgang bzw. über die Zeitachse kommen zwei Ergänzungen hinzu:

/ Zu einem Vorgang wird der zugehörige, kalkulierte Geldwert eingeblendet.
/ Die Kostenentwicklung der gesamten Baumaßnahme wird über die Zeitachse dargestellt. In dieser Ansicht wird die Summe, die monatlich abgerechnet werden kann, in Euro dargestellt. Die Summenanzeige wird nicht in einzelne Vorgänge aufgeschlüsselt.

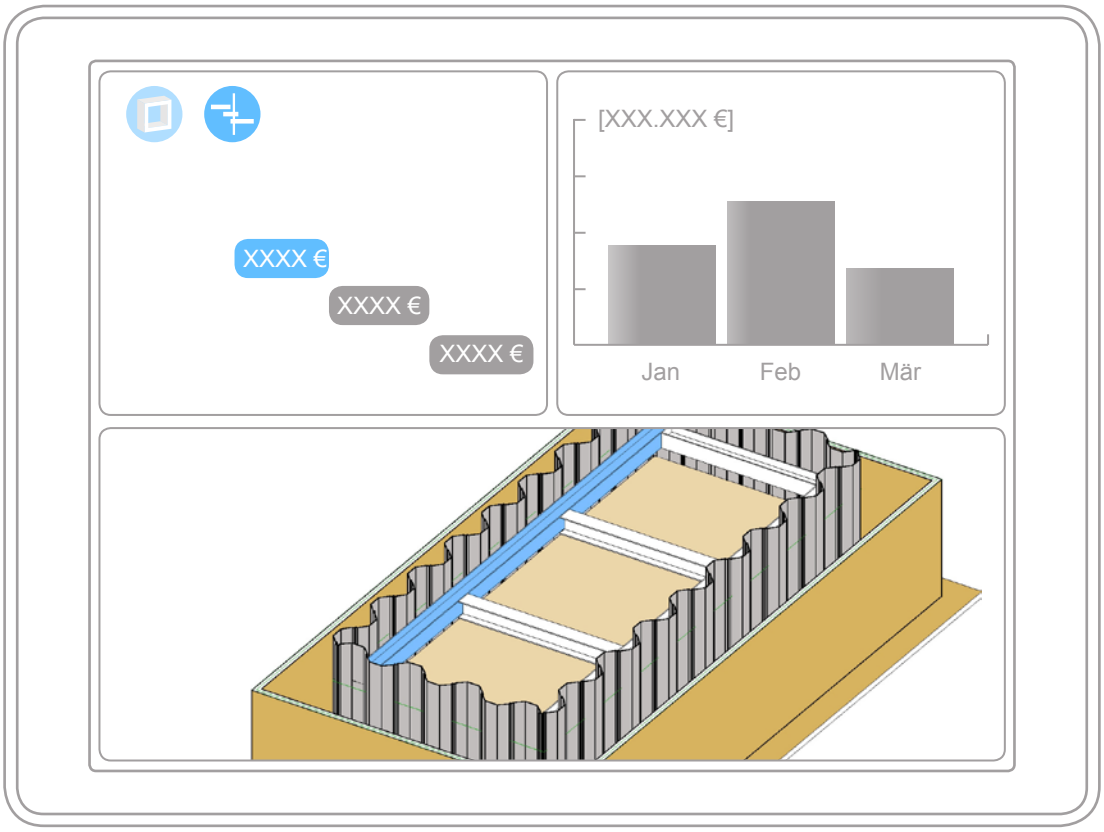


Abbildung 7-1 Vorgangsorientierte Bauteilauswahl in Schritt 1 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung]

7.2 AUSWAHL UND ANZEIGE GRUNDLEGENDER INFORMATIONEN DES BAUTEILS

Die Auflistung der zum Bauteil gehörenden LV-Positionen wurde seitens des Bauleiters, im Hinblick auf enthaltene Mengen und Textinformationen (beispielsweise um die Richtigkeit bestellter und gelieferter Materialien vor Ort prüfen zu können) als sehr sinnvoll empfunden. Die wiederholte Einblendung der Vorgänge des Vorgangsmodells ist in Schritt 2 nicht mehr notwendig, da die komplette Information hierzu bereits in Schritt 1 gegeben wird. Die eingeblendeten Geometrie- und Masseinformationen sollen bauteilabhängig sein, um nicht zu viele Informationen gleichzeitig einblenden zu müssen. Um zwei Beispiele dafür zu nennen: Für ein Betonbauteil wären Oberfläche und Volumen relevant, für einen Stahlträger hingegen wären es Länge, Trägertyp und das Gewicht. In der Kostensektion im unteren Drittel der Anzeige kommt die Restauftragssumme hinzu, um den Überblick der gesamten Kosten zu ermöglichen.

Die eingearbeiteten Verbesserungen sind in Abbildung 7-2 zusammengefasst.

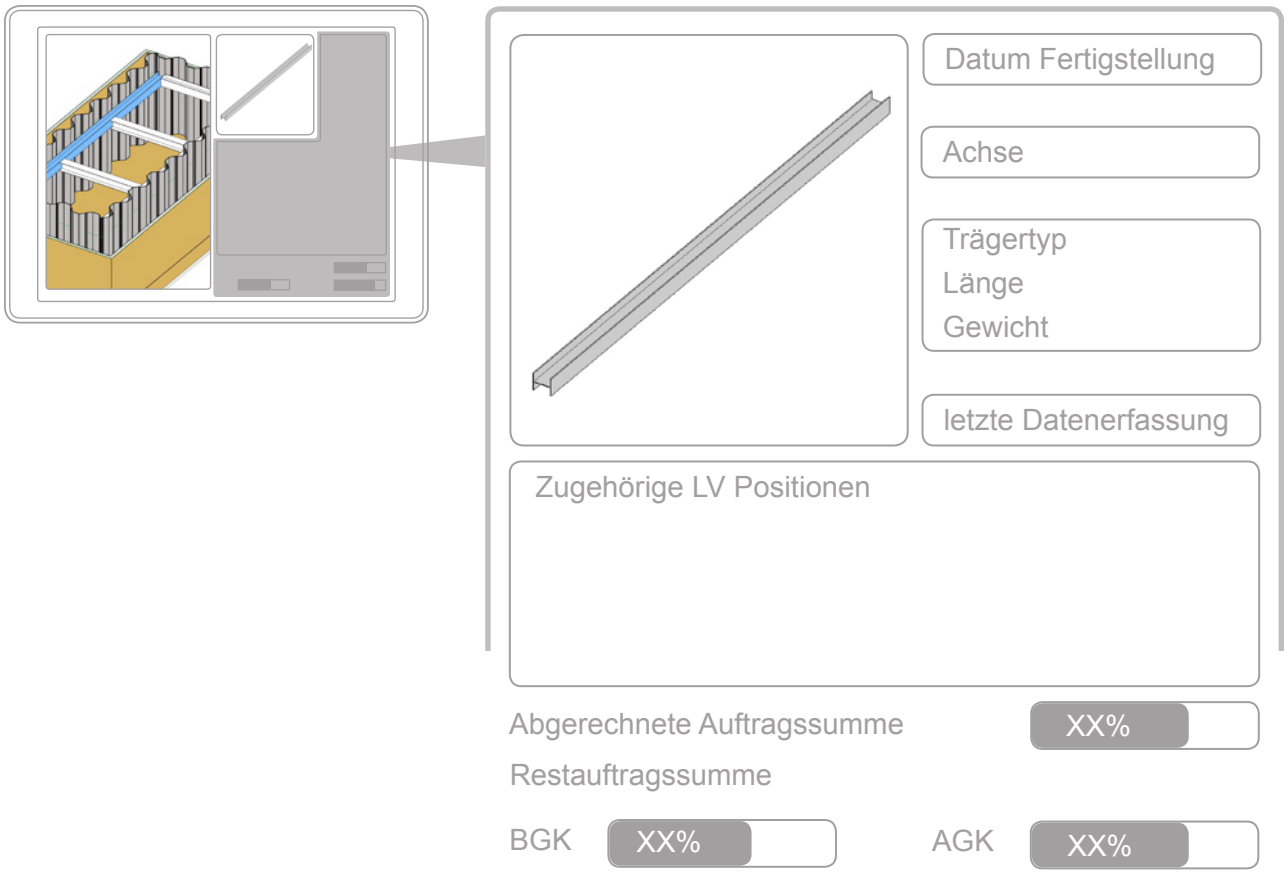


Abbildung 7-2 Eingeblendete Informationen in Schritt 2 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung]

7.3 VORGESCHLAGENE ATTRIBUTE ZUR ERFASSUNG VON LEISTUNGSDATEN

Die Änderungen, der in 4.4 vorgeschlagenen Attribute zur Erfassung von Leistungsdaten, sind der Abbildung 7-3 zu entnehmen. In dieser Abbildung wurde auch die, zu den Attributen gehörende, Semantik vermerkt.

Anzahl Poliere	Ganze Zahl
Anzahl Vorarbeiter	Ganze Zahl
Anzahl Facharbeiter	Ganze Zahl
Anzahl Hilfsarbeiter	Ganze Zahl
voraussichtlich benötigte Arbeitszeit (kalkuliert)	Kommazahl
voraussichtlich benötigte Arbeitszeit (geschätzt)	Kommazahl
benötigte Arbeitszeit	Kommazahl

Lieferschein: bestellt	Ja / Nein
Lieferschein: geliefert	Ja / Nein
Lieferschein: richtiges Produkt?	Ja / Nein
Zustand	Text
Lieferdatum	Text
Standort	Text

Gerätetyp	Text
Anzahl	Ganze Zahl
Mietgerät	Ja / Nein
geplante Einsatzdauer	Ganze Zahl
geleistete Einsatzdauer	Ganze Zahl
Vorhaltezeit [Tage]	Ganze Zahl
Freimeldung	Ja / Nein
Zustand	Text
Getankt?	Ja / Nein

Himmelsrichtung der Blickrichtung am Ausgangspunkt	Text
GPS Koordinaten Ausgangspunkt	Text
X, Y, Z Koordinaten des Volumenkörpers	Text
Dateipfad der erzeugten Scandatei	Text

ALLGEMEIN	
Fertiggestellt	Ja / Nein
Nacharbeiten nötig?	Ja / Nein
Für Restarbeiten benötigte Arbeitsszeit	Ganze Zahl
z.B. BETONBAU	
vorbereitet	Ja / Nein
geschalt	Ja / Nein
bewehrt	Ja / Nein
betoniert	Ja / Nein
nachbehandelt	Ja / Nein
Mängel beseitigt	Ja / Nein
z.B. TIEFBAU	
Verbau hergestellt	Ja / Nein
Gurtung eingebaut	Ja / Nein
Anker gesetzt	Ja / Nein
Wasserhaltung installiert	Ja / Nein
Baugrube ausgehoben	Ja / Nein
Baugrubensohle hergestellt	Ja / Nein

Abbildung 7-3 Attribute zur Erfassung von Leistungsdaten [Eigene Darstellung]

7.4 AUFNAHME EINER 3D-PUNKTWOLKE VOM BAUZUSTAND DES AUSGEWÄHLTEN OBJEKTS

Im vierten Schritt der Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle, wurde die zum Ausgangspunkt nächste Achse durch GPS Koordinaten ersetzt. Diese Koordinaten können von einem GPS Empfänger im verwendeten mobilen Gerät geliefert werden. Sie definieren ausreichend präzise den Ausganspunkt eines Scans.

Im besten Fall sollten die Koordinaten des aufzunehmenden Volumenkörpers schon bei der Planung des Bauteils eingetragen werden, um Fehler zu minimieren und um den Zeitaufwand vor Ort zu reduzieren.

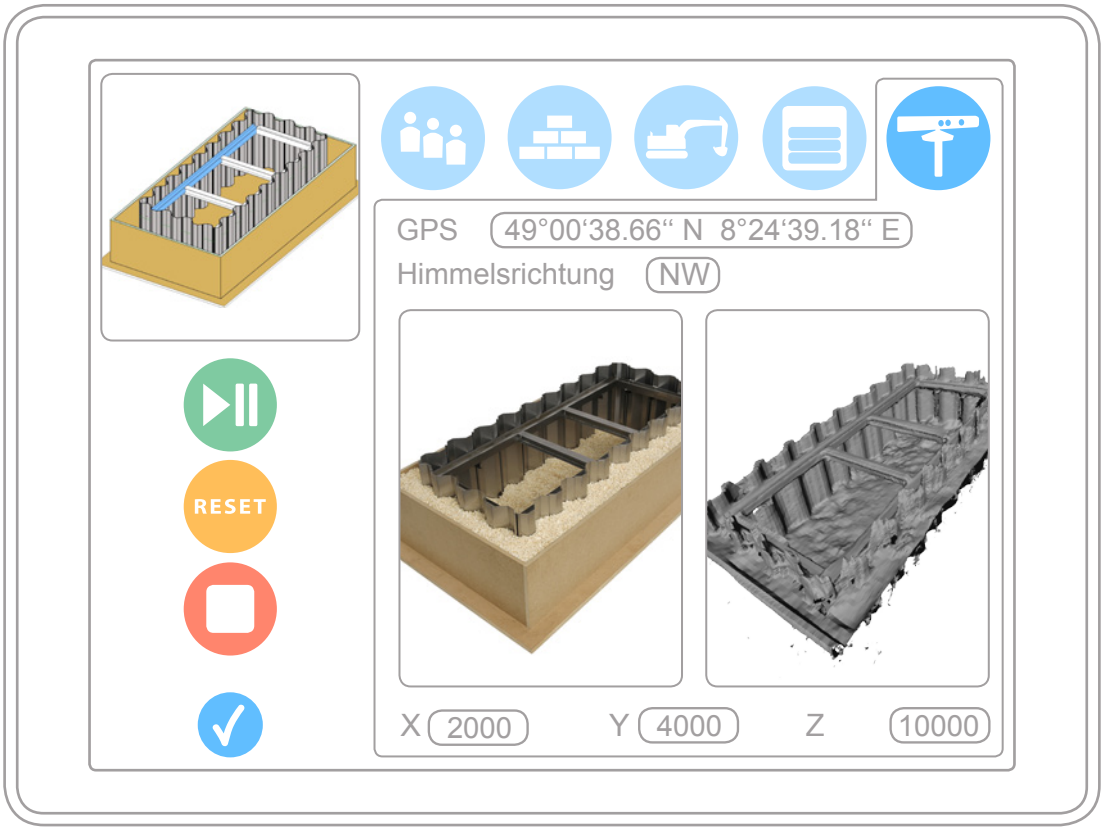


Abbildung 7-4 Aufnehmen von 3D-Daten des aktuellen Bauzustandes in Schritt 4 der Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung]

Die erfolgreiche Dateneingabe wird unten links, mit dem blauen Haken, bestätigt und Schritt 1 wird wieder angezeigt. Dieser kann letztendlich nicht nur zur Bauteilauswahl verwendet werden, sondern auch zur Übersicht über den Baublauf und der zugehörigen Kostenentwicklung.

Durch die direkte Verknüpfung der Leistungsdaten mit dem zugehörigen Bauteil, ist eine effiziente Datenerfassung für den Bauleiter vor Ort möglich. Die Aufbereitung gesammelter Lieferscheine, Notizen und Aufmaßblätter entfällt und es kann wertvolle Arbeitszeit gespart werden. Der einfach durchzuführende Scan-Prozess ermöglicht die Mitnahme von Geometrieinformationen des aktuellen Bauzustands der Baustelle an den Arbeitsplatz im Büro.

8 FAZIT UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde ein Konzept vorgestellt, das laufende Baumaßnahmen und ihr virtuelles Abbild im 5D Prozess verknüpft. Dadurch werden schnelle Rückschlüsse für den Bauablauf, die finanzielle Entwicklung der Baustelle und den Ressourceneinsatz im Unternehmen möglich. Die schnelle und effiziente Erfassung von Leistungsdaten, sowie deren regelmäßige Bereitstellung, ist für die Aktualität des Modells zur Verwendung in der Ausführungsphase eines Bauwerks unbedingt notwendig.

Um sich dieser Problematik zu nähern, wurde zunächst theoretisch an die modellorientierte Arbeitsweise und ihre Bestandteile herangeführt. Aufgrund der Wahl eines Brückenbauwerks als Beispielprojekt, wurde genauer auf den Modellierungsprozess von Brücken eingegangen. Exemplarisch wurden zwei Brückenpfeiler mit der Modellierungssoftware Autodesk Revit Structure 2012 erstellt.

Auf Grundlage des gewählten Projekts wurde die konventionelle Leistungsmeldung analysiert. Daraus ergab sich, für welche Anwendungen Soll- bzw. Ist-Daten verwendet werden und wie Leistungsdaten bisher erfasst werden. Es wurde deutlich, dass ein großer Teil der zur Datenerfassung benötigten Arbeitszeit daraus besteht, die Daten in unterschiedliche Dokumente einzupflegen. Als geeigneter Informationsträger für Leistungsdaten im 5D Prozess wurde das Bauteil, anstatt einzelner LV-Positionen (wie bisher) ausgewählt. So können klare Schlüsse aus den eingesetzten Ressourcen für die zukünftige Erstellung von Bauteilen einer Art gezogen werden.

Des Weiteren wurde untersucht, welche Werkzeuge sich zur digitalen Erfassung von Leistungsdaten eignen. Bereits im Modellierungsprozess erstellte Attribute (eines Objekts) können die Leistungsdaten eines gewählten Bauteils beinhalten. Die Erstellung dieser Attribute wurde in Autodesk Revit Structure 2012 und in einer, von Revit exportierten, IFC2x3 Datei vorgenommen. Mit beiden Werkzeugen konnten die Attribute erfolgreich in RIB iTWO übertragen werden. Die Attributswerte konnten in RIB iTWO 3.0 jedoch nur sehr umständlich geändert werden (durch Überschreiben der Attribute mit sich selbst). An dieser Stelle besteht noch Entwicklungsbedarf. Nur wenn die Änderung von Attributswerten in der Software vorgesehen ist, kann die Erfassung von Leistungsdaten über Attribute sinnvoll sein.
An einem physikalischen Modell wurde die Erzeugung von 3D-Modellen der Bauzustände während unterschiedlicher Phasen der Ausführung eines Bauwerks untersucht. Durch triangulierte Punktwolken konnten Oberflächen mit hoher Genauigkeit erfasst werden. Die durchschnittliche Abweichung der Maßgenauigkeit bei 55 durchgeführten Distanzmessungen beträgt 3 %. Zur Erstellung der Punktwolken wurde ein sehr kostengünstiges und einfach zu bedienendes System verwendet. Aufgrund der technischen Einschränkungen des Geräts beträgt die maximale Reichweite zur Aufzeichnung von 3D-Punktwolken ca. 6 m. Bauteile, die das technisch mögliche Aufzeichnungsvolumen übersteigen, können laut Softwarehersteller aus mehreren erzeugten Punktwolken automatisch zusammengesetzt werden [ReconstructMe Volume Stitching, 2012]. Zur Untersuchung dieser Funktion gab es aufgrund der Größe des Baugrubenmodells keine Notwendigkeit. Für diese kostengünstige 3D-Vermessung wurden Anwendungsmöglichkeiten im Bauwesen vorgeschlagen.

Ein Baustelleninterface wurde konzipiert, das die mobile Erfassung von Leistungs- und 3D-Vermessungsdaten ermöglicht. Weiterhin sind zur Auswahl des Bauteils, an dem Daten erfasst werden sollen, Vorgangs- und Bauwerksmodell, sowie die Kostenentwicklung der Baustelle einsehbar. Mit Hilfe von diesem Interface werden einerseits die Modelldaten auf dem Baufeld nutzbar und andererseits wird die Erfassung der Leistungsdaten stark vereinfacht. Durch den Bauteilbezug, der durch Fingertippen auf das betreffende Bauteil hergestellt wird, ist keine weitere manuelle Zuordnung von Daten, z.B. zu einzelnen LV-Positionen nötig. Somit kann die Effizienz der Datenerfassung gesteigert werden.

Um das Konzept möglichst praxistauglich zu gestalten, wurden die Funktionen durch einen Bauleiter evaluiert. Ergebnis der Evaluation ist die Optimierung des Baustelleninterfaces. Es konnte eine aussagekräftige Kurzübersicht der laufenden Baustelle und der zugehörigen Kostenentwicklung mit der Erfassung von Leistungsdaten verbunden werden. Das vorgestellte Werkzeug für den 5D-Prozess, hilft dabei den Soll-Zustand des Modells, mit dem Ist-Zustand vor Ort abzugleichen. Zur Realisierung des vorgestellten Konzepts müsste weiterführend untersucht werden, welche Geräte sich zur Ausführung einer solchen Applikation eignen und wie die Software programmiert werden kann.

Die Präzision von 3D-Daten, erzeugt mit kostengünstigen Geräten, wie der Microsoft Kinect, wird in Zukunft weiter zunehmen. Die Erkennung von Kanten und Flächen mit Hilfe von Algorithmen, wird dabei helfen aus vermaschten 3D-Punktwolken automatisiert Objekte für objektorientierte, parametrische Modelle zu erzeugen. Daraus entsteht die Möglichkeit, Modelle für ausgewählte Zeitpunkte zu generieren, die vollständig der Realität entsprechen. Diese könnten den Nachweis der erbrachten Leistungen liefern. Bei Erzeugung der 3D-Daten durch unabhängige Dritte, wäre die Abnahme durch den Bauherrn anhand solcher Modelle (insofern die erforderliche Präzision gegeben ist) denkbar. Somit würden Bauwerksmodelle mehrere Zustandsmodelle beinhalten, die dem Baufortschritt am Aufnahmetag entsprechen. Mengenorientierte Soll-Ist Abgleiche könnten durch computergesteuerte Vergleiche der Bauteilgeometrien von Zustands- und Bauwerksmodell erfolgen. Weiterhin könnten Bauteile die falsch hergestellt wurden, bzw. nicht der Planung entsprechen, maschinell erkannt und gemeldet werden. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich folglich in der Entwicklung von Algorithmen, die Kanten und Flächen aus 3D-Dreiecksnetzen ermitteln können. Im Ausblick auf eine modellorientierte Abnahme durch realitätsgetreue 3D-Modelle müssen die Anforderungen der Bauherrn an ein solches Verfahren ermittelt werden. Diese Anforderungen sind damit abzugleichen, was für den Auftragnehmer technisch zumutbar ist. Eine Datenstruktur für Bauwerksmodelle, die ebenfalls die genannten Zustandsmodelle enthalten kann, muss aus den bestehenden Strukturen für objektorientierte Modelle (z.B. Multi-Modell-Container) entwickelt werden.

Mit zunehmender Vereinfachung des konsistenten Aufbau des Modells verringert sich dessen Pflegeaufwand und die Wertschöpfung des modellorientierten Bauprozesses kann deutlich gesteigert werden. Trotz vieler Vorteile von Building Information Modeling gibt es derzeit deutliche Hemmnisse in dessen konsequenter Umsetzung in die Praxis. Zentrale Gründe dafür sind die mangelnde Ausbildung, fehlende Rechtsgrundlagen im Vertragswesen und ungelöste technische Fragestellungen (z.B. Datenaustauschformate). [von Both, Kindsvater, 2012]

9 ANHANG

9.1 CPI AUSGABEPROTOKOLL

```
[1]   [Start]   [5:20:54 PM]   RIB iTWO CPI Export started [3/1/2012]
[1]   [Info]    [5:20:54 PM]   Plugin name [Revit2012, 3.0.374.0-2011.12.15, CPI V1.4]
[1]   [Info]    [5:20:54 PM]   Assembly directory [C:\Program Files\Autodesk\Revit
Structure 2012\Program\Plugins\CPIExport20]
[1]   [Info]    [5:20:54 PM]   Log file name [C:\Users\frueh\AppData\Local\Temp\
CPIExport.log]
[1]   [Info]    [5:20:54 PM]   Log file version [1.0]
[2]   [Start]   [5:21:00 PM]   Initializing dialog started
[2]   [End]     [5:21:05 PM]   Initializing dialog finished - Elapsed time
[00:00:04.929]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   ####### Exporting CPI data #######
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Export settings:
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   default config file [C:\Program Files\Autodesk\Revit
Structure 2012\Program\Plugins\CPIExport20\RIB.Visual.PlugIn.Revit2012.DefaultConfig.
xml]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Namespace [Modellierung_ReinheimBW4_Pfeiler010312.rvt]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Process uplift [true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Translation vector used [x: 0cm; y: 0cm; z: 0cm]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Export triangulation of polygons [true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Export visible categories only [false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Check whether element is hidden in view by elements
[false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Check whether element is hidden in view by categories
[true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Check whether element is hidden in view by workset
[false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Export different material face as a surface object
[false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Export room objects [true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Use fully qualified attribute names [true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Use fully qualified attribute names for duplicate
attributes only [true]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Complex object option [false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Enable add by reference [false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   Reduce LOH fragmentation [false]
[1]   [Info]    [5:25:31 PM]   ------------------------------------------------------
---------------
[1]   [Warning] [5:25:31 PM]   In order to export the value of volume attribute for
space, the VolumeCalculation option is enabled. That is to check option „Areas and
Volumes“, which is under the tab page „Computations“ of „Area and Volume Computations“
dialog box.
[3]   [Start]   [5:25:31 PM]   Exporting data started
[3]   [Info]    [5:25:31 PM]   Result file name [C:\Users\frueh\Documents\NF_
Diplomarbeit\Modellierung\Modellierung_CPI\Modellierung_ReinheimBW4_Pfeiler010312.
cpixml]
[4]   [Start]   [5:25:31 PM]   Exported levels started
```

```
[4]   [Info]    [5:25:31 PM]   5ee4d483-0caf-44e0-99c6-837398422d9e-00000553 / Level 1
[5]   [Start]   [5:25:34 PM]   Uplift started
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Reading transformation file [C:\Users\frueh\AppData\
Local\Temp\CPIPlugin_TempUpLift.xml]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculate topology [False] with contact/intersect
precision and unit [0.15]/[-0.15] [mm]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculate Openings [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Add statistical values [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculate optOBB [True] with precision [1E-08]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculate optOBBxy [True] with precision [1E-08]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculate missing tesselations [True] with precision
and unit [0.5] [cm]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Validate closed shells for components with cpi
component type [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Disjoin solids [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Add gravity center to openings [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Property mapping [True]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   -----------------------------------
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Running multi-threaded. Number of threads: 2
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   -----------------------------------
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Processing cpi file []
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   -----------------------------------
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Parsing cpi properties
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Property mapping started [2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Property mapping finished [2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Tessellation and/or disjoin solids in the background
started [2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Tessellation and/or disjoin solids in the background
finished [2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Number of objects to check: [131]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Validation of geometry in the background started [2012-
03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Validation of geometry in the background finished [2012-
03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Processing cpi file []
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   -----------------------------------
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Various uplift tasks in the background started [2012-
03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Various uplift tasks in the background finished [2012-
03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Adding statistical values in the background started
[2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Adding statistical values in the background finished
[2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Processing cpi file []
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   -----------------------------------
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculation of openings in the background started
[2012-03-01T17:25:34]
[5]   [Info]    [5:25:35 PM]   Calculation of openings in the background finished
```

```
[2012-03-01T17:25:35]
[5]   [End]     [5:25:35 PM]   Uplift finished - Elapsed time [00:00:01.177]
[4]   [Info]    [5:25:35 PM]   Write CPI file [C:\Users\frueh\Documents\NF_
Diplomarbeit\Modellierung\Modellierung_CPI\Modellierung_ReinheimBW4_Pfeiler010312.
cpitmp]
[4]   [End]     [5:25:35 PM]   Exported levels finished - Elapsed time [00:00:04.99]
[3]   [End]     [5:25:36 PM]   Exporting data finished - Elapsed time [00:00:04.595]
[1]   [Info]    [5:25:36 PM]   Anzahl der doppelten Attribute: 0
```

9.2 MUSTER „VEREINBARUNG ZUR BAUABRECHNUNG“ AUS HVA-S-STB

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 1)

Bezeichnung der Bauleistung:

----------	----------
----------	----------

Vereinbarung zur Bauabrechnung

AG:	Vertrags-Nr. (AG)
AN:	Projekt-Nr. (AN)

1. Datenübergabe vom AG an den AN (Haftungsansprüche sind ausgeschlossen.)							**Termine/ Bemer-kungen**
Auftrags-Leistungsverzeichnis	☐ GAEB 90						
Ausführungs-/Entwurfsunterlagen							
Übergabe als ☐ vollständiges CARD/1-Projekt							
	Format						
	DA	dxf	dwg	pdf	OKSTRA	(sonstige)	
Pläne/Verzeichnisse							
Lagepläne	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Höhenpläne	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Regelquerschnitte	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Querprofile	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Längsprofile	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Achsen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Gradienten	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Aufweitungen	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Planumsbuch, Deckenbuch	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Lagefestpunktverzeichnisse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Höhenfestpunktverzeichnisse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Geländeaufnahmen							
Urgelände	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Querprofile	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Bauwerke	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Sonstige							
2. Vermessung							

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 1

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 2)

Übergabe-Termine	
Sicherung der Festpunkte/Grenzsteine	
Koordinaten-/Höhensystem	
Sonstiges	

3. Abrechnung mit IT-Anlagen

REB-VB GAEB-VB	Erstberechnungs-programm	Aufsteller	Format der Datenübergabe

4. Vorgesehene Abrechnung wesentlicher Positionen
(Standard ist die Soll-Abrechnung nach DIN 18299, Abschnitt 5.)

Termine/ Bemer-kungen

Teilleistung	Leistungserfassung		Mengenberechnung nach REB-VB/GAEB-VB			
Bereich, Abschnitt oder Position (OZ)	nach Soll: Aus-führungs-unterlagen	nach Ist: Aufmaß-methode	Quer-profile	Prismen, DGM	Allgemeine Mengen-berechnung	Sonstige/ frei vereinbarte
	(beschreiben)		VB	VB	VB	

5. Berechungsabschnitte

Aufteilung in Berechungsabschnitte siehe Anlage

Stationsintervall Hauptstrecke
Nebenstrecke
Weitere Intervalle siehe Anlage

Festlegung der Abrechnungsgrenzen siehe Anlage

6. Kostenteilung ☐ siehe Anlage

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 2

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 3)

Aufteilung nach Kostenträgern	☐ gemäß Bauvertrag		☐ zusätzliche Leistung (besondere Vereinbarung erforderlich)		
7. Aufmaßverfahren					
Aufmaßunterlagen					
Allgemeine Aufmaße (Längen, Flächen etc.)	☐	Aufmaßblätter			
	☐	Ausdruck digitaler Aufmaße			
	☐				
Aufmaßhorizonte	**Messverfahren**				
	Nivellement	Tachymeter	GPS	(sonstige)	
Urgelände	☐	☐	☐	☐	
nach Oberbodenabtrag	☐	☐	☐	☐	
Boden-/Felshorizonte	☐	☐	☐	☐	
Abtrag außerhalb Sollprofil	☐	☐	☐	☐	
Planum	☐	☐		☐	
Oberbauschichten	☐	☐		☐	
Sonstiges (siehe auch Anlage 4)	☐	☐	☐	☐	

							Termine/ Bemer-kungen
8. Nachweise der Dicken, Massen, Höhen etc.							
Konstruktions-schicht/OZ	**Schnur-messung**	**Nivellement**	**Tachymeter**	**Elektromagn. Messung**	**Wiegescheine**		
	☐	☐	☐	☐	☐		
	☐	☐	☐	☐	☐		
	☐	☐	☐	☐	☐		
	☐	☐	☐	☐	☐		
Höhenanschluss Bauwerk Nr.:							
Sonstige Höhen:							

9. Übergabe vom AN an den AG				
Mengenberechnungen	**Allg. Mengenberechnung**		**... Profil-/Prismen**	
Anzahl der Exemplare (Papierform):	1 - fach		1 - fach	
Rückgabeexemplar für AN (zusätzlich):	☐ Ja	☐ Nein	☐ Ja	☐ Nein
Datenübergabe nach Fertigstellung Teilleistung:	☐ Ja	☐ Nein	☐ Ja	☐ Nein
Datenübergabe zu Abschlagsrechnungen:	☐ Ja	☐ Nein	☐ Ja	☐ Nein
Die Datenübergabe erfolgt 6 Werktage vor jeder Abschlagsrechnung.				
Datenübergabe nur zur Schlussrechnung:	☐ Ja	☐ Nein	☐ Ja	☐ Nein
Abrechungspläne				
Anzahl und Form: Übergabe 1-fach				
Bestandspläne ☐ dxf ☐ dwg ☐ pdf ☐ OKSTRA ☐ CARD/1-Projekt ☐				
Übergabetermin Freistellungsbescheinigungen				
Sonstiges				

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 3

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 4)

10. Zuständigkeiten	**Auftraggeber**	**Auftragnehmer**
Vermessung	Name Telefon Telefax E-Mail	Name Telefon Telefax E-Mail
Aufmaße	Name Telefon Telefax E-Mail	Name Telefon Telefax E-Mail
Abrechnung/Prüfung	Name Telefon Telefax E-Mail	Name Telefon Telefax E-Mail

11. Festlegung zur Adressierung (REB-VB 23.003)

11.1 ☐ Grundlage für die Blattadressen der Mengenermittlung sind die Aufmaßblattnummern (Papier).

11.2 ☐ Die Blattadressen werden wie folgt vergeben:

11.3 Reserviert für den AN

	Bezeichnung	**Blätter**	**Zeilen**	**Bemerkung**
11.3.1				
11.3.2				
11.3.3				
11.3.4				
11.3.5				
11.3.6				
11.3.7				
11.3.8				

11.4 Reserviert für den AG

	Bezeichnung	**Blätter**	**Zeilen**	**Bemerkung**
11.4.1				
11.4.2				
11.4.3				
11.4.4				

11.5 Behandlung von vorläufigen Mengen (Schätzwerte)

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 4

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 5)

11.6 Korrekturen
11.7 Sonstiges

12. Toleranzregelungen	
12.1 ☐	Es gelten die ZVB/E - StB, Nr. 109.5, sowie
12.2 ☐	Es gelten die ZVB/E - StB, Nr. 109.6. Folgende Toleranzregelungen werden vereinbart:

Position/OZ/Bereich	Toleranzregel

13. Weitere Vereinbarungen

14. Unterschriften	
Auftraggeber	**Auftragnehmer**
Name	Name

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 5

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 6)

Unterschrift	Unterschrift
Datum	Datum
Anlagen	
Verteiler: ☐ AN ☐ AG ☐ BÜ ☐ ☐ ☐	

Hinweise:

Siehe ZVB/E Nr. 109.

Dieses Muster bildet nicht alle Fälle möglicher Abrechnungen ab. Bei Notwendigkeit sind weitere Vereinbarungen als Anlagen beizufügen bzw. ist das Muster anzupassen (Erweiterung der Tabellen etc.).

Zu 1.: Unter der Rubrik Ausführungs-/Entwurfsunterlagen ist das Format der zu übergebenden Daten festzulegen. Bei Plänen können dies z. B. sein: *.dxf, *.dwg, *.pdf.

Profile können z. B. in den Formaten DA66 oder im OKSTRA-Format übergeben werden.

Bei den sonstigen Unterlagen sind als Datenarten die DA040, DA002, das OKSTRA-Format usw. möglich. Geländeaufnahmen können in Form der DA001, DA045, DA058, DA054, DA066, dem OKSTRA-Format etc. übergeben werden. Für weitere Koordinaten sind z. B. die DA001 und das OKSTRA-Format möglich.

Zu 3.: In den REB-VB der zu vereinbarenden Verfahren sind die zu übergebenden Datenarten benannt.

Zu 11.: Wenn zwischen AG und AN die Daten der Allgemeinen Mengenberechnung über die Schnittstelle DA11 ausgetauscht werden, ist eine genaue Vereinbarung zur Übergabe und Übernahme der Daten erforderlich (sh. auch Dokumentation des Abrechnungsprogrammes). Insbesondere dann, wenn die Daten mit jeder Abschlagsrechnung des AN – also kumuliert – auszutauschen sind, kommt es darauf an, Datenkonflikte zu vermeiden.

Insbesondere sind festzulegen:

<u>Adressen:</u>

Grundlage für die Adressierung der Rechenansätze in der DA11 sind Blatt-/Zeilennummern. Die Blattnummern sollten der Nummerierung der Aufmaßblätter (Papier) folgen. Damit werden Ansätze auch ohne diesbezügliche Kommentare zuordenbar. Werden Ansätze aus Abrechnungsunterlagen (Ausführungspläne, Abrechnungspläne etc.) erfasst, ist die Vereinbarung eines dafür gesondert zu verwendenden Adressbereiches sinnvoll.

Bei Überschreitung der maximalen Anzahl der (Ansatz-)Zeilen eines Blattes sollte das Aufmaßblatt (Papier) mit einer Doppelnummer (z. B. 292/293) versehen werden.

Jeder Vertragspartner bekommt seinen Adressbereich zugewiesen, um Datenkonflikte zu vermeiden.

Jeder Ansatz (Zeile) ist von der Abschlags- bis zur Schlussrechnung nur einmal zu verwenden. Änderungen in bereits eingereichten Zeilen werden also nicht erneut eingelesen und sind somit nur durch Korrekturzeilen möglich.

<u>Korrekturen durch den AG:</u>

Werden bei der Prüfung der Mengenberechnung Fehler in der Abrechnung des AN festgestellt, können diese durch den AG im jeweiligen Rechenansatz korrigiert werden.

Sind zur Korrektur der Mengenberechnung zusätzliche Zeilen notwendig, müssen diese durch den AG in dem für ihn reservierten Adressbereich erfolgen.

Im Abrechnungsprogramm können Ansatzzeilen mit Korrekturen noch mit weiteren Attributen versehen und nach diesen gefiltert werden. Hierzu eignet sich das Feld „z.b.V.“, in welches bei Korrekturen ein Kennzeichen „K“ eingetragen werden kann. Dem Vertragspartner werden die Korrekturen mitgeteilt.

Muster 3.3 – 1

Vereinbarung zur Bauabrechnung (Seite 7)

Sollten völlig falsche Berechnungen durch den AN aufgestellt worden sein, ist auch die einvernehmliche Löschung der zugehörigen Ansatzzeilen möglich.

Korrekturen durch den AN:

Hier gilt das Vorgenannte sinngemäß.

Vorläufige Mengen (Schätzmengen):

Diese Mengen müssen einen gesonderten Adressbereich erhalten, der mit jeder Rechnung neu eingelesen wird. Bei der Prüfung von Mengenberechnungen des jeweils folgenden Abrechnungszeitraumes ist eine genaue Kontrolle notwendig, um Doppelabrechnungen zu vermeiden.

Die Festlegung eines zusätzlichen Adressbereiches für Schätzmengen ist bei Anwendung der REB-VB 23.003, Fassung 2009 nicht unbedingt erforderlich. Hier wird mit einem gesonderten Kennzeichen „S“ für die Schätzmengen gearbeitet.

Abrechnung mit Arbeitsgemeinschaften (ARGE):

Der AN klärt, welcher ARGE-Partner die Daten aller Mitglieder der ARGE in eine *.d11-Datei zusammenführt. Jedem ARGE-Partner ist sein Adressbereich zuzuweisen.

HVA B-StB Vereinbarung Bauabrechnung 04-10 Seite 7

Abbildung 9-1 Vereinbarungen zur Bauabrechnung [HVA-S-Stb, 2010, 3.3 S. 5ff]

9.3 FRAGEBOGEN ZUR ANALYSE DER FÜR DIE LEISTUNGSMELDUNG RELEVANTEN DATEN

Voraussetzung für eine modellbasierte Leistungsmeldung ist ein Modell, das den Zustand der Baustelle am Stichtag repräsentiert. Wie das Modell aktuell gehalten wird ist nicht Thema dieser Arbeit und muss vorausgesetzt werden.

AUFMASS (UND MENGEN)

1. Wie wurde das rechnerische Aufmaß gemacht und wie lange hat es gedauert?
   Aus dem Absteckplan (Teil der Ausführungsplanung des Auftragnehmers) wurde die Achse in Stratis (Achsdatenbank) übertragen. Anschliessend wurde eine Punktdatenbank erstellt. Beides wurde im Stratis Zeichenkern zusammengefügt. Anhand dieses Grundrisses wurde die Stationierung der Querprofile gewählt. Die Stationsnummern wurden händisch in den "Abrechnungsplan" eingetragen. Aus den Querprofilen wurden nach REB 21.003 "Massenberechnung aus Querprofilen (Elling)" die Betonvolumina (LV Positionen enthalten auch Schalung) errechnet.

   Dauer: 5 Arbeitstage

   Vorteil: Genauigkeit; Aufwand lohnt sich bei gekrümmten Geometrien um die korrekte Menge zu erfassen.

   Der Bauherr prüft die Mengen durch Einlesen des Austauschformats REB 21.003 ins eigene Prüfprogramm, das nochmal die gleiche Mengenberechnung durchführt.

2. Wie wurde vor Ort gemessen und wie lange hat es gedauert?
   Beim Betonbau wurde mit Soll-Mengen (Handbuch für Vergabe und Ausschreibung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau, Kapitel 3.2 Abrechnung) gerechnet und nicht mit Ist-Mengen. Also ohne Aufmaß.

   Für den Erdbau wurde vor Baubeginn ein Urgelände erstellt und nach Abschluss der Maßnahme wurde erneut vermessen.

3. Welche Toleranzen können zugelassen werden/sind praktikabel?
   Die zulässige Toleranz hängt vom Preis der Leistung ab. Beispielsweise bei Betonarbeiten mit einem Preis von 800 €/m3 muss die Toleranz so gering wie möglich gehalten werden. Bei einer Bodenanfüllung hingegen mit einem Preis von 30 €/m3 kann es durchaus eine Toleranz geben.

4. Welchen Nutzen erkennen Sie in einem Aufmaßsystem auf Basis eines tragbaren optischen Sensors zum aufmessen in Verbindung mit einem mobilen Computer zur Dokumentation und Weiterverarbeitung der Daten?
   Für die interne Leistungsmeldung wird großes Potential gesehen durch eine bessere und schnellere Übersicht der eigenen Kosten.

   Herausforderung Abrechnung: Wie werden am Stichtag noch nicht vorhandene, jedoch abgerechnete Leistungen ermittelt (Differenz LE-RE)?
   Das heißt monatliche Berichtszeiträume sind dafür zu lange, wöchentlich?

   Weiterverarbeitung der Daten: Beispiel Lieferscheine, müssen direkt erfasst werden können, allerdings ist die Produktivität bei einer Weiterverarbeitung im Büro sicherlich höher.

DATENERFASSUNG

5. Wie wurde die benötigte Arbeitszeit und die Kolonnenstärke bisher erfasst und dokumentiert?
   Sammelstundenliste (nicht positionsbezogen) pro Monat in der die Leistung in Stunden pro Tag [h/d] erfasst wird. Diese Liste wird wöchentlich intern rückgemeldet.

   Eine Stundenerfassung pro Gruppenstufe des LV's, also bauteilorientiert, wäre auf Grund besserer Zuordnung von Stunden zu einem Bauteil hilfreich.

6. Wie wurde der Materialbedarf bisher erfasst und dokumentiert?
   Postitions- oder gruppenbezogene Liste (je nach Leistung) in der Bestell-, Soll- und Ist-Menge erfasst wird. Farbige Zuordnung der Zustände "bestellt", "geliefert" und "bezahlt".

7. Wie wurde das Aufmaß vor Ort bisher dokumentiert?
   Siehe 2.

8. Welche Daten sind für die Leistungsmeldung relevant?
   / Mengen
   / Arbeitszeiten Personal und Geräte
   / Restmengen ("Was ist noch zu machen?")
   / Rückstellungen
   / Mehr- und Mindermengen

LEISTUNGSMELDUNG

9. Wie wurde die Leistungsmeldung erstellt? Wo kamen welche Informationen her und wie wurden sie zusammengestellt? (Excel Tabelle, AVA Software, etc.)
   Erfassung des Vorgriffs durch Excel Tabelle mit folgenden Spalten:
   LV-Position, Masse, Einheit, Stunden kalkuliert, Rechnungsmenge
   EP, Summe, Stunden Summe
   Leistungsmenge mit Vergleich LE - RE, Summe
   Anschliessend Eintrag in Leistungsmeldungs-Formular

10. Ist ein Monat als Berichtszeitraum ist für die Leistungsmeldung sinnvoll? Wären kürzere Berichtszeiträume wünschenswert?
    Für die interne Verwendung ja
    Zur Abrechnung mit dem Bauherr sollte so aktuell wie möglich gemeldet werden um Differenzen zwischen LE und RE zu verhindern.

11. Welche Rolle spielen Mängel und Behinderungen bei der Leistungsmeldung?
    Spielt für die Leistungsmeldung als losgelösten Vorgang aktuell keine Rolle. Für die Betriebsrechnung allerdings ist sehr wichtig über Mängel und Behinderungen informiert zu sein.
    Zur modellorientierten Leistunsmeldung mit dem Vorgangsmodell im Hintergrund müssen Mängel und Behinderungen abgebildet werden um Einfluss auf die Zeitplanung nehmen zu können.

12. Wieviel Zeit steht Ihnen zur Leistungsmeldung zur Verfügung?
    Die Leistungsmeldung muss neben dem Tagesgeschäft erledigt werden. Daher ist jede Erleichterung für den Bauleiter für diesen Vorgang willkommen. Die Bestandsaufnahme stellte sich als elementarer Teil der Leistungsmeldung heraus und sollte in einer mobilen Lösung berücksichtigt werden.

13. Wo sehen Sie Schwächen beim aktuellen Vorgehen?
    Die Aktualität ist wegen des geringen Zeitbudgets (“Für die Abrechnung ist keine Zeit neben dem Bauvorgang”) nicht gewährleistet
    Trennung von Leistungsmeldung und Rechnungsstellung
    Häufiger Mehraufwand durch Bearbeitung verschiedener Tabellen für ähnliche Vorgänge.

KONZEPT „MODELLORIENTIERTE LEISTUNGSMELDUNG“

14. Welche Funktionen müsste ein Baustellen-Front-End der modellbasierten Arbeitsweise, speziell zur Unterstützung bei der Leistungsmeldung bereit halten?
    - / Modell
    - / Was wurde abgerechnet - Rechnungsstand
    - / Was wurde gebaut - Leistungsstand
    - / Darstellung des Fertigstellungsgrads
    - / Darstellung des Rechnungsstands

15. Welche Informationen muss ein Bauteil (Gruppenelement des LV) bereit halten?
    - / Bauzustand (geschalt, bewehrt, betoniert ausgeschalt, nachbehandelt, Mängel beseitigt) = Farbe
    - / Materialbedarf
    - / Gerätebedarf
    - / Personalbedarf
    - / Fotodokumentation

16. Farben oder Symbole als Darstellungsmittel?
    Visualisierungen am Modell = Farbe
    Veranschaulichung der Alphanumerik = Symbole

17. Wie lange dürfte der Vorgang (Leistungsmeldung) maximal dauern um praktikabel zu sein?
    circa fünf Minuten

18. Für welche Arbeiten würde sich ein günstiges und einfach zu bedienendes Aufmaßsystem eignen?
    Bestandsaufnahme
    Um Bauzustände darzustellen
    Aufmaß für Aushub und Abbruch

Auf den folgenden Seiten ist schemenhaft der Bildschirm eines mobilen Gerätes abgebildet um gemeinsam Vorschläge zum Konzept der modellbasierten Leistungsmeldung zu diskutieren.

Abbildung 9-2 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung

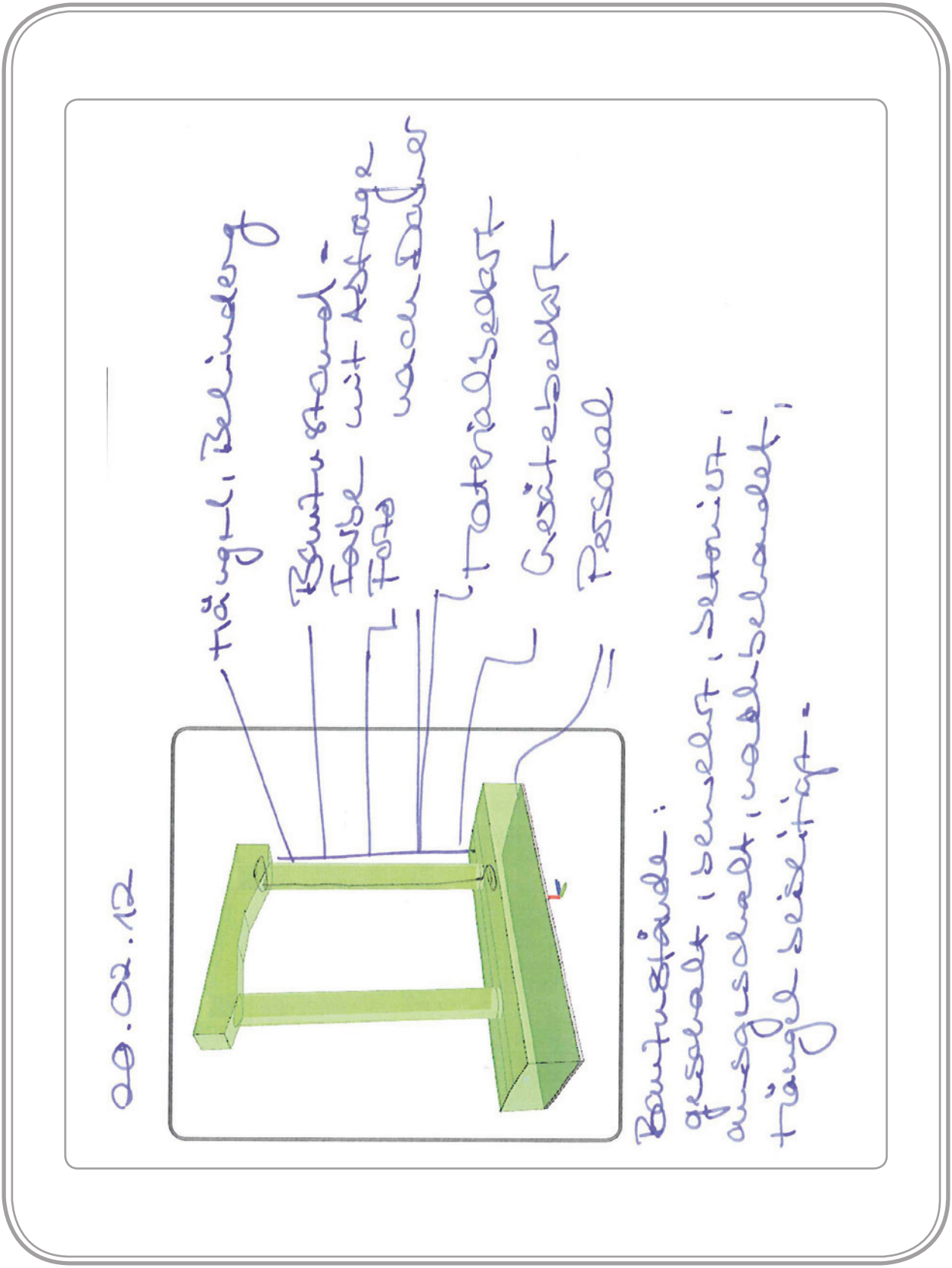


Abbildung 9-3 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung

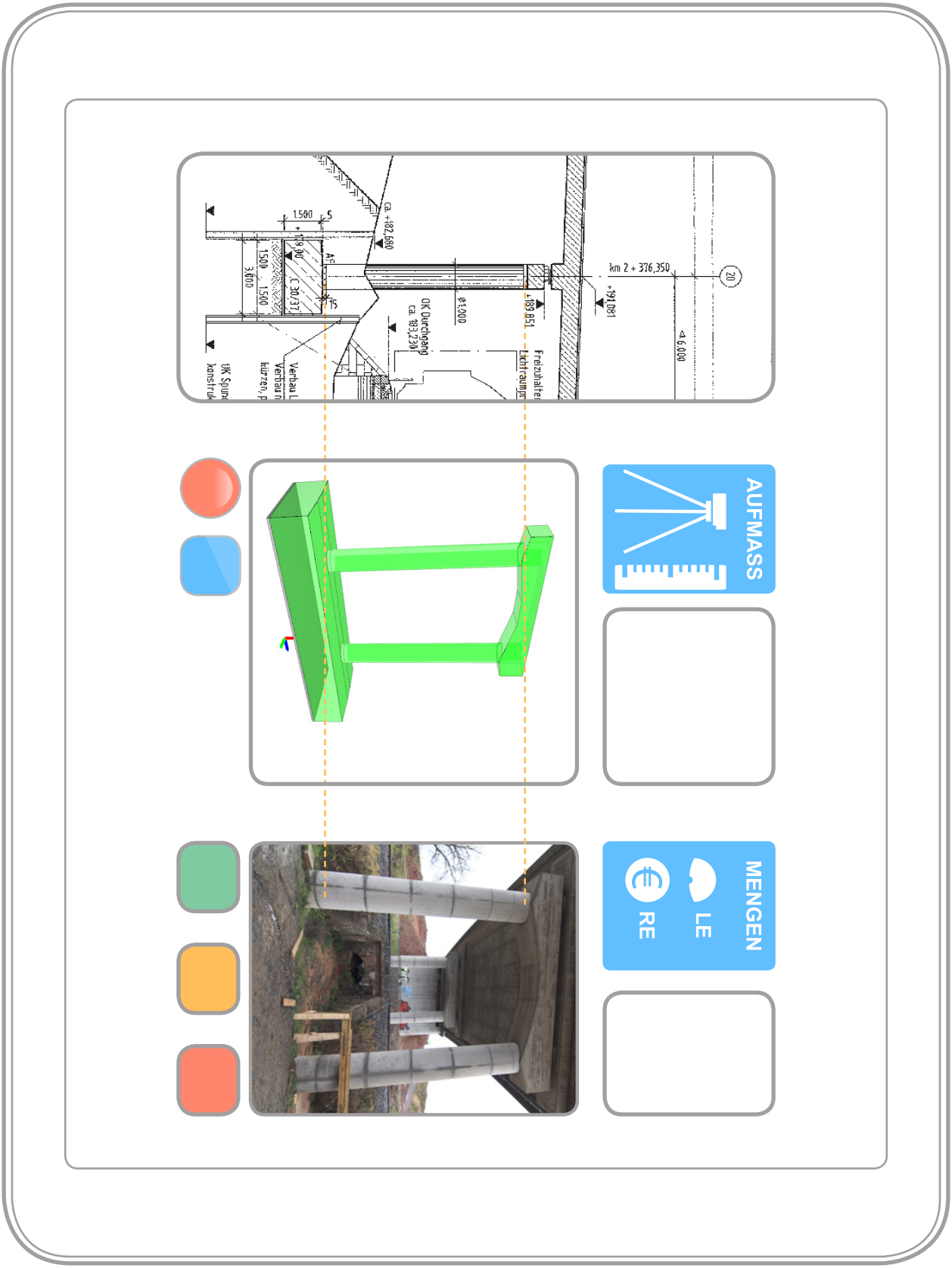


Abbildung 9-4 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung

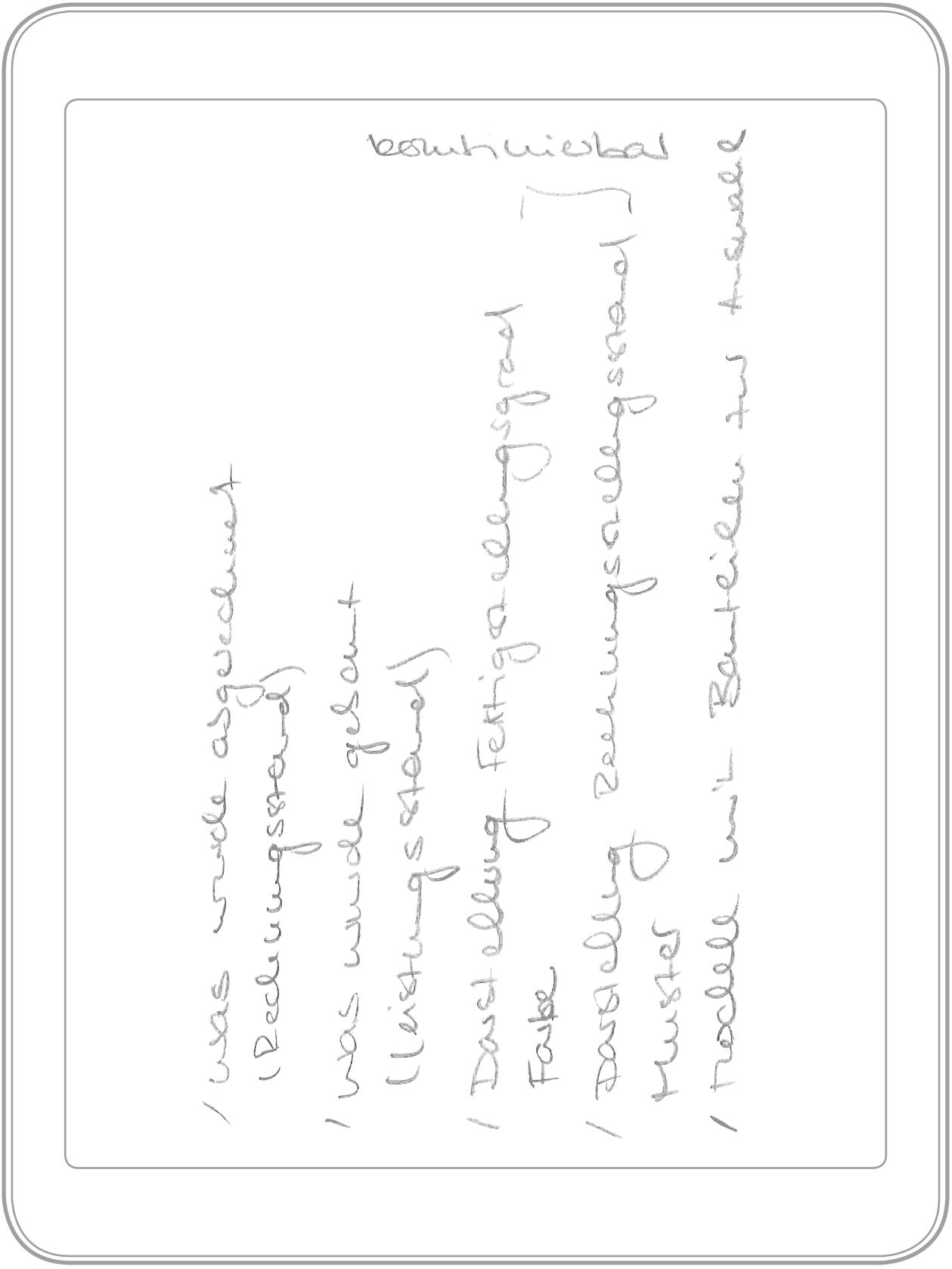
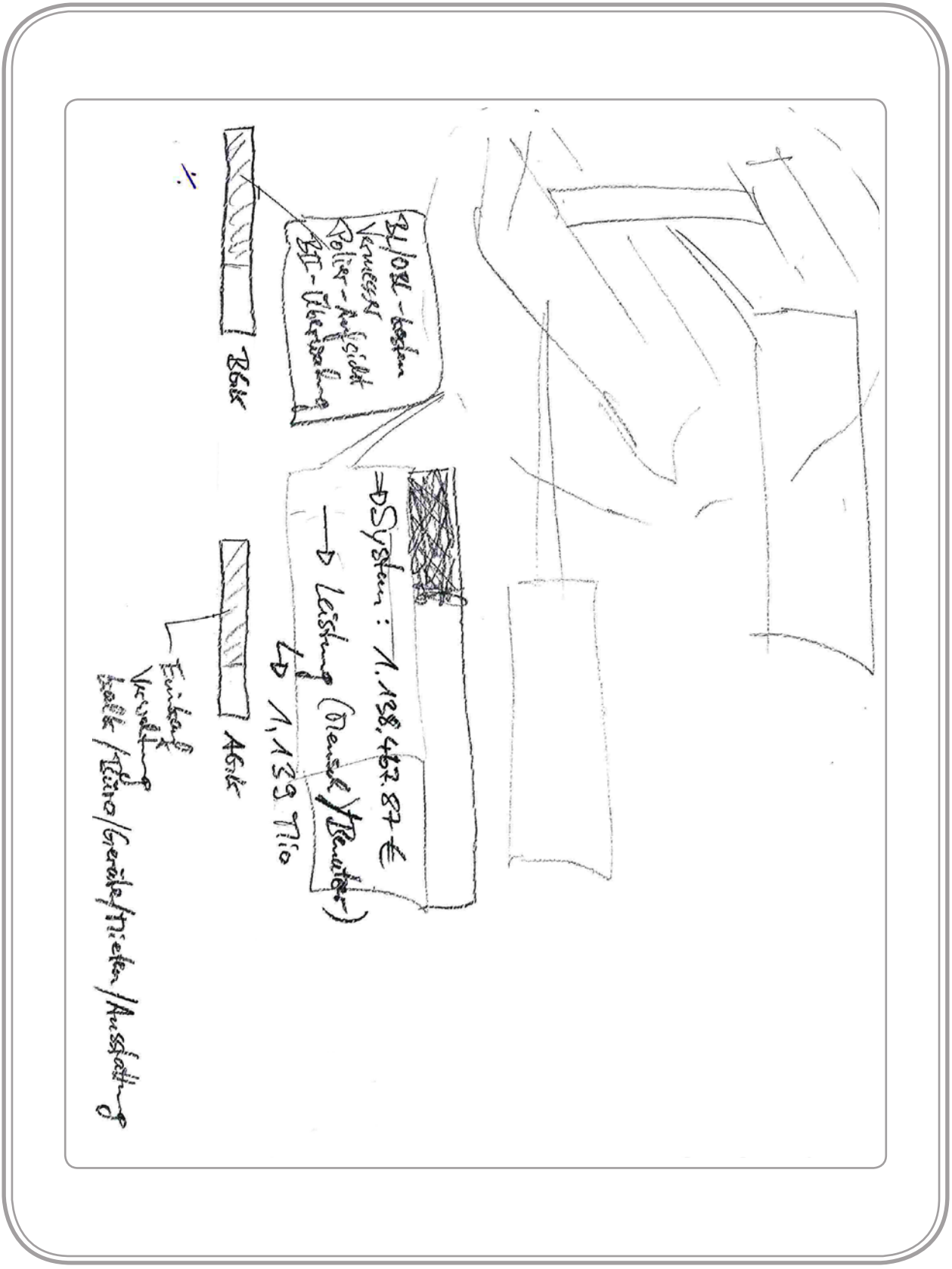


Abbildung 9-5 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung



9.4 VERBAUPLAN DES PFEILERFUNDAMENTS

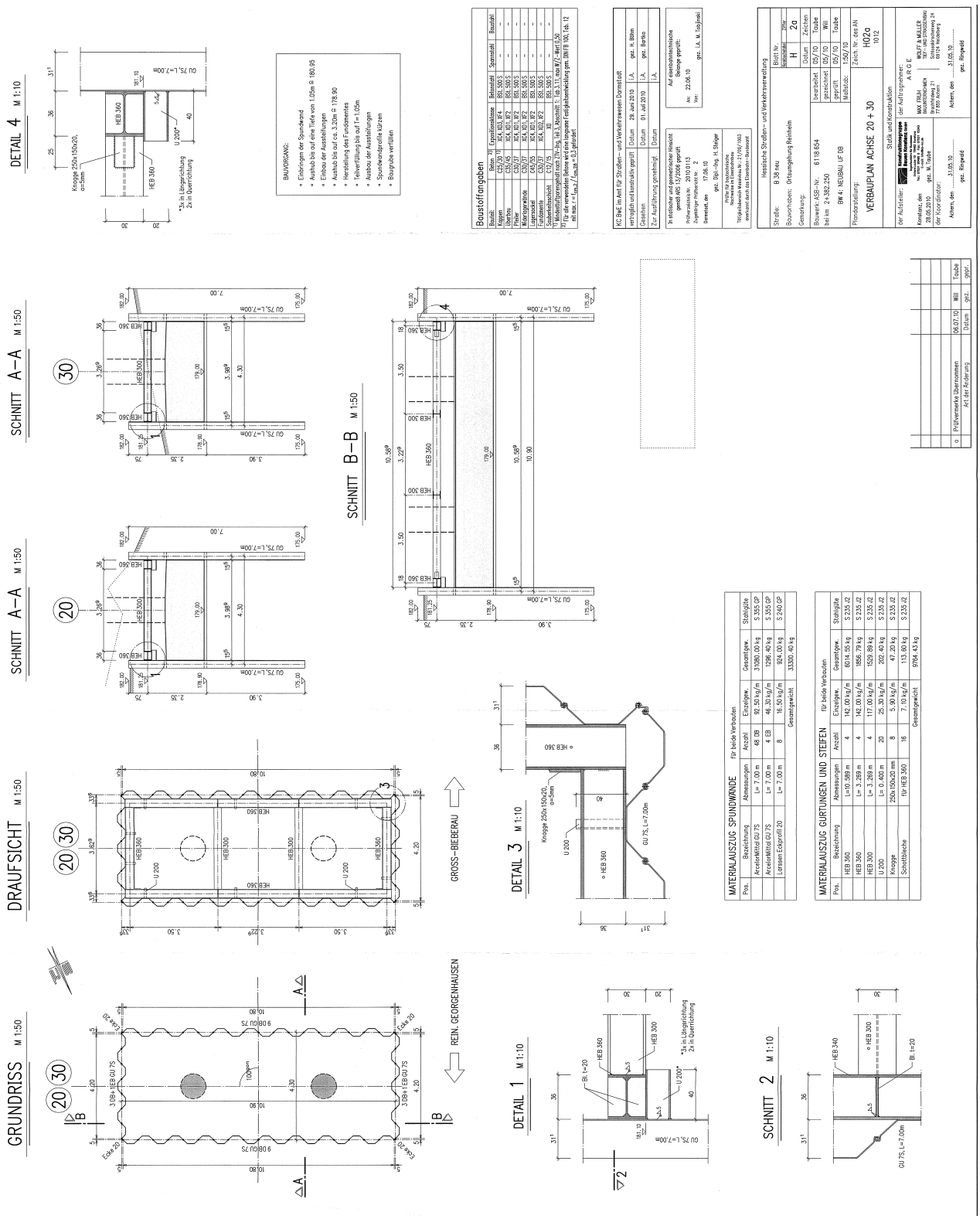


Abbildung 9-6 Verbauplan Pfeilerfundament, nicht maßstäblich [Max Früh GmbH & Co. KG]

9.5 NICHT VERWENDETE SCANS DER MODELLVERSUCHE

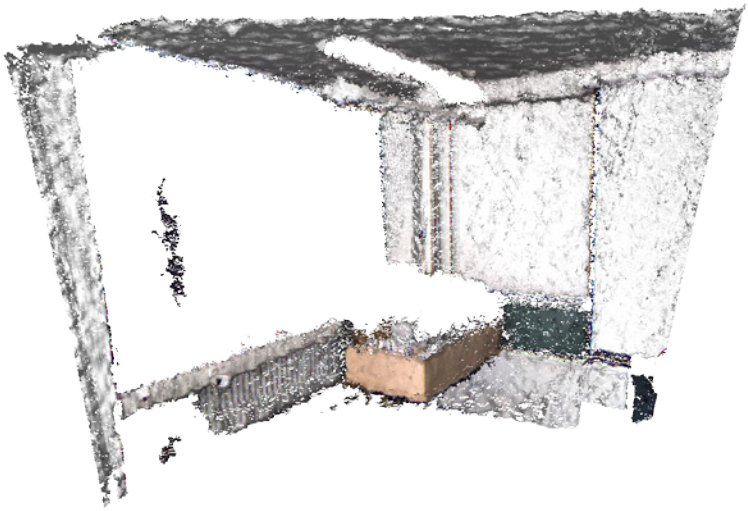


Abbildung 9-7 skanect Ergebnis im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung]

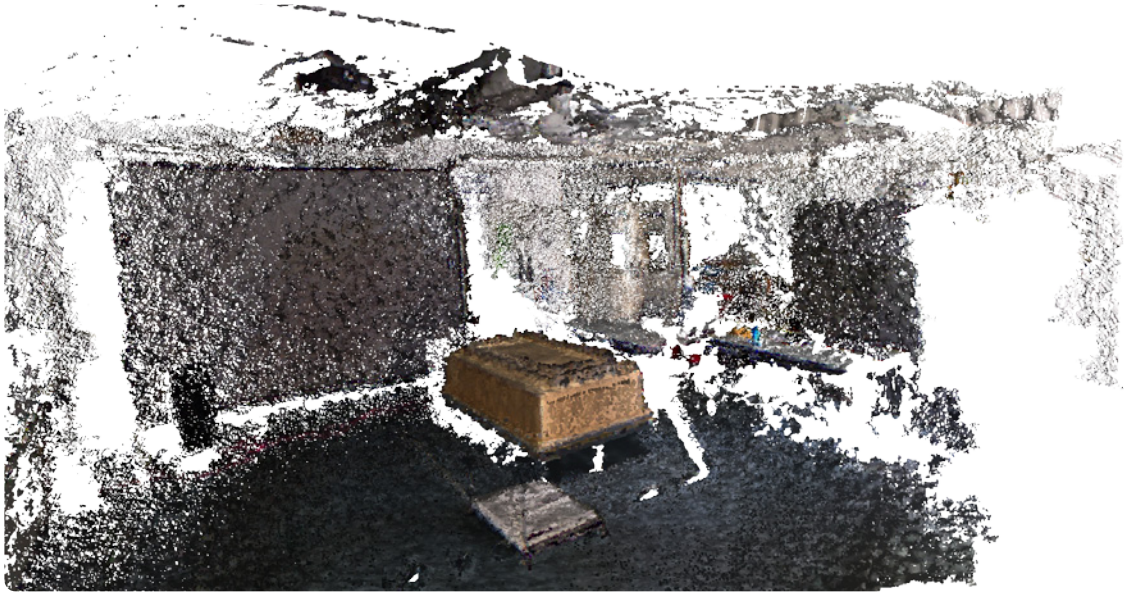


Abbildung 9-8 skanect Ergebnis im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung]

9.6 VOLLSTÄNDIGE ERGEBNISSE DER VERMESSUNG DER RECONSTRUCTME 3D-MODELLE

			Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
BZ 1, Versuch 1	Kasten	Länge	1229	1208	21	1.7%
		Breite	643	630	13	2.0%
		Höhe	234	235	1	0.5%
	Verbau	Länge	1030	1043	14	1.3%
		Breite	413	400	13	3.1%
		Diagonale	1121	1138	17	1.5%
BZ 1, Versuch 2	Kasten	Länge	1235	1208	27	2.2%
		Breite	639	630	9	1.4%
		Höhe	-			
	Verbau	Länge	1030	1043	14	1.3%
		Breite	403	400	3	0.7%
		Diagonale	1131	1138	7	0.6%
BZ 1, Versuch 3	Kasten	Länge	-			
		Breite	640	630	10	1.6%
		Höhe	244	235	9	3.7%
	Verbau	Länge	1077	1043	34	3.2%
		Breite	411	400	11	2.7%
		Diagonale	1159	1138	21	1.8%
BZ 1, Versuch 4	Kasten	Länge	-			
		Breite	644	630	14	2.2%
		Höhe	236	235	1	0.4%
	Verbau	Länge	1077	1043	34	3.2%
		Breite	400	400	0	0.0%
		Diagonale	1159	1138	21	1.8%

			Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
BZ 2, Versuch 1	Kasten	Länge	-			
		Breite	630	630	0	0.0%
	Verbau	Länge	1051	1043	8	0.8%
		Breite	407	400	7	1.7%
		Diagonale	1121	1138	17	1.5%
	Aussteifung	Abstand 1	342	338	4	1.2%
		Abstand 2	319	330	11	3.4%
		Höhe HEB 300	305	300	5	1.6%
BZ 2, Versuch 2	Kasten	Länge	-			
		Breite	641	630	11	1.7%
	Verbau	Länge	1035	1043	8	0.8%
		Breite	408	400	8	2.0%
		Diagonale	1102	1138	36	3.3%
	Aussteifung	Abstand 1	-			
		Abstand 2	322	330	8	2.5%
		Höhe HEB 300	333	300	33	9.9%
BZ 2, Versuch 3	Kasten	Länge	-			
		Breite	-			
	Verbau	Länge	1072	1043	29	2.7%
		Breite	-			
		Diagonale	1180	1138	42	3.6%
	Aussteifung	Abstand 1	357	338	19	5.3%
		Abstand 2	324	330	6	1.9%
		Höhe HEB 300	270	300	30	11.1%

			Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
BZ 3, Versuch 1	Kasten	Länge	-			
		Breite	-			
		Höhe	237	235	2	0.8%
	Verbau	Höhe Sohle - Aussteifung	205	222	17	8.3%
	Aussteifung	Breite HEB 360	380	360	20	5.3%
		Länge HEB 300	322	322	0	0.0%
		Höhe HEB 300	310	300	10	3.2%
	Baugrube	Volumen Aushub unterhalb der Aussteifungen [m3]	0.0842	0.0955	0.0113	13.4%
BZ 3, Versuch 2	Kasten	Länge	1210	1208	2	0.2%
		Breite	-			
		Höhe	237	235	2	0.8%
	Verbau	Höhe Sohle - Aussteifung	204	222	18	8.8%
	Aussteifung	Breite HEB 360	426	360	66	15.5%
		Länge HEB 300	321	322	1	0.3%
		Höhe HEB 300	343	300	43	12.5%
	Baugrube	Volumen Aushub unterhalb der Aussteifungen [m3]	0.0818	0.0955	0.0136	16.7%

			Scan Modell	reales Modell	Abweichung [mm]	Abweichung [%]
BZ 3, Versuch 3	Kasten	Länge	-			
		Breite	-			
		Höhe	239	235	4	1.7%
	Verbau	Höhe Sohle - Aussteifung	210	222	12	5.7%
	Aussteifung	Breite HEB 360	390	360	30	7.7%
		Länge HEB 300	321	322	1	0.3%
		Höhe HEB 300	309	300	9	2.9%
	Baugrube	Volumen Aushub unterhalb der Aussteifungen [m3]	0.08230572	0.0955	0.0131	16.0%

Auswertung

Arithmetische Mittelwerte

Strecken [mm]	15	3.0%
Volumen [m3]	0.0127	15.3%

9.7 PROGRAMMPROTOKOLL EINES SCANS MIT RECONSTRUCT ME

```
C:\Users\ifibadmin\Desktop\NF_Diplomarbeit\ReconstructMe_231\ReconstructMe\bin>r

econstructme.exe --realtime --config cfg\volume_baugrube_bz1_bz2.txt
[2012/03/20 13:53:59.121293][info   ] Welcome to ReconstructMe
[2012/03/20 13:53:59.121293][info   ] Running 0.4.0-231
[2012/03/20 13:53:59.136893][info   ]
[2012/03/20 13:53:59.136893][info   ] Licensed for non-commercial purposes only.
[2012/03/20 13:53:59.136893][info   ] See ‚License of ReconstructMe.txt‘
[2012/03/20 13:53:59.136893][info   ]
Do you agree to our license terms? (y/n) : y

[2012/03/20 13:54:00.821693][info   ] Starting sensor
[2012/03/20 13:54:00.837293][info   ] Testing OpenNI driver backend
[2012/03/20 13:54:07.560893][info   ] Preparing environment for Device Quadro FX 1800

[2012/03/20 13:54:07.576493][info   ] Settings successfully loaded from file.
[2012/03/20 13:54:18.652493][info   ] Press ‚p‘ to reconstruct/pause recording
[2012/03/20 13:54:18.668093][info   ] Press ‚r‘ to reset volume
[2012/03/20 13:54:18.668093][info   ] Press ‚ESC‘ to stop recording
[2012/03/20 13:54:23.769293][info   ] Currently RECONSTRUCTING. Press ‚p‘ to pause

[2012/03/20 13:54:49.972493][info   ] Currently PAUSED. Press ‚p‘ to reconstruct

Save content? (y/n) : y

Filename (string)  : Baugrube_Versuche_200312_BZ3_5nf

[2012/03/20 13:55:27.833693][info   ] Creating surface model ...
[2012/03/20 13:55:28.754093][info   ] Surface model created, saving ...
[2012/03/20 13:55:34.354493][info   ] Model saved to Baugrube_Versuche_200312_BZ3_5nf.
stl
[2012/03/20 13:55:35.212493][info   ]
[2012/03/20 13:55:35.228093][info   ] Thanks using ReconstructMe!
[2012/03/20 13:55:35.228093][info   ] Visit us http://www.reconstructme.net
```

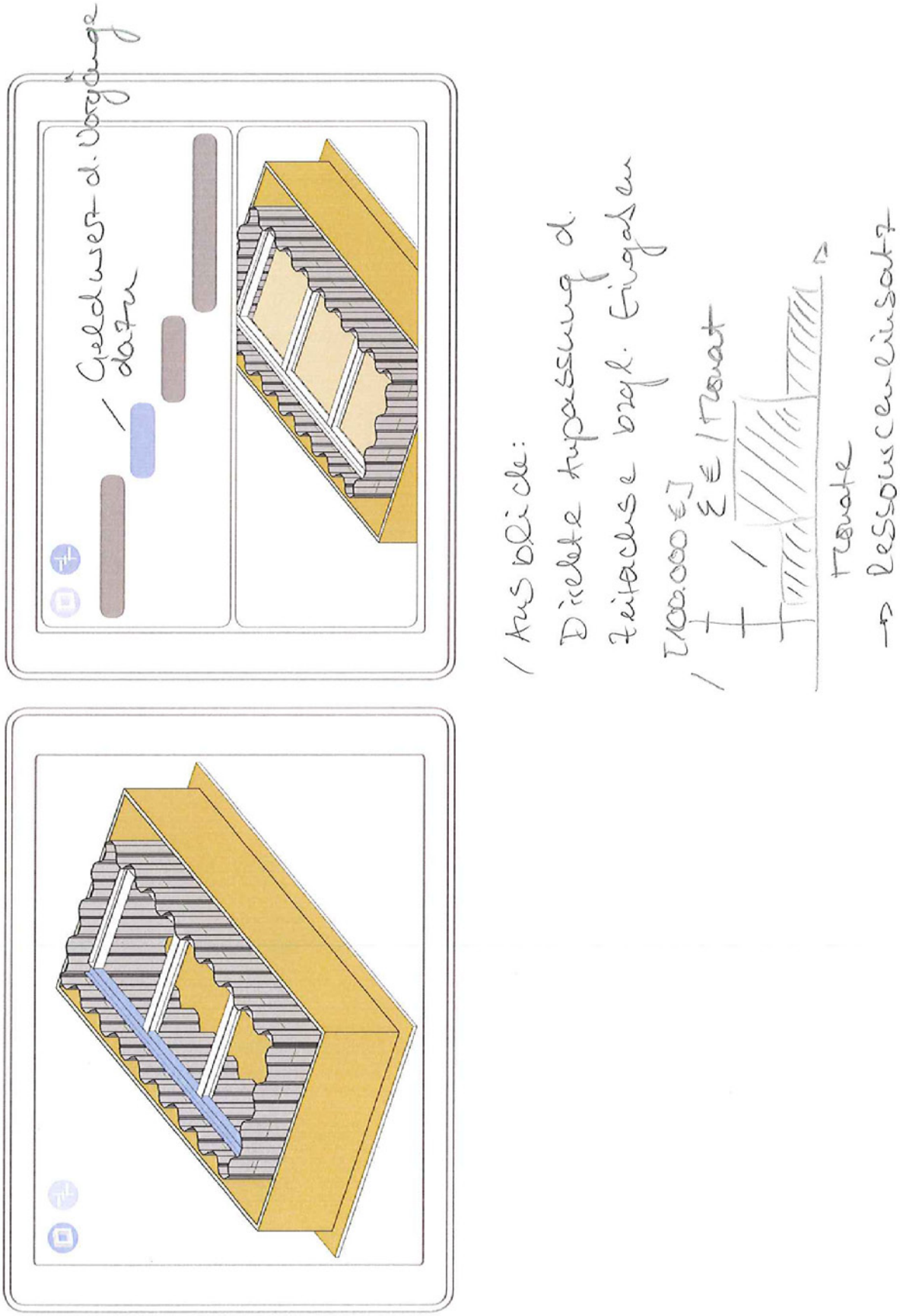
9.8 SKRIPT DER ANGELEGTEN SHARED PARAMETERS VON AUTODESK REVIT

```
# This is a Revit shared parameter file.
# Do not edit manually.
*META	VERSION	MINVERSION
META	2	1
*GROUP	ID	NAME
GROUP	1	PERSONAL
GROUP	2	MATERIAL
GROUP	3	GERAETE
GROUP	4	BAUZUSTAND
GROUP	6	SCAN
*PARAM	GUID	NAME	DATATYPE	DATACATEGORY	GROUP	VISIBLE
PARAM	0f301301-57b9-4727-ad41-8947dd0729d3	GERAETE_Geraetetyp_1	TEXT
3	1
PARAM	46905304-325e-4379-b15e-3d636f183af8	PERSONAL_Anzahl_Poliere	INTEGER
	1	1
PARAM	3a3b0008-dbc1-4e94-ab1b-47c24936d900	SCAN_Uhrzeit	TEXT	6	1
PARAM	dd4a4e08-29f2-4d33-8fe4-61ff27e6f981	MATERIAL_Geliefert	YESNO	2
1
PARAM	eee62b09-a78a-40cd-b609-bfba93bf5740	GERAETE_geplante_Einsatzdauer_2
INTEGER	3	1
PARAM	c964010c-fdd9-4ed6-890d-ce73bd168783	BAUZUSTAND_vorbereitet	YESNO
4	1
PARAM	4f342710-2132-4dd0-a055-3eb1d6c8cc64	PERSONAL_Voraussichtlich_benötigte_
Arbeitszeit	NUMBER	1	1
PARAM	3c70f510-b301-466b-ba11-b83547fb6c7c	GERAETE_geleistete_Einsatzdauer_2
INTEGER	3	1
PARAM	55321a17-ec8f-4d71-a61e-c1940f5b0c49	GERAETE_Anzahl_Geraetetyp_1
INTEGER	3	1
PARAM	c773011d-3ab6-49ea-bce5-14fbba65c8c0	BAUZUSTAND_nachbehandelt	YESNO
4	1
PARAM	ad08ea1d-7f1c-438c-b8d4-7a909cad1f40	PERSONAL_Anzahl_Vorarbeiter
INTEGER	1	1
PARAM	50ecc524-5146-464f-9832-e18072cbf37e	SCAN_Datum	TEXT	6	1

PARAM	1521f835-b347-44b2-af7d-1c8d77c1341e	BAUZUSTAND_Fertiggestellt	YESNO
4	1
PARAM	85530f38-0001-4479-ac72-2da1e4edfcc0	MATERIAL_Lieferscheinnummer
TEXT	2	1
PARAM	93c6933e-e8b1-4fbc-a37c-1b6bdaa14ca8	MATERIAL_Zustand	TEXT	2
1
PARAM	321fb840-942a-4fc1-a16e-49f7766c2b8a	SCAN_Scanfile	TEXT	6	1
PARAM	868d7944-be56-423e-881d-04963a41fe76	MATERIAL_Standort_bei_Lagerung
TEXT	2	1
PARAM	af0be746-2e59-4ad8-b5cf-856d1114e337	GERAETE_geleistete_Einsatzdauer_1
INTEGER	3	1
PARAM	f58f3e47-948b-48e9-b94e-b190f235ad96	BAUZUSTAND_Nacharbeiten_nötig
YESNO	4	1
```

PARAM 3b7f1755-4f57-4ceb-a3da-860f9631ce9e BAUZUSTAND_betoniert YESNO
4 1
PARAM 76ee1369-d588-424e-9053-0ef0eda4c326 PERSONAL_Anzahl_Facharbeiter
INTEGER 1 1
PARAM 694bba79-16bc-4418-84ac-0e776582392a PERSONAL_Anzahl_Aushilfen LENGTH
1 1
PARAM acc3eb80-a6ab-4460-bab6-4f5b2ead4ef1 GERAETE_Anzahl_Geraetetyp_2
INTEGER 3 1
PARAM 58da1782-3250-4f82-9139-c5eabd183e98 SCAN_Blickrichtung TEXT 6
1
PARAM 93dac289-cfcd-404a-b480-69973e97ba31 SCAN_Achse TEXT 6 1
PARAM de3e918e-45a2-4697-83d0-e7c4ff0c05ce PERSONAL_Benötigte_Arbeitszeit
NUMBER 1 1
PARAM 9bcb8a8f-d649-449d-9682-75686feb7dbb GERAETE_Geraetetyp_2 TEXT
3 1
PARAM f2a1e0a5-d981-4b9b-8922-a1d23c8430f0 MATERIAL_Bestellt YESNO 2
1
PARAM 6904a5aa-3dea-4178-8424-84f84f0e7160 BAUZUSTAND_Mängel_beseitigt
YESNO 4 1
PARAM 4cf164ac-981a-44df-b8a5-5e9f9d441fda BAUZUSTAND_Für_Restarbeiten_
benötigte_Arbeit YESNO 4 1
PARAM 7ac362bc-37c0-4fa6-9230-54d34ba4bcd8 SCAN_Punkt TEXT 6 1
PARAM 33b0f9bd-eee8-4366-94f7-3df47e785ac1 BAUZUSTAND_bewehrt YESNO 4
1
PARAM b98080bf-8170-4d4b-bde0-23c3399c79cf GERAETE_Mietgeraet_1 YESNO
3 1
PARAM b9ae2fdb-f51b-4051-b4a6-67534bfb8526 MATERIAL_Bezahlt YESNO 2
1
PARAM 67abe7ec-3bc8-4438-a70f-87dac854bb81 BAUZUSTAND_geschalt YESNO 4
1
PARAM 31f028f0-071d-4de8-a79b-f62aa39adb41 MATERIAL_Platzbedarf_bei_Lagerung
VOLUME 2 1
PARAM 7e17e0f0-f077-4948-b7d4-f6793e319f80 P_Anzahl_der_Beschäftigten INTEGER
1 1
PARAM 0fe915f5-a429-49c9-b613-a197a3ac847e GERAETE_geplante_Einsatzdauer_1
INTEGER 3 1
PARAM f5e77ffb-9fd1-447a-bfc4-069b1673c848 GERAETE_Mietgeraet_2 YESNO
3 1

9.9 PROTOKOLL DES DIALOGS ZUR OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS ZUR ERFASSUNG VON LEISTUNGSDATEN AUF DER BAUSTELLE



Analyse und Optimierung des Verfahrens im Dialog mit Experten

Ausgewähltes Objekt

Informationen

/ Datum Fertigstellung
/ Länge
/ Breite
/ Höhe
/ Oberflächen
/ Volumen
/ Achse
/ letzte Daten-erfassung

/ Zugehörige LV-Positionen

Abgerechnete AS € XX%

BGK XX% AGK XX%

Nötige Informationen ?

Zeitplan ?

Restleistung, konstante Auslastung

BETONBau : Kubatur, Volumen

VERBau : Gericht

→ Erinnerung an Datenerfassung des Bauteils

Restauftragssumme

- Bauteil abhängig im Hinblick auf Transporte u. Bestellungen

1-2 Wochen Vorschau sollte möglich sein

Analyse und Optimierung des Verfahrens im Dialog mit Experten

PERSONAL

/ Anzahl Poliere
/ Anzahl Vorarbeiter
/ Anzahl Facharbeiter
/ Anzahl ~~Aushilfen~~ Hilfsarbeiter
/ voraussichtlich benötigte Arbeitszeit
/ benötigte Arbeitszeit

GERÄTE

/ Gerätetyp
/ Anzahl
/ Mietgerät
/ geplante Einsatzdauer
/ geleistete Einsatzdauer
/ Vorhaltezeit?

SCAN

/ Achse
/ Punkt
/ Kompass, GPS Koordinaten
/ Datum und Uhrzeit
/ Dateipfad

MATERIAL

/ Lieferscheine
// bestellt?
// geliefert?
// bezahlt?
/ Lieferdatum
/ Standort
/ Zustand

BAUZUSTAND

/ Allgemein
// Fertiggestellt
// Nacharbeiten nötig
// Für Restarbeiten benötigte Arbeitszeit
/ Betonbau
// vorbereitet
// geschalt
// bewehrt
// betoniert
// nachbehandelt
// Mängel beseitigt

weitere Beispiele ?

SEMANTIK DER ATTRIBUTE
Ganze Zahl
Ja / Nein
Kommazahl
Text

PERSONAL

voraussichtl. ben. Arbeitszeit:
/ kalenderiche
/ Schätzung
/ real
→ Psychologie?

MATERIAL

/ Zustand in Ordnung
/ „Habe ich bekommen was ich bestellt habe"?

GERÄTE

/ Geräemeldung
„frei" gemeldet
→ Störmeldung
/ Zustand [Text]
/ Tankfüllung

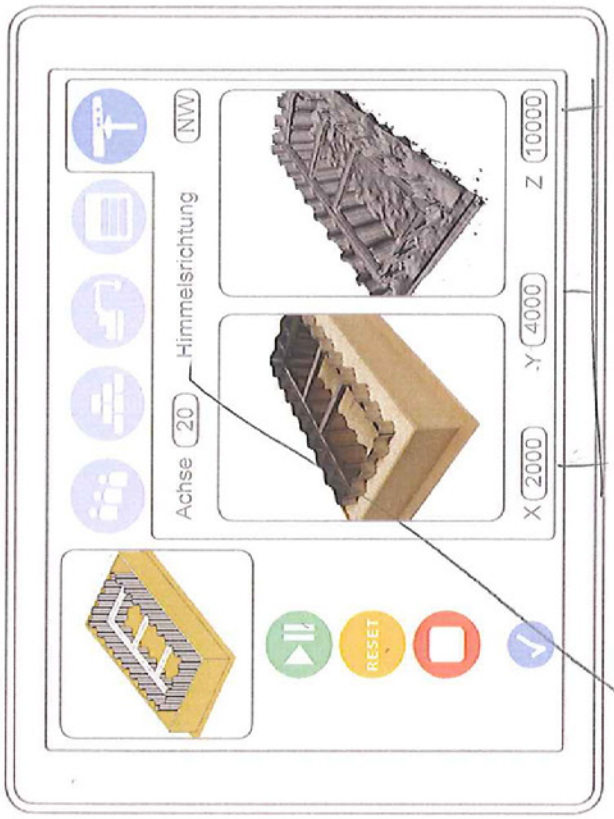
BAUZUSTAND

/ Fotig
/ Einzelne Kategorien wichtig
/ 10 — 1
sauber — gepflegt — betrieb

SCAN

/ GPS Koordinaten

Analyse und Optimierung des Verfahrens im Dialog mit Experten



GPS Koordinaten

für Aktivierung bereitstellen um Fehler zu vermeiden

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1 Modellorientierte Arbeitsweise [Eigene Darstellung] 3
Abbildung 2-2 Der 5D Prozess bestehend aus Modell, Zeit und Kosten [Eigene Darstellung] 3
Abbildung 2-3 Quader, Kugel, Kreiszylinder, Kegel, Pyramide und Torus [Eigene Darstellung]..... 4
Abbildung 2-4 Extrusions- und Rotationskörper [Eigene Darstellung] 5
Abbildung 2-5 5D Prozess der 5D Initiative [http://www.5d-initiative.eu/] 8
Abbildung 2-6 Objekt mit Parameter [Eigene Darstellung] 9
Abbildung 2-7 Objekt mit Parameter und Attributen [Eigene Darstellung] 9
Abbildung 2-8 Objekte einer Klasse [Eigene Darstellung] 10
Abbildung 2-9 BIM Modell einer Brücke, modelliert in Autodesk Revit [Eigene Darstellung]..... 10
Abbildung 2-10 Multi-Modell-Container [Demharter, 2011] 11
Abbildung 3-1 Reinheim Bauwerk 4 [Konstruktionsgruppe Bauen Konstanz GmbH]..... 13
Abbildung 3-2 „Master-Skizze“ nach ForBAU in Autodesk Revit Structure [Eigene Darstellung] .. 14
Abbildung 3-3 Punktwolke erzeugt mit RIB Stratis als Modellierungsgrundlage [Eigene Darstellung] 15
Abbildung 3-4 Vom Hersteller erstellte Familien in Autodesk Revit Structure [Eigene Darstellung] 16
Abbildung 3-5 Modellierungsprozess Stratis - Revit und Modellübergabe an iTWO *[Eigene Darstellung] 16*
Abbildung 3-6 RIB iTWO 3D-Kontrolle um die CPI Daten zu bearbeiten [Eigene Darstellung]..... 17
Abbildung 3-7 Ortedialog [Eigene Darstellung]..... 17
Abbildung 4-1 Von der Leistungsbeschreibung zur Leistungsmeldung [Eigene Darstellung] 19
Abbildung 4-2 Möglichkeiten der Leistungserfassung zur Mengenermittlung [Eigene Darstellung] 20
Abbildung 4-3 Genereller Aufbau der REB-VB Datenarten [Eigene Darstellung]..... 21
Abbildung 4-4 Zeile der Datenart 54 an Station 0 + 401,765 der in 3.1 vorgestellten Brücke [REB-VB 21.003, 1979, S. 4]..... 22
Abbildung 4-5 Querprofil der Kappen (rot) und des Brückenüberbaus an Station 0 + 401,765 [RIB Stratis] 22
Abbildung 4-6 Massenberechnung aus Querprofilen [REB-VB 21.003, 1979, S. 3]..... 24
Abbildung 4-7 Beispielhafte Einteilung von Querprofilen entlang der Bauwerksachse an einem Brückenwiderlager [Eigene Darstellung] 25
Abbildung 4-8 Digitales Geländemodell in Autodesk AutoCAD Civil 3D, links mit eingezeichneten Flächen, rechts das Dreiecksnetz [Eigene Darstellung]..... 26
Abbildung 4-9 Visualisierung der modellorientierten Leistungsmeldung in RIB iTWO 3.0 [RIB Software AG] 32
Abbildung 5-1 Plan zur Modelherstellung [Eigene Darstellung]..... 34
Abbildung 5-2 Modell der Baugrube zur Herstellung des Pfeilerfundaments [Eigene Darstellung]35
Abbildung 5-3 Bauzustände bei der Herstellung des Pfeilerfundaments [Eigene Darstellung] 35
Abbildung 5-4 Microsoft Kinect und ihre Komponenten [Eigene Darstellung] 36

Abbildung 5-5 Koordinatenerzeugung durch strukturiertes Licht [Informatik Departement Universität Basel, 2012] ... 36
Abbildung 5-6 Oberfläche von skanect 0.2 [Eigene Darstellung] ... 38
Abbildung 5-7 Scan mit skanect 0.2 im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung] ... 39
Abbildung 5-8 Ordnerstruktur von ReconstructMe [Eigene Darstellung] ... 40
Abbildung 5-9 Von ReconstructMe verwendetes Koordinatensystem [http://reconstructme.net/usage/] ... 40
Abbildung 5-10 Zu den Bauzuständen passende Volumenkörper [Eigene Darstellung] ... 41
Abbildung 5-11 ReconstructMe Programmfenster [Eigene Darstellung] ... 42
Abbildung 5-12 Prozentuale Abweichungen aller durchgeführten Messungen in allen Bauzuständen [Eigene Darstellung] ... 44
Abbildung 5-13 Punktwolke - Dreiecksnetz - mit Flächen ausgefülltes Dreiecksnetz in Meshlab [Eigene Darstellung] ... 44
Abbildung 5-14 Erzeugte 3D-Modelle [Eigene Darstellung] ... 45
Abbildung 5-15 Shared Parameters und Project Paremeters Dialog in Autodes REVIT [Eigene Darstellung] ... 49
Abbildung 5-16 CPIXML Import in der RIB iTWO 3D-Kontrolle [Eigene Darstellung] ... 50
Abbildung 5-17 IFC 2x3 Import in RIB iTWO 3D-Kontrolle [Eigene Darstellung] ... 52
Abbildung 6-1 Drehen des Modells durch horizontale und vertikale Fingerbewegung [Eigene Darstellung] ... 53
Abbildung 6-2 Pannen und Zoomen im Modell [Eigene Darstellung] ... 54
Abbildung 6-3 Symbole für die Wahl zwischen modellorientierter oder vorgangsorientierter Bauteilauswahl [Eigene Darstellung] ... 54
Abbildung 6-4 Zwei Möglichkeiten der Auswahl in Schritt 1 [Eigene Darstellung] ... 54
Abbildung 6-5 Schritt 1 und Schritt 2 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung] ... 55
Abbildung 6-6 Informationsanzeige im Schritt 2 [Eigene Darstellung] ... 55
Abbildung 6-7 Symbole für PERSONAL, MATERIAL, GERÄTE, BAUZUSTAND und SCAN im dritten Schritt [Eigene Darstellung] ... 56
Abbildung 6-8 Schritt 3 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung, Tastatur: Apple Inc. iOS 5] ... 56
Abbildung 6-9 Symbole zur Steuerung des Scans [Eigene Darstellung] ... 57
Abbildung 6-10 Schritt 4 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung, Tastatur: Apple Inc. iOS] ... 57
Abbildung 7-1 Vorgangsorientierte Bauteilauswahl in Schritt 1 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung] ... 59
Abbildung 7-2 Eingeblendete Informationen in Schritt 2 zur Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung] ... 60
Abbildung 7-3 Attribute zur Erfassung von Leistungsdaten [Eigene Darstellung] ... 61
Abbildung 7-4 Aufnehmen von 3D-Daten des aktuellen Bauzustandes in Schritt 4 der Erfassung von Leistungsdaten auf der Baustelle [Eigene Darstellung] ... 62
Abbildung 9-1 Vereinbarungen zur Bauabrechnung [HVA-S-Stb, 2010, 3.3 S. 5ff] ... 74
Abbildung 9-2 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung ... 79

Abbildung 9-3 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung 80
Abbildung 9-4 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung 81
Abbildung 9-5 Konzept modellorientierte Leistungsmeldung 82
Abbildung 9-6 Verbauplan Pfeilerfundament, nicht maßstäblich [Max Früh GmbH & Co. KG] 83
Abbildung 9-7 skanect Ergebnis im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung] 84
Abbildung 9-8 skanect Ergebnis im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung] 84

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1 Solid Modeling Verfahren [Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011],S.33ff] 4
Tabelle 4-1 REB-Verfahrensbeschreibungen [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S. 191] 21
Tabelle 4-2 REB-Verfahrensbeschreibungen zur Messwertaufbereitung [Berner, Kochendörfer, Schach, 2009, S. 191] 23
Tabelle 5-1 Vermessung des Modells der skanect Punktwolke im Bauzustand 1 [Eigene Darstellung] 39
Tabelle 5-2 Auszug aus der Vermessung des Modells der ReconstructMe Punktwolke [Eigene Darstellung] 43
Tabelle 5-3 Gleiche Attribute von IFC, Autodesk REVIT und RIB iTWO [Eigene Darstellung] 48
Tabelle 5-4 Attribut und zugehörige Bedeutung [Eigene Darstellung] 49

LITERATURVERZEICHNIS

[Berner, Kochendörfer, Schach, 2009] Berner, F.; Kochendörfer, B.; Schach, R.; Grundlagen der Baubetriebslehre 3 Betriebsführung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009

[BMVBS, 2011] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau; Handbuch für die Vergabe und Ausführung von Bauleistungen im Straßen- und Brückenbau. 2011

[Bormann, Günthner, 2011] Bormann, A.; Günthner, W.; Die digitale Baustelle und ihre Herausforderungen. In: Günthner, W.; Bormann A.: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 2-8

[Bormann, Liebich, Juli, 2011] Bormann, A.; Liebich, T.; Juli, R.; Building Information Modeling - eine Begriffserklärung. In: Günthner, W.; Bormann A.:Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 33-35

[von Both, Kindsvater, 2012] von Both, P.; Kindsvater, A.; BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan, Institut für Entwerfen und Bautechnik Fachgebiet Building Life Cycle Management, Karlsruher Institut für Technologie, 2012

[Delauny, 1934] Delaunay, Boris N; Sur la sphère vide: Bulletin of Academy of Sciences of the USSR 7 Nr. 6. 1934

[Demharter, 2011] Demharter, J.; Methoden und Softwarekomponenten zur Bearbeitung von Multimodellen. MEFISTO Kongress. Dresden: 2011

[Eastman, Teichholz, Sacks et al., 2011] Eastman, C.; Teichholz, P.; Sacks, R.; Liston, K.; BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011

[Juli, Lederhofer, Baumgärtel, 2011] Juli, R.; Lederhofer, E.; Baumgärtel, T.; Herausforderungen und Möglichkeiten der Planung - Die Sicht des Planers. In: Günthner, Willibald; Bormann André: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 11-14

[Mack, Baumgärtel, 2011] Mack, Jürgen; Baumgärtel, Tobias; Kostendruck versus Innovation - Die Sicht der Bauausführung. In: Günthner, Willibald; Bormann André: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 14-18

[Newcombe, Izadi, Hilliges et al., 2012] Newcombe, R.; Izadi, S.; Hilliges, O.; Molyneaux, D.; Kim, D.; Davison, A.; Kohli, P.; Shotton, J.; Hodges, S.; Fitzgibbon, A.; KinectFusion: Real-Time Dense Surface Meapping and Tracking, Microsoft Research, 2012

[Obergrießer,Posch,Borrmann et al., 2011] Obergrießer, M.; Posch, H.; Bormann, A.; Stumpf D.; Euringer T.; Parametrische 3D-Brückenmodellierung. In: Günthner, W.; Bormann A.:Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 69-76

[Pfaff, Wimmer, 2011] Pfaff, S.; Wimmer, J.; Einsatzfelder der Ablaufsimulation - Fertigungsindustrie. In: Günthner, Willibald; Bormann André: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 169 - 172

[Plank, Stockbauer, Hirzinger, G. et al., 2011] Plank, C.; Stockbauer, W.; Hirzinger, G., Strackenbrock, B.; Digitales Geländemodell - moderne Methoden der Erfassung Verarbeitung. In: Günthner, Willibald; Bormann André: Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen. Berlin: Springer, 2011, S. 25-29

[REB-VB 21.003, 1979] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau; Reglungen zur elektronischen Bauabrechnung Verfahrensbeschreibung 21.003 Massenberechnung aus Querprofilen (Elling). 1979

[Rösel, Busch, 2008] Rösel, W.; Busch, A.; AVA-Handbuch Auschreibung - Vergabe - Abrechnung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008

[Rumbaugh, Blaha, Premerlani et al.,1991] Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F.; Lorensen, W.; Object oriented modeling and design. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991

[Shih, Wu, Kunz, 2004] Shih, N.-J.; Wu, M.-C.; Kunz, J.; The Inspections of As-built Construction Records by 3D Point Clouds, Center for Integrated Facility Engeineering, Stanford University, 2004

[Sutherland, 2003] Sutherland, I. E.; Sketchpad: A man-machine graphical communication system. Computer Laboratory, University of Cambridge, 2003

[Weisberg, 2008] Weisberg, D. E.; The Engineering Design Revolution. http://cadhistory.net, 2008, zugegriffen am 23.01.2012

INTERNETVERZEICHNIS

[Archicad BIM Center, 2010] Archicad BIM Center; History. http://www.archicadbimcenter.com/companies/History/ing, zugegriffen am 30.01.2012

[BIMechanics, 2009] BIMechanics; BIM History. http://www.bimechanics.com/bim-history.htm, zugegriffen am 01.02.2012

[Harmonic Media, 2012] Harmonic Media; History of Revit. http://www.revit-basics.com/revithistory.html, zugegriffen am 01.02.2012

[Vico Software, 2012] Vico Software; Our Company. http://www.vicosoftware.com/bim-construction-software/company/tabid/46372/Default.aspx, zugegriffen am 02.01.2012

[buildingSMART, 2011] buildingSMART; Über Uns. http://www.buildingsmart.de/1/index.htm, zugegriffen am 02.01.2012

[KINECT for Windows, 2012] KINECT for Windows, Discover - Product Features. http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx, zugegriffen am 10.03.12

[Informatik Departement Universität Basel, 2012] Informatik Departement, Universität Basel, Lehre. http://informatik.unibas.ch/lehre/ss05/cs231/folien/09_3DSkanner.pdf, zugegriffen am 10.03.12

[ReconstructMe, 2012] Profactor GmbH, ReconstructMe, Usage. http://reconstructme.net/usage/, zugegriffen am 21.03.12

[ReconstructMe Volume Stitching, 2012] Profactor GmbH, ReconstructMe, Scan of a Nissan Qashqaui using Volume Stitching. http://reconstructme.net/2012/04/19/scan-of-a-nissan-qashqai-using-volume-stitching/ zugegriffen am 20.04.12