



ABSCHLUSSBERICHT 2010

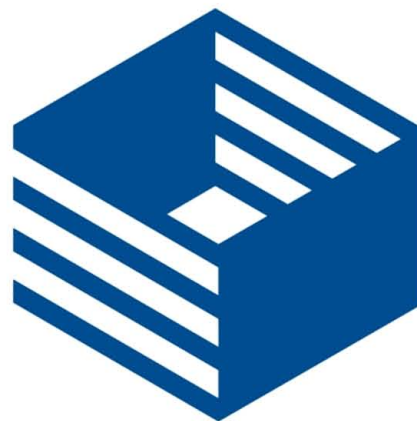
BAYERISCHER FORSCHUNGSVERBUND



VIRTUELLE BAUSTELLE

Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung

ABSCHLUSSBERICHT 2010



Teilprojektleiter:

Prof. Willibald A. Günthner (TU München, Sprecher)

Prof. Ernst Rank (TU München)

Prof. Norbert Vogt (TU München)

Prof. Thomas Euringer (Hochschule Regensburg)

Prof. Wolfgang Stockbauer (Hochschule Regensburg)

Prof. Evi Hartmann (FAU Erlangen-Nürnberg)

Prof. Gerd Hirzinger (Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum)

© ForBAU – Bayerischer Forschungsverbund
Virtuelle Baustelle

München, Erlangen-Nürnberg, Regensburg 2010

Alle Rechte vorbehalten. Insbesondere ist die Überführung in maschinenlesbare Form sowie das Speichern in Informationssystemen auch auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung von ForBAU gestattet.

*Mehr als die Vergangenheit interessiert mich die Zukunft,
denn in ihr gedenke ich zu leben*

Albert Einstein

Meine sehr verehrten Herren Gutachter,
liebe Leserinnen und Leser,

Ziel des Forschungsverbundes „Virtuelle Baustelle“ – Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung (ForBAU) war es ein Konzept zur ganzheitlichen Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustelleninformationsmodell zu entwickeln. Damit sollte eine fortschrittliche Bauabwicklung in jeder Projektphase – von der Planung bis zur Bauausführung – ermöglicht werden.

In den vergangenen drei Jahren wurde intensiv daran gearbeitet diese Vision Realität werden zu lassen. Mit dem Ihnen vorliegenden Abschlussbericht stellen wir die Ergebnisse unserer Arbeit des letzten Projektjahres vor.

Unser besonderes Anliegen zum Ende der Laufzeit war es, unsere Erkenntnisse über diesen Bericht hinaus auch in zahlreichen nationalen und internationalen Veröffentlichungen sowie in einem im Springer-Verlag erscheinenden Buch mit dem Titel *„Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert“* zusammenzufassen und so der breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Ein Highlight dieses Projektjahres war sicherlich unser ForBAU-Kongress im März, zu dem wir mehr als 200 Teilnehmer begrüßen durften. Mit unserem 2. ForBAU-Kongress am 17. Februar 2011 in München möchten wir an diesen Erfolg

anknüpfen und laden Sie an dieser Stelle recht herzlich hierzu ein.

Nach drei Jahren erfolgreicher Zusammenarbeit in diesem interessanten, spannenden, anspruchsvollen und vor allem lehrreichen Projekt möchte ich mich bei unseren Industriepartnern recht herzlich für die hervorragende Unterstützung bedanken.

Ganz besonders herausstellen möchte ich an dieser Stelle die Bayerische Forschungsstiftung, deren großzügige finanzielle Unterstützung dieses Projekt erst ermöglicht hat.

Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank den Gutachtern, die uns mit Ihrem Wissen und Ihrer Erfahrung wichtige Ansprechpartner waren und uns durch ihr kritisches Hinterfragen immer wieder neue fachliche Anstöße gaben.

Weiterhin möchte ich dem Bayerischen Bauindustrieverband e.V. für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung unserer beiden Kongresse danken.

Zuletzt ist es mir wichtig, den Mitarbeitern der Lehrstühle für Ihr außerordentliches Engagement zu danken. Sie haben in vorbildlicher Weise gezeigt, dass interdisziplinäre Zusammenarbeit für die Forschung einen großen Gewinn bedeutet.

Garching, im Dezember 2010

Für den Forschungsverbund ForBAU



Willibald A. Günthner

Sprecher des Forschungsverbundes ForBAU

Zusammenfassung

Kerngedanke des Forschungsverbundes ist die ganzheitliche Abbildung eines komplexen Bauvorhabens in einem digitalen Baustellenmodell. Dieses soll allen Beteiligten eines Bauprojektes von der Planungs- bis hin zur Ausführungsphase als zentrales Datenmedium dienen und sämtliche Informationen hinsichtlich der Planung, Vermessung, Arbeitsvorbereitung, Buchhaltung sowie dem Fortschritt der Baustelle selbst berücksichtigen.

Die Basis für diesen Ansatz ist die Nutzung verschiedener, bereits am Markt erhältlicher digitaler Werkzeuge. Ziel ist die Integration dieser verschiedenen Insellösungen zu einem ganzheitlichen Konzept. Begleitend zu den theoretischen Arbeiten werden die Ergebnisse anhand von mehreren Pilotbaustellen stets auf Ihre Durchführbarkeit in der Praxis hin überprüft.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, gliedert sich die Struktur des Forschungsverbundes in vier eng miteinander vernetzte Teilprojekte und drei Arbeitskreise auf.

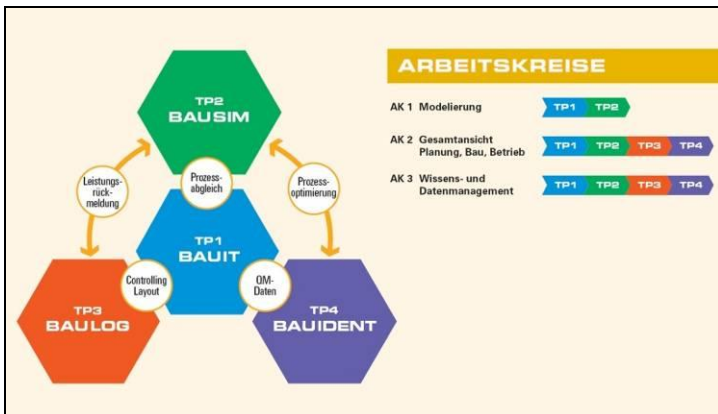


Abbildung 1.1-1: Struktur ForBAU

Inhaltsverzeichnis**Zusammenfassung** **V****Inhaltsverzeichnis** **VI****1 Allgemeine Angaben** **1****1.1 Bezeichnung des Projektes** **1****1.2 Kurzbeschreibung des Projektes** **1****1.3 Antragsteller** **1**1.3.1 Sprecher **1**1.3.2 Weitere beteiligte Forschungseinrichtungen **2**1.3.3 Beteiligte Unternehmen **3****2 Ausgangssituation und Zielsetzung** **9****2.1 Ausgangssituation und Problemstellung** **9****2.2 Herausforderungen und Aufgabenstellung** **11****2.3 Struktur des Forschungsverbundes** **13****3 Teilprojekte des Forschungsverbundes** **15****3.1 BAU-IT** **15**3.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung **15**3.1.2 Stand der Wissenschaft und Technik **16**3.1.3 Aktueller Stand und Ergebnisse **20**3.1.4 Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan **83**3.1.5 Kooperationen **94**3.1.6 Literatur **95****3.2 BAU-SIM** **103**3.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung **104**3.2.2 Stand der Wissenschaft und Technik **107**3.2.3 Aktueller Stand und Ergebnisse **110**

3.2.4	Überarbeitete Arbeits- und Zeitpläne	175
3.2.5	Kooperationen	182
3.2.6	Literatur	183
3.3	BAU-LOG	189
3.3.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	190
3.3.2	Stand der Wissenschaft und Technik	192
3.3.3	Aktueller Stand und Ergebnisse	194
3.3.4	Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan	239
3.3.5	Weiterer Verlauf	242
3.3.6	Kooperationen	243
3.3.7	Literatur	245
3.4	BAU-IDENT	249
3.4.1	Ausgangssituation und Zielsetzung	249
3.4.2	Stand der Wissenschaft und Technik	251
3.4.3	Aktueller Stand und Ergebnisse	255
3.4.4	Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan	297
3.4.5	Kooperationen	300
3.4.6	Literatur	301
4	Zusammenarbeit in ForBAU	305
4.1	Die Arbeitskreise	305
4.1.1	Arbeitskreis Modellbildung und Wissensmanagement	305
4.1.2	Arbeitskreis Gesamtsicht	306
5	Pilotbaustellen	309
5.1	Bisherige Pilotbaustellen	309
5.2	Pilotbaustellen im Jahr 2010	310
6	Öffentlichkeitsarbeit	319
6.1	ForBAU-Newsletter	320
6.2	ForBAU-Kongress	321

6.3	ForBAU-Buch	322
6.4	Studien	324
6.5	Besuchte Messen und Kongresse 2010	324
6.6	Austausch mit Forschungseinrichtungen	326
6.7	Veröffentlichungen	326
6.7.1	Gesamtverbund	327
6.7.2	BAU-IT	328
6.7.3	BAU-SIM	328
6.7.4	BAU-LOG	331
6.7.5	BAU-IDENT	332
6.8	Vorträge	332
6.9	Medienecho	340
7	Anhang	a
7.1	Studienarbeiten	a
7.1.1	BAU-IT	a
7.1.2	BAU-SIM	d
7.1.3	BAU-LOG	f
7.1.4	BAU-IDENT	i
7.2	Ausgründungen	j
7.3	Berufungen	k

1 Allgemeine Angaben

1.1 Bezeichnung des Projektes

Bayerischer Forschungsverbund „Virtuelle Baustelle“ (ForBAU) –
Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung.

Aktenzeichen: 781-07

1.2 Kurzbeschreibung des Projektes

Die globale Zielsetzung des Forschungsverbundes ForBAU besteht in der Entwicklung und durchgängigen Nutzung von digitalen Werkzeugen in der Bauplanung von der frühen Konstruktionsphase über die Simulation der Bauprozesse bis hin zur Logistikplanung und dem zugehörigen Controlling auf der realen Baustelle. Als zentrales Medium soll dabei ein parametrisiertes 3D-Volumenmodell des Bauvorhabens verwendet werden, das neben der reinen Geometrie prozessrelevante Attribute enthält, die von verschiedenen Baudisziplinen genutzt werden können.

Zu diesem Zweck werden von den interdisziplinären Forschungspartnern aus den Bereichen Bauingenieurwesen und Bauinformatik, Maschinenbau und Betriebswirtschaft neue Ansätze im Bereich der IT-gestützten Bauplanung und -ausführung untersucht. Als Ansatz- und Vergleichspunkte können hierbei Best Practices aus anderen Branchen wie beispielsweise dem Maschinen- oder Schiffsbau genutzt werden.

1.3 Antragsteller

1.3.1 Sprecher

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

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

Technische Universität München

Boltzmannstraße 15

85748 Garching

1.3.2 Weitere beteiligte Forschungseinrichtungen

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Logistik
Prof. Dr.-Ing. Evi Hartmann,
+49(0)911 / 58061-9500
+49(0)911 / 58061-9599
evi.hartmann@atl.fraunhofer.de
www.logistik.wiso.uni-erlangen.de

Technische Universität München
Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Tunnelbau
Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt
+49(0)89 / 289 27132
+49(0)89 / 289-27189
vogt@bv.tum.de
www.gb.bv.tum.de/mitarbeiter/vogt.htm

Technische Universität München
Lehrstuhl für Computation in Engineering
Prof. Dr. rer.nat. Ernst Rank
+49(0)89 / 289-23047
+49(0)89 / 289-25051
rank@bv.tum.de
www.cie.bv.tum.de

Hochschule Regensburg
Fakultät Bauingenieurwesen
Bauinformatik / CAD
Prof. Dr.-Ing. Thomas Euringer
+49(0)941 / 943 1226
+49(0)941 / 943 1429
thomas.euringer@hs-regensburg.de
<http://www.hs-regensburg.de/fakultaeten/bauingenieurwesen.html>

Hochschule Regensburg
Fakultät Bauingenieurwesen
Labor für Vermessungskunde
Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Stockbauer
+49(0)941 / 943 1313
+49(0)941 / 943 1429
wolfgang.stockbauer@hs-regensburg.de
<http://www.hs-regensburg.de/fakultaeten/bauingenieurwesen.html>

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Robotik und Mechatronik
Prof. Dr.-Ing. Gerd Hirzinger
+49(0)8153 / 282400
+49(0)8153 / 281134
gerd.hirzinger@dlr.de
www.robotic.dlr.de

1.3.3 Beteiligte Unternehmen

Bauunternehmen

- Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal
- Ebert Bau & Co. KG
Lerchenweg 2c,
96050 Bamberg
- Ed. Züblin AG
Albstadtweg 3
70567 Stuttgart
- Bauer Spezialtiefbau
Wittelsbacherstraße 5
86529 Schrobenhausen



Planungs- & Ingenieurbüros:

- OBERMEYER PLANEN + BERATEN
GmbH
Hansastraße. 40
80686 München
- Angermeier Ingenieure GmbH
i_Park Klingholz 16
97232 Giebelstadt
- SSF Ingenieure GmbH
Beratende Ingenieure im Bauwesen
Leopoldstraße 208
80804 München
- Ingenieurbüro Christofori und Partner,
Stuttgarter Straße 37
90574 Rosstal

**Hersteller digitaler Werkzeuge**

- SITECH Süd, Siller GmbH
Hutschenreutherstraße 11
92673 Weiden i.d.Opf
- Axio-net GmbH
Am Hohen Ufer 3A
30159 Hannover
- Ascending Technologies GmbH
Konrad-Zuse-Bogen 4
82152 Krailing
- aee
Starnberger Straße 1
82229 Seefeld/Drößling



- Sinning Vermessungsbedarf GmbH
Korbacher Straße 15
97353 Wiesentheid
- SoFisTiK AG
Bruckmannring 38
85764 Oberschleissheim
- TOPCON Deutschland GmbH
Gießerallee 31-33
47877 Willich
- PPI-Informatik – Dr. Prautsch & Partner
Posenerstr.1
71065 Sindelfingen
- Bissantz Company GmbH
Nordring 98
90409 Nürnberg
- Autodesk GmbH
Aidenbachstraße 56
81379 München
- Siemens PLM GmbH
Oskar-Messter-Str. 22
85737 Ismaning
- Silverstroke AG
Ludwig- Erhard- Straße 2
76275 Ettlingen
- DC-Software Doster & Christmann GmbH
Hannah-Arendt-Weg 3
80997 München



- FIDES DV-Partner Beratungs- und Vertriebs-GmbH
Dessauerstraße 9
80992 München
- CIB – Computer Institut Bamberg
Schützenstr. 73
96047 Bamberg
- RIB Software AG
Büro München
Lindberghstr. 11
82178 Puchheim
- Remote Sensing Solutions GmbH
Isarstraße 3
82065 Baierbrunn
- Gigatronik München GmbH
Taunusstrasse 21,
80807 München



Baumaschinenhersteller

- Liebherr-Werk Telfs GmbH
Hans Liebherrstraße 35
A-6410 Telfs
- Hamm AG
Hammstraße 1
95643 Tirschenreuth
- Bauer Maschinen
Wittelsbacherstraße 5
86529 Schrobenhausen



Baulogistik

- Baulogis GmbH
Zamdorfer Straße 100
81677 München
- Bundesverband der deutschen
Transportbetonindustrie e.V.
Düsseldorferstraße 50
47051 Duisburg
- Sfirion AG
Ismaninger Str. 68
D - 81675 München



Baustofflieferanten

- Saint-Gobain Buliding Distribution
Deutschland
Hanauer Landstr. 150
60314 Frankfurt
- Zapf GmbH
Görschnitz 48
95466 Weidenberg



Hardwarehersteller

- Motorola - Enterprise Mobility
Business
Telco Kreisel 1
65510 Idstein



Neue Partner

- Bauvision
James-Watt-Straße 6
33334 Gütersloh



- gibGREINER GmbH
Ridlerstr. 75
80339 München
- PROCAD GmbH & Co. KG
Vincenz-Prießnitz-Str.3
76131 Karlsruhe
- Zoller + Fröhlich GmbH
Simoniusstrasse 22
88239 Wangen im Allgäu



2 Ausgangssituation und Zielsetzung

2.1 *Ausgangssituation und Problemstellung*

Die bayerische Bauwirtschaft steht gegenwärtig vor der Aufgabe, ihre Kostennachteile gegenüber EU-Konkurrenten, die im Vergleich zu Deutschland ein deutlich geringeres Lohnniveau haben, wettzumachen. Da die Unternehmen jedoch nur bedingt Einfluss auf die Personalkosten nehmen können, muss der Weg zum kostengünstigen Bauen über effiziente Prozessstrukturen und technisch-organisatorische Innovationen, sowohl in den Bauprozessen als auch in der gesamten Bauabwicklung, führen.

Baufirmen beschäftigen sich klassischerweise überwiegend mit Innovationen in ihren Kernkompetenzen und beginnen erst seit einigen Jahren die enormen Potenziale zu erkennen, die in der Verbesserung der Prozessabläufe und der Optimierung der Zusammenarbeit zwischen Planern, Konstrukteuren, Kaufleuten und Dienstleistern auf der Baustelle verborgen liegen. Die Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen der Baukonstruktion und der Arbeitsvorbereitung ist in der Praxis oftmals stark sequentiell geordnet. Dadurch ist ein sehr langer Planungsvorlauf erforderlich, der bei vielen Bauprojekten nicht in ausreichendem Maße vorhanden ist. Diese Vorgehensweise schlägt sich besonders im Bereich der Planungsflexibilität nieder, da die manuelle Versionsverwaltung über die verschiedenen Modellstufen hinweg aufwändig und nur schwer zu koordinieren ist.

Es existieren in den verschiedenen Disziplinen, die am Bauprozess beteiligt sind, gute individuelle Ansätze zur Optimierung durch digitale Hilfsmittel. Diese werden von größeren Baufirmen schon seit langem angewandt, sind aber noch nicht in einem durchgängigen Gesamtkonzept ähnlich dem *Simultaneous Engineering* - Gedanken aus anderen Branchen,

wie beispielsweise dem Maschinen- oder Anlagenbau, eingebunden.

Entlang des gesamten Bauprozesses sind diese singulären Lösungen nicht durchgängig nutzbar, da aufgrund der Schnittstellenproblematik ein Großteil des individuellen Verbesserungspotenzials wieder verpufft. Die verschiedenen Baudisziplinen beginnend bei der Architektur über die Konstruktion und Berechnung bis hin zur Bauablaufplanung haben sich in den letzten Jahren relativ eigenständig weiterentwickelt. Daher sind die einzelnen Konstruktionsprozesse nicht ideal aufeinander abgestimmt und es entstehen große Reibungsverluste an den Schnittstellen der Projektbeteiligten. Diese führen zu unnötigen Mehrarbeiten, da vorhandene digitale Modelle nicht über mehrere Prozessstufen hinweg genutzt werden können. Datenredundanzen und hoher Änderungsaufwand in verschiedenen Prozessmodellen sind die Folge daraus.

Diese Planungsdefizite haben zudem negative Auswirkungen auf die Organisation und Koordination sowohl der eigenen Mitarbeiter als auch der beauftragten Subunternehmer, da zur Gewährleistung der Prozesssicherheit in der Praxis meist auf große Sicherheitspuffer gesetzt wird. Es existieren bei der Bauprozessmodellierung bisher wenige Standards, auf die zurückgegriffen werden kann, um eine effiziente Steuerung und Kontrolle der erbrachten Leistungen zu ermöglichen. In der Optimierung der Versorgungskette durch die Integration der Subunternehmer in den Gesamtprozess und ein durchgängiges Controlling der Abläufe stecken jedoch erhebliche Einsparpotenziale. Für die Bauwirtschaft wurden bisher kaum ganzheitliche Optimierungsansätze, die in anderen Industriezweigen mittlerweile weit verbreitet sind, wie zum Beispiel Supply Chain Management (SCM) oder Total Quality Management (TQM), mit wissenschaftlichen Methoden erarbeitet. Die Adaption von Konzepten und Praktiken moderner Industrieorganisation und

Produktionstechnologien und deren Logistiksystemen und -strategien wird ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Bauwirtschaft sein. Speziell der Einsatz von digitalen Werkzeugen, die in einer zentralen Datenstruktur verwendet werden birgt deutliche Einsparpotenziale, da Planungs- und Ausführungsprozesse wesentlich transparenter und schneller abgewickelt werden können. Diese Aufgabe hat sich der Forschungsverbund ForBAU als Ziel gesetzt.

Derzeit laufen die Baustellenplanung und der zugehörige Workflow stark sequentiell ab, da nur wenige Tools für eine systematische Projektzusammenarbeit in der Praxis verwendet werden. Ein wesentlicher Unterschied der Baubranche zu anderen Industriezweigen besteht darin, dass die Strukturen auf der Baustelle immer temporär sind und nahezu jedes Bauvorhaben ein Unikat darstellt. Eine Ablauf- und Prozessplanung kann daher nicht mit demselben Detaillierungsgrad und mit dem gleichen Aufwand betrieben werden wie beispielsweise in der Automobilindustrie, da die Randbedingungen nicht starr und die Prozesse nicht so strikt strukturiert sind. Dennoch sind standardisierte Vorgehensweisen und EDV-Hilfsmittel erforderlich, um ein Bauvorhaben hinsichtlich Terminen, Kosten und Qualität optimal abwickeln zu können.

2.2 Herausforderungen und Aufgabenstellung

Die Hauptaufgaben des Forschungsvorhabens lassen sich im Wesentlichen mit folgenden Kernpunkten beschreiben:

- Durchgängige 3D-Modellierung und des Bauwerks, der Baustelle und der Bauprozesse mit Nutzung der Modelldaten über alle Prozessstufen
- Zentrale Datenverwaltung und Entwicklung von Strategien zur modellbezogenen Datenhaltung und

- kontextabhängigen Aufbereitung für die verschiedenen Nutzer des Modells (PDM)
- Dynamische Ablaufsimulation der Bauprozesse zur Validierung der statischen Projektpläne
- Ganzheitliche Optimierung der Prozessabläufe auf der Baustelle unter Berücksichtigung der Subunternehmereinbindung
- Integration von Ist-Daten der Baustelle in das Modell

Zur Realisierung dieser Aufgabenstellungen ist ein Kerngedanke des Projektes die frühzeitige Integration vorhandener innovativer Techniken mit wissenschaftlichen Methoden in ein standardisierbares Prozessmodell der Baustellenabwicklung, das über den gesamten Projektverlauf genutzt und weiter bearbeitet wird.

Bisher sind derartige Ansätze nur wenig verbreitet und auch nur unzureichend in den gesamten Bauablauf eingegliedert. Vor allem im Bereich der CAD-Modellierung würden sich durch eine prozessübergreifende Nutzung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks deutliche Optimierungspotenziale ergeben. In der Baubranche zählen gegenwärtig lediglich 2D-CAD-Pläne zum etablierten Stand der Technik. Die Möglichkeiten und Potenziale einer durchgängigen 3D-modellbasierten Planung mit zahlreichen Zusatzinformationen im Modell werden jedoch noch kaum genutzt. Während in anderen Branchen seit etlichen Jahren integrierte Produktmodelle für Design, Konstruktion, Fertigung und Qualitätsmanagement über Produktdatenmanagement (PDM)-Systeme organisiert und verwaltet werden, werden die CAD-Systeme in der Baubranche oftmals nur als digitale Zeichenbretter verwendet. Eine wichtige Aufgabe des Verbundes ist es deshalb zu zeigen, welche Vorteile eine parametrische 3D-Modellierung für die Bauindustrie mit sich bringt und welche neuartige Art der Zusammenarbeit dadurch ermöglicht wird.

Darauf aufbauend lassen sich durch die Kombination weiterer innovativer Technologien für die verschiedenen Prozessstufen der Bauabwicklung deutliche Synergieeffekte erschließen.

2.3 Struktur des Forschungsverbundes

ForBAU ist geprägt von einer sehr engen Verknüpfung zwischen den verschiedenen Arbeitsgebieten auf der EDV-basierten aber auch der prozessorientierten Vorgehensweise der Projekt- abwicklung. Diese enge Verzahnung spiegelt auch die Struktur in den vier Teilprojekten wider.

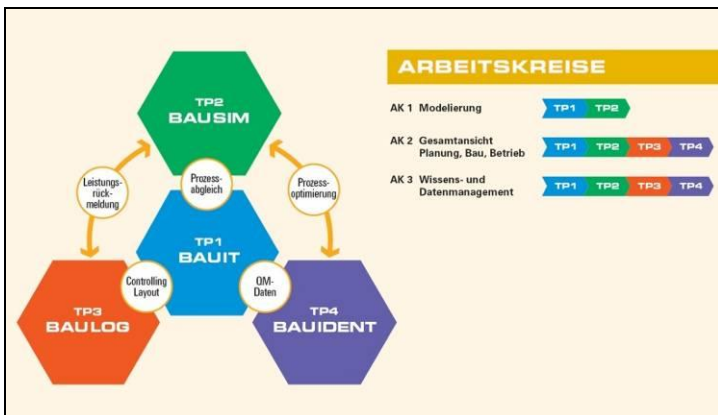


Abbildung 2.3-1 Strukturbild der Teilprojekte im Forschungsverbund ForBAU

Zur besseren Vernetzung werden zudem parallel zu den Teilprojekten drei permanente Arbeitskreise installiert, die dazu dienen sollen sowohl die beteiligten Institute vor allem aber die Industriepartner problem- und aufgabenorientiert in regelmäßigen Treffen zusammenzubringen. Dadurch wird der teilprojektübergreifende Erfahrungsaustausch und die Abstimmung sichergestellt, um am Ende der Projektdauer ein praxisorientiertes Ergebnis zu erzielen.

3 Teilprojekte des Forschungsverbundes

3.1 BAU-IT

Projektleitung: Technische Universität München
Lehrstuhl für Computation in Engineering
Prof. Dr. rer. nat. Ernst Rank,
Dr.-Ing. André Borrmann
+49(0)89 / 289-25117
borrmann@bv.tum.dewww.cie.bv.tum.de/

Beteiligte Institute: Zentrum Geotechnik, TUM
Fachbereich Bauinformatik, HS.R
Fachbereich Vermessung, HS.R
Inst. für Robotik und Mechatronik, DLR

Mitarbeiter: Dipl.-Ing Tobias Baumgärtel
Dipl.-Ing. Gergö Dori
Dipl.-Inf. Yang Ji
M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Mathias Obergrießer
Dipl.-Ing./-Inf. (FH) Claus Plank
Dipl.-Ing. Alaeddin Suleiman

Industriepartner: Autodesk, Siemens UGS, Fides, DC-
Software, Obermeyer Planen + Beraten,
Planungsbüro Schmitt-Stumpff-Frühauf und
Partner, Bauer Spezialtiefbau, Bauer AG
Maschinenbau, Angermeier Ingenieure
GmbH, AXIO-Net GmbH, Ingenieurbüro Chri-
stofori, Sinning Vermessungsbedarf GmbH,
Topcon Deutschland GmbH, Ascending
Technologies GmbH, SOFiSTiK AG

3.1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Bauindustrie sieht sich bislang mit einer völlig unzureichen-
den Vernetzung der in den Bereichen Vermessung, Planung und
Controlling eingesetzten digitalen Werkzeuge konfrontiert. Zudem

ist das Arbeiten mit 2D-Planungswerkzeugen im Bauwesen nach wie vor die Regel. Die Folge sind Unvollständigkeiten und Inkonsistenzen in den Planungsdaten, die, wenn zu spät erkannt, zu einem erheblichen Mehraufwand und erhöhten Kosten führen.

TP1 hat sich daher zum Ziel gesetzt, durch die Schaffung eines integrierten digitalen Modells der im Verbund betrachteten Bauwerke *Trasse* und *Brücke*, des Baugrundes und des Urgeländes nicht nur eine adäquate Basis für eine zukünftig besser abgestimmte Planung und Realisierung von Trassenbauprojekten zu schaffen, sondern zudem ein dynamisches Update der Planungsmodelle bei Auftreten von unvorhergesehenen Randbedingungen während der Ausführung zu ermöglichen.

Das gewählte Vorgehen besteht dabei zum einen in der Schaffung bzw. qualitativ erheblichen Verbesserung der einzelnen Teilmodelle und zum anderen in der Entwicklung von Methoden für die Zusammenführung dieser Teilmodelle. Dazu gehören folgende Aufgabenbereiche:

- Evaluierung parametrischer Entwurfswerkzeuge für den Einsatz im Bereich Brücken- und Trassenmodellierung (AP1)
- Schaffung eines 3D-Baugrundmodells (AP 4) und Nutzung desselben für die Baugrundsimulation (AP5)
- Untersuchung verbesserter Verfahren zur vermessungstechnischen Aufnahme des Urgeländes (AP 3, AP6)
- Nutzung von Vermessungsdaten für eine automatisierte Baufortschrittskontrolle (AP 2)
- Entwicklung eines Integrators zum Zusammenführen der Teilmodelle und Auswertung unter den Gesichtspunkten Planung und Bauablaufsimulation (AP1)

3.1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Bauwerks- und Baustellenmodellierung

Im Bereich der Bauwerksmodellierung gab es eine Reihe interessanter Neuentwicklungen im Berichtsjahr 2010.

Ein Verfahren zum Visualisieren eines integrierten 3D-Trassen- und Geländemodells wurde in [Guo-10] vorgestellt. Das Hauptanwendungsfeld dieses Verfahrens liegt im 3D-GIS-Bereich, in dem 3D-Visualisierung von Infrastrukturbauwerken wie Trassen und Gelände eine sehr wichtige Rolle spielt. Eine ausführliche Studie über Potentiale und Anwendungsmöglichkeiten des Building Information Modeling (BIM) im Infrastrukturbau wurde in [Kamin-10] durchgeführt. Ergebnis ist, dass sich BIM-Konzepte besonders gut für den Einsatz während der Planungsphase eines Infrastrukturbauprojekts eignen. Allerdings fehlt ein neutrales gemeinsames Datenmodell zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Programmen. Während für den Hochbaubereich mit den Industry Foundation Classes (IFC) bereits ein standardisiertes Austauschformat existiert, sind entsprechende Datenmodelle für den Infrastrukturbereich, wie IFC-Bridge, noch in Entwicklung.

Entsprechende Initiativen haben auch 2010 weiter an Bedeutung gewonnen. Beispielsweise beteiligt sich das japanische Ministerium für Landentwicklung und Infrastruktur an einem Forschungsprojekt für 3D-Modellieren und Visualisieren von Infrastrukturbauwerken. In diesem Rahmen wird auch geprüft, ob in Zukunft Brückenmodelle auf Basis des IFC-Bridge-Formats ausgetauscht werden können [Teru-10].

Trotz der beginnenden Etablierung von Standard-Austauschformaten bleibt die Nutzung eines ganzheitlichen Modells für die digitale Baustelle eine Herausforderung. So werden Trassen-, Gelände- und Baugrundmodelle nach wie vor in verschiedenen hochspezialisierten Softwareapplikationen erzeugt, die zumeist nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten zum Datenaustausch mit den jeweilig anderen Applikationen bieten.

Mit *MEFISTO* ist im April 2009 ein durch das BMBF gefördertes Forschungsprojekt mit dem Ziel gestartet, eine visuelle Modell-, Informations- und Wissensplattform für ein partnerschaftliches

Management von Bauprojekten zu schaffen [Mef-09]. Im Unterschied zu ForBAU steht jedoch der Hochbau im Fokus des Projekts. Erste Ergebnisse wurden auf dem MEFISTO-Kongress im Oktober 2010 vorgestellt [Mef-10].

3D-Baugrundmodellierung

Aktuelle Forschungsarbeiten mit Bezug zur räumlichen Baugrundmodellierung zielen auf die Beschreibung der räumlichen Variabilität von Baugrundeigenschaften [Hub-10]. Verwendung sollen entsprechende Ansätze bei Standsicherheitsnachweisen finden. Die Ansätze in [Hub-10] können zukünftig das in ForBAU entwickelte duale Modellierungskonzept ergänzen, in dem die datenbankbasierte Verwaltung von Baugrundeigenschaften entsprechende quantifizierte räumliche Variabilitäten von Bodenparameter einzelner Bodenschichten des 3D-Modells vorhält.

Baugrundsimulation

Für den Austausch von Bodenkennwerten, die direkt aus der Erkundung oder während des Labortests entstehen, gibt es bereits eine Vielzahl von elektronischen Schnittstellen [Wea-08]. Diese Formate ermöglichen eine Integration der Daten in eine Baugrunddatenbank. Der Austausch von interpretierten Daten aus der Datenbank erfolgt derzeit immer noch auf Basis von Dokumenten bzw. in Form von Papier. Dies bedeutet, dass die geotechnischen Berichte wie z.B. Baugrundgutachten, Bohrprofile, Darstellung von Schichtgrenzen oder Bodenparameter für die numerische Berechnung als PDF-Dokument oder als CAD-Zeichnungen dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden. Eine elektronische Weiterverwendung dieser Daten ist somit unmöglich und führt zum zeitaufwändigen und kostspieligen Zwang der erneuten Eingabe. Außerdem wird die Planung einer Trasse gegenwärtig auf Grundlage einer einzigen homogenen Baugrundsicht (Oberflächen-DGM) durchgeführt. Diese vereinfachte Annahme führt zu dem Problem, dass aufgrund der Verschneidung des Trassierungskörpers mit dem Oberflächen-

modell fehlerhafte Massenangaben übermittelt werden. Zudem können mit diesem Modellansatz keine Informationen über eine geeignete Trassenplanumshöhe bzw. nichttragfähige Untergrundschichten im Planungsprozess berücksichtigt werden.

Optimierung von Erdbauprozessen

Die Anwendung mathematischer Optimierungstechniken im Erdbau begann in den 80er Jahren. In [Sta-83] wurde ein mathematisches Modell für die Optimierung von Erdbauprozessen auf Basis von Linearer Optimierungstechnik vorgestellt, bei dem die Einheitskosten für Materialtransport konstant angenommen werden. [Eas-88] erweiterte das Lineare Optimierungsmodell um lineare bzw. nicht-lineare Einheitskostenfunktionen. Ein ähnliches Optimierungsproblem, das Balancieren von Erdstoffen bei Erdbauarbeiten wurde in [Far-80] untersucht, wobei hier der Fokus nicht auf Straßenbauprojekten sondern auf dem Geländebau lag. In [Son-05] wurde ein Modell für den optimalen Einsatz von Erdaushubgeräten auf Basis von [Esa-88] aufgebaut. Der wesentliche Fortschritt bestand darin, dass ein zweidimensionales Auswerterraster als Lageplan einer Baugrube eingesetzt wurde, um die minimale Fahrdistanz der Erdaushubgeräte zu berechnen sowie die Fahrriichtung zu bestimmen. Diese Art von Problemen lässt sich auf das Minimal-Kosten-Problem verallgemeinern [Ahu-93] und kann mit Hilfe von Linearer Programmierungstechnik gelöst werden. Andere Fragestellungen, wie das Problem der Einteilung von Bauabschnitten, das bei größeren Straßenbauprojekt sowohl für den Auftraggeber und als auch für die beteiligten Bauunternehmen eine wichtige Rolle spielt, wurden bisher noch nicht wissenschaftlich untersucht.

3.1.3 Aktueller Stand und Ergebnisse

3.1.3.1 Teilmodelle des Baustelleninformationsmodells

Als wesentliche Grundlage für die Schaffung einer virtuellen Baustelle dient eine weitgehend vollständige dreidimensionale Beschreibung des Bauvorhabens. Das Gesamtmodell setzt sich dabei aus folgenden Teilmodellen zusammen:

- 3D-Trassenmodell
- 3D-Bauwerksmodell
- 3D-Geländemodell
- 3D-Baugrundmodell
- 3D-Modell der Baustelleneinrichtung

Charakteristisch für die Datenverarbeitung im Bauwesen ist dabei die Tatsache, dass im Regelfall jedes dieser Teilmodelle in verschiedenen, hochspezialisierten Softwareapplikationen erzeugt wird, die zumeist nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten zum Datenaustausch mit den jeweiligen anderen Applikationen bieten. Eine Zusammenführung der verschiedenen Teilmodelle war daher eine der entscheidenden Herausforderungen, denen sich TP1 im Projektverlauf gestellt hat.

Die folgenden Abschnitte geben eine detaillierte Zusammenfassung zu den Fortschritten in den einzelnen Arbeitsgebieten. Die Gliederung folgt dabei im Wesentlichen der Aufteilung in die verschiedenen Arbeitspakete (vgl. Abschnitt 3.1.4).

3.1.3.2 Der ForBAU-Integrator

Bereits im ersten Projektjahr wurde die Notwendigkeit der Schaffung eines Softwarebausteins erkannt, der die Integration der verschiedenen Teilmodelle realisiert (Abbildung 3.1-1). Die Umsetzung dieser *ForBAU-Integrator* genannten Software wurde im dritten Projektjahr vervollständigt und mithilfe der ForBAU-Pilotbaustelle B15n (Abbildung 3.1-1) evaluiert.

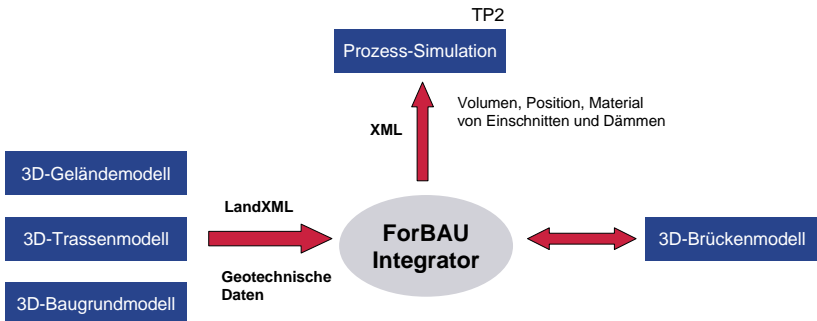


Abbildung 3.1-1: Der ForBAU-Integrator als Bindeglied verschiedener Teilmodelle der digitalen Baustelle

Eine wesentliche Aufgabe des *ForBAU-Integrators* ist die Kopplung des Trassenentwurfs, der mittels etablierter 2D-Entwurfswerkzeuge realisiert wird, mit Brückenmodellen, die mittels parametrischer Volumenmodellierer erzeugt werden. Eine solche Kopplung ermöglicht es, dass Änderungen am Verlauf der Trasse, die häufig auch in späten Planungsphasen noch auftreten, in die Brückenmodelle propagiert und dort zu einem weitgehend automatischen Update der Brückengeometrie, d.h. Anpassung an den neuen Trassenverlauf, führen (Abbildung 3.1-1).

Die Umsetzung dieser Kopplung erfolgt durch Einlesen der Haupttrassenparameter (Achsenverlauf, Gradienten, Querprofile) mit Hilfe der Standardschnittstelle LandXML. Aus diesen entsprechend dem gültigen Entwurfsparadigma in 2D abgelegten Informationen wird vom ForBAU-Integrator ein 3D-Modell des Trassenverlaufs erzeugt. Ebenfalls aus dem LandXML-Format entnommen wird das Digitale Geländemodell, also die 3D-Beschreibung der Geländeoberfläche. Daneben ist der *ForBAU-Integrator* in der Lage, 3D-Baugrund-Modelle zu importieren, die mit Hilfe der Spezialsoftware *Surpack* erzeugt wurden.

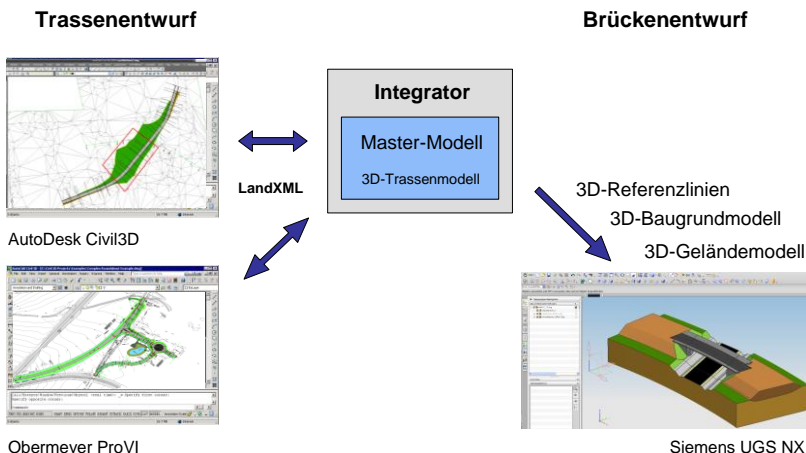


Abbildung 3.1-2: Der ForBAU-Integrator realisiert die Kopplung zwischen 2D-basierten Trassenentwurf und parametrischen 3D-Brückenmodell

Diese Gesamtinformationen zum Trassenverlauf und seiner Umgebung werden nun vom *Integrator2NX*, einem Modul des *ForBAU-Integrators*, an das CAD-System Siemens NX übergeben, das im ForBAU-Projekt exemplarisch als Werkzeug zur parametrischen Modellierung von Brückenbauwerken ausgewählt wurde. Hierbei werden zunächst 3D-Referenzlinien erzeugt, die den Verlauf der geplanten Trasse beschreiben. Sie dienen als geometrische Bezugselemente, an die die Geometrie des Brückenüberbaus mittels parametrischer Abhängigkeit gebunden wird (Abbildung 3.1-3).

Wird zu einem späteren Zeitpunkt der Verlauf der Trasse im Trassenentwurfs-CAD-System geändert, ist der *ForBAU-Integrator* in der Lage, die entsprechenden Modifikationen zu erkennen und ein Update der Referenzlinien durchzuführen. Die Geometrie des gesamten Brückenbauwerks wird dementsprechend über parametrische Verknüpfungen automatisch aktualisiert. Dadurch reduziert die Überarbeitungszeit für die manuelle Anpassung der Brückengeometrie erheblich.



Abbildung 3.1-3: Referenzlinien des Trassenverlaufs und daran gebundene Brückegeometrie

Der *ForBAU-Integrator* übernimmt neben dem Generieren und Aktualisieren der Referenzlinien auch das Erzeugen der Geländeoberfläche im Zielsystem in Form eines Volumenkörpers (Abbildung 3.1-4).

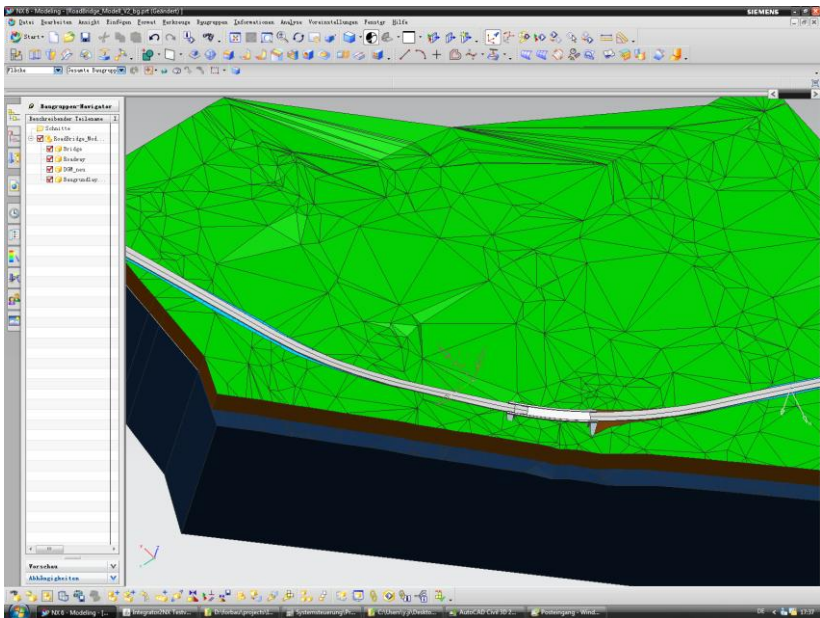


Abbildung 3.1-4: Trassenmodell, Geländemodell und 3D-Baugrundmodell im parametrischen Volumenmodellierer Siemens UGS NX

Diese Importfunktion wurde im Projektjahr 2010 weiterentwickelt. Ein digitales Geländemodell (DGM) besteht typischerweise aus

einer großen Anzahl von Dreiecksmaschen (mehrere 10.000). Um daraus im Zielprogramm Siemens NX einen entsprechenden Volumenkörper zu erstellen, musste die Importfunktion optimiert werden, da das Maschinenbau-CAD-Programm für die Verarbeitung ein solch großen Zahl an geometrischen Objekten nicht ausgelegt ist. Der optimierte Importalgorithmus arbeitet nach dem Divide-and-Conquer-Prinzip und teilt die gesamte Geländeoberfläche in benachbarten Regionen. Jede Region enthält max. 2000 Dreiecksobjekte. Die durch Extrusion entstandenen Teilvolumenkörper der einzelnen Region werden anschließend mit den benachbarten Teilvolumenkörpern durch eine boolesche Operation zu einem Gesamtvolumenkörper vereinigt. Dadurch konnte die Speicherbelastung deutlich verringert und die Performance der Importfunktion wesentlich verbessert werden. In einem Test wurde die Geländeoberfläche der Pilotbaustelle B15n mit 12.000 Dreiecksobjekten in Siemens NX importiert. Mit einem handelsüblichen PC dauerte der Importvorgang ca. 3 Stunden.

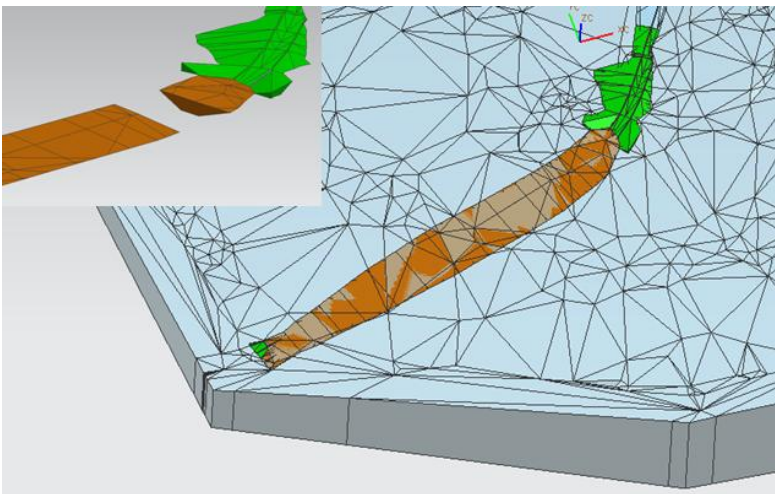


Abbildung 3.1-5: Volumenkörper der Dämme und Einschnitte im Volumenmodellierer Siemens UGS NX

Ein weiteres im Projektjahr 2010 neu entwickeltes Softwaremodul des *ForBAU Integrators* dient der Massenermittlung in Erdbauprojekten. Die Volumen des Erdauftrags und -abtrags werden im CAD-System Siemens NX über eine Verschneidung der Volumenkörper der Trasse und des Geländes exakt ermittelt (Abbildung 3.1-5). Die so ermittelten Massen bilden eine deutlich genauere Grundlage für die Angebotskalkulation als die herkömmlichen 2D-basierten Methoden.

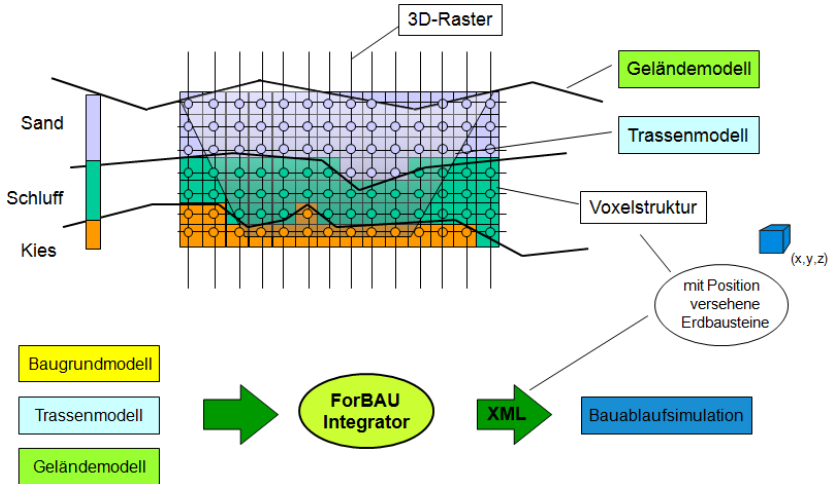


Abbildung 3.1-6: Prinzip des Voxelisierungsverfahrens

Eine weitere wesentliche Aufgabe des *ForBAU-Integrators* ist das Generieren von Eingangsdaten für die Ablaufsimulation des Erdbaus, die im Rahmen von TP2 realisiert wird [Ji-08, Wim-10]. Dazu gehören die Volumina der ein- bzw. auszubauenden Erdbaustoffe, die Position einzelner Erdeinheiten sowie deren Beschaffenheit (Materialparameter). Zum Erzeugen dieser Informationen führt der *ForBAU-Integrator* eine Verschneidung des 3D-Trassenmodells mit dem 3D-Baugrund- und dem 3D-Geländemodell durch.

Hierzu wurde ein sogenannter *Voxelisierungsalgorithmus* entwickelt. Dabei wird zunächst ein 3D-Auswertungsraster für den ge-

samten Bereich der Trasse erzeugt. In Abbildung 3.1-6 wird ein Querschnitt des 3D-Auswertungsrasters gezeigt. Die Baugrundschichten werden unter Berücksichtigung des Verlaufs der Geländeoberfläche und der Böschungen in eine große Menge gleichmäßiger Würfelobjekte („Voxel“) diskretisiert. Jedes Voxel erhält dabei eine eindeutige 3D-Position und wird einer bestimmten Baugrundschicht zugeordnet. In Abbildung 3.1-6 sind beispielsweise Sand-Voxel violett dargestellt, Schluff-Voxel grün und Kies-Voxel orange. Den sich innerhalb des Trassenprofils befindlichen Voxeln wird zusätzlich die Information „Abtrag“ zugewiesen. Die generierten Voxel-Elemente können zu Gruppen zusammengefasst werden, um eine Erdeinheit bestimmter Größe zu modellieren. Diese Daten werden in Form einer XML-Datei an die Bauablaufsimulation übergeben (Abbildung 3.1-7).

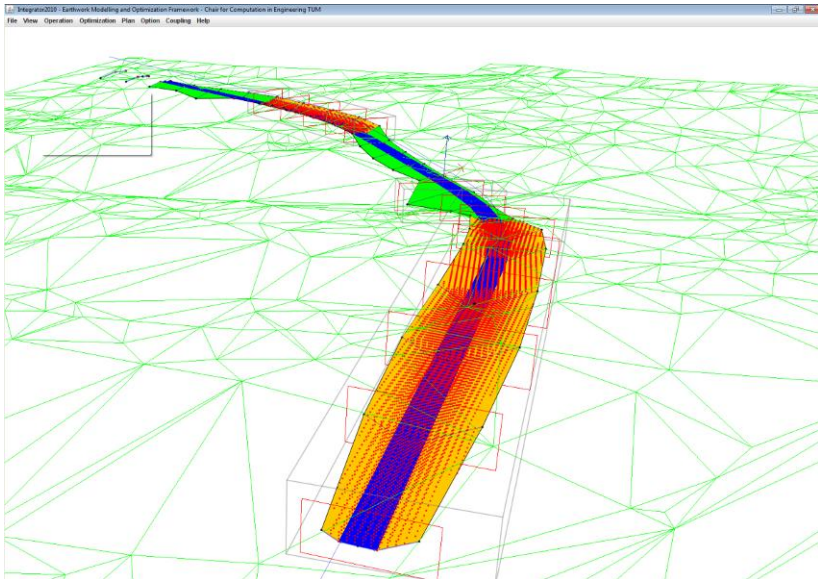


Abbildung 3.1-7: Voxelisierte Erdbaubereiche

3.1.3.3 Einbindung von Prozessinformationen

Um dem gutachterlichen Wunsch nach stärkerer Einbindung von Bauprozessinformationen in das Gesamtmodell der digitalen Baustelle gerecht zu werden, wurden im Projektjahr 2010 die Entwicklungen auf diesem Gebiet weiter intensiv vorangetrieben. Die Anstrengungen konzentrierten sich dabei zum einen auf die Optimierung von Prozessabläufen und Einteilung von Bauabschnitten im Erdbau und zum anderen auf die Kopplung zwischen Prozessoptimierung (TP1) und Ablaufsimulation (TP2). In folgenden Abschnitten werden die beiden Optimierungsprobleme und die Lösungsansätze dargestellt. Der Kopplungsansatz wird im *Abschnitt 3.2.3.1. Kopplung Kinematiksimulation mit Wegfindungsalgorithmen* detailliert behandelt.

Optimierung von Erdbauprozessen. Eine wichtige Ausgangsinformation für die im TP 2 durchgeführte Simulation von Erdbauprozessen ist die Festlegung der Transportwege, d.h. die Zuordnung von Einschnitts- zu Dammbereichen. Erdmaterial, das im Einschnittsbereich ausgebaut wird, sollte, wenn die Bodenart dafür geeignet ist, in möglichst großem Umfang für den Einbau in Dammbereichen verwendet werden, um Zusatzkosten für den Einkauf fremder Erdmaterialien und für das Zwischenlagern bzw. Deponieren überflüssiger Erdstoffe zu minimieren. Die Zuordnung von Einschnitts- zu Dammbereichen sollte dabei so erfolgen, dass die zurückzulegenden Wege für die Transportmittel minimal sind. Aus dieser Aufgabenstellung ergibt sich ein klassisches Optimierungsproblem, das mit Hilfe eines gewichteten bipartiten Graphen beschrieben werden kann.

Die Information zu Einschnitts- bzw. Dammbereichen, vor allem die Volumen, die Positionen und die Materialeigenschaften werden vom *ForBAU-Integrator* mit Hilfe des Voxelisierungsalgorithmus ermittelt und der Optimierung zur Verfügung gestellt. Die Position und die Größe sowie die Anzahl der Zwischenlager und Deponien werden vom Benutzer festgelegt. Aus Sicht der Graphen-theoretischen Modellierung unterscheiden sich Deponie und

Dammbereich nicht, weil beide Elemente Materialfluss aufnehmen können. Analog gilt das auch für die verschiedenen Zwischenlager und den Einschnittsbereich. Es ist zu beachten, dass der Begriff des Zwischenlagers hier nur im Sinne der Zwischenlagerung eingekaufter Erdstoffe zu verstehen ist.

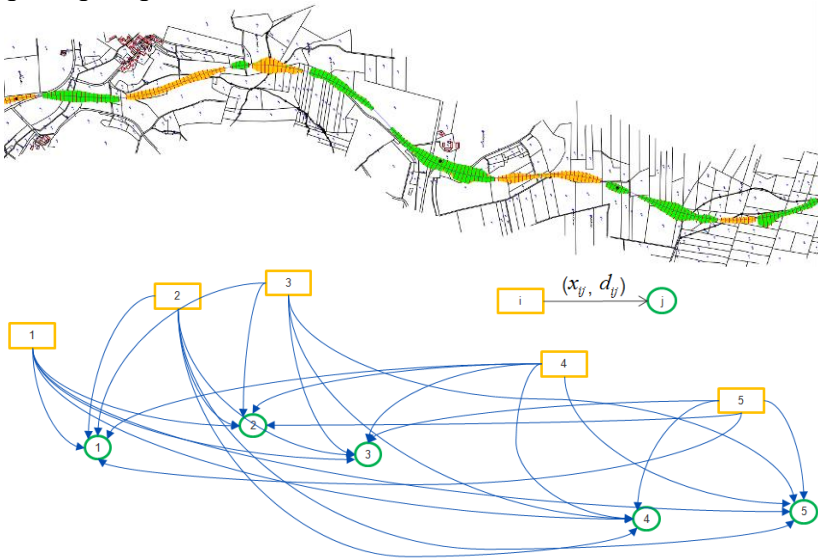


Abbildung 3.1-8: Das Problem der optimalen Zuordnung von Einschnitt- zu Dammsabschnitten und seine Modellierung als bipartiter Graph

Der zugrundeliegende Graph G besteht aus zwei Typen von Knoten, die Damm- und Einschnittbereiche repräsentieren. Die Richtung der Kanten entspricht dem Fluss der Erdstoffe vom Einschnitt zum Damm. Eine Kante ist gewichtet durch die Transportentfernung. Das Ergebnis der Optimierung ist für jede Kante die Menge der zu transportierenden Erdstoffe zwischen den beiden zugehörigen Knoten (Abbildung 3.1-8).

Die optimale Zuordnung von Einschnitts- zu Dammbereichen kann mittels linearer Optimierungstechnik exakt bestimmt werden

[Ji-10a]. Dieses Optimierungsergebnis wird als Eingangsinformation an die Bauablaufsimulation (TP2) übergeben.

Es ist darauf hinzuweisen, dass das Optimierungsmodell nur die makroskopische Sicht auf das Erdbauvorhaben repräsentiert. Prozessrelevante Abhängigkeiten (Reihenfolgebeziehungen, Engstellen etc.) werden dabei nicht berücksichtigt. Dieses Problem wird durch einen im Projektjahr 2010 entwickelten Kopplungsansatz [Ji-10b, Ji-10d] gelöst, der im Detail im *Abschnitt 3.2.3.1. Kopplung Kinematiksimulation mit Wegfindungsalgorithmen* beschrieben wird.

Optimale Festlegung von Bauabschnittsgrenzen. Größere Trassenvorhaben werden in der Regel vom Auftraggeber in mehrere Abschnitte unterteilt und in einzelnen Losen vergeben. Um die Kosten zu senken, liegt es dabei im Sinne des Auftraggebers, dass jeder dieser Abschnitte hinsichtlich der ein- bzw. auszubauenden Erdmassen weitgehend ausgeglichen ist und somit weder ein Abtransport von Erdmaterial zur Deponie noch ein Zukauf von Erdmaterial nötig ist.

Die Entscheidung über die Einteilung von Bauabschnitten spielt aus Sicht der Wirtschaftlichkeit großer Straßenbauprojekte eine entscheidende Rolle, da eine nicht-optimierte Begrenzung von Bauabschnitten dazu führt, dass ein Bauabschnitt einen Materialüberfluss hat, während ein anderer Mangel an Erdstoffen aufweist und zusätzliche Materialien beschafft werden müssen. Dies erlangt besondere Bedeutung, da in der Praxis häufig die einzelnen Bauabschnitte von verschiedenen Bauunternehmen realisiert werden, und eine firmenübergreifende Kooperation hinsichtlich des Ausgleichs von Erdstoffen i.d.R. schwer zu etablieren ist.

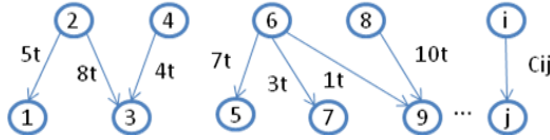


Abbildung 3.1-9: Optimierte Einschnitts- und Dammszuordnung als gerichteter Graph mit der Transportmenge als Kantengewicht

Beim Problem der Festlegung von Bauabschnittsgrenzen handelt es sich um einen Spezialfall der linearen Optimierung mit einer binären Entscheidungsvariable. Das setzt voraus, dass das Zuordnungsproblem der Einschnitts- und Dammbereiche bereits gelöst ist (Optimierung von Erdbauprozessen). Diese optimierte Zuordnung kann als gerichteter Graph dargestellt werden (Abbildung 3.1-9).

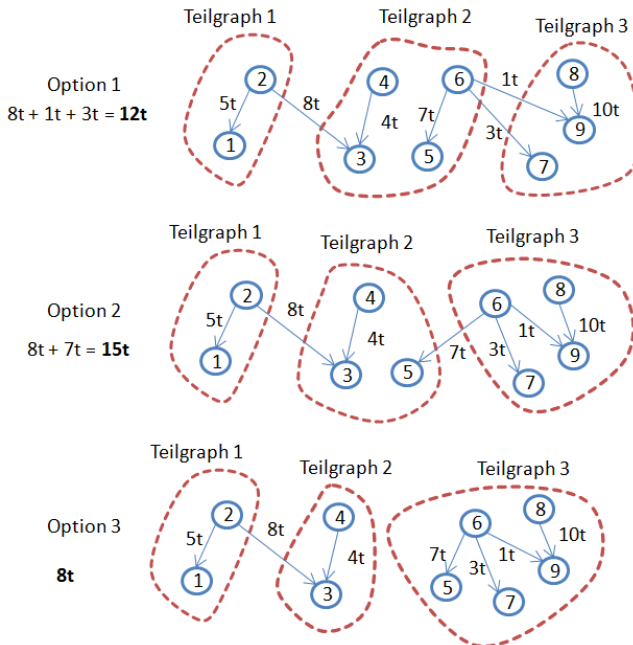


Abbildung 3.1-10: Beispiel für das Bauabschnittseinteilungsproblem

Die Abbildung 3.1-10 zeigt ein einfaches Beispiel dazu. Option 3 ist die beste Einteilungsmöglichkeit im Vergleich zu den anderen beiden Optionen, weil die Summe der Erdstoffe, die über die Grenze der Bauabschnitte transportiert werden müssen, geringer ist als bei Option 1 und 2. Es gibt noch weitere Optionen, die untersucht werden müssen. Die Anzahl der Optionen wächst exponentiell, es handelt sich hier um ein typisches kombinatorisches Problem.

Um Auftraggeber bei der Festlegung von Bauabschnittsgrenzen zu unterstützen, wurde vom Lehrstuhl CiE in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Optimierung der TU Kaiserslautern ein mathematisches Verfahren entwickelt, das die Bauabschnittsgrenzen so anordnet, dass sie im Sinne der Ausgeglichenheit der einzelnen Abschnitte optimal sind [Ji-10a]. Das entwickelte Lineare Programm kann mit Standardlösern wie GLPK, Gurobi und Mosek gelöst werden.

3.1.3.3 Validierung des trassengebundenen Ansatzes zur parametrischen Bauwerksmodellierung

Die trassengebundene Brückenmodellierung besitzt eine zentrale Rolle im Forschungsprojekt „ForBAU“. Während der Projektlaufzeit wurde ein Konzept entwickelt, das eine parametrische und trassengebundene Modellierung von Brückenbauwerken ermöglicht. Dieses Konzept sieht vor, das Brückenbauwerk entlang von Referenzlinien zu konstruieren, den Baugrund zusätzlich zu integrieren und ein dynamisches Modellupdate durch eine durchgehende Parametrisierung der Brückengeometrie zu gewährleisten. Anhand mehrerer Demobrückenbauwerke wurde dieser Forschungsansatz validiert. Die Ergebnisse sowie das prinzipielle Vorgehen werden in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben.

Demobauwerk 1. Bei dem modellierten Demobauwerk handelt es sich um eine zweifeldrig gelagerte Plattenbalkenbrücke, welche auf Großbohrpfählen mit einem Durchmesser von 75cm und

Längen zwischen 8 und 10m gegründet wurde. Im Bereich der Pfeilerachse 20 werden die Bohrpfähle mit einer Neigung von 10:1 und in den Widerlagerachsen 10+30 gerade konzipiert. Der Überbauquerschnitt setzt sich aus zwei Fertigteil-Plattenbalken (FT-PlaBa) mit anschließender Ortbetonergänzung zusammen und besitzt eine Spannweite von 43,0m. Die Einzelstützweiten der beiden Felder betragen jeweils 21,5m. Die Lagerung des 6,5m breiten Überbaues, erfolgt durch 6 Elastomerlager, die im Bereich der Widerlager und des Pfeilers angeordnet werden. Die Widerlager selbst werden direkt an die Bohrpfähle ohne Pfahlkopfplatte angebunden, was eine Reduzierung der Baukosten ermöglicht. Die Gründung des Pfeilers erfolgt konventionell mittels Pfahlkopfplatte.

Neben den Bauwerksentwurfsplan stellt der Trassierungsverlauf der Brücke eine weitere wichtige Grundlage für die Umsetzung des Bauwerksmodells dar und bestimmt die geometrische Form sowie die Positionierung der Brücke im Trassierungsnetz. Der Verlauf der Trasse wurde mit Hilfe des im Rahmen von ForBAU entwickelten Softwaremoduls „Integrator2NX“ in die CAD-Umgebung importiert und anschließend in einer Master-Skizze abgelegt. Die integrierten Referenzlinien spiegeln den rechten, linken und mittleren Rand der Trasse wieder und gewährleisten eine korrekte Modellierung des Brückenbauwerks in Abhängigkeit der Längs- u. Querneigung sowie dem Verlauf der Trasse in Lage und Höhe.

Im nächsten Modellierungsschritt wurden die Brückenlagerachsen (Achse 10+20+30) zu den Referenzlinien aus der Master-Skizze beigefügt. Dieser Vorgang ermöglicht zum einen, eine frei wählbare Positionierung der Unterbauten und zum anderen die Definition der Stützweite des Überbaues. Durch die tangentielle Abhängigkeit der Lagerachse (Skizzeneben) zur Brückenachse (Referenzlinie) kann zu einem beliebigen Zeitpunkt eine Modifikation der Positionierung bzw. die Stützweite der Brücke erfolgen. Nachdem die Hauptgeometrien des Bauwerks definiert wurden,

konnte mit der Modellierung der einzelnen Bauteile begonnen werden. Hierzu wurden im ersten Schritt die Hauptbaugruppen wie z.B. Brücke, Baugrund, Trasse angelegt. Anschließend wurden diese Hauptgruppen in weitere Unterbauteile unterteilt. Dies ermöglicht eine einfache und bauteilorientierte Navigation durch die Modellierungshierarchie. Die feingranulare Einteilung der Bauwerksstruktur gewährleistet während bzw. nach Abschluss des Modellierungsprozesses eine direkte Nachverfolgung der einzelnen Arbeitsschritte, vereinfacht die Lösung von Problemen sowie die nebenläufige Modifikation von Bauteilen durch mehrere Bearbeiter (Concurrent Engineering).

Im folgenden Abschnitt werden anhand des Brückenüberbaus die erforderlichen Modellierungsschritte exemplarisch aufgezeigt. Begonnen wurde mit der Verlinkung „Art Kopie“ der Referenzlinien bzw. Brückenachsen in das Überbau-Bauteil. Dieser Vorgang stellt sicher, dass ein assoziatives und redundanzfreies Verhalten des Bauteils zu den Elementen aus der Masterskizze besteht. In einem nächsten Schritt wurde eine Skizze angelegt, die entlang eines Pfades (mittlere Referenzlinie) extrudiert wird und den Querschnitt des zweistegigen Plattenbalkens definiert. Mit Hilfe einer Schnittpunktermittlung zwischen der Skizzeneben und der beiden äußeren Referenzkurven wurde eine weitere Kopplung zur Skizze hergestellt. Dies gewährleistet einen trassengebundenen Modellierungsverlauf des Plattenbalken-Querschnittes.

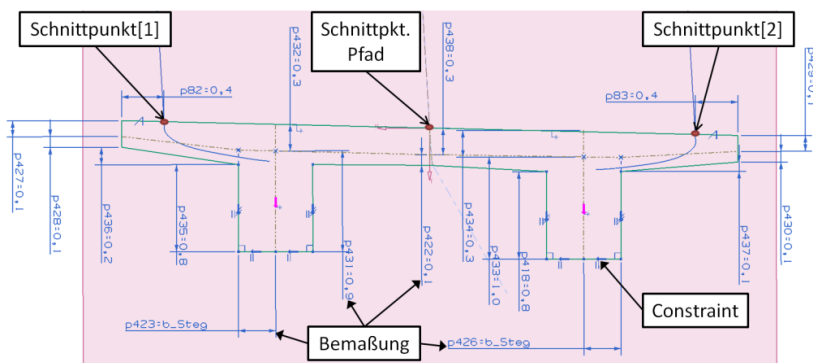


Abbildung 3.1-11: Querschnittsskizze des Überbaues der Brücke

Die Parametrisierung und somit Modifizierbarkeit des Querschnittes (Abbildung 3.1-11) erfolgt durch den Einsatz von parametrisch definierbaren Vermassungsketten bzw. geometrischen Zwangsbedingungen (Constraints). Der Parametrisierungsprozess konnte abgeschlossen werden, nachdem alle geometrischen Freiheitsgrade festgelegt wurden.

Im Anschluss erfolgt die Extrusion des erstellten Plattenbalken-Skizzenquerschnittes. Hierfür kamen zwei verschiedenen Extrusionsarten zum Einsatz. Die Funktion „Variable Extrusion“ modelliert den Querschnitt entlang eines definierten Pfades, während die Funktion „Extrudieren“ einen Extrusionskörper aus mehreren variablen Querschnittsskizzen entlang von max. drei Führungslinien erzeugt.

Nachdem die Extrusion der Überbaukörper (Plattenbalken u. Kappe) abgeschlossen war, wurde anschließend eine parametrische Abhängigkeit zwischen der Überbaulänge (Spannweite) und den verlinkten Brückenachsen hergestellt. Hierzu wurde eine assoziativ gekoppelte Bezugseben in einem Abstand von 0,75m zur Achsebene 10 bzw. 30 definiert (Abbildung 3.1-12). Mit Hilfe dieser beiden Bezugsebenen konnte nun der Überbaukörper auf die reale Länge getrimmt werden. Die gleichen Modellierungsschritte wurden für die parametrische Längendefiniten der Kappenkörper durchgeführt.

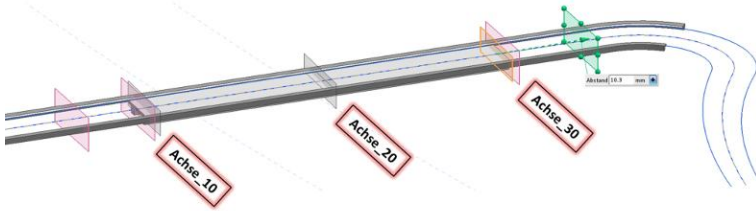


Abbildung 3.1-12: achsbezogen getrimmter Überbaukörper der Brücke

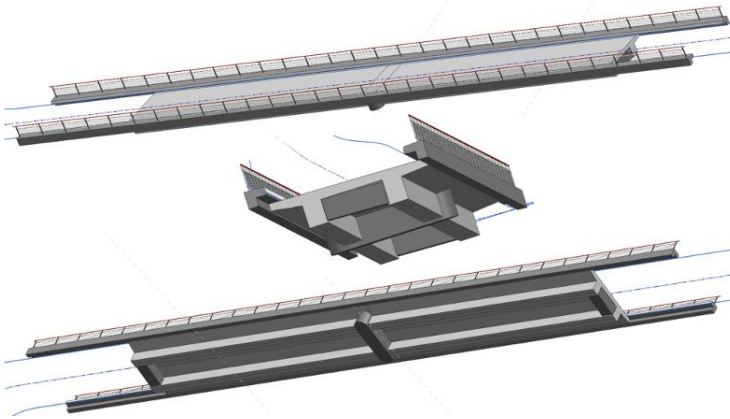


Abbildung 3.1-13: vollständiges Überbaumodell der Brücke

Nach Abschluss der Übermodellierung (Abbildung 3.1-13) erfolgte die Umsetzung des Unterbaues (Widerlager, Pfeiler, Gründung, Lager usw.). Aufgrund der Analogie des Modellierungsprozesses zur Überbaumodellierung wird auf eine detailliertere Beschreibung verzichtet (Abbildung 3.1-14).

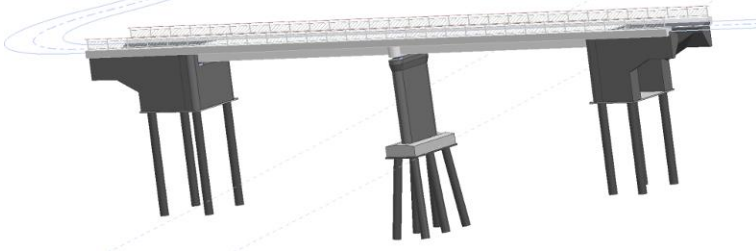


Abbildung 3.1-14: vollständiges Unterbaumodell mit Pfähle

Am Ende sämtlicher Modellierungsvorgänge stand ein parametrisches und trassengebundenes Brückenmodell zur Verfügung, das durch eine Modifikation der Elemente aus der Masterskizze eine einfache Anpassung an die neuen Randbedingungen aus der Trassen- bzw. Brückenplanung erlaubt (Abbildung 3.1-15).

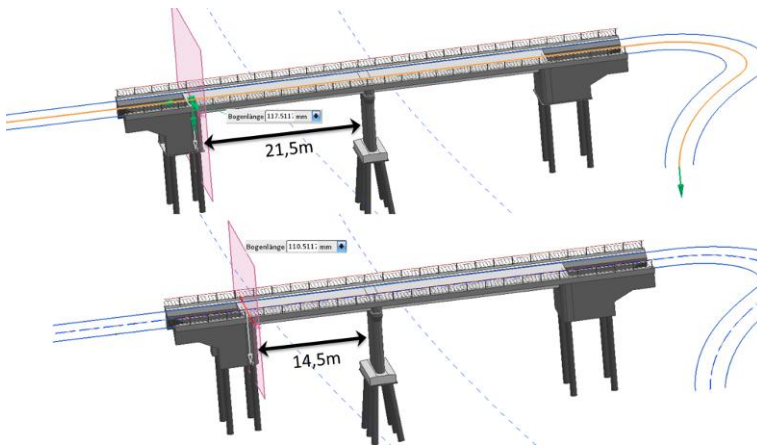


Abbildung 3.1-15: parametrisierte Modelländerung der Stützweite

Zur Fertigstellung des gesamten Trassen-Baugrund-Brückenmodells (Abbildung 3.1-16) wurden noch weitere Modellierungsschritte für die Erzeugung des Baugrunds- und Trassenmodells benötigt. Hierbei wurden Skizzen entwickelt, die die Geometrie der jeweiligen Objekte wie Straße, Damm oder Einschnitt mit den dazugehörigen Parametern Böschungsneigung, Straßenbelaghöhe und -breite widerspiegeln. Zudem konnten aus den resultierenden Erdkörpern Informationen über die geplanten Soll-Massen ermittelt werden. Die Navigation durch die komplexe Modellierungsstruktur einschließlich der Modellierungshistorie ist aufgrund des bauteilorientierten Konzeptes auf einfache Art und Weise handhabbar.

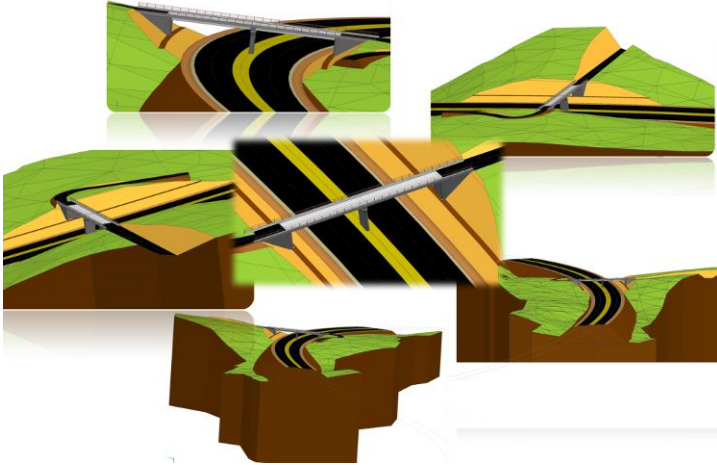


Abbildung 3.1-16: parametrisches Baugrund-Trassen-Brückenmodell

Selbstverständlich werden für die baupraktische Umsetzung des Bauwerkes immer noch in 2D ausgeplottete Ausführungspläne auf der Baustelle benötigt. Diese Pläne können schnell und einfach durch das Ableiten von Ansichten und Schnitten aus dem 3D-Modell generiert und anschließend durch das Hinzufügen von Vermaßungsketten bzw. Beschriftungen an die Ansprüche der jeweiligen Gewerke (Schalungsbauer, Betonbauer etc.) angepasst werden. Das bidirektionale Kopplungskonzept zwischen den 2D-Plänen und dem 3D-Modell ermöglicht eine redundanzfreie und zeitverkürzte Planungsänderung, da Modifikationen des Bauteils entweder am 3D-Modell direkt oder in der 2D-Zeichnung vorgenommen werden können.

Im Zuge des Validierungsvorgangs wurden eine Reihe von weiteren Bauwerksmodellen (Grünbrücke, NX-Demo, BW 4-2_B299, BW 5-2_B299, BW 2-10_DB ü.d. BAB 14 und K25-1) basierend auf den zuvor beschriebenen Konzept realisiert (Abbildung 3.1-17). Zusammenfassend kann man die Aussage treffen, dass mit Hilfe des hier beschriebenen Ansatzes ein weites Spektrum von Brückenbauwerken modelliert werden können. Der Einsatz von dreidimensionalen, parametrischen Entwurfsmethoden kann

somit die tägliche Ingenieurarbeit exzellent unterstützen. Besonders hervorzuheben gilt, das durch die Kopplung der Brücke an den Trassierungs- und Baugrundverlauf Planungsprozesse bereits während der Entwurfs- aber auch in der Ausführungsphase optimiert und redundante Arbeitsvorgänge reduziert werden können. Die Planung eines 3D-Brückenbauwerks, welches zugleich in die Trassierungs- und Baugrundumgebung integriert ist, birgt daher wesentliche Vorteile für den gesamten Planungsprozess.

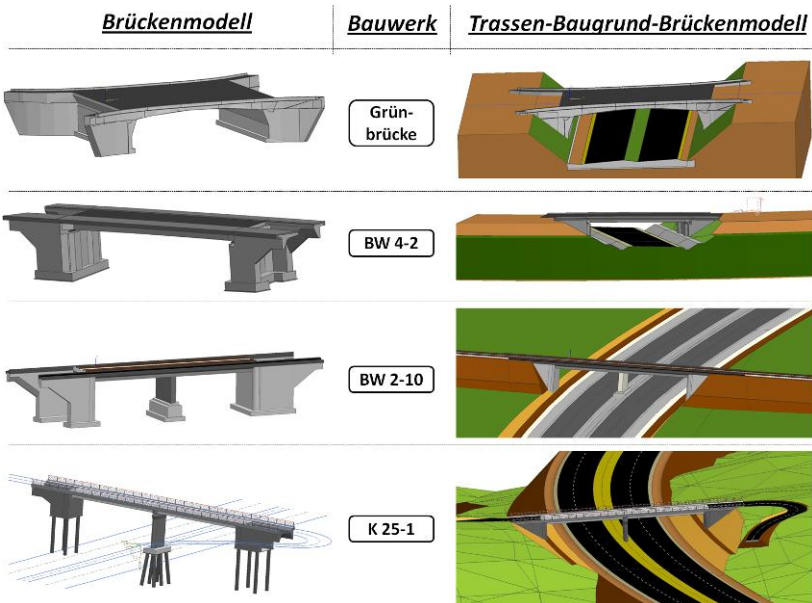


Abbildung 3.1-17: Portfolio an modellierten Brückenbauwerken

3.1.3.4 Entwicklungen rund um IFC-Bridge

Ein Schlüsselement zur nachhaltigen Etablierung der Verwendung parametrischer 3D-Brückenmodelle in der Baubranche ist die Nutzbarkeit dieser Modelle während der gesamten Planungsphase, d.h. auch über verschiedene Software-Applikationen hin-

weg. Beispielsweise würde die Möglichkeit der Übergabe des 3D-Modells vom Entwurfswerkzeug an entsprechende Programme zur baustatischen Berechnung und Nachweisführung die derzeit bestehenden Arbeitsabläufe, die häufig eine manuelle Wiedereingabe der Geometriedaten verlangen, radikal vereinfachen. Ein derartiger Datenaustausch kann auf Basis bilateraler Schnittstellen realisiert werden, die spezifisch für ein Quell- und ein Zielsystem entwickelt werden. Gerade aus Sicht des Bauherrn ist jedoch die Verwendung eines neutralen und offenen Datenformats wünschenswert, da damit auch eine langjährige Verarbeitbarkeit gesichert werden kann. In Hinblick auf den Austausch von 3D-Brückenmodellen befindet sich derzeit das Format IFC-Bridge in Entwicklung, das auf dem bereits standardisierten Format Industry Foundation Classes (IFC) aufbaut, welches primär für den Datenaustausch im Hochbau Verwendung findet.

Im Rahmen des buildingSmart-Treffens im April 2009 in Paris wurden erste Kontakte mit den Entwicklern geschlossen und eine gemeinsame Weiterentwicklung des Standards beschlossen. In der Folge wurde auf ForBAU-Seite im Projektjahr 2010 eine IFC-Bridge-Initiative in enger Zusammenarbeit mit den französischen IFC-Bridge-Entwicklern vom CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) und der internationalen IFC-Standardisierungsorganisation BuildingSmart ins Leben gerufen, um den aktuellen Entwurf des IFC-Bridge-Formats zu verifizieren, ggf. zu erweitern und so den bevorstehenden Standardisierungsprozess zu unterstützen.

Die wesentlichen Zielsetzungen der Initiative sind:

- Evaluierung des aktuellen Standardentwurfs
- Datenübergabe vom Brückenentwurf an eine strukturmechanische Berechnungssoftware
- Erweiterung um Entitäten zur Beschreibung von Entwurfsparametern und -Zwangsbedingungen („Design Constraints“)

Der einzelne Arbeitsschritte und -ergebnisse werden in folgenden Abschnitten detailliert erklärt.

IFC-Bridge Importer. Die Entwicklungen rund um IFC-Bridge begann mit der Entwicklung eines IFC-Bridge-Viewers auf Basis der parametrischen Modellierungssoftware Siemens NX (Abbildung 3.1-18). Zusammen mit der Umsetzung eines zweiten Viewers in Autodesk Revit Structure wurde das bestehende Datenformat evaluiert und seine potentiellen Schwachstellen identifiziert [Ji-10c].

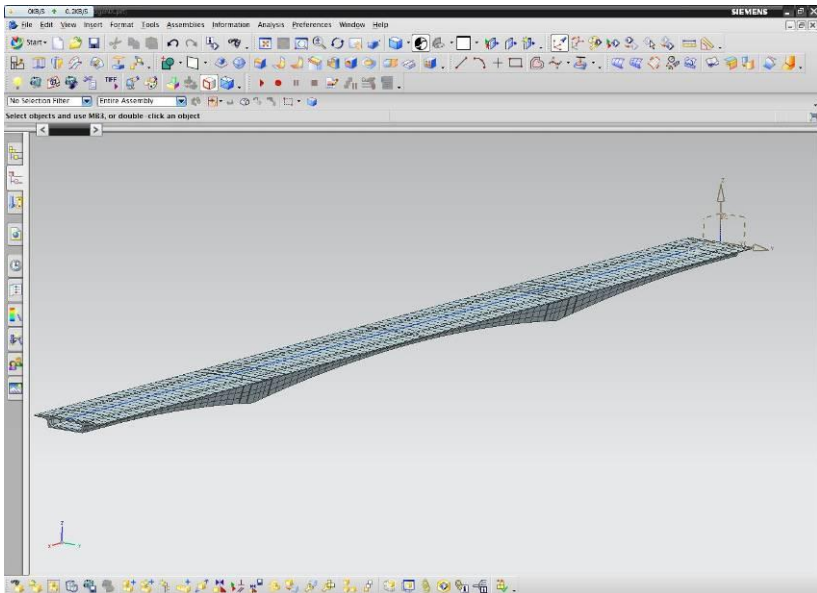


Abbildung 3.1-18: IFC-Bridge-Import für Siemens NX

Ein wesentliches Problem besteht in der Beschreibung der Querschnittsgeometrie des Brückenüberbaus. Während die Brückenplaner die geometrische Form einer Brücke im 3D-CAD-System durch Einsatz von benutzerdefinierbaren Entwurfsparametern und geometrischen Zwangsbedingungen wie Parallel, Senkrecht, Co-linear usw. konstruiert, fehlt im bestehenden IFC-Bridge-Format die Möglichkeit, die vom Planer verfolgte Entwurfsintention abzubilden. Stattdessen wird die Brückenquerschnittsgeometrie im aktuellen Entwurf des IFC-Bridge-Formats über absolute Koor-

dinaten gespeichert, was dazu führt, dass Entwurfsparameter und Zwangsbedingungen beim Datenaustausch zwischen verschiedenen Software-Systemen verloren gehen.

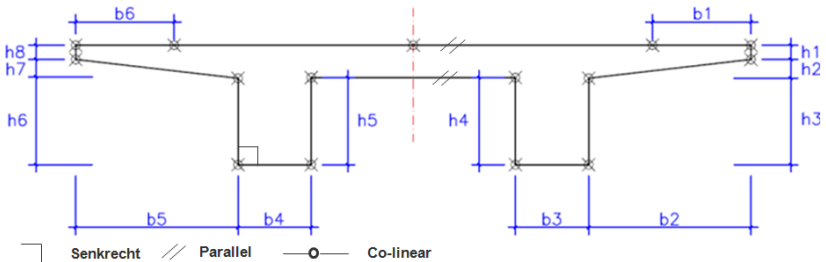


Abbildung 3.1-19: Parametrisierte Brückenquerschnittsgeometrie

Aus diesem Grund wurde im dritten ForBAU-Projektjahr die Erweiterung der existierenden IFC-Bridge-Datenstruktur um Entitäten zur Abbildung parametrischer Modelle schwerpunktmäßig vorangetrieben. Die vorgeschlagenen Erweiterungen sollen nach ausführlichen Tests den Partnern zur Validierung vorgelegt werden.

Vorgeschlagene IFC-Bridge-Erweiterung zur Abbildung parametrisierter Geometrie. Auf Basis der existierenden expliziten Geometriebeschreibung wurden zum Datenmodell zwei neue Klassen hinzugefügt: *SketchGeometricConstraint* und *SketchDimensionalConstraint*. Abgeleitet von der Klasse *SketchGeometricConstraint* sind Entitäten für die verschiedenen geometrischen Zwangsbeziehungen wie zum Beispiel *Senkrecht*, *Parallel*, *Vertikal*, *Horizontal*, usw. definiert, die nach Bedarf erweitert werden können. Jede geometrische Zwangsbedingung ist genau spezifiziert. Zum Beispiel definiert die Bedingung „PARALLEL“ die geometrische Beziehung zwischen zwei Linien, die parallel verlaufen müssen (Abbildung 3.1-20). Diese genaue Spezifikation in der Datenstruktur dient zur Sicherung der Richtigkeit der Interpretation parametrischer Bedeutung in verschiedenen CAD-Systemen.

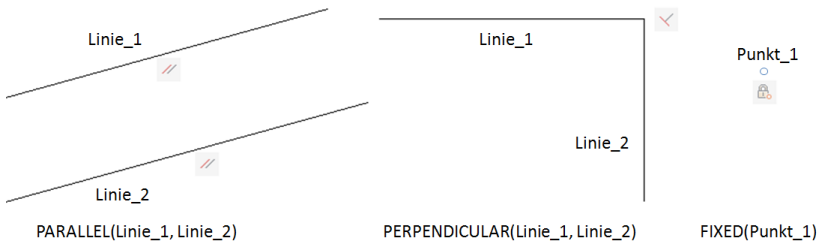


Abbildung 3.1-20: Beispiel geometrischer Zwangsbedingungen

Die andere wesentliche Erweiterung ist die Klasse *SketchDimensionalConstraint*. In modernen CAD-Systemen werden die vom Benutzer definierten Bauwerkmaße als dimensionale Zwangsbedingung (auch Maßzwangsbedingungen) behandelt, die wichtige Entwurfparameter repräsentieren. Auf diese Parameter kann bei der Festlegung andere Abmessungen mithilfe von Formeln Bezug genommen werden. Aus diesem Grund müssen sie beim Datenaustausch zwischen CAD-Systemen unbedingt behalten werden. Typische dimensionale Bedingungen sind Festlegungen für vertikale, horizontale und parallele Abmessungen bzw. Abstände. In der vorgeschlagenen IFC-Bridge-Erweiterung werden derartige Zwangsbedingungen, durch Entitäten repräsentiert, die von der Klasse *SketchDimensionalConstraint* abgeleitet sind (Abbildung 3.1-21). Die gesamte Datenstruktur wird im Klassendiagramm (Abbildung 3.1-22) dargestellt.

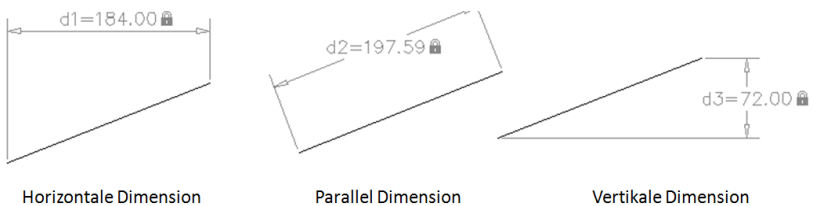


Abbildung 3.1-21: Beispiel dimensionaler Zwangsbedingungen

IFC-Bridge Design Wizard. Im Rahmen der IFC-Bridge-Initiative wurde ein *Bridge-Design-Wizard* genanntes Tool zum Erzeugen von IFC-Bridge-Modellen mittels Siemens NX entwickelt. Das Tool soll dem Brückenplaner helfen, Querschnitte der Brückenbauwerkelemente zum Beispiel Überbau, Widerlager, und Pfeiler über vordefinierte Entwurfsparameter zu erstellen (Abbildung 3.1-23). Das Tool eignet sich besonders gut für das Generieren verschiedener Entwurfsvarianten in der Vorentwurfsphase. Für den Detailentwurf können Brückenplaner anschließend die vollständige Funktionalität vom Siemens NX nutzen. Nach der Querschnittdefinition erzeugt das Design-Wizard das 3D-Volumenmodell mithilfe der NX-Open-Schnittstelle. Anschließend können die Brückenmodelle in IFC-Dateien (STEP Part 21) exportiert werden.

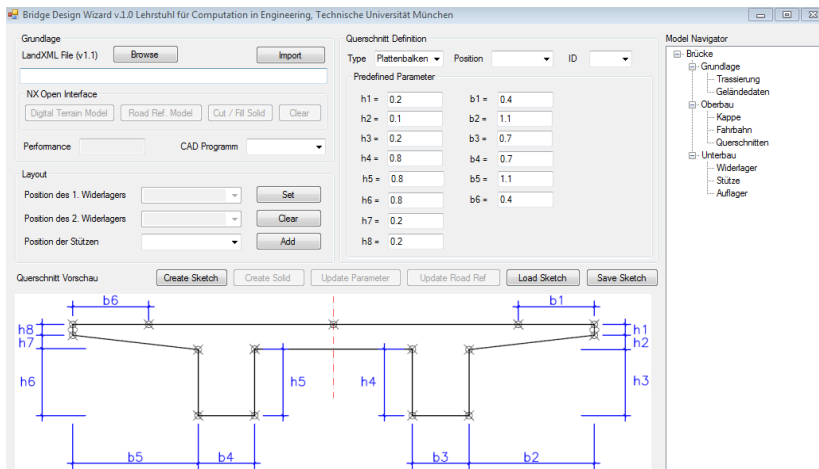


Abbildung 3.1-23: Benutzeroberfläche des Bridge-Design-Wizards

In einem nächsten Schritt wird zusammen mit dem Industriepartner SOFISTiK die Möglichkeit der Verwendung dieses Formats als Träger der Eingangsdaten für die baustatische Berechnung von Brücken überprüft.

3.1.3.5 ForBAU-Preparator

Aufgabe des *ForBAU-Preparators* ist es, die für eine Constraint-basierte Ablaufsimulation (Abschnitt 3.2.3.1) notwendigen Eingangsinformationen (Materialmengen, benötigte Ressourcen, technologische Abhängigkeiten, Bauprozesse) zu erzeugen. Die Software erlaubt es dem verantwortlichen Planer, den einzelnen Elementen eines 3D-Modells in interaktiver Weise Konstruktionsmethoden zuzuweisen (Abbildung 3.1-24). Dabei werden verschiedene Standard-Konstruktionsmethoden in Form von vordefinierten *Process Patterns* angeboten. Um die Komplexität dieser Aufgabe weiter zu reduzieren, wurde ein *Level-of-Detail-Konzept* realisiert, das eine sukzessive Verfeinerung der betrachteten Prozessebene ermöglicht (Abbildung 3.1-25). Die *Process Patterns* und die Aktivitäten des *Level-of-Detail-Konzepts* wurden für verschiedenen Brückenbauverfahren (z.B.: Traggerüst, Vorschubrüstung, Taktschiebverfahren, Fertigteilbauweise) im Preparator vordefiniert.

Der erste Schritt der Eingabedatenerzeugung für die Simulation besteht im Importieren eines 3D-Brückenmodells in den Preparator. Die Verwendung des 3D-Modells ermöglicht eine leichte und übersichtliche Zuweisung von Konstruktionsmethoden an einzelne Bauteile. Bei der Auswahl eines 3D-Objekts (Bauteil) im 3D-Modellfenster, wird dieses auch in der Objektliste (linke Seite) automatisch ausgewählt. Über der Objektliste befinden sich die dem *Level-of-Detail-Konzept* entsprechenden Aktivitäten. Der Planer definiert hier den Typ des ausgewählten Bauteils, und weist ihm eine Konstruktionsmethode zu. Zunächst werden technologische *Reihenfolgebedingungen* zwischen den Prozessaktivitäten vom System vorgeschlagen (oben Mitte). Diese legen zum Beispiel fest, dass die Schalung und die Bewehrung fertig gestellt sein müssen, bevor mit dem Betonieren begonnen werden kann. Da dies nicht bei jedem Bauteil der Fall ist, können diese Reihenfolgebedingungen vom Nutzer manuell entfernt oder neudefiniert werden. Sobald die Definition aller Eigenschaften vollständig ist, kann das Bauteil zu einer neuen *Bauliste* (rechte Seite) hinzuge-

fügt und ein neues Bauteil im 3D-Modellfenster ausgewählt werden. Sobald allen Bauteilen Konstruktionsmethoden zugewiesen und zur Bauliste hinzugefügt worden sind, kann das System die Eingangsinformationen für die Bauablaufsimulation generieren. Hierzu werden *Prozessbausteine* erzeugt, die neben der auszuführenden Aktivität auch die benötigten Materialien, Maschinen und personellen Ressourcen entsprechend der gewählten Konstruktionsmethoden beinhalten. Diese werden als XML-Datei gespeichert und können in das Simulationssystem *Plant Simulation* eingelesen werden.

Ergebnis der Simulation ist ein detaillierter Bauablaufplan. Die Informationen über Erstellungszeiträume einzelner Bauteile können in den *Preparator* zurückgespielt und dort automatisch den entsprechenden Volumenkörpern zugeordnet werden, so dass im Ergebnis ein 4D-Modell des Bauvorhabens erzeugt wird, das sich filmartig animieren lässt.

Der *ForBAU-Preparator* ist ein äußerst flexibles Werkzeug; so lässt sich beispielsweise die Menge der bereitgestellten Konstruktionsmethoden durch die Nutzer beliebig erweitern.

Main

Element to build: Pier

Construction type: concrete

Construction method: cast_in_situ

Subelement: Pier

Process pattern: cast_in_situ

Connected Object:

Activities: Tier, Formwork, Fill_concrete, Remove_formwork

Activity controls: Selected activity: Fill_concrete

Delete selected activity

Links:

Tip	Connected to	Days
Start start	Tier	0
Start start	Formwork	0

Link type: Start start / Link with pattern: Tier

Name (new):

Worker:

Nr. of days: 0

Add to activity or link list

Building tree:

- 1.1 The Bridge
 - 1.2 Abutment (concrete - cast_in_situ) 1
 - 1.3 Subfoundation (cast_in_situ) 1
 - 1.4 Formwork
 - 1.4 Fill_concrete
 - Body_26773
 - 1.4 Remove_formwork
 - Body_26773
 - 1.4 Formwork
 - 1.4 Fill_concrete
 - Body_26775
 - 1.4 Remove_formwork
 - Body_26775
 - 1.3 Walls (cast_in_situ) 1
 - 1.4 Formwork
 - 1.4 Tier
 - 1.4 Fill_concrete
 - Body_26951
 - 1.4 Remove_formwork
 - Body_26951
 - 1.2 Pier (concrete - cast_in_situ) 1
 - 1.3 Subfoundation (cast_in_situ) 1
 - 1.4 Formwork
 - 1.4 Tier
 - 1.4 Fill_concrete
 - Body_26755
 - 1.4 Remove_formwork
 - Body_26755
 - 1.3 Foot_beam (cast_in_situ) 1
 - 1.4 Formwork
 - 1.4 Tier
 - 1.4 Fill_concrete
 - Body_26755
 - 1.4 Remove_formwork
 - Body_26755

3. Objectlist complete

1. Connect selected object

3D Object list:

- Body_49074
- Body_26194
- Body_49220
- Body_49448
- Body_26777
- Body_49560
- Body_49746
- Body_49711
- Body_49701
- Body_49404
- Body_49192
- Body_26775
- Body_26773
- Body_26951
- Body_26755
- Body_26757

Already selected 3D objects:

- Body_26775
- Body_26951
- Body_26755
- Body_26757

Ready

Abbildung 3.1-24: ForBAU-Preparator

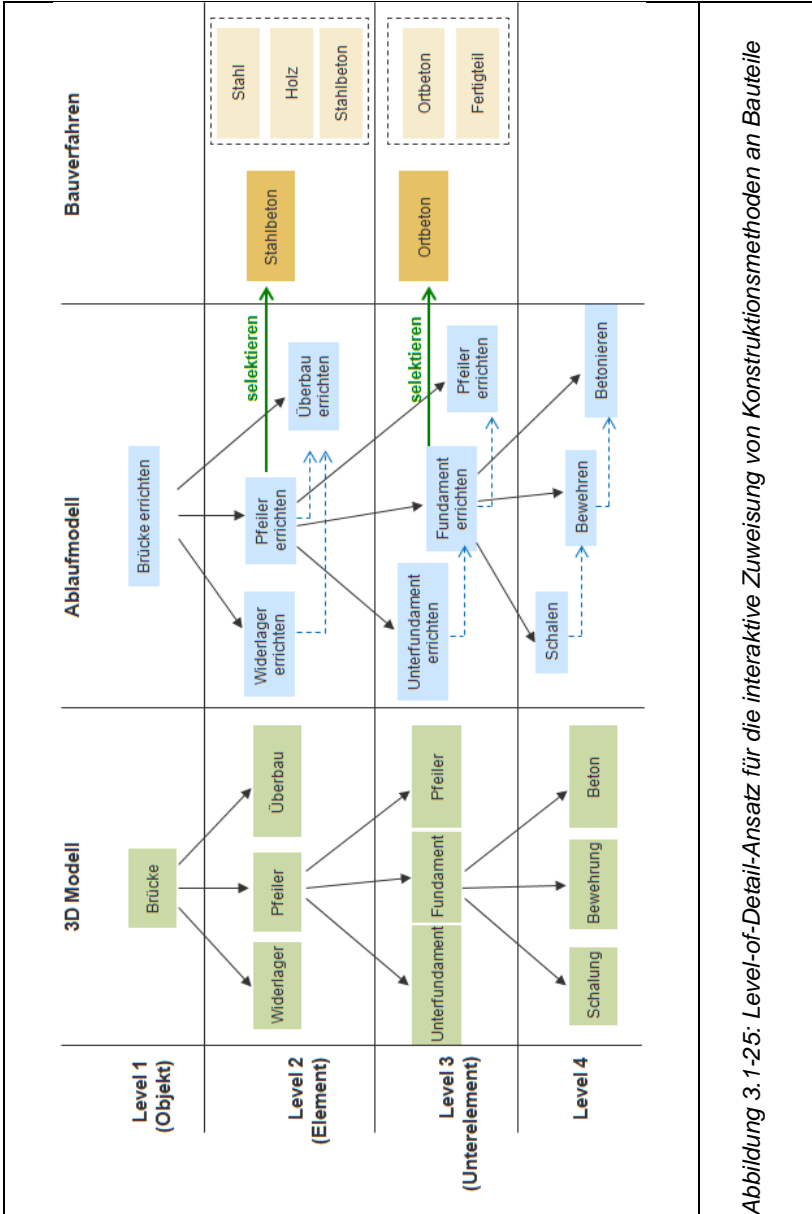


Abbildung 3.1-25: Level-of-Detail-Ansatz für die interaktive Zuweisung von Konstruktionsmethoden an Bauteile

3.1.3.6 Lebensdauermanagement

Im Besonderen für die Auftraggeberseite steht die Nutzbarkeit der 3D-Bauwerksmodelle aus der Planungsphase auch während der Bewirtschaftungsphase im Vordergrund. Um das Potential der Nutzung von 3D-Bauwerksmodellen über den gesamten Lebenszyklus hinweg aufzuzeigen, wurde am Lehrstuhl CiE in Zusammenarbeit mit dem Centrum für Baustoffe der TU München ein 3D-basiertes Lebensdauermanagement-System (LMS) entwickelt [Heg-09] [Ves-10].

Aufgabe eines Lebensdauermanagementsystems ist es, die aus der Herstellung des Bauwerks bekannten sowie bei Inspektionen anfallenden Daten über dessen Zustand zentral vorzuhalten und persistent zu speichern. Beim entwickelten LMS können auf Basis dieser Daten zuverlässige Aussagen über den aktuellen Zustand des Bauwerks und durch Einsatz vollprobabilistischer Schädigungsmodelle die zukünftige Zustandsentwicklung prognostiziert werden. Dies ermöglicht dem Betreiber des Bauwerks eine nachhaltige Planung von Instandsetzungsmaßnahmen. Im Gegensatz zum herkömmlichen Vorgehen, bei dem Mängel erst behoben werden, wenn sie sichtbar sind (z.B. Betonabplatzungen), können auf der Basis von Zustandsprognosen vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden (z.B. Schutzbeschichtung), was sich häufig als die wirtschaftlichere Lösung erweist. Weiterhin ist durch eine langfristige Planung von Instandsetzungsmaßnahmen eine Verstetigung des Finanzbedarfs für den Unterhalt der betreffenden Ingenieurbauwerke umsetzbar.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der entwickelten Lösung gegenüber den derzeit in der Praxis eingesetzten Lebensdauermanagementsystemen ist, dass Inspektionsdaten nicht nur alphanumerisch erfasst werden, sondern an die Bauteile eines virtuellen 3D-Modells angeheftet werden. Der daraus berechnete aktuelle und zukünftige Zustand des Bauwerks wird ebenfalls anhand des 3D-Modells visualisiert (Abbildung 3.1-26) Dies verhindert zum einen Fehleingaben bei der Sammlung von Inspektionsdaten und ermöglicht zum anderen dem verantwortlichen Ingenieur, einen

schnellen Überblick über den aktuellen und zukünftigen Zustand sowie potentielle Schwachstellen eines Bauwerks zu erhalten. Letzterem kommt besondere Bedeutung durch das häufige Wechseln von Verantwortlichkeiten während der langen Lebensdauer von Bauwerken zu.

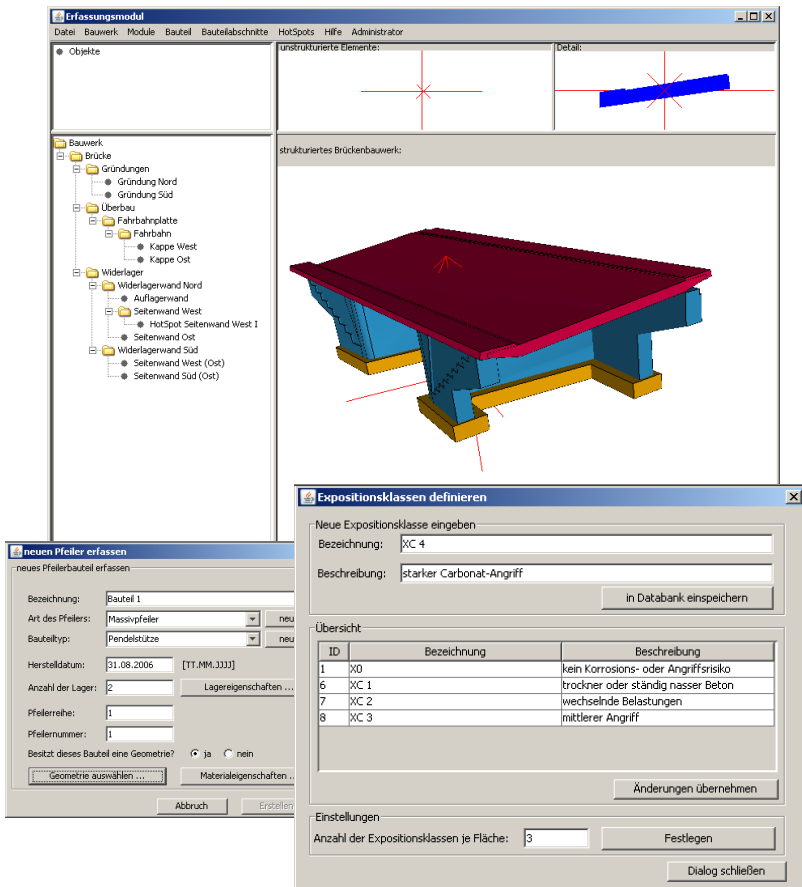


Abbildung 3.1-26: Screenshot des entwickelten Lebensdauermanagementsystems

Das entwickelte System ist vollständig modular aufgebaut (Abbildung 3.1-27). Dabei entsprechen die einzelnen Module den über die Lebensdauer eines Bauwerks notwendigen Datenerfassungs- und -verarbeitungsvorgängen [Klu-08a].

Im Mittelpunkt des LMS steht eine Datenbank, in der alle Bauwerksdaten erfasst werden. Hierzu zählen allgemeine Informationen und Geometriedaten des Bauwerks sowie Angaben zu den charakteristischen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe, Ergebnisse von Messungen und Instandsetzungen [Klu-08b]. Die zentrale Datenbank bietet Schnittstellen zu allen anderen Modulen des LMS. In Zukunft soll hier die Möglichkeit zum Import von IFC-Bridge-Daten in das LMS geschaffen werden (vgl. Abschnitt 3.1.3.4).

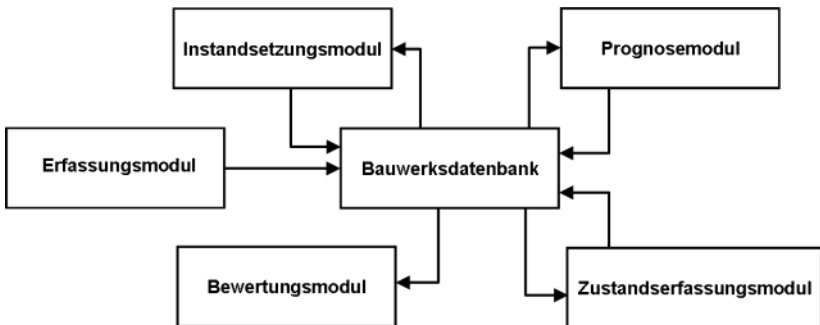


Abbildung 3.1-27: Modularer Aufbau des Lebensdauermanagementsystems

Die Entwicklungsarbeit am Lebensdauermanagementsystem hat sich im Projektjahr 2010 auf die Netzwerkebene konzentriert. Hierbei wurde durch den Einsatz des heuristischen Optimierungsverfahrens *Ant Colony Optimization* die Möglichkeit geschaffen, eine aus Finanzbedarfssicht optimale Planung von Instandsetzungsmaßnahmen bei gleichzeitiger Minimierung von Verkehrsstörungen zu realisieren [Lu-10]. Die Forschungsarbeiten in diesem Bereich werden zukünftig in einem vom Bundesministerium

für Wirtschaft und Technologie im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) geförderten Forschungsprojekts in Zusammenarbeit mit der Firma WPM-Ingenieure fortgesetzt.

3.1.3.7 Automatisierte Ermittlung des Ist-Zustandes

Mit dem Ziel einer weitgehend automatisierten Detektion des aktuellen Bauzustandes wurden die am Lehrstuhl CiE bestehende Ansätze zum Erkennen von Bauteilen aus Punktwolken vertieft. Die dabei verfolgte Methode sieht das Generieren eines Volumenmodells und anschließenden Abgleich mit dem Soll-Modell vor.

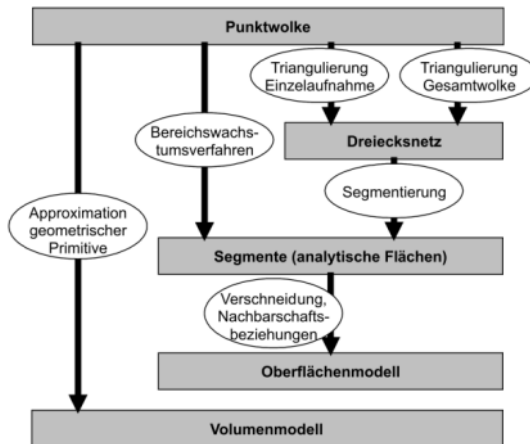


Abbildung 3.1-28: Reverse-Engineering-Prozess zur Generierung von Volumenmodellen aus Punktwolken

Die einzelnen Schritte dieses als “Reverse Engineering” bezeichneten Verfahrens bestehen aus folgenden Einzelschritten (Abbildung 3.1-28):

- Zusammenführen der von verschiedenen Standorten aus aufgenommenen Punktwolken

- Triangulierung der Punktwolke (Vermaschung in Form eines Dreiecksnetzes) bspw. mithilfe des Delaunay-Verfahrens
- Segmentation, d.h. Finden von Dreiecksflächen, die miteinander verbunden sind und auf derselben Ebene bzw. einer anderen analytischen Fläche liegen
- Generierung eines Oberflächenmodells (B-Rep) durch Ergänzen von Nachbarschaftsbeziehungen

Abbildung 3.1-29 zeigt das Gesamtverfahren am Beispiel einer Stütze.



Abbildung 3.1-29: Reverse Engineering am Beispiel einer Stütze

Einer der kritischsten Schritte im Reverse-Engineering-Prozess ist die Segmentierung, bei der die Dreiecksmaschen in verschiedene Regionen zusammengefasst werden, die in sich glatt bzw. eben sind, d.h. denen eine oder mehrere analytische Flächen zugewiesen werden können. Um diesen Schritt umzusetzen, wurden iterative Region-Growing-Techniken angewandt, bei der ausgehend von einem Saatpunkt kontinuierlich Punkte zu einem Segment addiert werden, die auf der gleichen hypothetischen Oberfläche liegen. Hier treten jedoch häufig Probleme an Rändern auf, die noch nicht vollständig gelöst werden konnten [Schl-09]. Sobald alle Flächen identifiziert sind, wird die Geometrie der Kanten und die Lage der Knotenpunkte ermittelt und diese über entsprechende topologische Beziehungen miteinander verknüpft.

Die Arbeiten in diesem Bereich sollen zukünftig im Rahmen des DFG-Projekts „*Interpretation of point clouds for reconstruction of dynamic semantic 3D models for progress monitoring of construction sites*“ fortgesetzt werden, das von Dr. Borrmann zusammen mit Prof. Stilla (Photogrammetrie, TU München) im Zuge des geplanten DFG-Bündels „Evolving Maps“ beantragt wurde.

3.1.3.8 Luftgestützte Aufnahme und Verarbeitung von 3D-Punktwolken

Bis 2008 wurde im DLR für Flugzeuge ausschließlich das Zeilenkamerakonzzept verfolgt und mit der MFC Kamerafamilie zu einem Abschluss gebracht.



Abbildung 3.1-30: MFC Kamera-Serie, MFC-5, MFC-1, MFC-3 (von links nach rechts) mit 5, 1 und 3 CCD Zeilen Modulen

Mit der MFC-3 und der MFC-5 wurden ab 2008 verschiedene Projekte im DLR durchgeführt, bei denen Auflösungen ab 10 cm erreicht wurden. Auf Grund der kompakten Bauform der MFC kann man diese leistungsfähige Zeilenkamera gemeinsam mit einem Airbornelaserscanner auf einer Ausgleichsplattform betreiben.

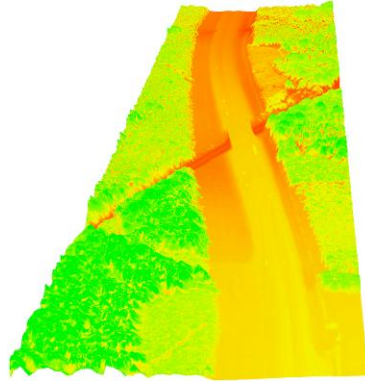


Abbildung 3.1-31. Links: Flugzeugeinbau des MFC-5 und eines Laser-scanners. Rechts: 3D-Trassenabschnitt aus Airborne Laserscanning

Seit 2008 wird in der Abteilung AK am Standort Berlin des DLR Institut für Robotik und Mechatronik parallel zur MFC auch ein völlig neuartiges Luftbildkamerasystem, MultiCam3, basierend auf drei gekühlten interline CCD Sensorköpfen, entwickelt und erprobt. Das Aufnahmesystem besteht aus einer Navigationskamera und zwei DOM Kameras für die 3D Auswertung. Durch die optische Navigation kann auf ein aufwendiges INS System verzichtet werden, was zu einer kosteneffektiven Lösung der Airbornevermessung führt. Die Kameraköpfe sind per Hardware auf < 10 ns synchronisiert und liefern, bei voller Aufnahmege-
schwindigkeit von 5 Bildern je Sekunde, einen kontinuierlichen Datenstrom von 100 MB/Sekunde, der auf entsprechenden Datenrecordern aufgezeichnet wird. Aus einem Bildflugzeug können damit, eingeschränkt durch die minimale sichere Fluggeschwindigkeit und die einzuhaltenden Flughöhen, Auflösungen von 5 cm erreicht werden.

Um diese Auflösung weiter zu steigern und einen besseren Kurvenfolgeflug zu gewährleisten, wie er für viele Trassenverläufe notwendig ist, wurde auch ein MultiCam Gehäuse mit für Helikop-

terbefliegungen geeigneten Brennweiten gebaut und mit einer optimierten und miniaturisierten Datenspeicherung versehen.

Alle MultiCam-Systeme können zudem mit einer neuartigen Methode zur geometrischen Kamerakalibrierung auf ihre Messgenauigkeit untersucht werden. Diese verwendet maßgeschneiderte, diffraktive optische Elemente (DOE) als Strahlteiler mit exakt bekannten Beugungswinkeln. Der kompakte Kalibrierungsaufbau erlaubt im Prinzip auch Feldkalibrierungen. Unter Verwendung von mehr als einer Referenzwellenlänge ermöglicht diese Methode auch die Bestimmung und die Korrektur von chromatischen Abweichungen.

Das Kamerasystem wurde im Flugzeug und im Helikopter erprobt, wobei mehrmals Trassen im Berliner Raum überflogen und Auflösungen von 5 cm aus dem Flugzeug erreicht wurden. Bei der Helikopterbefliegung der Demobaustelle B15n konnte ein Teilstück der Trasse aus ca. 140m Höhe mit 2 cm Auflösung erfasst werden; die Auswertung soll bis zum ForBAU-Kongress erfolgen. Die Helikopteraufhängung wurde dabei so gewählt, daß auch Bauwerke von der Seite aufgenommen werden können, um zukünftig nicht nur Trassen, sondern auch Brücken und Anlagen rundum 3D erfassen zu können.

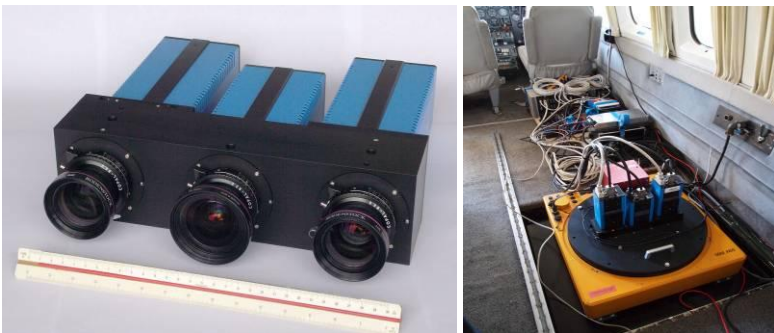


Abbildung 3.1-32. Links: MultiCam Stand 2009 Flugzeugmodul. Rechts: MultiCam: Stand 2009 Flugzeugeinbau

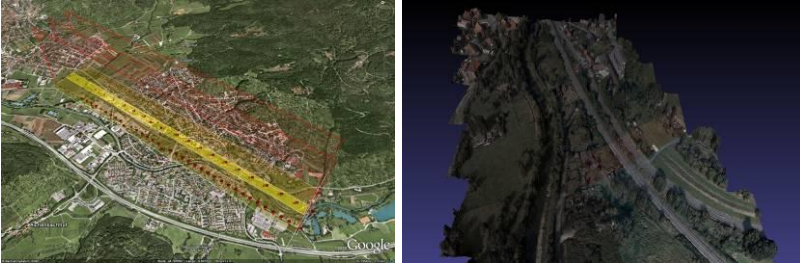


Abbildung 3.1-33. Links: Flugplanung für 3D-Auswertung. Rechts: 3D-Modell aus MultiCam-Daten



Abbildung 3.1-34. Links: MultiCam Version für Helikopter. Rechts: Helikoptereinbau für Schrägaufnahmen

Experimentalsoftware ScanBox

Ein kleinerer Bauwerksabschnitt von nur 100 x 100 m Ausdehnung enthält bei 2 cm Auflösung bereits 25.000.000 3D-Messpunkte. Eine effektive Erzeugung und Verwaltung dieser Datenmengen ist daher unbedingt erforderlich. Dafür wurde das Softwaretool ScanBox entwickelt. Mit dieser Software kann der gesamte Workflow zu Erzeugung von 3D-Punktwolken aus Luftbildern und terrestrischen Laserscannern abgebildet werden und die Ergebnisse der 3D-Datenerstellung so aufbereitet werden, dass sie für Standard-CAD-Systeme der Bauwirtschaft zugänglich werden. Dazu werden unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche verschiedene Programme der Abteilungen AK und PK

des DLR-Institutes für Robotik und Mechatronik mit kommerziellen Ausgleichsprogrammen, CAD Systemen und Punktwolkenservern zu einem digitalem 3D-Werkraum zusammengefasst. Damit die Daten verschiedener 3D Sensoren gemeinsam bearbeitet werden können, werden zunächst alle Sensordaten in das bei RM entwickelte Datenformat T3C überführt, das nur aus Bildern im TIFF-Format und Parameter-Dateien besteht. Nun können alle erforderlichen Arbeitsschritte, von der Orientierung bis zur interaktiven, geometrischen Auswertung von 3D Luftbildern mit CAD-Systemen durchgeführt werden. Als Referenzsystem dient dabei Autodesk AutoCAD 2010.

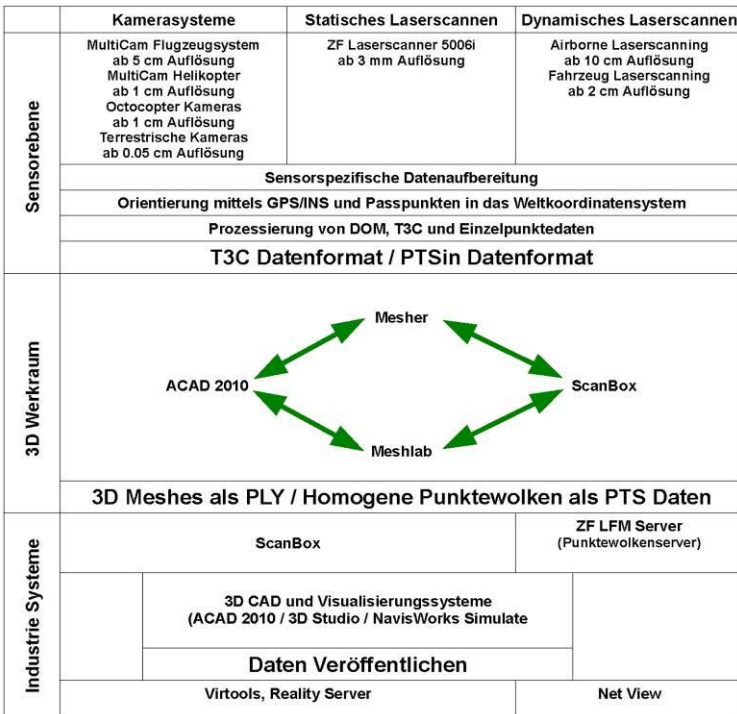


Abbildung 3.1-35. Verarbeitung von Kameradaten zu 3D-Modellen

Bei rechenaufwendigen Aufgaben, z.B. dem Ausdünnen von Vermaschungen oder dem Umwandeln von Luftbilddaten in 3D Punktwolken für kommerzielle Server, werden Daten mit Prozeduren verbunden, die dann im Batchbetrieb abgearbeitet werden.

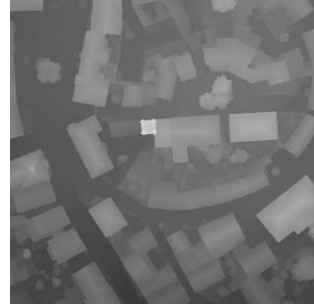


Abbildung 3.1-36. True Orthobild RGB und Höhen aus MultiCam Daten mit 5 cm Auflösung als T3C Datenobjekt

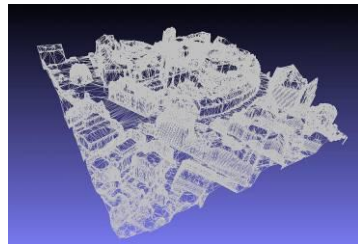
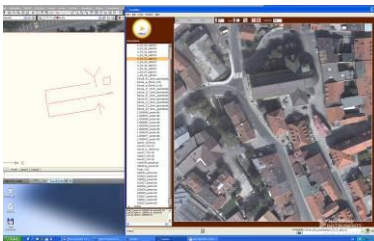


Abbildung 3.1-37. Links: Interaktive Auswertung des Datenobjektes. Rechts: Ausgedünnte Vermaschung des Datenobjektes

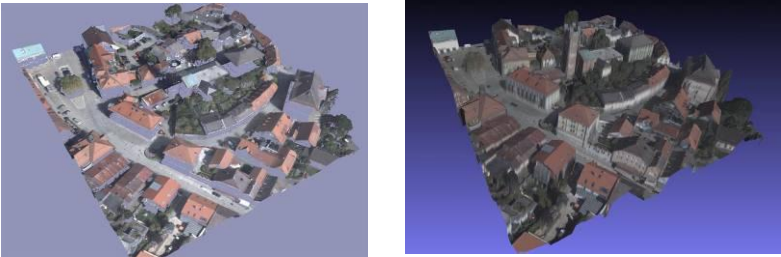


Abbildung 3.1-38. Links: 3D Punktwolke im PTS Format des Datenobjektes. Rechts: Texturiertes 3D Modell des Datenobjektes

An den 3D Luftbilddatensätzen von München 2008 und 2010 des Industriepartners RSS wurden die unterschiedlichen Bearbeitungen an einem Trassenobjekt, A9 bei München Freimann, erprobt. Die berechneten True Orthophotos sind im WGS84 System Zone 33 orientiert und haben eine Lageauflösung von 10cm und eine Höhengauflösung von 2,5 cm. Die übergebenen Daten liegen als 16-Bit-Pixelinformationen in den Formaten PPM und PGM, und für die Geodaten im Format VRT vor. Im ersten Schritt wurden die Daten in das T3C Format überführt.

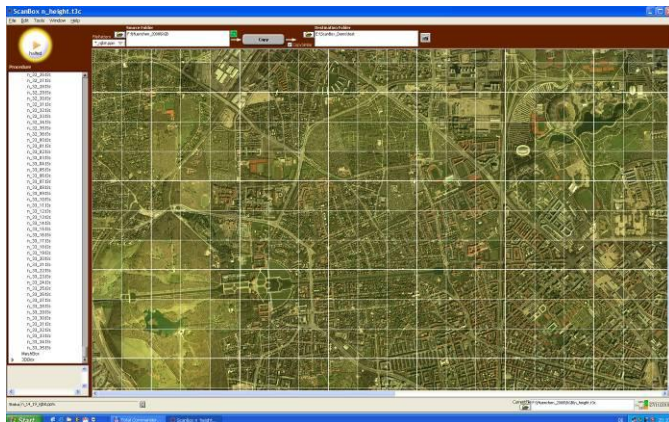


Abbildung 3.1-39: ScanBox-Browser für große Luftbild-3D-Daten

Über den grafischen Browser der ScanBox wird nun gezielt auf die zu bearbeitenden Bereiche zugegriffen und ein entsprechendes Projekt angelegt. Danach brauchen die ausgewählten Daten nur mit den ScanBox-Prozeduren „Create mesh“ (Vermaschen und Ausdünnen) und „Copy to ACAD“ kombiniert werden, um eine Vermaschung der Bereiche in AutoCAD 2010 zu erstellen.



Abbildung 3.1-40. Links: A9 München Freimann 2008. Rechts: A9 München Freimann 2010

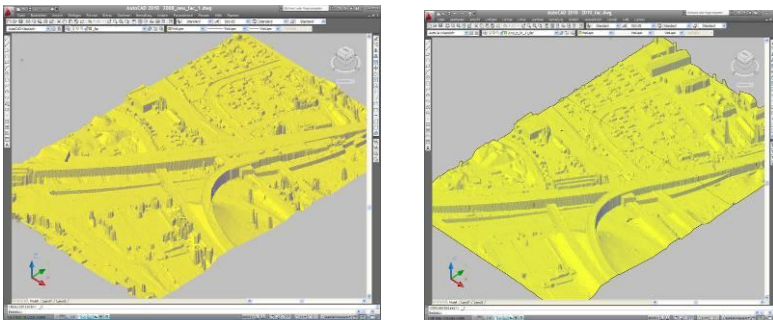


Abbildung 3.1-41. Links: A9 München Freimann Baustellenmodell 2008 von Süd-Ost. Rechts: Baustellenmodell 2010 von Süd-Ost

3.1.3.9 3D-Baugrundmodellierung

Ausgangssituation. Die integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen erfordert die Abbildung der Ergebnisse der Baugrund-erkundung nicht wie bisher weitgehend üblich in 2D, sondern in einem 3D-Baugrundmodell mit allen bautechnisch relevanten Bodenschichten und deren geotechnischen Eigenschaften. Für die auf den 3D-Modellen aufbauenden Planungsprozesse ist eine reine 3D-Modellierung und -Visualisierung der Baugrundsituation jedoch nicht ausreichend. Das 3D-Baugrundmodell muss vielmehr zusätzlich umfangreiche Informationen und daraus resultierende bautechnische Folgerungen, wie sie üblicherweise in Baugrund- und Gründungsgutachten enthalten sind, abbilden. Dies ist durch ein duales Modellierungskonzept, bestehend aus

- Datenbank basierter Verwaltung von Baugrundinformationen und
- 3D-Modellierung von Baugrundsichten

möglich. Um eine möglichst große Verbreitung von 3D-Baugrundmodellen zu erzielen, ist es erforderlich, die Verwaltung von Baugrundinformationen sowie die 3D-Modellierung möglichst auf bereits bestehenden Konzepten und Konventionen aufzubauen.

Hierzu wurden im ersten Forschungsjahr die der 3D-Baugrundmodellierung zugrunde liegenden Methoden, das systematische Vorgehen zur Erstellung von 3D-Baugrundmodellen, die Evaluation hierfür geeigneter kommerzieller Programme und die Möglichkeiten der Verknüpfung bautechnischer und geotechnischer Parameter mit 3D-Baugrundmodellen in den verfügbaren Programmen untersucht.

Im zweiten Forschungsjahr standen die Konzeption und die Erstellung eines fortgeschriebenen Baugrundmodells und die Verknüpfung bodenmechanischer Eigenschaften mit den bautechnischen Möglichkeiten im Mittelpunkt der Arbeiten im TP1. Insbesondere die Erstellung eines fortgeschriebenen Baugrundmodells unter Verwendung von Daten, die im Zuge der Bauausführung

gewonnen werden, stand eng verknüpft mit dem AP III-3 des TP2 "Geotechnisches Qualitätscontrolling".

Im dritten Forschungsjahr wurden die Möglichkeiten der Weiterentwicklung von 3D-Baugrundmodellen unter Berücksichtigung mathematischer und stochastischer Interpolationsmethoden intensiver untersucht sowie das Konzept der Baugrunddatenbank zu einem mySQL-basierten Prototyp weiterentwickelt.

Baugrundmodellierung – Interpolationsverfahren. Der 3D-Baugrundmodellierung vorausgehend erfolgt eine Vereinfachung, Vereinheitlichung und Interpretation der in der Baugrunderkundung ermittelten Baugrundeigenschaften. Die Schaffung eines 3D-Modells, das alle Details von in Baugrundaufschlüssen angebotenen heterogenen Bodeneigenschaften ohne Verlust der gebotenen Übersichtlichkeit widerspiegelt, ist in aller Regel nicht möglich und insbesondere für die digitale Weiternutzung des Modells in folgenden Planungsschritten nicht praktikabel.

Ziel der Vereinfachung und Vereinheitlichung der Baugrundeigenschaften ist die Bildung von Homogenbereichen mit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften. Schon mit der Schaffung derartiger Homogenbereiche wird das Ergebnis der Baugrundmodellierung grundlegend beeinflusst. Für weitere Modellierungsschritte ist zu unterscheiden, ob die den Homogenbereichen zu Grunde gelegten geotechnischen Eigenschaften als feste Kenngrößen, also deterministisch, angenommen werden oder ob hierfür "unsichere" Kenngrößen verwendet werden, die ausgewiesener Maße mit Streuungen behaftet sind und selbst einer statistischen Verteilung unterliegen.

Für die Schaffung eines für *alle* weiteren Planungsphasen maßgeblichen 3D-Baugrundmodelles wird die Bildung von Homogenbereichen unter Berücksichtigung "unsicherer" Kenngrößen als problematisch angesehen. Je nach betrachteter Kenngröße und zugehöriger statistischer Verteilung innerhalb eines Homogenbereichs ergeben sich beim Ansatz streuender Kenngrößen unterschiedliche Baugrundmodelle.

Zur Erstellung eines einheitlichen und für alle Planungsbeteiligten verbindlichen digitalen 3D-Baugrundmodells wird als entscheidende Kenngröße zur Schaffung von Homogenbereichen die Festlegung von Schichtübergängen und die Annahme deterministischer Kenngrößen innerhalb des Homogenbereichs angesehen. Dieses Vorgehen wird stark von den subjektiven Erfahrungen und Vorstellungen des verantwortlichen Geotechnikers bestimmt. Für weitergehende Detailplanungen kann es in späteren Planungsphasen natürlich erforderlich werden, Baugrundmodellierungen auf Basis streuender Kenngrößen durchzuführen. Um dies zu ermöglichen, ist es erforderlich, alle Parameter und Einzelergebnisse der Baugrunderkundung und von Laborergebnissen im 3D-Baugrundmodell zu verwalten. Hierzu kann auf die datenbankbasierte Verwaltung von Baugrundinformationen (siehe Abschnitt 'Baugrunddatenbank') zurückgegriffen werden. Ebenso sind die der Homogenbereichsbildung zu Grunde liegenden subjektiven Annahmen des verantwortlichen Geotechnikers zu dokumentieren, um die Grenzen der Anwendbarkeit und Gültigkeit des darauf aufbauenden 3D-Baugrundmodells aufzeigen zu können, wozu wiederum die datenbankbasierte Verwaltung von Baugrundinformationen (siehe Abschnitt 'Baugrunddatenbank') herangezogen wird.

Die auf der homogenisierten Baugrundsichtung aufbauende 3D-Baugrundmodellierung kann grundsätzlich mit *deterministischen* und *stochastischen* Interpolationsmethoden erfolgen. Welches Verfahren für eine Fragestellung geeignete Prognosen zur Baugrundsichtung liefert, hängt stark von den an das Baugrundmodell gestellten Anforderungen und von der Anzahl und der räumlichen Verteilung von Baugrunddaten ab. Auch die Kenntnis und Vorstellung, wie diese Daten zusammenhängen, beeinflusst die Wahl des Interpolationsverfahrens sowie die Durchführung der Baugrundmodellierung.

Deterministische Interpolationen

Deterministische Interpolationen bedienen sich festgelegter mathematischer Funktionen. Bei Vorgabe der Homogenbereiche sind die Lösungen eindeutig. Die Berechnungen sind einfach, lassen aber keine Aussagen zur Qualität der Interpolationen sowie zur Aussagegenauigkeit der damit erstellten Baugrundmodelle zu. Zu den deterministischen Verfahren zählen z.B. Triangulationen, Splines oder Inverse-Distanz-Verfahren [Ros-08], die Flächen mittels mathematischer Funktionen an eine Anzahl an Stützstellen anpassen. Liegen Angaben zum Baugrund

- in großer Anzahl vor,
- in regelmäßiger Verteilung vor,
- wenn außerdem aufgrund ausreichender Erfahrung lokale Inhomogenitäten mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können und
- wenn die Bildung repräsentativer und einheitlicher Homogenbereiche möglich ist,

dann lassen sich durch deterministische Verfahren 3D-Baugrundmodelle mit vergleichsweise guter Genauigkeit ableiten. Aufgrund der Vielzahl der erforderlichen Annahmen spiegelt ein deterministisches Baugrundmodell die subjektive Einschätzung des Bearbeiters wider und liefert im Ergebnis zunächst vor allem eine 3D-Visualisierung der Baugrundsichtung.

Stochastische Interpolationen. Stochastische Interpolationsverfahren betrachten die Interpolation als Möglichkeit zur Realisierung einer Verteilungsfunktion [Aki-88] und liefern auch bei unregelmäßig verteilten und bei in geringer Dichte vorliegenden Messwerten quantifizierbare Ergebnisse. Korrelationen setzen Baugrundeigenschaften und deren räumliche Lage miteinander in Beziehung.

Bei den stochastischen Interpolationsverfahren zur Baugrundmodellierung ist der *geostatistische Ansatz* wesentlich. Dieser beruht auf der Theorie der regionalisierbaren Variablen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass sich Baugrundeigenschaften in einem

bestimmten Gebiet ähnlich sind, mit zunehmender Distanz diese Ähnlichkeit aber abnimmt. Die mathematische Beschreibung dieser Ähnlichkeit wird durch Variogramme realisiert. Grundlage ist ein experimentelles Variogramm, das den in eine Richtung verlaufenden sowie für eine bestimmte Abstandsklasse gültigen räumlichen Zusammenhang der betrachteten und aus der Baugrunderkundung abgeleiteten Kenngrößen beschreibt. Der experimentelle Zusammenhang wird durch eine Funktion angenähert, man erhält ein theoretisches Variogramm [Cre-93], [Jou-92]. Je nach Zusammenhang der Messwerte eignen sich sphärische, exponentielle oder gaußsche Variogramme (Abbildung 3.1-42). Bei der Erstellung von Variogrammen ist jedoch auf eine ausreichende Anzahl an empirischen Kenngrößen zu achten. Nach [Sch-05] basieren Angaben zu mindestens erforderlichen experimentellen Kenngrößen auf empirischen Annahmen. Als Mindestanzahl in jede analysierte Raumrichtung und jede Abstandsklasse sollten demnach 30 Wertepaare vorliegen. Da dies in der Praxis häufig nicht erreicht wird, sind gewisse Toleranzannahmen nötig, was dann jedoch Auswirkungen auf die geostatistische Modellierung hat. Insbesondere zu große Toleranzen führen zu einer Glättung der erstellten Baugrundmodelle und bergen die Gefahr, dass Anisotropien nicht erkannt werden.

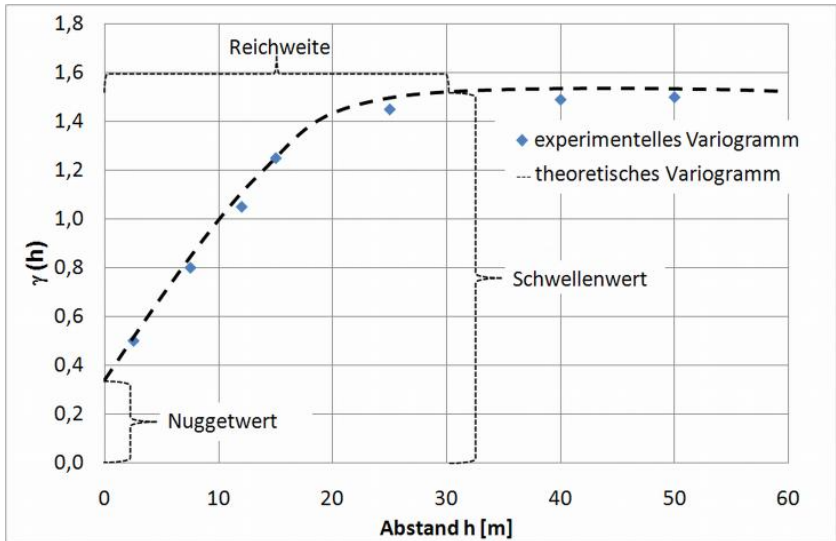


Abbildung 3.1-42: Beispiel für ein experimentelles und theoretisches Variogramm

Theoretische Variogramme und die daraus abgeleiteten Kenngrößen Nugget-Wert, Schwellen-Wert und Reichweite sind die entscheidenden Eingangsgrößen für geostatistische Interpolationen. Hierfür haben sich in den Geowissenschaften *Kriging-Verfahren* etabliert. Bei diesen Verfahren wird die Interpolation optimiert, indem Messwerte so gewichtet werden, dass deren Schätzvarianz zu einem Minimum wird. Die Schätzvarianz gibt somit Informationen über die Zuverlässigkeit einer Schätzung, denn je kleiner die Schätzvarianz desto besser ist das Ergebnis der späteren Interpolation. Die Abfolge der Schritte einer geostatistischen Interpolation ist in Abbildung 3.1-43 dargestellt.

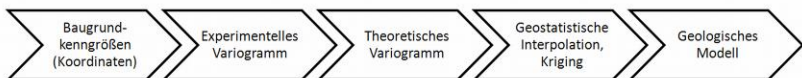


Abbildung 3.1-43: Abfolge der geostatistischen Interpolation, Graphik aus [Sch-05]

Die im Kriging-Verfahren ermittelte Schätzvarianz (auch Kriging-Varianz genannt) kann zur Quantifizierung des Baugrundrisikos genutzt werden. Bei vorhandenem Variogramm ist die Schätzvarianz vom Abstand der Stützstellen abhängig. Die graphische Darstellung der Kriging-Varianz kann als Unsicherheitsplot genutzt werden. Wie bei [Sch-05] beschrieben, kann dies auch zur Planung von Detail- und Nacherkundungen genutzt werden, da schon vorab zusätzliche Aufschlusspunkte unter Beachtung projektspezifischer Randbedingungen so platziert werden können, dass die Kriging-Varianzen bestmöglich reduziert werden. Die prinzipiellen Zusammenhänge eines entsprechenden objektiven Vorgehens, das nur in geringem Umfang von subjektiven Annahmen des Bearbeiters geprägt ist, sind in Abbildung 3.1-44 dargestellt.

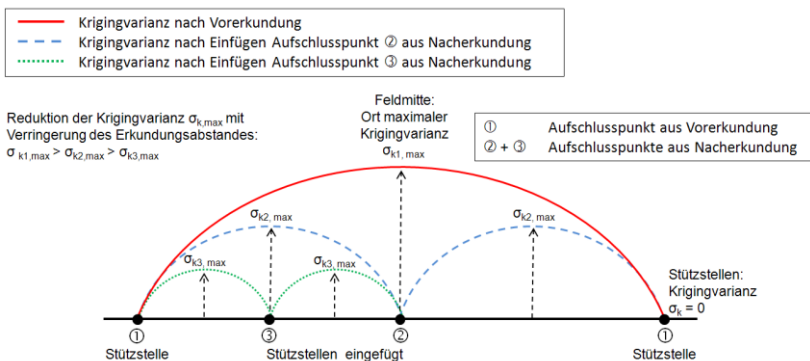


Abbildung 3.1-44: Prinzipielle Abhängigkeit der Kriging-Varianz vom Abstand von Stützstellen, Graphik aus [Sch-06]

Baugrunddatenbank. Die 3D-Baugrundmodellierung ist durch eine Verknüpfung des 3D-Baugrundmodells mit geotechnischen Grundlagen für die Bauplanung und Bauausführung zu ergänzen. Konzeptionell ist hierfür eine datenbankbasierte Verwaltung mit folgenden Anforderungen vorzusehen:

- Zusammenführung und Vereinheitlichung von Daten
- Integration bauprozessrelevanter Baugrundparameter
- Fachspezifische Abfrage von Baugrundeigenschaften
- Verknüpfung mit dem 3D-Baugrundmodell
- Datenpflege durch den verantwortlichen Geotechniker
- Einsichtnahme von allen Beteiligten der Bauplanung und Bauausführung

Zur Vermeidung von Datenbrüchen zwischen Baugrunderkundung, geotechnischer Beurteilung und Nutzung der Baugrundinformationen im Projektverlauf sind in einer Baugrunddatenbank alle Detailinformationen beginnend mit der Baugrunderkundung, ergänzt durch die Ergebnisse von Laborversuchen sowie mit Angabe der daraus abgeleiteten bautechnischen Folgerungen geschlossen zu verwalten.

Als Basis für eine Baugrunddatenbank bietet sich das relationale Datenbankformat SEP3 (SEP = Schicht-Erfassungs-Programm) an. Dieses Format wurde vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NlfB) entwickelt [Nlf-02], ist frei verfügbar und kann in Programme implementiert werden. Viele der in Deutschland zur normgerechten Auswertung und Visualisierung von Bohrungs- und Schichtdaten eingesetzten EDV-Programme können Daten aus entsprechenden Datenbanken einlesen bzw. diese erzeugen.

Konzeptionell sind mit dieser Grundstruktur Detailergebnisse aus Laborversuchen zu verknüpfen. Wie in obigen Abschnitt 'Baugrundmodellierung – Interpolationsverfahren' erläutert, ist die umfassende Mitführung von Labor Versuchsergebnissen Voraussetzung für Baugrundmodellierungen mit unsicheren Kenngrößen. Da mit der Speicherung von Versuchsergebnissen häufig die Randbedingungen der Versuchsdurchführung verloren gehen, die Kenntnis der Zuverlässigkeit eines Laborergebnisses aber für den Geotechniker von entscheidender Bedeutung ist, ist neben dem Ergebnis auch dessen Aussagekraft zu verwalten. Ansätze hierzu liefert die *Initiativgruppe Boden- und Felsmechanische Datenbank*, die Ergebnisse von Laborversuchen anhand vorlie-

gender Informationen zu Versuchsrandbedingungen in Zuverlässigkeitsklassen einteilt [Sch-08].

Die auf dem SEP3-Format basierende Grundstruktur sowie die Ergebnisse von Laborversuchen bilden die Grunddaten der Baugrunddatenbank. Diese sind um bauprozessrelevante Angaben und Interpretationen der Baugrundeigenschaften, die wiederum Grundlage für die 3D-Visualisierung der Baugrundschichten sind, und webbasierte Abfragen funktional zu erweitern ist. Der konzeptionelle Aufbau der Baugrunddatenbank ist im ForBAU-Zwischenbericht 2009 dargestellt.

Die Funktionalität des Konzeptes inkl. der Verknüpfung zum 3D-Baugrundmodell wurde getestet und in einem Prototyp umgesetzt. Um die Kompatibilität der ForBAU-Baugrunddatenbank zu den Teilkonzepten der digitalen Planung zu ermöglichen basiert der Prototyp auf der Open-Source-Datenbank *MYSQL*. An der Pilotbaustelle "B15 neu" wurde die Baugrunddatenbank erprobt. Die verfügbaren Baugrundinformationen sowie die zur Baugrundmodellierung vorgenommene Interpretation der Baugrundschichtung werden auf einem Datenbankserver am Zentrum Geotechnik verwaltet. Über webbasierte Abfragen können z.B. ausführungsrelevante Baugrundinformationen für rechentechnische Nachweise, Angaben zum Aushub und Transport von Aushubmassen sowie Möglichkeiten zum Einbau anstehender Böden abgefragt werden.

3.1.3.10 Autostereoskopische 3D-Visualisierung

Autostereoskopische Displays vermitteln unmittelbar einen räumlichen Eindruck der zu betrachtenden 3D Modelle, wobei auf die üblichen Hilfsmittel wie Polarisationsbrille, Shutterbrille oder Head-Mounted-Display zur Erzeugung des Raumbildes verzichtet werden kann. Damit können auch lange Arbeitssitzungen ermüdungsfrei erfolgen. Dem steht der Nachteil gegenüber, dass immer nur ein Betrachter je Display das Raumbild ungestört sieht. Die wesentlichen Bestandteile eines autostereoskopischen Displays sind

- das optische System, bestehend aus dem Display und der Linsenrasterscheibe (Lentikularscheibe)
- die schritthaltende, berührungslose und präzise Erfassung der räumlichen Betrachterposition relativ zum Display durch einen Eye-Tracker
- die schritthaltende Berechnung des autostereoskopischen Bildpaares in Abhängigkeit von der Betrachterposition durch einen entsprechenden Displaytreiber

Im Zwischenbericht 2009 wurde bereits das im DLR RM entwickelte Eye-Tracker System, basierend auf einer Stereokamera mit integriertem IR-Beleuchtungsmodul, vorgestellt, und die prototypische Implementierung verwiesen.



Abbildung 3.1-45: Links: Stereo Kameramodul mit integrierter IR-Beleuchtung. Rechts: Eye-Tracker

In den zurückliegenden Monaten wurde nun ein spezielles optisches Array (Lentikularscheibe) entwickelt, mit dem maximale Bildflächen von 30" Bilddiagonale möglich sind. Diese optischen Elemente können mit allen Flachbildschirmen, auch an Handys, zur autostereoskopischen 3D-Betrachtung verwendet werden. Zwei mit dieser Lentikularscheibe ausgerüsteten Displays wurden durch die Firma SeeFront für das DLR gefertigt und können für Auflösungen bis 1920 * 1200 Pixeln mit Displays der Firma EiZO und mit Auflösungen bis 2048 x 1536 Pixeln mit dem Radiforce RX320 Display betrieben werden. Damit konnte eine erhebliche

Verbesserung der autostereoskopischen Betrachtung erreicht werden.

3.1.3.11 Baugrundsimulation

In den ersten beiden Forschungsjahren wurde ein Ansatz entwickelt bzw. umgesetzt, der es ermöglichte geometrische und semantische Informationen eines Trassierungsquerschnittes in eine geotechnische Struktursimulationssoftware zu integrieren. Hierzu wurde im ersten Jahr eine LandXML basierte Schnittstelle realisiert, die die topologischen Informationen aus dem Trassierungsquerschnitt in das geotechnische Struktursimulationssoftware „GeoStability“ überträgt. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit, semantischen Daten mit Hilfe dieser Schnittstelle austauschen zu können, wurde der bestehende Forschungsansatz im zweiten Jahr erweitert. Die Konzepterweiterung sah vor, die fehlenden semantischen Daten die für eine Strukturanalyse relevant sind, mit Hilfe eines neu entwickelten Formats zu übertragen. Im Zuge dieser Erweiterung wurde das Austauschformat „Ground XML“, das eine schematische Erweiterung des LandXML-Formates um baugrundspezifische Datensätze (Bodenparameter, Schicht-ID, Klassifizierung) darstellt, entwickelt. Dieses neue digitale Werkzeug ermöglicht einen Austausch von geometrischen aber auch semantischen Trassierungsdaten, die während eines terrestrischen, geotechnischen und infrastrukturellen Planungsprozess entstehen.

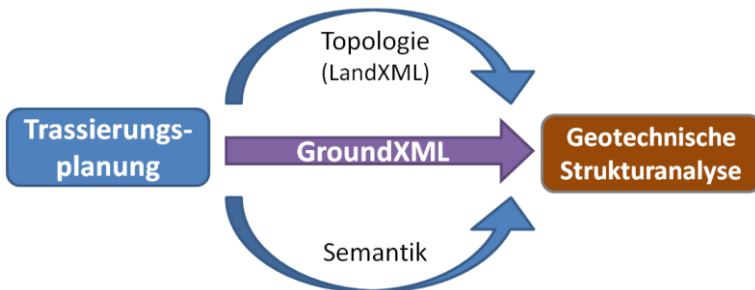


Abbildung 3.1-46: Datenprozess in der Baugrundsimulation

Nachdem eine Kopplung zwischen den beiden Prozessen der Trassierungsplanung und der geotechnischen Struktursimulation hergestellt wurde, beschäftigte man sich im letzten ForBAU Jahr mit der 3D Visualisierung des Trassierungsmodells. Die Umsetzung des Visualisierungskonzeptes erfolgte auf Grundlage von zwei bereits bestehenden ForBAU Ansätzen bzw. digitalen Werkzeugen. Zum einen soll der für die Visualisierung erforderlichen Datenaustausch mit Hilfe des neu entwickelten GroundXML Formates realisiert werden und zum anderen die Integration dieser Daten in das CAD-System *Siemens NX* auf Basis der entwickelten Integrator2NX Schnittstelle erfolgen. Dieses Vorgehen ermöglicht zudem eine Integration des analysierten Trassierungsmodells in das Bauwerksmodell.

Der konzeptionelle Entwurf (Abbildung 3.1-47) sieht vor, die bestehende Schnittstelle Integrator2NX so zu erweitern (GeoToNX), dass eine GroundXML-basierte Trassenmodellgenerierung im CAD-System erfolgen kann. Im Detail bedeutet dies, dass beim automatisierten Modellierungsprozess zusätzlich zu den Referenzlinien die Profilquerschnitte der Trasse in einzelnen Skizzen abgelegt und vordefinierte Geometrieobjekt wie z.B. Böschungslinie, Kronenlinie, Schichtgrenzen etc. parametrisiert werden.

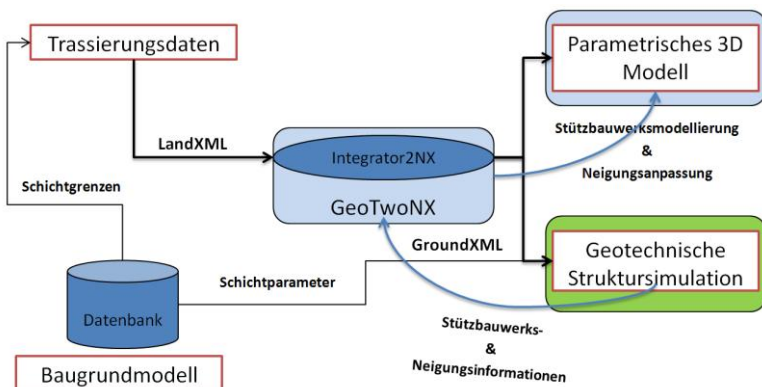


Abbildung 3.1-47: Erweitertes Konzept Baugrundssimulation

Die Modellbildung erfolgt anschließend durch den Einsatz der Funktion „Extrudiert“ mit der sich ein Volumenkörper unter der Berücksichtigung der n Querschnittsskizzen und den drei Referenzlinien erzeugen lässt. Mit Hilfe des soeben beschriebenen Parametrisierungsvorgang lässt sich das Modell zu jederzeit an geänderte Randbedingungen, wie z.B. eine geringere Böschungsneigung aus der geotechnischen Strukturanalyse, anpassen. Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, das Stützbauwerke bzw. geotechnische Maßnahmen, wie z.B. Schwergewichtsmauern, Verbau oder Anker etc. zum einen visuell dargestellt und zum anderen ausführungsreife Pläne abgeleitet werden können. Derzeit erfolgt die Planung der Trasse ohne die Berücksichtigung von geotechnischen Fragestellungen. Erst nach Abschluss der geotechnischen Struktursimulation werden die Ergebnisse in die bestehende Planung eingearbeitet. Der hier vorgestellte Ansatz löst dieses Problem, indem zuerst ein parametrisiertes Trassenmodell ohne geotechnische Randbedingungen umgesetzt wird (entsprechend den traditionellen Prozess) und nach Abschluss der geotechnischen Struktursimulation, das Modell an die resultierenden geotechnischen Maßnahmen anpasst wird. Am Ende steht dem Anwender ein dreidimensionales, parametrisiertes Trassierungsmodell mit geotechnischen Stützbauwerken und Maßnahmen zur Verfügung (Abbildung 3.1-48) aus den Pläne abgeleitet, abzutragenden bzw. einzubauenden Massen ermittelt und visuelle Kontrollen durchgeführt werden können.

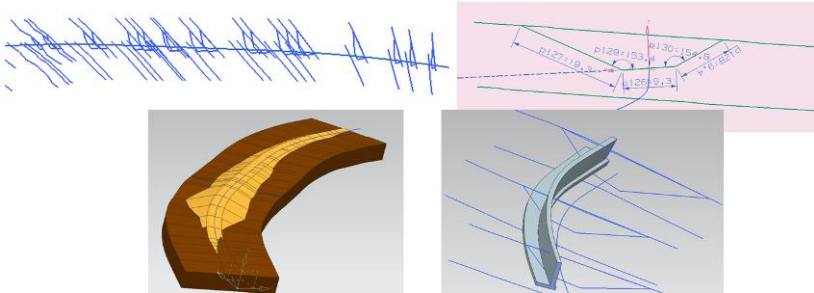


Abbildung 3.1-48: dreidimensionales Trassierungsmodell

3.1.3.12 Terrestrisches Laserscanning

Vergleich der Gerätetechnologien in Aufnahme und Absteckung (Tachymeter, TLS, GNSS)

Das in Abbildung 3.1-49 gezeigte, in 2009 erarbeitete und im Projektverlauf verifizierte Diagramm gibt anschaulich die aktuelle Situation innerhalb der verschiedenen Messtechnologien wieder. In ihrer Punktdichte ist die Photogrammetrie bisher nicht zu überbieten. Dieser Umstand wird durch die Entwicklung der bildgebenden Tachymeter (Trimble VX, Topcon IS) genutzt, welche Tachymeterdaten durch Bilddaten ergänzen [Kle-10].

GNSS (Global Navigation Satellite System) ist vom Einsatzfeld ähnlich zu sehen wie das Gebiet des Tachymeters, wobei hier leichte Defizite hinsichtlich der Genauigkeit vorliegen und Nachbearbeitungen anfallen können.

Wie bereits die Photogrammetrie, so kann mittlerweile auch das Laserscanning mit einer sehr hohen Auflösung aufwarten. Die Gewinnung der gewünschten Objektinformationen ist jedoch in beiden Fällen nur durch erheblichen Nachbearbeitungsaufwand erreichbar. Im Hinblick auf die Genauigkeit von Laserscanning würde der Verfasser diese jedoch noch weit über der von GNSS ansiedeln und eher 8 bis 9 Punkte in der Skala nach Zogg vergeben.

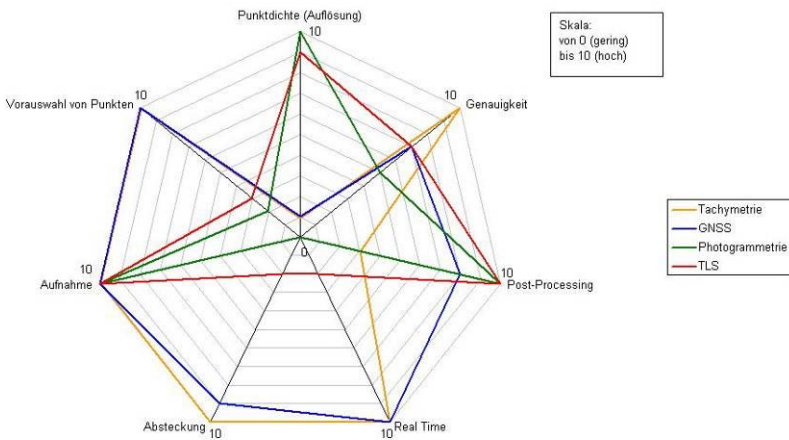


Abbildung 3.1-49: Gegenüberstellung verschiedener Messverfahren (nach Zogg [TLS-09])

Zur Beurteilung der hier erwähnten Messverfahren lässt sich insgesamt feststellen, dass in der derzeitigen Entwicklung am Markt versucht wird, die Vorteile der jeweiligen Technik durch Vereinigung mehrerer Technologien in einem System umzusetzen. Begonnen hat diese Entwicklung mit der sogenannten Integrierten Vermessung („Integrated Surveying“, „X-Function“), die GNSS und Tachymetrie zusammenfasste. Fortgeführt wurde dies durch die oben bereits erwähnte Klasse der bildgebenden Tachymeter, die sich mit ihrer Scan- und Kamerafunktionalität die Gebiete des TLS und der Photogrammetrie erschlossen haben. In letzter Zeit sind nun noch Systeme hinzugekommen, die in der Fachwelt als „Tachymeter-Scanner“ (z.B. Leica C10, Abbildung 3.1-50) bezeichnet werden.

Bei diesen Systemen liegt der Schwerpunkt im Scanbereich, es können aber durchaus auch Aufgaben aus der Domäne der Tachymeter, wie z.B. Absteckaufgaben, freie Stationierung oder Polygonzug durchgeführt werden.



Abbildung 3.1-50: Ein „Tachymeterscanner“- Leica: C10

Durch den vorhandenen Schwerpunkt auf dem Scanbereich ist jedoch keine Verwendung von Prismen und damit z.B. keine dynamische Absteckung möglich. Hier besteht für einen optimalen Einsatz noch Entwicklungsbedarf.

Schnittstellenkonzept

Gerade durch die oben erwähnte Komplexität der Systeme, in denen die Einzelinformationen stark miteinander verwoben sind, ist es unabdingbar, als erste Software zur Datenübernahme eine Software des Geräteherstellers zu verwenden, will man nicht frühzeitig wertvolle Zusatzinformationen verlieren.

Als Beispiel sei hier die Verknüpfung von Bildinformationen mit Punktinformationen erwähnt. Durch die Herkunft aus einem System (Koaxiale Aufnahme im bildverarbeitenden Tachymeter) ist hier der Bildinformation die Orientierung im Raum fest zugeordnet. Trennt man hier beide Informationen voneinander, so ist es später aufwendig und schwierig, diese wieder zuzuordnen.

Entsprechendes gilt z.B. auch für die Übergabe von Scannerpunktwolken ohne der zugehörigen Scannerstandpunkte.

Ergebnis aus diesen Überlegungen ist, dass es häufig nicht ausreicht, dass vom Vermessungssystem die einzelnen Grundwerte

(Punktkoordinaten, Bilder u.ä.) übergeben werden, sondern dass diese vor der Übergabe eine Veredelung erfahren müssen und somit z.B. fertige Dreiecks-Vermaschungen, fertige Texturen übergeben werden müssen, um die Semantik zumindest ansatzweise zu erhalten.

Dies heißt jedoch, dass die Ur-Daten weiterhin auch im System bzw. Format des Vermessungssystems vorgehalten werden müssen, um diese für den speziellen Anwendungsfall in das Zielsystem zu überführen. Problem hierbei ist, dass dies zunächst dem Konzept der zentralen Datenhaltung widerspricht und durch die immer auch notwendige Verarbeitung vor einer Übergabe diese nicht gerade erleichtert wird. Zudem entsteht eine starke Redundanz der Daten, und die Übersichtlichkeit geht verloren.

Die Schnittstellenproblematik muss damit zunächst auf die Übergabe innerhalb eines konkreten Workflows beschränkt und dort gelöst werden. Ein weitere, der zentralen Datenhaltung widerläufige Entwicklung ist das immer höher werdende Datenaufkommen bei Scan- und Bildanwendungen. Standards zum Austausch sind hier zwar zum Teil vorhanden. Diese Standardisierung geht hier jedoch bisher zu Lasten des Datenvolumens (ASCII- und XML-Dateien). Hier ist z.B. im Zusammenhang mit Scandaten ein binäres herstellerunabhängiges Format zum Austausch von Punktwolken nötig. Trotzdem werden diese Daten weiterhin einen Umfang besitzen, der in naher Zukunft nicht online übertragen werden kann.

TLS 3D-Laserscanning: Untersuchung zu Datenfluss und Interaktion, Qualität, Genauigkeit, baustellentaugliche Anwendbarkeit, Mengenermittlung und Prüfbarkeit, Optimierungspotentiale

Zur Genauigkeit von Laserscannern ist im Allgemeinen zu sagen, dass hier zwischen dem Einzelpunkt und dem Punkt im Flächenverbund zu unterscheiden ist. Durch die statistische Verteilung der Punkte um die „wahre“ Entfernung z.B. in einer Ebene, kann

die Lage der Ebene um den Faktor 2-3 genauer bestimmt werden, als der Einzelpunkt gemessen werden kann. Dies kann man sich für genaue Messungen, z.B. im Bereich des Monitorings oder Soll-/Ist-Vergleichs (Abbildung 3.1-51) dahingehend zu Nutze machen, dass die Punktwolke in Patches mit frei wählbarer Größe unterteilt wird und aus jedem Patch jeweils ein Punkt mit erhöhter Genauigkeit bezogen auf die Entfernungsmessung hervorgeht.

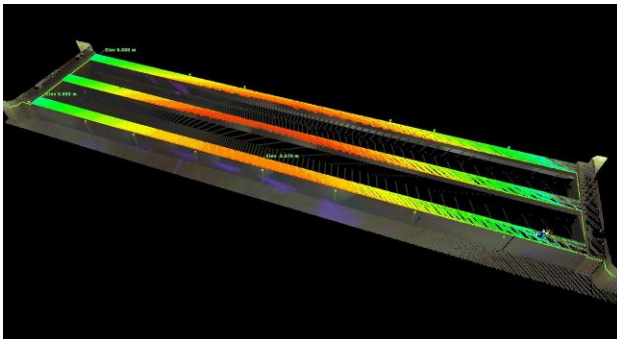


Abbildung 3.1-51: Soll-/Ist-Vergleich bzw. Monitoring an den Trägern einer Stahlverbundbrücke mittels Laserscanning (gekippte Untersicht)

Die Winkelmessung bleibt hiervon unberührt und kann nicht gesteigert werden. Meist kann jedoch durch eine geeignete Messkonstellation die erforderliche Genauigkeit durch die Genauigkeit der Streckenmessung abgebildet werden.

Baustellentaugliche Anwendbarkeit

Im Jahr 2010 konnte an der Hochschule Regensburg auf ein neu erworbenes Scan-System zurückgegriffen werden, was vor allem die baubegleitende Vermessung mit notwendigen kurzen Reaktionszeiten erleichterte.

2009 wurde noch in einer ersten Teststellung mit einem bildgebenden Tachymeter an einem Teilabschnitt der B15n gearbeitet. Hier wurde beispielhaft an einem großen Einschnitt mit späterem

Brückenbauwerk der Geländehorizont während der Bauphase erfasst und ausgewertet (Abbildung 3.1-52). Darüber hinaus wurde die Technologie der bildgebenden Tachymeter im Rahmen einer Diplomarbeit an der Hochschule Regensburg weiter vertieft und untersucht [Kle-10].

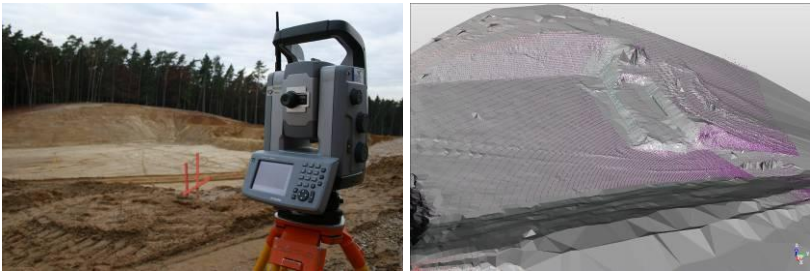


Abbildung 3.1-52: Trimble VX Spatial Station mit von ihr aufgenommenem und vermaschtem Geländeausschnitt

Die Baustellenstudien wurden 2010 mit sowohl einem Phasenvergleichsscanner als auch einem Impulsscanner an der gleichen Maßnahme fortgesetzt [Dan-10].



Abbildung 3.1-53: Leica Scanstation mit unvermaschter, jedoch eingefärbter Punktwolke

Nähere Betrachtungen zur Baustellentauglichkeit und Ergebnisse hierzu sind in den Ausführungen zur baubegleitenden Vermessung in TP2 zu finden (Abbildung 3.1-53).

Mengenermittlung und Prüfbarkeit

Gerade im Erdbau spielt die Prüfbarkeit von abzurechnenden Massen eine wichtige Rolle für die reibungslose Abrechnung einer Maßnahme. Je nach Form des Erdkörpers wird hier gem. den bisherigen Konventionen (vgl. Regelungen für die elektronische Bauabrechnung [REB-97]) nach Querprofilen entlang einer definierten Achse (REB-VB 21.014) oder als Differenz zwischen DGM-Horizonten (REB-VB 22.114) abgerechnet.

Es steht fest, dass diese Verfahren alltägliche Praxis sind und, sofern sie nicht durch neue Ansätze abgelöst werden (z.B. ForBAU Modellbildung, Voxel-Strukturen, etc.), weiter bestehen bleiben werden. Will man diese Verfahren auch für moderne Messtechnologien nutzen, so ist hierfür eine entsprechende Reduzierung der Datenmenge z.B. bei der Nutzung von Scannerdaten nötig, da diese Verfahren nicht mit Millionen von Dreiecken arbeiten können. Gleiches gilt auch für die Infrastrukturplanungssysteme, die die REB-Verfahren implementiert haben [Dan-10].

Eine Möglichkeit hierfür ist eine volumenbasierte Punktreduktion (vgl. Verfahren in Studie unter TP2). Eine weitere, allerdings komplexere Möglichkeit ist, die Scandaten einem Automatismus zuzuführen, der markante Punkte, z.B. Geländeknicke erkennt und diese bei einem Ausdünnverfahren beibehält. Denkbar wäre hier ein Algorithmus, der je nach Winkel zwischen den Flächennormalen (Definierter Schwellwert) die entsprechenden Dreiecke bestehen lässt oder aber zu größeren zusammenfasst. Man hat es hier gleichsam mit der Aufgabe des Vermessers (aus der konventionellen Vermessung) zu tun, der im Gelände seine Aufnahme auf die wesentlichen, das Gelände ausreichend beschreibende Punkte reduzieren muss.

Gerade diese *wenigen wesentlichen Punkte* und die notwendige Möglichkeit zur Überprüfung sind auch der Grund, warum die z.B. aus der Modellierung von Industrieobjekten bekannten NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) nach Meinung des Verfassers nicht geeignet sein werden, zur Beschreibung eines Geländes

oder zur Abrechnung desselbigen herangezogen zu werden. Hierzu sind nach derzeitiger Praxis diskrete Punkte nötig, die durch lineare Kanten zu Netzen verbunden werden können. Diese Kanten repräsentieren z.B. im Fall von vorhandenen „scharfen“ Geländeknicken, d.h. Bruchkanten das Gelände weit- aus besser, als es durch NURBS nachgebildet werden könnte - auch wenn diese Vorgehensweise die Modellierung grundsätzlich erleichtern würde.

Optimierungspotentiale



Abbildung 3.1-54: Beispiel für eine kinematische Punktaufnahme mittels des Mobile-Mapping-Systems Topcon: IP-S2

Im Hinblick auf Optimierungen wird im Bereich des kinematischen Laserscannings erhebliches Potential auf dem Weg zu (zeit-) optimierten Aufnahmetechnologien gesehen. Zu diesem Zweck wurde in Nachfolge zur Tunnelvermessungsstudie in 2009 (zusammen mit der Fa. Angermeier, System Tiger) dieses Thema auch in 2010 nochmals aufgegriffen. In Zusammenarbeit mit der Fa. Topcon wurde so das System IP-S2 in einem Bereich der Demobaustelle eingesetzt (Abbildung 3.1-54) und vor allem hinsichtlich der Baustellentauglichkeit und der zu erwartenden Aufnahme-dichte und Genauigkeit untersucht.

3.1.4 Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan

AP 1: 4D-Baustelleninformationsmodell

	Zeitplan Prof. Rank (TP 1)												Personaleinsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK
	AP 1: 4D-Baustelleninformationssystem												
	2008				2009				2010				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP I-1 Analyse der in Ansätzen bereits entwickelten Bauwerksmodelle für Brücken und Fahrbahntrassen													2
AP I-2 Entwicklung eines objektorientierten, parametrisierten Produktmodells für die Bauwerkstypen Fahrbahntrasse und Stahlbetonbrücke													10
◆ Meilenstein: 3D-Bauwerksinformationsmodell für Brücken und Fahrbahntrassen													◆
AP I-3 Integration von zeitlich-prozessualen Aspekten in das Modell (Erstellungszeiträume, antizipierte Fertigstellungszeitpunkte)													2
AP I-4 Integration mit Prozessmodellen aus TP2													7
◆ Meilenstein: 4D-Baustelleninformationsmodell													◆
	Summe Mannmonate												21



Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell

Erläuterungen zum Zeitplan AP1:

Wie bereits im Zwischenbericht 2008 dargestellt, wurde AP I-5 „Evaluierung von PDM-Systemen“ als AP I-3 in TP2 geführt. Wie dort dokumentiert, wurde die Evaluierung von PDM-Systemen wegen der zentralen Bedeutung für das gesamte Forschungsprojekt zeitlich vorgezogen. Daraus resultierte eine ungeplant frühe Bindung von Personenmonaten.

Erst während der Projektlaufzeit wurde die Notwendigkeit der Entwicklung eines Integrators offensichtlich. Die Entscheidung zur Umsetzung dieses Konzepts stieß auf breite Zustimmung aller beteiligten Industrie- und Forschungspartner, führte jedoch wiederum zu einem erheblichen, ungeplanten Mehraufwand.

Das sich in der Folge die Arbeit an AP I-2 „Entwicklung eines parametrisierten, objektorientierten Produktmodells“ verzögert, im Projekt 2010 aber erfolgreich abgeschlossen. In diesem Rahmen wurde die Weiterentwicklung des Standards IFC-Bridge vorangetrieben.

Die Arbeiten an AP I-4 „Integration mit Prozessmodellen aus TP2“ wurde mit der Entwicklung des *ForBAU-Preparators* und des *ForBAU-Integrators* erfolgreich abgeschlossen.

AP 2: Automatisierte Ermittlung des Ist-Zustandes

	Zeitplan Prof. Rank (TP 1)												Personal- einsatz
	AP2: Automatisierte Ermittlung des Ist-Zustandes												
	2008				2009				2010				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP II-1	Entwicklung von Techniken zum Finden relevanter Messpunkte durch Abgleich mit 3D-Bauwerksinformationsmodell unter Beachtung von Abweichungstoleranzen												TVL 13 excl. Stud. HK
◆	Meilenstein: Bauteildetektion durch Verarbeitung von Punktwolken												12
AP II-2	Automatisierte Ansteuerung von Servo-Tachymetern												12
◆	Meilenstein: Bauteildetektion durch zielgerichteten Einsatz von Servo-Tachymetern												
AP II-3	AP II-3: Einspeisung des gemessenen Ist-Zustands in das Baustelleninformationsmodell, Evaluierung des Gesamtsystems												3
◆	Meilenstein: funktionsfähiges Gesamtsystem, erfolgreiche Evaluierung am Referenzprojekt												
	Summe Manmonate												27



Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell

Erläuterungen zum Zeitplan AP2:

Wie bereits im Zwischenbericht 2009 dargelegt, wurden für die in AP2 vorgesehene Detektion des Baufortschritts wurden grundlegende, methodische Ansätze entwickelt. So wurde in diesem Rahmen Techniken des „Reverse Engineering“ angewendet, um aus Laserpunktwolken schrittweise Volumenmodelle zu generieren und darauf aufbauend Bauteiltypen zu erkennen. Darüber hinaus wurde mit der „Fuzzy Spatial Query Language“ ein zweiter methodischer Ansatz umgesetzt, der eine schnelle Abfrage der Lagebeziehungen zwischen aufgenommenen Laserpunkten und digitalem Soll-Modell erlaubt. In beiden Fällen war umfangreiche Grundlagenarbeit erforderlich, die zu einem deutlich höheren Bedarf an Personenmonaten geführt hat als ursprünglich geplant. Der Arbeitsplan wurde daher zu Lasten AP II-2 umstrukturiert. Dies steht in engem Zusammenhang mit der Erkenntnis, dass die von den Herstellern genutzte Schnittstelle zur Ansteuerung von Servo-Tachymetern i.d.R. gegenüber Dritten nicht offengelegt wird. Die Verwendung dieser Schnittstelle für die angedachte zielgerichtete Erfassung von Bauteilen ist demnach nicht möglich. AP II-3 „Einspeisung des gemessenen Ist-Zustands in das Baustelleninformationsmodell“ wurde wie geplant in 2010 bearbeitet, basiert jedoch ausschließlich auf der Ist-Zustandserfassung per Laserscanning.

AP 3: 3D-Vermessung (luftgestützt)

	Zeitplan Prof. Hirzinger (TP 1)												Personal- einsatz Mannmonate
	AP3: 4D-Baustelleninformationssystem												
	2008				2009				2010				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	TVL 13 excl. Stud. HK
AP III-1													6
◆											◆		
AP III-2													10
◆									◆				
AP III-3													20
													36
	Summe Mannmonate												



Aufnahme geplanter Baugelände mit HRSC / MultiCam, Integration der Planungen in die Geländemodelle
 Meilenstein: Oberflächenmodell der Demonstrationsbaustelle
 Entwicklung einer erheblich rauschärmeren 3-5-Zeilenkamera mit 10-15cm bzw. 7-10cm Bodenauflösung, Vergleich mit Aufwand und Genauigkeit, die sich mit Flächenkameras und Laserscannern erzielen lassen
 Meilenstein: Treffen von Wirtschaftlichkeitsaussagen
 Autostereoskopische, interaktive 3D-Darstellung
 Echzeitvisualisierung großer Datenmengen, Anwendung der optimalen Kamera- und Prozessierungstechnik auf ein ausgewähltes Testgebiet

Arbeitsplan Antragsstellung Arbeitsplan aktuell

Erläuterungen zu Zeitplan AP3:

Der Projektverlauf erfolgte entsprechend des überarbeiteten Arbeitsplanes aus 2009. Alle Meilensteine konnten erreicht werden.

AP 4: 3D-Baugrundmodell

	Zeitplan Prof. Vogt (TP 1)												Personal- einsatz Männmonate TVL 13 excl. Stud. HK
	AP4: 3D-Baugrundmodell												
	2008				2009				2010				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP IV-1													3
AP IV-2													6
◆				◆									
AP IV-3													4
AP IV-4													5
												◆	
	Summe Männmonate												18

Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell



Erläuterungen zum Zeitplan AP 4:

Wie in den Zwischenberichten 2008 und 2009 erläutert, war zur Abdeckung aller fachtechnischen Anforderungen von Forschungs- und Industriepartner eine Anpassung der Arbeits- und Zeitpläne erforderlich. Im Jahr 2010 konnten mit der Erstellung der Baugrunddatenbank das AP IV-1 und AP IV-3 erfolgreich abgeschlossen sowie dem AP IV-4 zugearbeitet werden. Durch das AP IV-2 3D-Baugrundmodellierung wurde auch in 2010 die Pilotbaustelle B15neu unterstützt. Durch die Weiterentwicklung der Baugrundmodellierung unter Berücksichtigung mathematischer (stochastischer) Methoden (AP IV-4) konnten wesentliche Grundlagen weiter evaluiert und die Einsetzbarkeit bei Infrastrukturprojekten beurteilt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass entsprechend grundlegende Fragestellungen weitere Forschungsaktivitäten zu dieser Thematik am Zentrum Geotechnik erforderlich machen.

AP5: Baugrundsimulation

		Zeitplan Prof. Euringer (TP 1)												Personal- einsatz
		Beteiligung in den AP 5												
		2008			2009			2010			Mannmonate			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	TVL 13 excl. Stud. HK
AP V-1	Definition Umfang des Strukturmodells, Auswahl geeigneter SW-Pakete zur Struktursimulation													4
AP V-2	Definition Umfang des Strukturmodells, Auswahl geeigneter SW-Pakete zur Struktursimulation													4
◆	Meilenstein: Daten / Definitionen des Strukturmodells liegen im 3D-Bauwerksinformationsmodell vor, funktionstüchtiges Strukturmodell				◆									
AP V-3	Implementierung von Schnittstellen zur Integration													5
AP V-4	Konsistente Speicherung von Ergebnissen und Auswertungen der Analyse im PDM/PLM-System													3
◆	Meilenstein: Integration des Strukturmodells im 3D-Informationsmodell									◆				
AP V-5	Rückkoppelung zu Wissensdatenbank Baugrundsituation / baubegleitenden Vermessungsdaten / Monitoring													4
AP V-6	Integration / Visualisierung des Strukturmodells im 4D-Baustelleninformationsmodell													4
◆	Meilenstein: Funktionstüchtig integriertes Strukturmodell												◆	
Summe Mannmonate													24	

Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell



Erläuterungen zum Zeitplan AP 5:

Der Projektverlauf erfolgte entsprechend des überarbeiteten Arbeitsplanes aus 2009.

AP 6: 3D-Vermessung (terrestrisch)

		Zeitplan Prof. Stockbauer (TP 1)												Personaleinsatz Mannmonate	
		Beteiligung in den AP 6													
		2008				2009				2010					
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP VI-1	Auswahl und Analyse eines Demobauwerks, Schnittstellen der Vermessung zum Gesamtprozess Bauen														TVL 13 excl. Stud. HK
AP VI-2	Vergleich der Gerätetechnologie in Aufnahme und Absteckung, (Tachymetrie, Laserscanning, GPS, GLONASS), Definition der Schnittstellen zum Datenimport und Datenexport														1
◆	Meilenstein: Konzept						◆								
AP VI-3	Generierung von Daten aus dem Demobauwerk mit unterschiedlichen Technologien und Datentransfer														4
AP VI-4	Aufbereitung und Visualisierung der 3D Modelle														3
◆	Meilenstein: CAD-Modelle													◆	
AP VI-5	TLS 3D-Laserscanning: Untersuchungen zu Datenfluß und Interaktion, Qualität, Genauigkeit, baustellentaugliche Anwendbarkeit, Mengenermittlung und Prüfbareit, Optimierungspotentiale														4
AP VI-6	Analyse der Arbeitsprozesse im Hinblick auf Randbedingungen, Datenfluß und Nutzertanalyse														3
◆	Meilenstein: Abschlussdokumentation													◆	
													Summe Mannmonate	18	

Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell



Erläuterungen zum Zeitplan AP 6:

Der Projektverlauf erfolgte entsprechend des überarbeiteten Arbeitsplanes aus 2009.

3.1.5 Kooperationen

3.1.5.1 Zusammenarbeit mit TP2

Zwischen TP1 und TP2 bestand während der gesamten Projektlaufzeit eine äußerst intensive Zusammenarbeit. Dadurch wurde zum einen sichergestellt, dass die im TP1 entwickelten digitalen Modelle im PDM-System vorgehalten werden können. Zum anderen lieferten die im TP1 entwickelten Werkzeuge *Integrator* und *Preparator* Eingangsgrößen für die im TP2 entwickelten Simulationswerkzeuge. Die Festlegung entsprechender Übergabeformate und der intensive Test der Schnittstellen stellte einen Schwerpunkt der Zusammenarbeit im dritten Projektjahr dar.

3.1.5.2 Zusammenarbeit mit TP3

Die im Projektjahr 2009 begonnene Entwicklung zur Optimierung des Stoffstromflusses auf der Baustelle wurde auch im dritten Projektjahr fortgesetzt werden. Dazu bedurfte es einer engen Abstimmung mit der Forschungsarbeit im TP3, die sich den Fragen der Baulegistik widmete.

3.1.5.3 Zusammenarbeit mit TP4

Im digitalen Bauwerkstelleninformationsmodell wird jedem Einzelbauteil eine eindeutige Identifikationsnummer zugeordnet. Über die Verknüpfung dieser Nummer mit der ID des realen Bauteils (TP4) wurde eine Zuordnung von virtuellen zu realem Bauteil und damit ein Abgleich zwischen geplanten und tatsächlichem Baufortschritt möglich.

3.1.6 Literatur

- [Ahu-93] Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., Orlin, J.B.:
Network Flows. Prentice Hall Inc., USA, 1993.
- [Aki-88] Akin, H., Siemens, H:
Praktische Geostatistik - Eine Einführung für den
Bergbau und die Geowissenschaften, Berlin,
Heidelberg (Springer), 1988.
- [Cre-93] Cressie, N. A. C.:
Statistics for spatial data, Wiley, New York, 1993.
- [Dan-10] Dankerl, F. / Janka, Th.:
Anwendungsorientierte Untersuchung von Terrestri-
schen Laserscansystemen (TLS) im Rahmen des
Forschungsprojektes ForBAU am Beispiel der
Tiefbaumaßnahme B15neu und des historischen
Gesandtenfriedhofs in Regensburg, Diplomarbeit an
der Hochschule Regensburg, 2010 (unveröffentlicht)
- [Eas-88] Easa, S.M.:
Earthwork Allocations with Linear Unit Costs.
Journal of Construction Engineering and Manage-
ment, Vol. 114, No. 4, December, 1988.
- [Far-80] Farley, A.R.
Levelling terrain trees: A transshipment problem.
Information Processing Letters, 10, 189-192, 1980.

- [Guo-10] Guo, D., Yan X. D., Zalewski, J., Villiers, C.: Visualization of Road Geometries based on CADD Design Standards. In: Advances in Engineering Software, Vol. 41 (4), 561-568, 2010.
- [Heg-09] Hegger, J.; Dreßen, T.; Schießl, P.; Zintel, M.; Mayer, T.; Kessler, S.; Rank, E.; Lukas, K.; Borrmann, A.; Hauer, B.; Wiens, U.: Beton – Nachhaltiges Bauen im Lebenszyklus. Bauingenieur. 08-2009. S. 304-312.
- [Hub-10] Huber, M., Ströhle, P.: Probabilistische Untersuchungen im Tunnelbau, 31. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, 03.11.10, DGGT
- [Ji-08] Ji, Y., Borrmann, A., Rank, E., Wimmer, J., Günthner, W.: An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes. In: Proc. of the 26th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction. Istanbul, Turkey, 2009.
- [Ji-10a] Ji, Y., Seipp, F., Borrmann, A., Ruzika, S., Rank, E.: Mathematical Modeling of Earthwork Optimization Problems. In Proc.: International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, s. 403, Nottingham, UK, 2010.
- [Ji-10b] Ji, Y., Wimmer, J., Borrmann, A., Günthner, W.: Bidirectional Coupling of Microscopic Simulation and Macroscopic Optimization of Earthwork Processes. In Proc: International Conference of CIB W78, s. 137, Egypt, Cairo, 2010.

- [Ji-10c] Ji, Y., Obergrießer, M., Borrmann, A.:
Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendungen in
parametrischen CAD-Systemen. In Proc.: Forum
Bauinformatik, 105-114, Berlin, 2010.
- [Ji-10d] Ji, Y., Borrmann A.:
Ein Konzept zur Kopplung Makroskopischer
Optimierung mit Mikroskopischer Simulation von
Erdbauprozessen. In Proc.: Simulationsworkshop der
Bauhaus Universität Weimar, 17-24, 2010.
- [Jou-92] Journal, A. G.; Deutsch C. V.:
GSLIB-GeoStatistical-I software library and user's
guide. Oxford Univ., New York, 1992
- [Kamin-10] Kaminski, I.:
Potenziale des Building Information Modeling im
Infrastrukturprojekt – Neue Methoden für einen
modellbasierten Arbeitsprozess im Schwerpunkt der
Planung. Dissertation, Universität Leipzig, 2010.
- [Katz-08] Katz, K.:
Parametric Description of Bridge Structures. In Proc.:
Information and Communication Technology for
Bridges, Buildings and Construction Practice, Vol. 94,
2008.
- [Kle-10] Klein, A. / Winhard, M.:
Vergleichende Untersuchungen beim Einsatz der
Video-Tachymetersysteme Trimble VX und Topcon
IS an praktischen Beispielen aus dem Hoch- und
Ingenieurbau, Diplomarbeit an der Hochschule
Regensburg, 2010 (unveröffentlicht)

- [Klu-08a] Kluth, M.; Borrmann, A.; Rank, E.; Mayer, T.F.; Schießl, P.:
3D Building Model-Based Life-Cycle Management of Reinforced Concrete Bridges. Proceedings of the 7th European Conference on Product and Process Modelling, Sophia Antipolis, Frankreich, 2008.
- [Klu-08b] Kluth, M.; Borrmann, A.; Mayer, T.; Schiessl, P.:
Development of a software-tool for the life-cycle management of bridges. In: Proc. of the Int. Symp. on Life-cycle Civil Engineering (IALCCE). Varena, Italy, 2008.
- [Kra-09] Kranz, E. / Weber, A.:
Praxisorientierte Analyse und Dokumentation der auf dem Tachymeter Leica 1200 implementierten Anwendungssoftware aus dem Bereich Verkehrswegebau mit Import und Export von Daten zum Programmsystem STRATIS, Diplomarbeit an der Hochschule Regensburg, 2009 (unveröffentlicht)
- [Lu-10] Lukas, K., Borrmann, A., Rank, E.:
Using Ant Colony Optimization for Infrastructure Maintenance Scheduling. In: Proc. of the 8th European Conference on Product and Process Modeling (ECPPM). Cork, Irland, 2010.
- [Mef-09] Mefisto-Bau. Management - Führung - Information - Simulation im Bauwesen.
Webseite: <http://www.mefisto-bau.de>

- [Mef-10] Scherer, R., Schapke S.-E.: Tagungsband zum Mefisto-Kongress 2010.
- [Nlf-02] Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bohrdatenbank Niedersachsen, Anleitung zur Schichtbeschreibung, NLFb, Hannover, 31.01.2002
- [REB-97] Sammlung der Regelungen für die elektronische Bauabrechnung (Sammlung REB), FGSV-Verlag, Köln, 1997
- [Ros-08] Rosner, H.: Seminar: Verarbeitung geographischer Daten, Interpolation und Kriging. Geographie, Uni-Tübingen, SS 2008.
- [Sch-05] Schönhardt M (2005) Geostatistische Bearbeitung unsicherer Baugrunddaten zur Berücksichtigung in Standsicherheitsnachweisen des Erd- und Grundbaus. Schriftenreihe Geotechnik, Bauhaus-Universität Weimar, Hrsg. Schanz T, Witt K J, Heft 15, Weimar
- [Sch-06] Schönhardt M, Witt, K J, Wudtke, R-B (2006) Strategien zur optimalen Baugrunderkundung auf der Grundlage unsicherer geologischer Baugrundmodelle. 57. Berg- und Hüttenmännischer Tag – Freiburger Forschungsforum

- [Sch-08] Schuppener, B.; Hettler, A.; Engel, J.; Kügler, M.; Kunz, E.: Konzept einer Datenbank für Ergebnisse boden- und felsmechanischer Laborversuche, 30.. Baugrundtagung, Dortmund, 24. - 27. 09. 08
- [Schl-09] Schleinkofer, M.; Rank, E.:
Ein Ansatz zur automatischen Erstellung eines 3D-Modells für den Baubestand.
In: Der Bauingenieur 02-2009. S. 65-72.
- [Son-05] Son, J., Matilla, K.G., Myers, D.S.
Determination of Haul Distance and Direction in Mass Excavation. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131, No. 3, March, 2005.
- [Sta-83] Stark, R., Mayer R: Quantitative Construction Management: Uses of Linear Optimization. John Wiley and Sons, New York, US, 1983
- [Teru-10] Teruaki, K., Masakazu K., Katsunori M., Hironobu H., Toshimi, N.:
Preliminary Inspection about the Profit of 3D Data in Public Works. In Proc.: International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, s. 25, Nottingham, UK, 2010.
- [TLS-09] Staiger R., u.a.:
Terrestrisches Laserscanning (TLS 2009), Tagungsband zum 91. DVW-Seminar am 19. und 20. November 2009 in Fulda, Wißner-Verlag, Augsburg, 2009

- [Ves-10] Vesikari, E., Borrmann, A.:
Management systems for maintenance, repair and rehabilitation. In: Proc. of the 9th COST C25 work-group meeting on sustainability of constructions. Izmir, Turkey, 2010.
- [Wim-10] Wimmer, J., Ji, Y., Horenburg T., Borrmann A., Günthner, W., Rank E.:
Evaluation of the 3D Model-based Earthwork Process Simulation in Practice. In Proc.: ASIM-Conference Simulation in Production and Logistic, Karlsruhe, 2010.

3.2 BAU-SIM

Projektleitung:	Technische Universität München Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner Dipl.-Ing. Markus Schorr +49 (0) 89 / 289 159-52 schorr@fml.mw.tum.de http://www.fml.mw.tum.de
Beteiligte Institute:	Lehrstuhl für Computation in Engineering; TUM Fachbereich Bauinformatik; HS.R Fachbereich Vermessung; HS.R Institut für Robotik und Mechatronik; DLR Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbesondere Logistik; FAU Zentrum Geotechnik; TUM
Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. Tobias Baumgärtel Dipl.-Ing. Gergö Dori Dipl.-Kfm. (FH) Gerrit Höppner Dipl.-Inf. Yang Ji M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Mathias Obergrießer Dipl.-Ing./-Inf. (FH) Claus Plank Dipl.-Ing. Markus Schorr Dipl.-Wi.-Ing. Jörg Weidner Dipl.-Ing. Johannes Wimmer
Industriepartner:	AEE GmbH (aircraft electronic engineering), Angermeier Ingenieure GmbH, Ascending Technologies GmbH, Autodesk GmbH, Axio-Net GmbH, Bauer Maschinen GmbH,

Bauer Spezialtiefbau GmbH, baulegis GmbH, Eberth Bau GmbH & Co KG, Ed Züblin AG, gibGREINER GmbH, Hamm AG, Ingenieurbüro Christofori & Partner, Liebherr-Werk Bischofshofen GmbH, Max Bögl Bauservice GmbH & Co KG, Motorola – Enterprise Mobility Business, Obermeyer Planen + Beraten GmbH, PPI Informatik - Dr. Prautsch & Partner, Procad GmbH & Co. KG, RIB Software AG, Remote Sensing Solutions GmbH, SSF Ingenieure GmbH - Beratende Ingenieure im Bauwesen, Sfirion AG, Siemens Industry Software GmbH & Co. KG, SITECH Süd GmbH, Sinning Vermessungsbedarf GmbH, Topcon Deutschland GmbH, Zoller + Fröhlich GmbH

3.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Eine der großen Herausforderungen der Informationstechnologie im Bauwesen besteht derzeit darin, die Aspekte der Modellierung sowie die Prozesse in Bauplanung und -ausführung sinnvoll miteinander zu verknüpfen [LIE-03], [ACE-03]. Die Zielsetzung des zweiten Teilprojekts ist es daher, Konzepte zu entwickeln, um parametrische 3D-Modelle und Zeichnungen um zeitliche bzw. prozessrelevante Komponenten zu erweitern.

Zu diesen Prozessinformationen gehören z.B. der Status bzw. Reifegrad eines Bauwerksmodells, Anforderungen oder qualitätsrelevante Daten. Von Bedeutung sind des Weiteren Informationen über die Baureihenfolge und die erwartete Fertigstellungsdauer einzelner Gewerke. Zusammen mit den Ist-Daten von der Baustelle können damit umfassende Soll-Ist-Abgleiche vollzogen werden.

Für das Zusammenspiel all dieser Bereiche wurde ein integriertes, durchgängiges Konzept erarbeitet, um schlussendlich eine praxisbezogene Baufortschrittskontrolle zu ermöglichen. Dieses ist im Folgenden schematisch dargestellt.

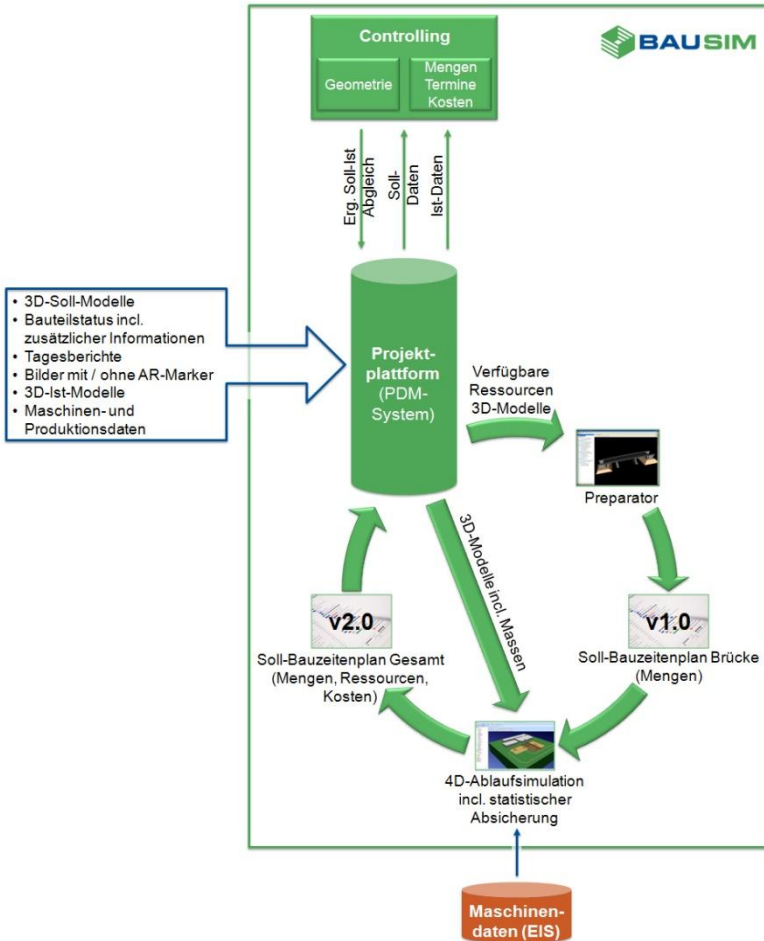


Abbildung 3.2-1: Zusammenspiel zwischen zentraler Projektplattform, Simulation und Controlling innerhalb des zweiten Teilprojekts BAU-SIM

Ausgangspunkt des Konzeptes sind die 3D-Soll-Modelle aus der Bauplanung (TP1), die mit ersten prozessrelevanten Informationen angereichert werden. Beispiele für derartige Informationen sind:

- Reife- und Fertigstellungsgrad eines Objektes (Versionen, durchgeführte Änderungen, Status)
- Zuständigkeiten (Ersteller, Erstellungsdatum, Verantwortlichkeiten, Rechte)
- Anforderungen

Die Modelle und deren prozessrelevante Informationen werden hierfür in einem Datencontainer abgelegt und miteinander verknüpft. Dieser Container wird zentral auf einer bau-spezifischen Produktdatenmanagement-Plattform (PDM-System) verwaltet.

Bevor mit dem Bau begonnen werden kann, müssen in der Arbeitsvorbereitung die Bauzeitenpläne erstellt werden. Hierfür kommt der ForBAU-Preparator zum Einsatz, der aus den verfügbaren Ressourcen sowie den 3D-Modellen mit Hilfe vordefinierter Konstruktionsverfahren eine erste optimierte Baureihenfolge für Brückenbauwerke bestimmt. Der „erste Wurf“ für einen Bauzeitenplan kann so sehr einfach erfolgen. Im nächsten Schritt kann dieser grobe Entwurf innerhalb einer Detailsimulation für kritische Prozesse Stück für Stück verbessert werden. Im Sinne der Durchgängigkeit wird hierfür auf bereits vorhandene Daten wie ein- und auszubauende Massen, 3D-Layout der Baustelle oder Leistungskennwerte für Baumaschinen zurückgegriffen. Über tiefbauspezifische Simulationsbausteine, etwa für die Prozesse „Erdbau“ und „Tiefgründung“ können die Simulationsmodelle mit relativ geringem Aufwand erstellt werden. Eine statistische Betrachtung innerhalb der Simulation sichert die Ergebnisse ab. Die 3D-Modelle der Bauwerke, des Baugrunds und der Maschinen werden aus dem PDM-System und der Maschinendatenbank EIS in die Simulation importiert und

ermöglichen eine qualitativ hochwertige, dynamische Visualisierung der Abläufe auf der Baustelle. Die Simulationsergebnisse können hinsichtlich Mengen, benötigten Ressourcen, Kosten und Terminen als Soll-Bauzeitenplan in die zentrale Datenplattform exportiert werden.

Während der Bauphase werden von Bauleiter, Polier und Vermesser Ist-Daten von der Baustelle in das zentrale System gespeist. Diese können z.B. in Form von digitalen Tages- und Statusberichten, qualitätsrelevanten Dokumenten, Abnahmeprotokollen, Bildern oder Vermessungsdaten in den entsprechenden Datencontainern des PDM-Systems abgelegt und so mit den Modellen verknüpft werden. Im Rahmen des Controllings werden die Bautagesberichte mit den Soll-Daten aus der Simulation hinsichtlich Mengen, Terminen und Kosten verglichen. Über Bilder und Vermessungsdaten kann dagegen unter Verwendung der 3D-Soll-Modelle ein geometrischer Abgleich erfolgen.

Die einzelnen Fachbereiche des zweiten Teilprojektes erreichen mit Hilfe dieses Zusammenspiels ein hohes Maß an Durchgängigkeit.

3.2.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Simulation der Bauprozesse (AP I)

Analog zu ForBAU wird im Forschungsprojekt Mefisto seit ein- einhalb Jahren ebenfalls die Schaffung einer Bausteinbibliothek für das Bauwesen vorangetrieben. Hierbei soll der STS¹-Bausteinkasten, der zum Teil auch im ForBAU-Projekt verwendet wird, auf die bauspezifischen Belange erweitert werden [SCH-10b]. Zudem wird eine 3D-Kinematiksimulation gemeinsam mit der Ablaufsimulation verwendet, um die Durchsatzleistung von Kränen und deren Kollisionen über zeitliche und räumliche Constraints zu bestimmen [MAR-10].

Weitere Arbeiten befassen sich mit den Eingangsdaten für die Simulation. Steinmetzger zeigt, dass bestehende Leistungsbe-

¹ Simulation Toolkit Shipbuilding

rechnungsverfahren von Baumaschinen für die ereignisorientierte Ablaufsimulation genutzt werden können [STE-10b]. Die für die Leistungsberechnung benötigten Daten sind jedoch häufig nicht vorhanden, da deren Erhebung einen hohen Aufwand für die Bauunternehmen darstellt. Deshalb finden diese Verfahren bisher in der Praxis noch keinen Einsatz.

Weitere Forschungsarbeiten betrachten den Einfluss von Witterungsbedingungen auf die Bauprozesse [LE-10]. Hierbei wird versucht, die Reihenfolge der Bauprozesse unter Berücksichtigung der durch den Wetterbericht vorhergesagten Witterung zu optimieren.

Leistungscontrolling (AP III)

Auf dem Gebiet des 3D-Laserscannings zur Baufortschrittsdokumentation existieren vor allem für den Hochbau diverse Forschungsprojekte. So wurden an der University of Illinois gescannte Punkte mit Hilfe des 3D-Soll-Modells einem Bauteil zugeordnet und so der Bauzustand des detektierten Bauteiles erschlossen. Auf diese Weise kann der Fortschritt der Baustelle dokumentiert und mit dem sog. AR⁴D-Konzept visualisiert werden [GOL-09]. Ein weiterer Ansatz findet sich in einer Forschungsarbeit an der Sungkyunkwan Universität in Südkorea. Hier wird an einem Konzept zur automatisierten Aufnahme einer Erdbaustelle mittels Laserscanning geforscht. Ziel ist es, das erstellte Modell dynamisch zu aktualisieren und damit einen autonom arbeitenden Bagger zu steuern [YOU-09].

Im Bereich der airborne-Vermessung ermöglichen neue Technologien wie die full-waveform-analysis die Filterung von Vegetation und damit die Erstellung eines Geländemodells aus einem Oberflächenmodell [DON-10]. Zudem wurde in einer Masterarbeit die Orientierung von Schrägluftbildern aus UAV-Aufnahmen mit Amateurkameras näher untersucht [STE-10a].

PDM-Systeme (AP IV)

Die Entwicklungen im Bereich der IFC Model Server wurden bereits in den Zwischenberichten 2008 und 2009 betrachtet [FOR-08], [FOR-09]. Für den Hochbau entwickeln sich derzeit nach und nach kommerziell verfügbare Lösungen, z.B. vom US-Unternehmen Onuma [ONU-10]. Im Bereich der Forschung wird gegenwärtig die Entwicklung der Open Source Lösung BIMSERVER.org voran getrieben. Der frei verfügbare Model Server befindet sich in der Evaluationsphase. Probleme existieren derzeit noch im Bereich der Zusammenführung von Modellen. Zukünftig soll der Model Server mit einem Dokumentenmanagement-System (DMS) gekoppelt werden, um neben IFC-Modellen auch weitere Datensätze verwalten zu können [BEE-10]. Da sich sowohl der IFC Bridge als auch der IFC Road Standard noch in der Entwicklungsphase befinden [BUI-07], [SCH-10c], existiert derzeit kein integriertes IFC-Produktmodell für Trasse, Brücke, Baugrund, Gelände und Baustelleneinrichtung. Diese Tatsache sowie hohe Anforderungen im Bereich Workflow- und Dokumentenmanagement ließen den Einsatz eines Modellservers im Rahmen von ForBAU nicht zu.

Die Firma Autodesk hat unterdessen einen Server entwickelt, mit dem 3D-Revit-Modelle auf einer zentralen Plattform verwaltet werden können. Das gemeinsame Arbeiten an einem Modell wird dabei über eine Aufspaltung des Modells in sogenannte Worksets realisiert [KHE-10]. Die Technologie der Virtuellen Projekträume, z.B. baulogis think project! oder connectPM/FM hat sich hingegen nicht grundlegend verändert.

Aus den Ergebnissen des EU-Verbundforschungsprojektes InPro konnten keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden, da zum Zeitpunkt der Drucklegung sowohl der Abschlussbericht als auch

die zum Thema Datenmanagement relevanten Reports aus 2010 noch nicht verfügbar waren [INP-10].

Im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bis Mai 2010 geförderten Project BauVOGrid wurde eine Bau-Community-Plattform entwickelt. Im Gegensatz zu ForBAU steht in diesem Projekt das Produktmodell jedoch weniger stark im Fokus. BauVOGrid fokussierte Hochbauprozesse und den Bereich des Mängelmanagements. IBM Lotus Domino 8.5.1 diente dabei als Backbone für das Datenmanagement [BAU-10], [HOR-10]. Im ebenfalls vom BMBF bis März 2012 geförderten Verbundprojekt Mefisto soll eine Plattform für die Abwicklung von Hochbauprojekten in Form eines Managementführungssystems entwickelt werden [MEF-10]. Der sogenannte Mefisto-Container dient dabei als eine Art Austauschformat zwischen Generalunternehmer und Bauherr. [SCH-10a].

Im Verbundprojekt AutoBauLog, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWV), besteht ein Teilaspekt der Forschungsarbeiten aus der Übertragung von geeigneten Konzepten der Digitalen Fabrik in die Bauwirtschaft. Dabei soll ein integriertes Produktmodell für den Tiefbau (IPT) entwickelt werden. [AUT-10].

Kaminski beschreibt in ihrer Dissertation eine mögliche, grobe Architektur zum Einsatz von PDM-Systemen im Infrastrukturbau. Es wurde jedoch keine Umsetzung ihrer Konzepte realisiert [KAM-10].

3.2.3 Aktueller Stand und Ergebnisse

Der folgende Abschnitt soll eine Übersicht über die Ergebnisse der Forschungsarbeiten im zweiten Teilprojekt darstellen. Die Ausführungen sind nach den beantragten Arbeitspaketen I-IV gegliedert.

3.2.3.1 Simulation der Bauprozesse (AP I)

Im Folgenden werden die Arbeiten im Bereich der Simulation im letzten Projektjahr erläutert. Diese gliedern sich in die Verfeinerung und Erweiterung der bestehenden Simulationskonzepte im Brücken- und Erdbau sowie in die Evaluierung der Konzepte an verschiedenen realen Pilotbaustellen.

Simulation des Brückenbaus

Für die Simulation des Brückenbaus kommt die bereits im letzten Zwischenbericht beschriebene Methode der Constraint-basierten Bauablaufsimulation zum Einsatz [FOR-09]. Größtes Problem bei der Verwendung dieses Ansatzes ist das Generieren der Eingangsdaten, die aus einer großen Zahl von Aktivitäten mit jeweils individuell zugeordneten technologischen Vorbedingungen und benötigten Ressourcen (Arbeitskraft, Material, Maschinen) bestehen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen von ForBAU eine *Preparator* genannte Software entwickelt, die es erlaubt, den Bauteilen eines 3D-Modells interaktiv Konstruktionsmethoden zuzuordnen (Abschnitt 3.1.3.5). Aus diesen Eingangsinformationen erzeugt der *Preparator* die für die Bauablaufsimulation benötigten Prozessbausteine, die aus atomaren Aktivitäten und zugeordneten Ressourcen bestehen. Dabei ist festzuhalten, dass in den Prozessbausteinen lediglich die Typen der benötigten Arbeitskraft- und Maschinenressourcen festgelegt werden. Erst zu Beginn der Simulation werden die tatsächlich vorhandenen Mengen der Ressourcen spezifiziert, was dem Nutzer erlaubt, auf einfache Weise Variantenvergleiche durchzuführen, ohne erneut Prozessbausteine zu generieren. Im Sinne einer Monte-Carlo-Optimierung ist es notwendig, die Simulation mehrere Male durchzuführen. Ergebnis der Simulation ist ein detaillierter Bauablaufplan. Die Informationen über Erstellungszeiträume einzelner Bauteile können in den *Preparator* zurückgespielt und dort automatisch den entsprechenden Volumenkörpern zugeordnet werden, so dass im Ergebnis ein

4D-Modell des Bauvorhabens erzeugt wird, das sich filmartig animieren lässt (Abbildung 3.2-2). Für die Animation werden parametrisierte Kurzanimationen vordefiniert (z.B.: Transportieren, Heben, Positionieren, Betonieren), die mit dem Bauteil sowie den Start- und Endzeitpunkten der Aktivität verknüpft werden. Diese Kurzanimationen werden entsprechend dem Ablaufplan nacheinander geschaltet, wodurch eine kontinuierliche Ablaufanimation für das gesamte Bauwerk entsteht. Die parametrisierten Kurzanimationen erlauben es, nicht nur 3D-Objekte ein- bzw. auszublenden, sondern auch Bewegungen des Objekts zu realisieren, wodurch eine erweiterte Kollisionskontrolle möglich wird.

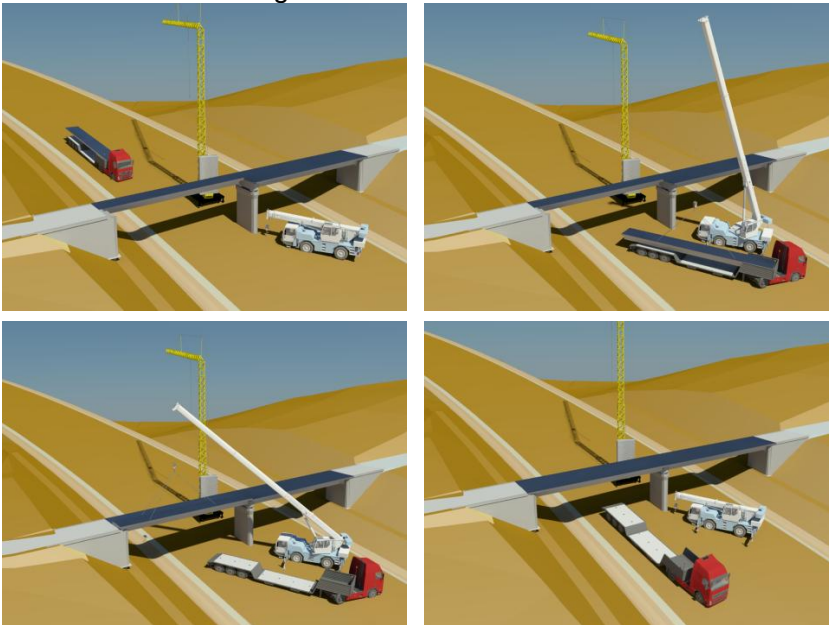


Abbildung 3.2-2: Schnappschüsse der 4D-Animation eines Bauablaufs
1.:Fertigteil transportieren, 2.:Einheben, 3.: Positionieren, 4.:Fertiggestellte
Brücke

Hierarchisches Simulationskonzept. Um die Geschwindigkeit der Simulation zu erhöhen, wurde auf Basis des Level-of-Detail-Ansatzes der Konstruktionsmethoden ein hierarchisches Simulationskonzept entwickelt.

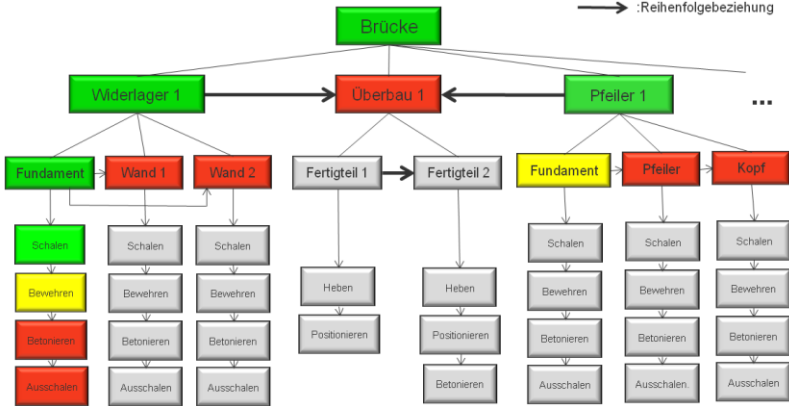


Abbildung 3.2-3: Beispiel für das hierarchische Simulationskonzept.
 Grün: ausführbare Aktivität, Gelb: wegen nicht eingehaltenem Constraint (Mitarbeiter, Ressource) nicht ausführbare Aktivität, Rot: wegen Reihenfolgebeziehung nicht ausführbare Aktivität, Grau: ignorierte Aktivität

Beim hier verfolgten Ansatz werden nur Aktivitäten der niedrigsten Ebene der Prozesshierarchie in die Simulation einbezogen. Das bedeutet, dass Constraints von höheren Ebenen auf diese Ebene abgebildet werden. In dem in Abbildung 3.2-3 gezeigten Beispiel ergibt sich aus der Reihenfolgebeziehung zwischen Überbau 1 und Widerlager 1, dass mit der Aktivität *Überbau1–Fertigteil1–Heben* nur angefangen werden kann, wenn die Aktivitäten *Widerlager1–Wand1–Ausschalen* und *Widerlager1–Wand2–Ausschalen* fertiggestellt sind. In der Simulation wurde bislang in jedem Zeitschritt für alle existierenden Aktivitäten der niedrigsten Ebene geprüft, ob ihre jeweiligen Constraints erfüllt sind. Das ist ein äußerst zeitaufwendiger Prozess, da bei einer großen Brücke die Gesamtzahl bei weit über 1000 Aktivitäten liegen kann. Da davon

i.d.R. höchstens 10 bis 20 in einem Zeitschritt ausführbar sind, wird die letzte ausgeführte Aktivität häufig bis zu 400 Mal geprüft. Um dies zu vermeiden, wurde im Projektjahr 2010 ein hierarchisches Simulationskonzept entwickelt und umgesetzt. Dabei werden Aktivitäten von höheren Ebenen und die für sie geltenden Reihenfolgebeziehungen (z.B. zwischen Widerlager 1 und Überbau 1) bei der Simulation berücksichtigt. Die Simulation prüft die Constraints in der Prozesshierarchie von *oben nach unten*. Auf diese Weise können die Aktivitäten auf tieferen Ebenen so lange ignoriert (nicht geprüft) werden, bis alle Constraints der übergeordneten Aktivität erfüllt sind. Im gezeigten Beispiel werden die Unteraktivitäten von *Überbau1 (Fertigteil1 und Fertigteil2)* erst dann geprüft, wenn *Widerlager1* und *Pfeiler1* fertiggestellt worden sind. Mit diesem Konzept kann die benötigte Rechenzeit besonders zu Beginn der Simulation reduziert werden, wenn viele noch nicht ausführbare Aktivitäten vorhanden sind, die ignoriert werden können. Darüber hinaus erlaubt der hierarchische Ansatz, die Zahl der zu prüfenden Aktivitäten während ganzen Simulationsprozess so niedrig wie möglich zu halten.

Simulation von Erd- und Tiefbaustellen

Im Verlauf des Forschungsprojektes wurde eine Bausteinbibliothek für die ereignisorientierte Ablaufsimulation im Erd- und Tiefbau modelliert und implementiert. Ein wichtiger Grundsatz hierbei war die Wiederverwendung von bereits bestehenden Planungsdaten. In dem in Abbildung 3.2-4 dargestellten Schnittstellenkonzept der 4D-Ablaufsimulation sind die Ein- und Ausgangsinformationen für das Gesamtkonzept des Simulationssystems dargestellt.

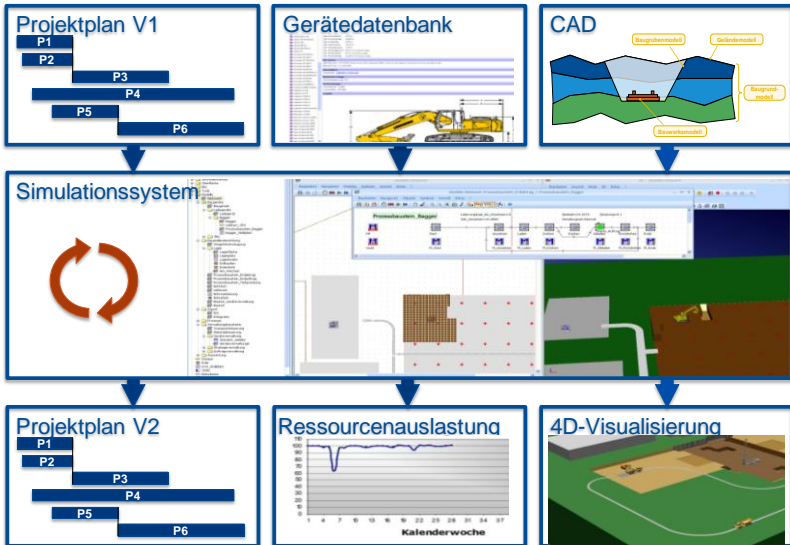


Abbildung 3.2-4: ForBAU-Simulationssystem inkl. Schnittstellen

Zunächst wurden Funktionalitäten erstellt, die es erlauben, einen vorweg erstellten Projektplan aus einem konventionellen Projektmanagementtool (z.B. *MS Project*) in die Simulationsumgebung zu importieren und statistisch zu untersuchen [FOR-09, S. 128ff]. Eine wichtige Eingangsgröße für die Simulation sind die auf- und abzutragenden Erdmassen. Diese werden vom *Integrator* als gleichförmige Quader (Voxel), welche Informationen über Position, Volumen und Bodenart enthalten, über eine XML-Schnittstelle an die Simulationsumgebung übergeben [JI-08].

Neben den Erdmassen können das Bauwerk und die Umgebung als 3D-Modell (JT-Format) aus der CAD- bzw. PDM-Umgebung importiert werden. Mit Hilfe eines für das CAD-System NX entwickelten Plugins wird die Struktur mit der Lage der Einzelbauteile bezüglich des Ursprungs der Gesamtbaustelle analysiert und in eine XML-Datei exportiert. In der Simulationsumgebung wird diese dann eingelesen und in eine hierarchische,

objektorientierte Bauwerksstruktur überführt, so dass jeweils der aktuelle Grad der Fertigstellung und der Status des Bauwerks (in Bau, fertig gebaut, etc.) bis in die tiefste Strukturebene visualisiert werden kann.

Zudem ist eine Schnittstelle für die am Lehrstuhl fml entwickelte Baumaschinendatenbank Equipment Information System (EIS) vorhanden, in der Maschinendaten von über 2000 Baugeräten mit ihren jeweiligen Eigenschaften zur Beauskunftung hinterlegt sind [GÜN-08].

Die Importdaten werden anschließend in der Simulationssoftware miteinander verknüpft und eine ereignisgesteuerte Ablaufsimulation erzeugt. Sind Prozesse schwer vorherzusehen oder stark baustellenabhängig, können diese im Detail simuliert werden. Hierzu sind in den ersten beiden Jahren Prozessbausteine für den Bagger/LKW-Erdbau und für die Bohrpfahlerstellung sowie weitere Bausteine zur Flexibilisierung des Ablaufs und der Ressourcendisponierung geschaffen worden. Dieses Jahr wurden Bausteine für das Verteilen und Verdichten im Erdbau, welche im Anschluss erläutert werden, fertiggestellt, so dass nun alle Teilbereiche des Erdbaus abgebildet werden können.

Als Ergebnis der Detailsimulation entsteht ein verbesserter Projektplan, in dem auch feingranular gegliederte Vorgänge betrachtet werden können. Dieser kann anschließend in der Ausführungsphase als Basis für die Bedarfsermittlung und die Steuerung der Anlieferungen verwendet werden. Die Auswertungen können zusätzlich für eine Prozesskostenrechnung genutzt werden, um detaillierte Kosteninformationen über die jeweilig simulierten Szenarien zu erhalten.

Prozessbausteine für das Verteilen und Verdichten. Nachdem in den ersten beiden Jahren die Teilvorgänge des Lösen, Ladens und Transportierens in der Simulation umgesetzt wurden, sind dieses Jahr die Prozessbausteine für das Verteilen und

Verdichten erstellt worden. Die Leistung von Verdichtungsgeräten wird nach [BAU-07] und [GIR-10] wie folgt ermittelt.

$$Q_{NV} = \frac{b \cdot v \cdot h}{z} \cdot \eta$$

Formel 3-1: Mengenleistung von Verdichtungsgeräten

Dabei bezeichnen:

- Q_{NV} Mengennutzleistung des Verdichtungsgeräts
- b Arbeitsbreite des Verdichtungsgeräts
(80% der Bandagenbreite)
- v Arbeitsgeschwindigkeit des Verdichtungsgeräts
- h Schichtdicke des verdichteten Bodens
- z Anzahl der Übergänge
- η Leistungsminderungsfaktor

Das auf Beiwerten basierende Leistungsberechnungsverfahren wurde für die Simulation adaptiert. Die Verdichtungsleistung Q_{NV} wird über das verdichtete Volumen pro Zeit berechnet, so dass als Eingangswerte für die Simulation nur die Bandagenbreite, die Arbeitsgeschwindigkeit des Verdichtungsgerätes sowie die Anzahl der Übergänge notwendig sind. Der Prozess Verteilen berechnet sich aus den Fahrbewegungen der Schubraupe, die aus dem zu verteilenden Volumen und der vorgegebenen Schichtdicke erzeugt werden.

Kopplung Kinematiksimulation mit Wegfindungsalgorithmen.

Wie im letzten Zwischenbericht beschrieben wird zur Berechnung der Fahrzeiten im Erdbau eine Kinematiksimulation verwendet. Diese wurde in diesem Jahr mit dem Dijkstra-Algorithmus gekoppelt, um geräteabhängig die kürzeste Fahrzeit aus einem

Wegenetz zu finden. Der Dijkstra-Algorithmus verwendet für die Wegoptimierung feste Weglängen zwischen den Kreuzungspunkten in einem Wegenetz. In der Kinematiksimulation variiert hingegen die Fahrzeit zwischen zwei Punkten in Abhängigkeit von der Anfangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs und der erlaubten Geschwindigkeit des nächsten Abschnitts. Daher musste der Dijkstra-Algorithmus für den Anwendungsfall angepasst werden. Um die unterschiedlichen Teilzeiten für ein Wegstück wiederzugeben, wird für jeden nachfolgenden Weg eine eigene Teilzeit berechnet, von dem aus der Algorithmus weiterarbeiten kann. Dies erfordert zwar einen höheren Berechnungs- und Speicheraufwand, dafür kann aber der Weg mit der kürzesten Fahrzeit in Abhängigkeit des Fahrzeugs und dessen Beladung aus einem Wegenetz ermittelt werden.

Modellierung der Wettereinflüsse auf den Erdbau. Das Wetter hat einen entscheidenden Einfluss auf die Vorgänge auf der Erdbaustelle. Um diesen auch in der Ablaufsimulation abzubilden, müssen zuerst realistische Witterungsverläufe erzeugt werden. Hierfür bestehen bereits kommerziell verfügbare Programme, welche vor allem für Gebäudesimulationen oder Simulationen von Solaranlagen verwendet werden [MET-10]. Diese Programme ermöglichen die Erzeugung von Wetterverläufen für eine Vielzahl von geographischen Regionen auf Basis von gesicherten meteorologischen Modellen. Die sich ergebenden Wetterkennwerte wie Temperatur, Niederschlag oder Luftfeuchtigkeit können über eine Datenschnittstelle in einer hohen Auflösung (stündlich oder sogar minütlich) gespeichert und in die Simulationsumgebung importiert werden.

Die einzelnen Teilbereiche des Erdbaus wurden in Expertengesprächen mit den Praxispartnern qualitativ hinsichtlich ihrer Wetterabhängigkeit bewertet. Dabei wurden die Teilvorgänge Transportieren und Verdichten zur näheren Betrachtung in der Simulation ausgewählt. Da diese beiden Teilvorgänge vor allem

indirekt über die Veränderung der Bodeneigenschaften beeinflusst werden, musste zum einen der Zusammenhang zwischen den Wetter- und den Bodenkennwerten sowie zum anderen der der Bodenkennwerte und der Leistungsminderung der Erdbaumaschinen hergestellt werden (siehe Abbildung 3.2-5).



Abbildung 3.2-5: Vorgehensweise zur Abbildung des Witterungseinflusses in der Ablaufsimulation

Hierfür wurden bestehende Ansätze aus der Literatur verwendet. In Abbildung 3.2-6 ist der Berechnungsweg nach Hintze dargestellt, mit dem aus den Wetterkennwerten Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit sowie bodenabhängigen Kennwerten der Wassergehalt des Bodens berechnet werden kann [HIN-92]. Als Wasserzugang wird hierbei der Niederschlag, als Abgang die Verdunstung und Versickerung berücksichtigt. Vernachlässigt werden der Oberflächenabfluss, der stark von der lokalen Topographie abhängt, der Feuchtigkeitseintrag durch Tau sowie die Stauwasserbildung, falls tiefere Schichten eine geringere Durchlässigkeit haben als die Deckschicht. Hierbei wird davon ausgegangen, dass auf Straßen und Verdichtungsflächen in der Regel eine leichte Neigung vorherrscht, so dass überflüssiges Wasser ungehindert oberirdisch und unterirdisch abfließen kann.

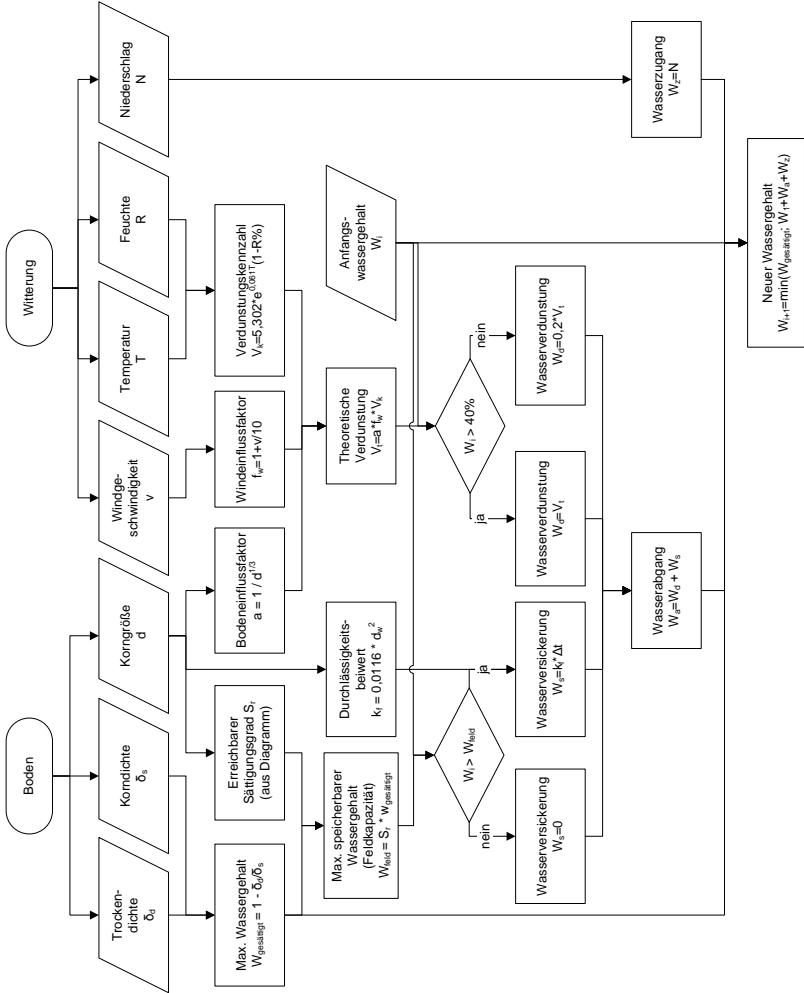


Abbildung 3.2-6: Berechnung des Wassergehalts des Bodens nach [HIN-92]

Der Verdichtungsprozess ist direkt vom Wassergehalt des Bodens abhängig. Wenn dieser einen bestimmten Grad überschreitet, kann der Boden nicht mehr ausreichend verdichtet werden und der Erdbau ist einzustellen.

Beim Transport wird der Einfluss des Bodens auf die Maschinen über veränderte Kraftschluss- und Rollwiderstandsbeiwerte in der kinematischen Simulation modelliert, welche sich ebenfalls mit dem Wassergehalt ändern.

Der fahrzeugspezifische Rollwiderstand könnte über die Einsinktiefe modelliert werden. Jedoch sind hierfür die genauen Geometrien der Radaufstandsflächen inklusive Reifendruck, Schwerpunkt des Fahrzeugs, angetriebene Achsen, Profil des Reifens, etc. erforderlich, welche selbst unter Einsatz einer Maschinendatenbank nur unter großem Aufwand für unterschiedliche Fahrzeuge gewonnen werden können. Daher wird hierfür ein einfacherer Zusammenhang verwendet, der auf Beiwerten aus der Literatur beruht. Für jeden Fahrbahnbelag werden dazu drei Kategorien des Wassergehalts (trocken, feucht, nass) geschaffen und hierfür die jeweils passenden Widerstandswerte aus der Literatur eingetragen. Mit dieser Vorgehensweise ist es zwar nicht möglich die Beeinflussung fahrzeugspezifisch zu differenzieren, aber der allgemeine Witterungseinfluss auf die Erdbautransporte kann modelliert werden, ohne dass eine Vielzahl an exakten Daten der verwendeten Geräte notwendig sind. Zudem wäre die exakte Berechnung des Rollwiderstandes aufgrund der Bodenunsicherheit und der Vereinfachungen beim Wasserhaushalt „pseudogenau“.

Bidirektionale Kopplung Integrator – Simulation. Die mittlere Transportdistanz der Erdbewegungen ist in der Praxis ein gängiger Messwert für die Auswertung der Kosteneffizienz im Erdbau. Wie im letzten Zwischenbericht bereits dargestellt, kann durch einen auf Graphen basierenden mathematischen Ansatz (siehe Abbildung 3.2-7) die Zuweisung von Dämmen zu Einschnitten vorgenommen und damit die mittlere Transportdistanz pro Kubikmeter in einer linearen Optimierung minimiert werden [FOR-09]. Die Transportkosten im Erdbau sind jedoch vor

allem von den Transportzeiten abhängig, welche nicht nur von der Entfernung, sondern auch von der Ausprägung der Wege und den verwendeten Ressourcen beeinflusst wird. Diese werden in dem auf Graphen basierenden Optimierungsmodell jedoch nicht mit einbezogen. In der Ablaufsimulation können hingegen durch die Anwendung der Kinematischen Simulation der Fahrzeiten jene Einflüsse auf die Transportzeit modelliert werden.

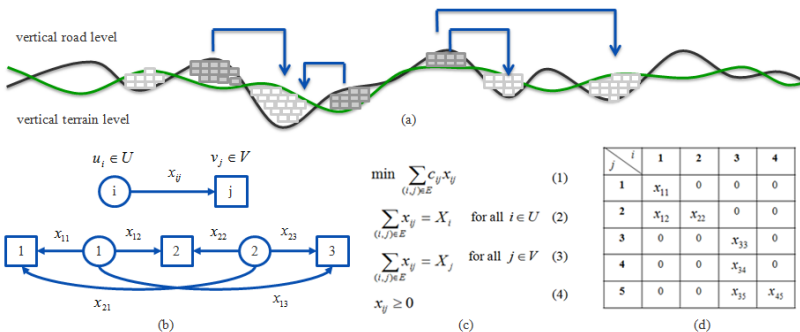


Abbildung 3.2-7: Graphen basierter Ansatz zur Optimierung der Erdtransporte

Daher wurde ein Kopplungskonzept entwickelt, welches eine bidirektionale Verbindung zwischen den beiden Techniken (lineare Optimierung und Simulation) herstellt, um diese jeweils zu ergänzen. In diesem gekoppelten System werden nun mathematisch optimierte Transportzuweisungen in das Simulationssystem importiert. Dort findet die Simulation der Transportprozesse auf Basis dieser Daten sowie der dort spezifizierten Wege und Ressourcen statt. Ergebnis der Simulation sind die Arbeitszeiten für den jeweiligen Erdbauvorgang mit Transport von einem spezifischen Einschnitt zu einem Damm. Diese Zeiten werden wieder in die mathematische Optimierung importiert, um diese anschließend mit simulierten Transportzeiten anstelle der Transportdistanzen durchzuführen.

Um Informationen aus den Simulationsergebnissen aufnehmen zu können, musste das Graphen basierende Optimierungsmodell modifiziert werden.

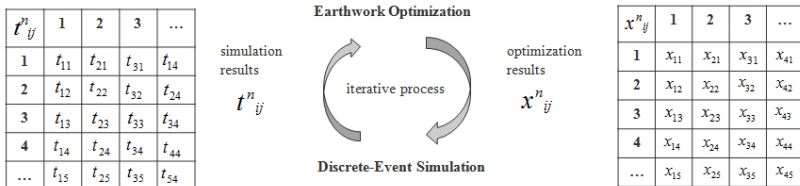


Abbildung 3.2-8: Kopplungskonzept

Dies geschieht, indem das Graphen-Modell durch eine zusätzliche gewichtete Kante erweitert wird, welche die Transportzeit zwischen den Erdbauoperationen beinhaltet. Diese Zeiten ersetzen im Graphen-Modell dann die einfachen Entfernungen. Der Kopplungsansatz wurde als iterativer Algorithmus entworfen, welcher aus den folgenden wesentlichen Schritten besteht:

1. Eingliederung der optimierten Erdbau-Anweisungen in das Simulationssystem
2. Durchführung der Erdbausimulationen gemäß den optimierten Ergebnissen
3. Zurückführung der Simulationsergebnisse in die Optimierung

Die formelle Spezifizierung der Kopplungsansätze ist in Abbildung 3.2-8 dargestellt. Der erste Kopplungsparameter x_{ij}^n besitzt alle optimalen Transportanweisungen des Erdbauprozesses in der n-ten Schleife. Die Indizes i und j kennzeichnen die Damm- und Einschnitts-Gebiete. Zu Beginn der Schleife gibt es keine verfügbaren Simulationsergebnisse, welche als Input für die Optimierung benutzt werden können. x_{ij}^0 wird daher mit der Transportdistanz zwischen den Einschnitten und Dämmen initialisiert. Der gegenläufige Kopplungsparameter ist die

Transportdauer-Matrix t_{ij} . Diese zeigt die tatsächliche Arbeitszeit normiert auf den Kubikmeter an, welche benötigt wird, um den jeweiligen Erdbauprozess zu beenden. Die Erdbewegungsdauer-Matrix ersetzt die initialisierte Transportdistanz-Matrix und dient als gewichtete Kante im zweiteiligen Graphen. Existiert kein Wert zwischen einem Einschnitt und einem Damm, wird die Dauer der Erdbewegung basierend auf den durchschnittlichen Prozesszeiten geschätzt. Hierfür wurden für alle möglichen Transportkombinationen die Umlaufzeiten der Transportfahrzeuge über die Kinematiksimulation ermittelt. Desweiteren wurden die Erdbauzeiten pro Kubikmeter für eine Auswahl zufälliger Einschnitt-Damm-Zuweisungen simuliert (siehe Abbildung 3.2-9), da eine Simulation aller Kombinationen eine zu hohe Rechenzeit erfordern würde. Zwischen diesen Stützpunkten wurde dann eine gleitende lineare Approximation durchgeführt um dem Optimierungsalgorithmus im Integrator zu allen möglichen Einschnitt-Damm Kombinationen eine Größe analog zur Weglänge zu übergeben.

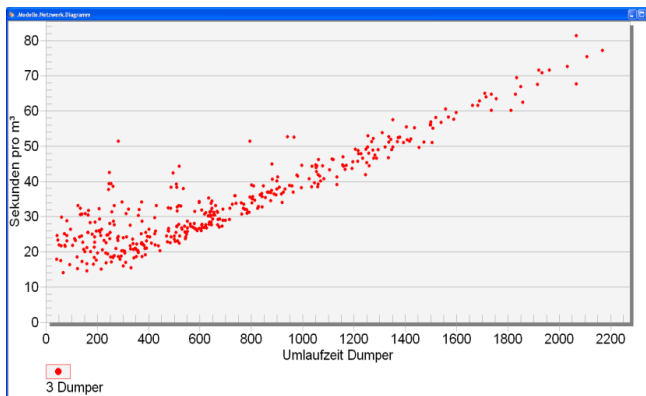


Abbildung 3.2-9: Auswertung Erdbauprozess: Dauer der Erdbauvorgänge normiert auf den Kubikmeter und aufgetragen über die Umlaufzeit der Dumper

Auf diese Weise wird es möglich die mittlere Transportzeit im Erdbau auf Basis der in der Simulation ermittelten Umlaufzeiten zu minimieren. Damit sinken die Kosten für den Erdbau, welche nahezu linear mit der Transportzeit steigen.

Erdbausimulation an der Pilotbaustelle B15n. Der zuvor beschriebene Simulationsansatz zur Erdbauoptimierung wurde an einer realen Baustelle in der Praxis getestet. Dabei handelte es sich um ein 14km langes Teilstück eines Trassenneubaus mit insgesamt 33 Einschnitten bzw. Dammschüttungen. In Abbildung 3.2-10 ist der Zusammenhang der in diesem Beispiel verwendeten Programme abgebildet, mit denen die entstandenen Konzepte umgesetzt wurden.

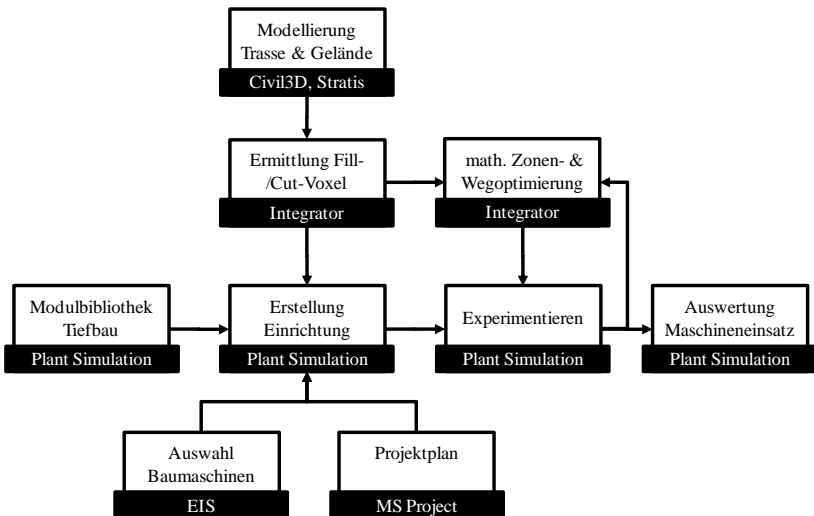


Abbildung 3.2-10: Aufbau Simulationsframework für die Erdbauoptimierung

Als Eingangsdaten für die Simulation dienen ein digitales Geländemodell, die Bodenuntersuchungen, der Verlauf der Trasse sowie der Rahmenterminplan für die Ausführung. Aus der Verschneidung im Integrator erhält man dann die verschiedenen

aufzutragenden und abzutragenden Erdmassen. Jeder einzelne Einschnitt und Dammbereich wird im Integrator zur genaueren Berechnung der Transporte in mehrere Untergruppen unterteilt, welche wiederum die einzelnen Erdvoxel enthalten. In Abbildung 3.2-11 sind die als Voxel importierten Erdmassen eines Einschnitts und Damms zusammen mit dem DGM des Urgeländes sowie dem zugehörigen 2D-Plan in der Simulationsumgebung Plant Simulation dargestellt.

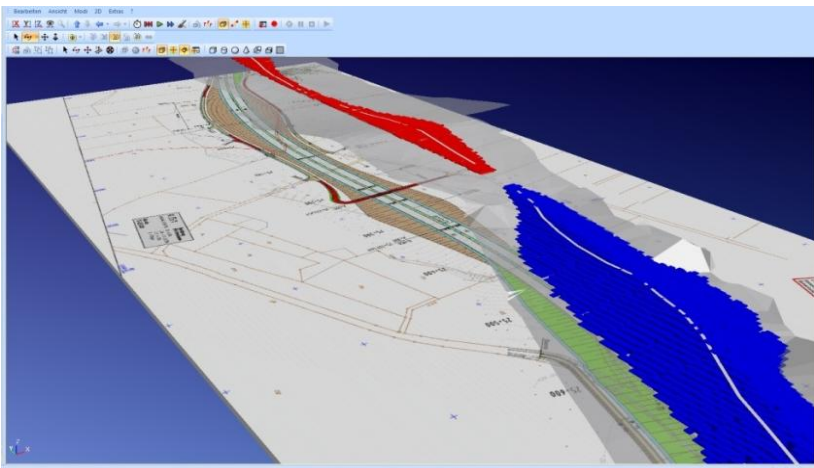


Abbildung 3.2-11: Screenshot 3D-Visualisierung der Dämme und Einschnitte

Neben den Informationen von Bauherrenseite werden für eine detaillierte Simulation auch die ablaufrelevanten Informationen von Seiten des ausführenden Bauunternehmens benötigt. Wichtige Bestandteile sind hierbei die zur Verfügung stehenden Geräte, mit denen auf der Baustelle gearbeitet werden soll, sowie ein Projektplan, der den zeitlichen und prozessualen Zusammenhang der relevanten Abläufe des Bauprojekts beschreibt. Neben der Einsatzplanung der Maschinen werden vom ausführenden Bauunternehmen auch die zu erstellenden Baustraßen und sonstigen Baustelleneinrichtungselemente festgelegt.

Die Wege an der untersuchten Baustelle verlaufen meist auf dem verdichteten Baufeld der späteren Trasse. Durch die anstehenden bindigen Böden ist die Fahrstrecke sehr witterungsempfindlich, so dass die Fahrzeiten der verwendeten Transportgeräte stark schwanken und teilweise die Arbeiten eingestellt werden mussten. Das Verhalten der Fahrzeuge auf den unterschiedlichen Bodenverhältnissen kann mit der implementierten Kinematiksimulation nachgebildet werden.

Der Erdbau an der untersuchten Baustelle wird mit fünf Erdbaubetrieben an verschiedenen Einschnitten betrieben. Zu einem Erdbaubetrieb gehören ein Ladegerät (Bagger), eine der Fahrstrecke entsprechende Anzahl an Transportfahrzeugen (z.B. Dumper), ein Einbaugerät (Raupe) und mehrere Walzen zur Verdichtung. Die jeweiligen Arbeitsabläufe der verwendeten Geräte sind in der Simulationsbibliothek als Prozessbausteine hinterlegt, so dass der Erdbau abgebildet werden kann.

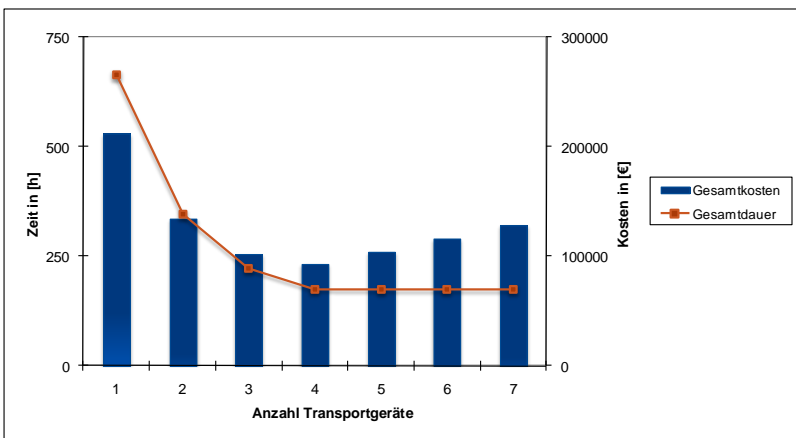


Abbildung 3.2-12: Auswertung verschiedener Maschineneinsatzszenarien

In Abbildung 3.2-12 dargestellt ist die Auswertung mehrerer Maschineneinsatzszenarien eines Erdbaubetriebs an einem Teilstück der untersuchten Baustelle. Variiert wurde hier die

Anzahl der Transportfahrzeuge, welche das Erdreich vom Ladegerät zur Einbaustelle transportieren. Bei wenigen Fahrzeugen ist die Transportleistung entscheidend, die Gesamtdauer sinkt mit jedem zusätzlichen Fahrzeug. Ab vier Fahrzeugen ist die Ladeleistung entscheidend, so dass weitere Fahrzeuge keinen Einfluss auf die Gesamtdauer der Maßnahme haben und die Gesamtkosten linear mit der Fahrzeuganzahl steigen.

Das im vorherigen Abschnitt vorgestellte Kopplungskonzept zur Optimierung der Transporte im Erdbau wurde ebenfalls an der Pilotbaustelle B15n umgesetzt. In der Erdbausimulation wurde hierzu ein Szenario mit einem Bagger und drei Dumpfern erzeugt. Um das Kopplungskonzept zu bewerten, wurden anschließend verschiedene Arten der Transportzuweisung untersucht.

Gesamtdauer in 24h-Tagen

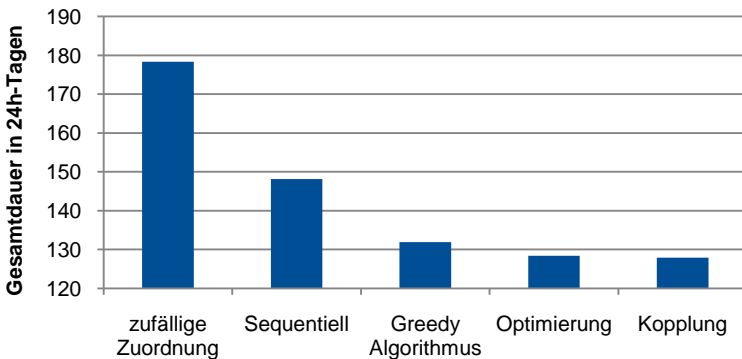


Abbildung 3.2-13: Ergebnis erzeugte Zuweisungsszenarien B15n

Das erste in Abbildung 3.2-13 dargestellte Simulationsexperiment basiert auf zufälligen Transportzuordnungen. Es wird also mit Hilfe eines Zufallsgenerators entschieden, wie viel Erdmasse von welchem Einschnitt zu welchem Damm transportiert wird. Es ist offensichtlich, dass bei solch einer großen Baustelle die zufällig

ausgewählten Transporte die längste Simulationszeit verursachen.

Das zweite Experiment folgt dem Prinzip „so einfach wie möglich“. Die Erdtransporte zwischen den Dämmen und den Einschnitten werden nach der geographischen Position der Bereiche entlang der Trassierung zugeordnet. Es wird von einer Seite begonnen die Einschnitte auszuheben und die Massen werden sequentiell zum nächstgelegenen Einschnitt transportiert. Überraschenderweise können nur durch die Anwendung solch einer einfachen Strategie mehr als 30 Arbeitstage eingespart werden.

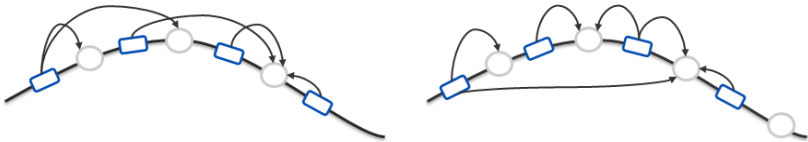


Abbildung 3.2-14: Szenario sequenzielles Vorgehen(links) und Greedy-Algorithmus (rechts)

Im dritten Experiment, dem *Greedy-Algorithmus* [MIC-04], wird ein heuristischer Ansatz angewendet, um zu jedem Einschnitt den nächst gelegenen Damm zu finden. Abbildung 3.2-14 zeigt den Unterschied zwischen diesen zwei Methoden. Der Greedy-Algorithmus wählt zunächst die global kürzeste Distanz aus und führt dort den Ausgleich mit der maximal möglichen Erdmasse durch. Anschließend wird der Erdbau für die nächst größere Strecke durchgeführt, usw. bis die komplette Masse umgelagert ist. 16 zusätzliche Tage können unter Verwendung dieses heuristischen Ansatzes eingespart werden.

Die letzten Experimente dienten zum Test des gekoppelten Ansatzes. In der ersten Schleife unter der Verwendung der Optimierung mit Transportdistanzen wurden basierend auf den gleichen Arbeitsressourcen nur 128 Arbeitstage für den kompletten Erdbau benötigt. Im Vergleich zu dem sequenziellen Ansatz können mehr als 20 Arbeitstage eingespart werden, im

Vergleich zum heuristischen Ansatz ist es möglich, den Erdbau um 4 zusätzliche Arbeitstage zu verringern. In der zweiten Schleife, in der die Transportzeiten aus der Simulation verwendet werden, wird die Arbeitszeit nochmal um 3 Stunden verkürzt. Bei anderer Topographie mit stärkeren Steigungen, oder stark unterschiedlich ausgeprägten Fahrwegen auf der Baustelle wären noch größere Zeitersparnisse möglich.

Die ersten Testergebnisse bestätigten demnach die Potenziale des vorgeschlagenen Kopplungskonzepts. Es ist allerdings wichtig zu erwähnen, dass das angewandte Simulationsmodell nicht alle Arten von Messdaten der Baustelle wie z.B. Verkehrsbedingungen um die Baustelle und Wettereinflüsse beinhaltet. So spiegelt die in der Simulation errechnete Zeit die Bauzeit nicht maximal realistisch wieder.

Simulationsstudie an der Pilotbaustelle Mittlerer Ring. Neben der Pilotbaustelle an der B15n wurde zudem ein Abschnitt der Tiefgründungsarbeiten am Luise-Kiesselbach-Platz in München betrachtet. Auf dieser Pilotbaustelle wurde die Erstellung von zwei Bohrpfahlwänden an der Südseite der Heckenstallerstraße mit insgesamt 319 Pfählen betrachtet. Die Pfähle mit 1,5 Meter Durchmesser haben eine Länge zwischen fünf und fünfzehn Metern, wobei jeweils die Hälfte der Pfähle mit Bewehrung versehen ist.

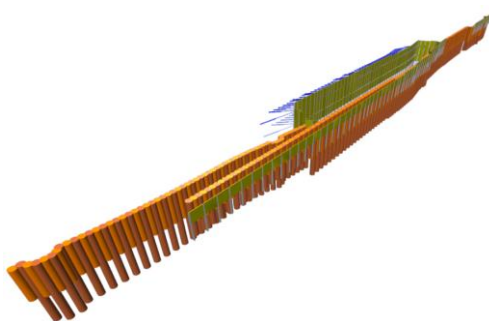


Abbildung 3.2-15: 3D-Modell des betrachteten Teilstücks Mittlerer Ring

Dabei wurden die Auswirkungen der logistischen und baustellenspezifischen Einflüsse auf den Gesamtprozess untersucht sowie eine simulative Gegenüberstellung der Bohrverfahren Doppelkopfsystem (DKS) und Kelly-Verfahren durchgeführt. Die Fragestellung dabei lautete, bei welchen Randbedingungen welches Bohrverfahren besser geeignet ist: das teure, eher anfällige aber leistungsstarke DKS-Verfahren oder das robuste aber weniger schnelle Kelly-Verfahren.

DKS-Verfahren

Beim DKS-Verfahren wird eine verrohrte Bohrung mit einer Endlosschnecke durchgeführt. Die Schnecke wird gleichzeitig mit dem Bohrrohr in den Boden eingedreht. Durch die gegenläufige Drehung sind zwei Drehantriebe am Bohrgerät notwendig. Ein Teil des aufgelockerten Bohrgutes wird schon während dem Bohrvorgang nach oben befördert. Nach dem die Bohrtiefe erreicht ist, wird Beton über die Hohlwelle der Bohrschnecke in das Bohrloch eingefüllt und gleichzeitig das Bohrrohr mit Schnecke und dem restlichen Fördergut nach oben gezogen. Nach Ende des Betoniervorgangs wird der Bewehrungskorb von einem Seilbagger eingehoben. Anschließend entleert das Bohrgerät die Schnecke und das Bohrgut wird von einem Radlader abtransportiert. In diesem Fall wurde das Gut zu einem Sammelplatz gefahren, von wo aus es auf einem LKW verladen und auf eine Deponie gebracht wurde.

Kelly-Verfahren

Beim Kelly-Verfahren ist das Bohrwerkzeug, mit dem der Boden schrittweise ausgebohrt wird, an einer teleskopierbaren Stange befestigt. Bei Verwendung einer Vollverrohrung werden Bohrröhre auf die erforderliche Tiefe in den Boden eingedreht und bis zum Erreichen der Endtiefe ausgebohrt. Durch das relativ kurze Bohrwerkzeug, meist eine 1-2m lange Schnecke oder einen Bohreimer ist es notwendig zwischendurch Bohrgut zu entladen.

Dies führt im Vergleich zum DKS-Verfahren zu längeren Bohrzeiten. Durch die Möglichkeit, das Bohrrohr von der Maschine zu entkoppeln ist es aber möglich, mehrere Bohrlöcher nacheinander zu bohren, ohne die angefangenen Löcher vorher betonieren zu müssen. Zudem ist es möglich die Bewehrung mit dem Bohrgerät einzuheben, so dass das Hilfsgerät Seilbagger eingespart werden kann.

Neben der Erfassung der einzelnen Prozessabläufe der Tiefgründungsverfahren wurden die relevanten Daten und Randbedingungen für die Erstellung des Modells aufgenommen. Dazu wurden als Datenbasis vorhandene Bohrprotokolle, Bohr- und Ausführungspläne sowie die Beobachtungen während der Baustellenbesuche herangezogen. Dabei wurden folgende Daten aufgenommen:

- Baustellenlayout (An- und Abfahrtswege, Baugrube, Baustellenverkehr)
- Bohrfahlwand (Geometrie, Anzahl, Länge, Durchmesser der Pfähle, Geologische Beschaffenheit des Baugrunds)
- Geräte (Art, Anzahl)
- Bearbeitungszeiten (Bohren, Betonieren, Nebenzeiten)
- Störzeiten (Maschinenverfügbarkeit, Logistische Verspätung)

Die aufgenommenen Daten wurden hinsichtlich ihrer Verteilungen und Korrelationen untersucht, anschließend für die Simulation aufbereitet und in die vorhandenen Berechnungsansätze integriert (siehe [FOR-09], S.139ff). Als Beispiel sind hier die Bohr- und Betonierdauer aufgetragen, welche auf die Größen normiert wurden, mit denen sich die größten Korrelationen ergaben.

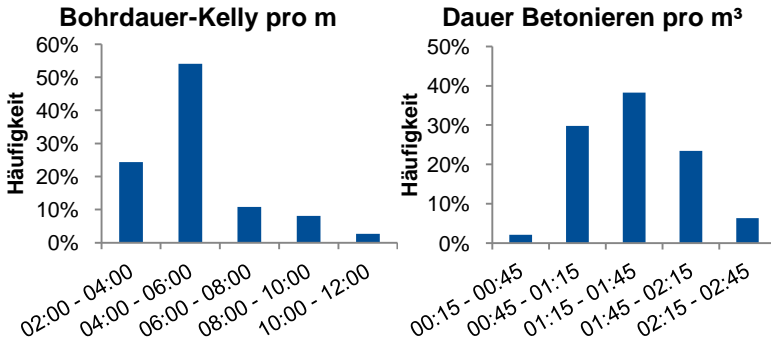


Abbildung 3.2-16: Histogramme der gemessenen Daten

Aus den erhobenen Daten wurde dann die Baustelle in der Simulation nachgebildet (siehe Abbildung 3.2-17). Die erstellten Prozessbausteine für den Tiefbau (DKS und Kelly), die Ablauf- und Ressourcenverwaltung für die Flexibilisierung des Ablaufs sowie die Transportsteuerung für die automatische Führung der Fahrzeuge auf der Baustelle wurden in der Simulationsumgebung implementiert.

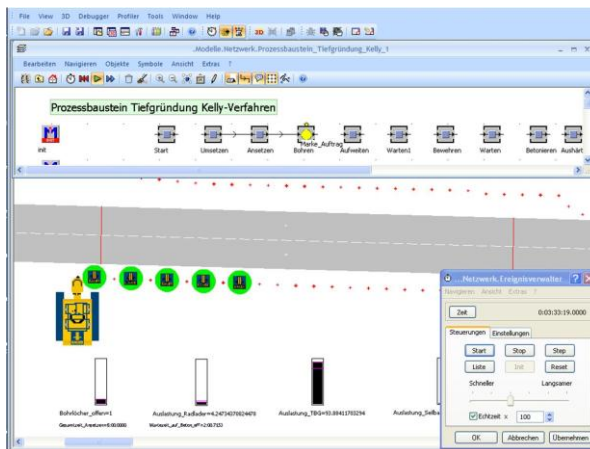


Abbildung 3.2-17: Ausschnitt Simulationsmodell Mittlerer Ring

Für die Durchführung von Versuchen wurden das Baustellenlayout und die Parameter der Bohrpfähle (Dimensionen, Lage, und Bodenschichtung) fixiert. Variable Parameter sind in diesem Fall das eingesetzte Bohrverfahren, die Ausfallwahrscheinlichkeit des Bohrgeräts sowie dessen mittlere Reparaturzeit, die Anzahl der Bohrrohrgarnituren beim Kelly-Verfahren und die Pünktlichkeit der Betonanlieferung. Um diese zu beschreiben, wurden mehrere exemplarische Stauprofile erzeugt, welche in der folgenden Tabelle 3.2-1 dargestellt sind.

Tabelle 3.2-1: Erzeugte Stauprofile für die Ermittlung von Wartezeiten

Stauprofil	Wahrscheinlichkeit einer Verspätung	Ø Stauzeit [min]
Einöde	5 %	5
Land	10 %	10
Stadttrand	15 %	15
Innenstadt	20 %	20
Ferienbeginn	50 %	45

Je nach Stauprofil ergeben sich in der Simulation unterschiedliche Transportzeiten für die Betonlieferung und damit unterschiedliche Wartezeiten auf den Beton (siehe Abbildung 3.2-18).

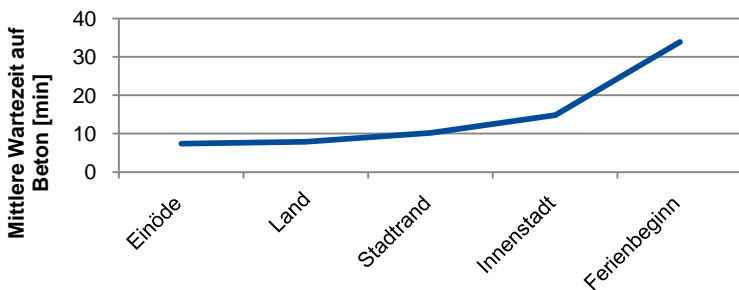


Abbildung 3.2-18: Auswirkungen der verschiedenen Stauprofile auf die mittleren Wartezeiten des Bohrgerätes

Die Auswirkung der Stauzeiten auf die verschiedenen Bohrverfahren ist in Abbildung 3.2-19 dargestellt. Beim DKS-Verfahren verändert sich die anteilige produktive Arbeitszeit des Tiefbohrgeräts reziprok mit den Wartezeiten auf den Beton, so dass bei höheren Wartezeiten die Produktivität dieses Verfahrens stark eingeschränkt wird. Ein ebensolcher Zusammenhang besteht beim Kelly-Verfahren, wenn nur eine Bohrrohrgarnitur vorhanden ist. Der Anteil der Arbeitszeit vermindert sich aber nicht so stark wie beim DKS-Verfahren, da beim Kelly-Verfahren die Bohrzeit einen größeren Anteil einnimmt. Sobald eine zweite Bohrrohrgarnitur vorhanden ist, kann das Bohrgerät während der Wartezeit auf den Beton bei einem weiteren Bohrloch zu bohren beginnen, so dass sich nur noch bei dem stärksten Stauprofil leichte Auswirkungen ergeben. Hier ist die Wartezeit auf den Beton zum Teil länger als die Bohrzeit des zweiten Bohrloches.

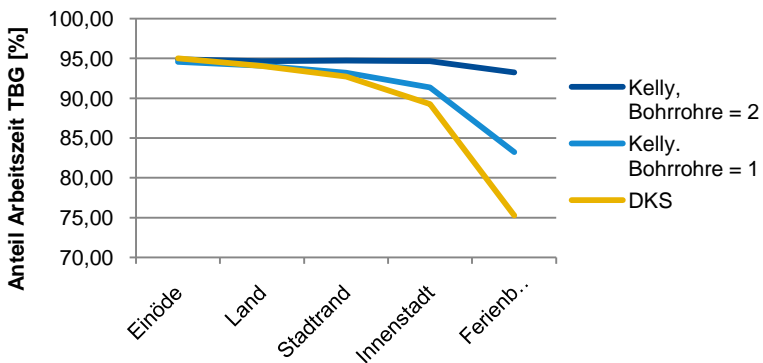


Abbildung 3.2-19: Vergleich der Anteile der Arbeitszeit des Bohrgeräts zwischen Kelly- und DKS-Verfahren bei unterschiedlichen Stauprofilen und 95% Geräteverfügbarkeit

In Abbildung 3.2-20 sind die simulierten Gesamtkosten für die betrachtete Bohrpfahlwand über die verschiedenen Stauprofile und den Bohrverfahren aufgetragen. Die gestrichelten Linien

geben dabei jeweils die minimal und maximal simulierten Kosten wider, welche über die Gesamtzeit für den Abbau und üblichen Tageskostensätzen für die jeweiligen Verfahren gewonnen wurden. Im Vergleich der Bohrverfahren ist zu erkennen, dass bei diesen Baustellenbedingungen das DKS-Verfahren auch bei einer schlechten Belieferung mit Beton einen klaren Kostenvorteil hat.

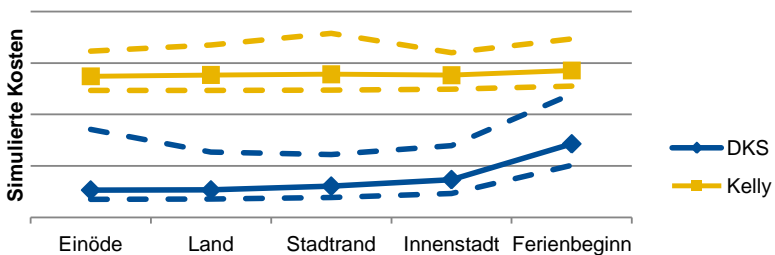


Abbildung 3.2-20: Kostenvergleich zwischen Kelly- und DKS Verfahren

Visualisierung und Kollisionskontrolle Montagevorgang Mae West – Effnerplatz München

An der Pilotbaustelle Effnerplatz wurde im Rahmen von ForBAU die Visualisierung des Montagevorganges des Kunstwerks Mae West durchgeführt. Ziel der Visualisierung war es, eine Kollisionskontrolle während des Einhebens mit der Umgebung durchzuführen. Zuerst musste das Gelände vermessen werden, wofür von der HS Regensburg das Verfahren des terrestrischen Laserscannings und vom DLR das Verfahren der Luftvermessung angewendet wurde. Durch die Luftvermessung konnten großflächige Aufnahmen des Geländes von oben gemacht werden. Diese Daten wurden jedoch bereits vor zwei Jahren erfasst, so dass aktuelle Veränderungen nicht mit berücksichtigt sind. Diese Veränderungen wurden mit Hilfe des terrestrischen Laserscannings erfasst, so dass eine hoch aufgelöste Punktwolke des Effnerplatzes und seiner Umgebung erstellt werden konnte. In Abbildung 3.2-21 ist auf der linken Seite die Punktwolke aus dem terrestrischen Laserscanning abgebildet, auf der rechten

Seite dagegen die der Luftvermessung. Die Daten wurden anschließend in *Autodesk NavisWorks* zusammengefügt. Hierzu mussten auch die verschiedenen Koordinatensysteme miteinander in Einklang gebracht werden. Dies resultierte in einem leichten Winkelfehler in der Überlagerung beider Punktwolken. Dieser konnte aber durch die manuelle Rotation um die vertikale Achse recht einfach korrigiert werden.

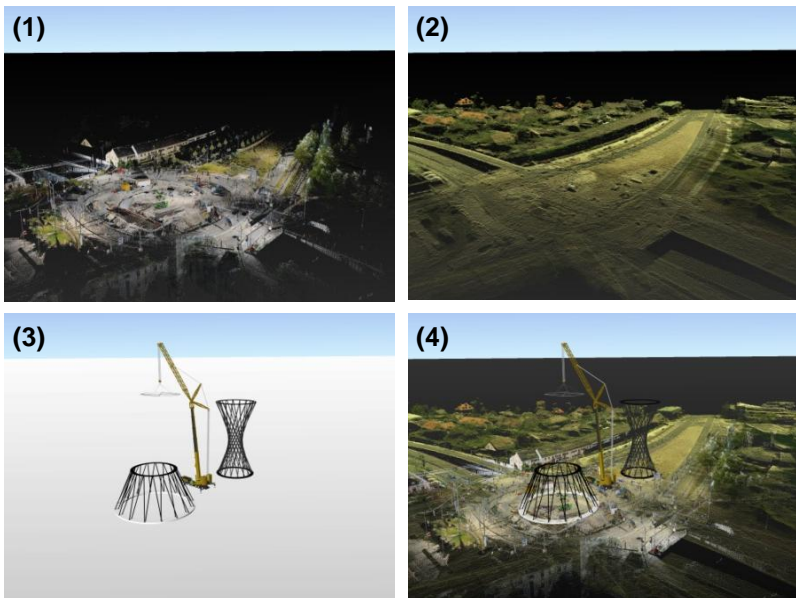


Abbildung 3.2-21: Betrachtete Teilmodelle: (1) Terrestrisches Laserscanning, (2) Luftvermessung, (3) parametrisches 3D-CAD Modell, (4) Vereinigung der Punktwolken und 3D-CAD-Modelle

Der Fahrzeugkran und das Kunstwerk wurden in einem parametrischen 3D-CAD Tool modelliert und zu den Punktwolken hinzugefügt. Anschließend wurde die Kinematik des Einhubvorgangs modelliert (siehe Abbildung 3.2-22) und eine

Kollisionsanalyse zwischen Kunstwerk, Kran und der Punktwolke der Umgebung durchgeführt.

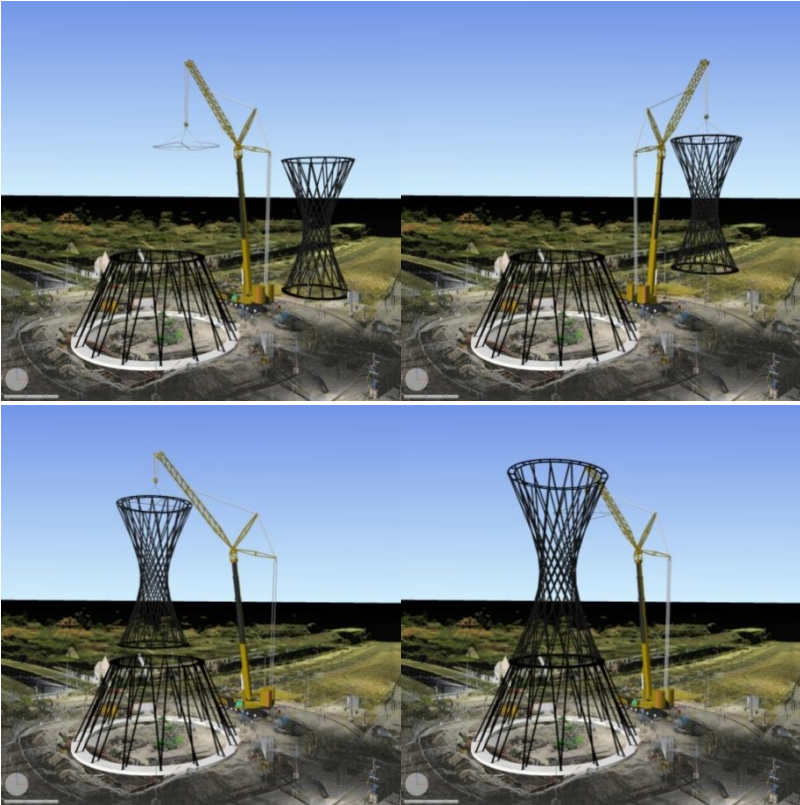


Abbildung 3.2-22: Ablaufvisualisierung Montagevorgang Mae West

Durch diese Vorgehensweise konnte nachgewiesen werden, dass beim geplanten Einbauvorgang keine Kollisionen mit der Umgebung auftreten und somit die Montage des Kunstwerks problemlos möglich ist. Die gewonnene Visualisierung des Montagevorganges wurde anschließend als Video an das Baureferat in München übergeben.

3.2.3.2 Betriebswirtschaftliches Controlling, Prozesskosten und Kennzahlensysteme (AP II)

Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die Abläufe aus der Simulation mit Kostenstrukturen zu hinterlegen. Bereits im zweiten Projektjahr wurde (vgl. [FOR-09], S. 147 ff) daher ein auf Microsoft Excel basierendes Tool entwickelt, das aus den Eingangsdaten der Simulation die entsprechenden Prozesskosten für bestimmte Vorgänge ermittelt. Bislang mussten diese Eingangsdaten manuell aus der Simulationsumgebung übertragen werden. Dieser Vorgang ist fehleranfällig und zeitaufwändig. Im dritten Projektjahr wurde daher eine Schnittstelle entwickelt, welche die Simulationsergebnisse direkt im Prozesskosten-Tool ablegt und das Arbeitspaket damit komplettiert.

3.2.3.3 Leistungscontrolling (AP III)

Der Bereich des Leistungscontrollings fokussiert die baubegleitende Vermessung, die Überwachung von Baumaschinen sowie das geotechnische Controlling. In den folgenden Abschnitten werden die Arbeiten im dritten Projektjahr dargestellt.

Baubegleitende 3D-Vermessung (terrestrisch)

Innerhalb des ForBAU-Projekts wurden Verfahren untersucht, das Geländemodell aus der Bauplanung während der Bauausführung fortlaufend zu aktualisieren und damit einen kontinuierlichen Abgleich zwischen der Realität und dem digitalen Modell zu schaffen. Eine vielversprechende Möglichkeit hierfür bietet das terrestrische Laserscanning. In einem Einschnittsbereich an einer ausgewählten Pilotbaustelle wurden die dazu nötigen Arbeitsprozesse und die Durchführbarkeit untersucht.

Zu Beginn der Studie an der Pilotbaustelle wurde ein geeigneter 3D-Scanner, dessen Reichweite das zu untersuchende Baufeld abdeckte, ausgewählt. Der Abstand der Kronenränder (vgl. Abbildung 3.2-23) an der breitesten Stelle betrug 70m. Erste

Versuche wurden mit einem Leica HDS6100 Phasenvergleichsscanner durchgeführt. Die Aufnahme erfolgte nach dem Mutterbodenabtrag in der Mitte des späteren Einschnittsbereichs. Dabei konnten mit dem Phasenvergleichsscanner Reichweiten von 40 bis 50m realisiert werden. Die theoretisch mögliche Reichweite von 79m wurde wegen des schlechten Reflexionsgrads des Erdreichs und des ungünstigen Auftreffwinkels des Lasers nicht erreicht.

Für die Aufnahme des Einschnitts zu einem späteren Zeitpunkt wurde deshalb auf einen Impulsscanner (Leica Scanstation, Reichweite bis ca. 300 m) zurückgegriffen. Hiermit wurden Messungen von einem Standpunkt außerhalb des Baufeldes und somit ohne Behinderung des Baubetriebes möglich (vgl. Abbildung 3.2-23).



Abbildung 3.2-23: Terrestrischer Laserscanner (Leica Scanstation, oben in Bildmitte) bei der Aufnahme eines Einschnittsbereichs vom Kronenrand aus

Ein erhöhter Standpunkt auf dem Kronenrand bietet neben dem guten Überblick eine hohe Reichweite sowie einen günstigen Auftreffwinkel auf die Einschnittssole und die gegenüberliegende Böschung. Bei der Verwendung eines Impulsscanners ist jedoch der vielfache Zeitbedarf der Messung gegenüber einem Phasenvergleichsscanner zu beachten. Im Beispiel betrug die Messzeit mit dem Impulsscanner je Standpunkt inkl. Rüstzeiten ca. eine Stunde. Dabei wurde eine Auflösung von 15cm in 80m Entfernung gewählt. Im Vergleich dazu benötigt die Messung mit dem Phasenvergleichsscanner für einen Full-dome-Scan bei einer Auflösung von 15mm in 50m Entfernung nur wenige Minuten.

Zur Erfassung des Einschnittsbereichs muss die Messung von den Kronenrändern links und rechts der Straßenachse durchgeführt werden. Der Abstand der jeweiligen Standpunktpaare in Trassenlängsrichtung wurde dabei auf ca. 100m festgelegt. Für den untersuchten Einschnittsbereich waren Messungen an vier Standpunkten erforderlich. Im gewählten Rasterabstand von 100m kann die Geländeaufnahme in Trassenlängsrichtung beliebig erweitert werden.

Die serielle Aufnahme der Trasse von verschiedenen Standpunkten aus erfordert eine Referenzierung der Aufnahmen in einem übergeordneten Koordinatensystem. Diese Referenzierung erfolgte über sogenannte „Tilt-and-Turn-Targets“, die wiederum von einem Tachymeter aus reflektorlos eingemessen wurden.

Mit dem beschriebenen Vorgehen konnten die vier Einzelmessungen im Einschnittsbereich an einem Messtag durchgeführt werden. An zwei Folgemessungen im Abstand von jeweils zwei Wochen wurden die Aufnahmen wiederholt und so der Baufortschritt im gewählten Einschnittsbereich auf einer Länge von ca. 200m dokumentiert. Die hierzu erforderliche Messzeit betrug für alle vier Standpunkte insgesamt fünf Stunden.

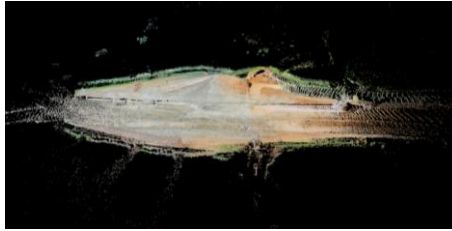


Abbildung 3.2-24: Eingefärbte Punktwolke des ca. 200m langen Einschnittsbereichs, gemessen von vier Scannerstandpunkten

Zur besseren Darstellung der aus dem Scanvorgang resultierenden Punktwolke kann diese mittels Bildern von einer externen Kamera eingefärbt werden (vgl. Abbildung 3.2-24). Dies ist für die baubegleitende Vermessung an sich nicht nötig, bietet jedoch eine zusätzliche Orientierungshilfe im Rahmen der Auswertung.

Modellbildung Baufortschritts 3D-CAD Modell

Für die Auswertung des Scanergebnisses ist es nötig, die Punktwolke auszudünnen und somit die Anzahl der Punkte zu reduzieren. Bei dieser Untersuchung wurde die Scansoftware Cyclone sowie ein raumbezogenes Ausdünnverfahren gewählt (vgl. Abbildung 3.2-25).

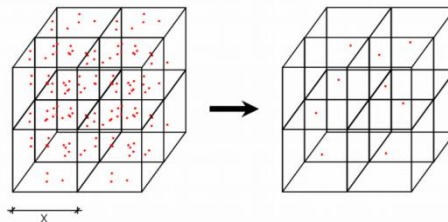


Abbildung 3.2-25: Auf Raumraster bezogenes Ausdünnungsverfahren (Cyclone): pro Würfel der frei wählbaren Kantenlänge x wird nur ein Punkt in die ausgedünnte Punktwolke übernommen. Mit größer werdender Kantenlänge x nimmt die Punktreduktion zu.

Im Fallbeispiel erwies sich eine Rastergröße von 40cm als praktikabel. So konnte die Punktmenge pro Messtag um 90%, von 5 Mio. auf 500.000 Punkte reduziert werden. Als weiterer Effekt wird durch das Ausdünnen auch die Verteilung der Punkte über den Scan-Raum vergleichmäßigt. Dies ist erforderlich, da die Punktdichte mit steigendem Abstand zum Scanner abnimmt, in Bereichen mit schlechtem Auftreffwinkel weniger Punkte vorliegen und die resultierende Punktwolke zudem aus Punktwolken der verschiedenen Standorte zusammengesetzt wird.

Die resultierende Punktwolke kann direkt in Infrastrukturplanungssoftware wie z.B. RIB STRATIS weiter verwendet werden. An der beschriebenen Pilotbaustelle konnte eine aus ca. 500.000 Einzelpunkten bestehende Punktwolke und eine aus fast ebenso vielen Dreiecken bestehende, vermaschte Oberfläche ohne Probleme eingelesen und bearbeitet werden.

Anschließend bieten sich Möglichkeiten der Mengenermittlungen nach den etablierten REB-konformen Verfahren. Darüber hinaus können die Ergebnisse des Laserscannings für diverse (visuelle) Auswertungen benutzt werden. So können z.B. mit einer farbigen Kennzeichnung Erdbewegungen in definierten Zeiträumen analysiert und verglichen werden (vgl. Abbildung 3.2-26). Das erstellte Modell kann somit auch zum Abgleich mit der zeitlichen Planung und zur Qualitätssicherung herangezogen werden.

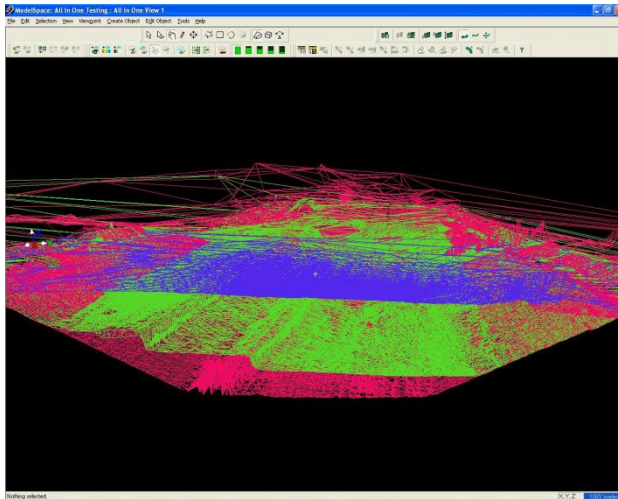


Abbildung 3.2-26: Schnitt durch die Geländemodell-(DGM)-Horizonte, wie sie aus den einzelnen Scans zu drei verschiedenen Zeitpunkten erstellt wurden.

Abgleich mit Planungs- und Kostenmodell

Für den Soll-Ist-Abgleich im konkreten Fall wurde anhand vorliegender Trassierungsdaten ein Soll-Modell in *RIB STRATIS* erzeugt. Dies geschah durch die Verknüpfung der Achse in der Lage mit den Gradienten der beiden Richtungsfahrbahnen und unter Berücksichtigung der Querneigungsänderungen in Form eines Rampenbandes. Das Ergebnis dieser Zuordnungen wurde in Form eines Deckenbuches definiert, berechnet und schließlich in Form von Profilpunkten ausgegeben. Zum Abschluss wurden diese Punkte zu einem digitalen Geländemodell (DGM), in diesem Fall zu einem Soll- oder Planungs-DGM, vermascht. Die Erstellung des Soll-Modells wurde in diesem Beispiel auf die beiden Fahrbahnen und den Mittelstreifen beschränkt. Im Bedarfsfall kann die Modellierung auch auf den Bankettbereich

und die sich anschließenden Gräben und Böschungen erweitert werden.

Die durch terrestrisches Laserscanning ermittelte Punktwolke der baubegleitenden Vermessung wurde in RIB STRATIS importiert. Dazu wurde sie vorher in Leica Cyclone bearbeitet und ausgedünnt. Im Beispiel entspricht sie einer Momentaufnahme eines Bauzustandes. Der Import nach RIB STRATIS erfolgte als unvermaschte Punktmenge über eine dxf-Schnittstelle. Die Vermaschung wird erst in RIB STRATIS durchgeführt, wo anschließend auch direkt die Überlagerung zwischen Soll- und Ist-Modell in Form einer Visualisierung erfolgen kann.

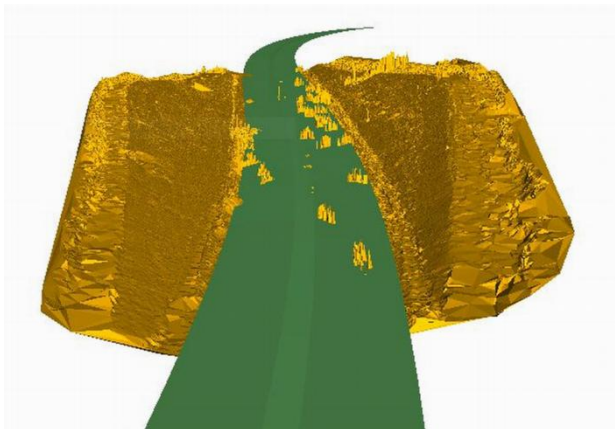


Abbildung 3.2-27: Überlagerung des Soll-DGMs der Trasse mit der ausgedünnten und aus Leica Cyclone importierten Punktwolke des Einschnitts (Ist-Modell).

Wie in Abbildung 3.2-27 zu sehen, liegt die spätere Fahrbahn mittig in der Sohle des durch terrestrischen Laserscannings aufgenommenen Einschnittbereichs. Auch die Höhenlage des Einschnitts wird korrekt dargestellt. Aus dem Soll-DGM ragen nur noch einzelne Spitzen heraus. Dabei handelt es sich um während der Scan-Aufnahmen miterfasste Fahrzeuge und Baumaschinen,

die zur Veranschaulichung in diesem Fall nicht aus der Punktwolke entfernt wurden.

Als alternative Auswertungform wurde das in *RIB STRATIS* erstellte Soll-DGM über eine LandXML-Schnittstelle in *Leica Cyclone* überführt. Im Gegensatz zu *RIB STRATIS* ist die Scannersoftware *Leica Cyclone* speziell auf die Anforderungen der 3D-Bearbeitung und -Visualisierung ausgelegt und kann mit der unausgedünnten Punktwolke arbeiten (vgl. Abbildung 3.2-28).

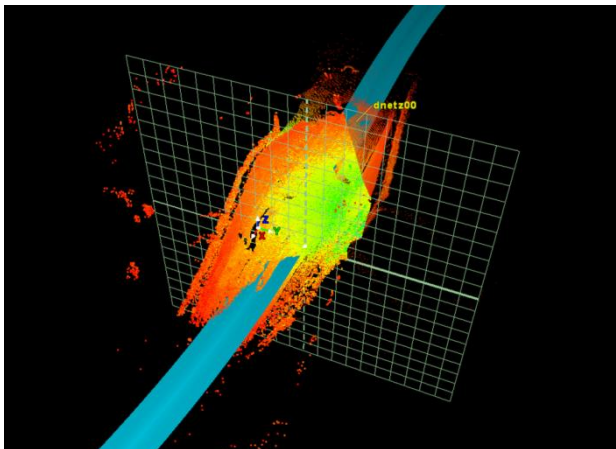


Abbildung 3.2-28: 3D-Darstellung der Schnittebene (Gitter) durch die Punktwolke des Einschnitts und das Soll-Modell der Trasse.

Zur farblichen Kennzeichnung von Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Modell stehen jedoch auch in *Leica Cyclone* keine Möglichkeiten zur Verfügung. Für eine Betrachtung im Detail muss deshalb auf Schnitte (vgl. Abbildung 3.2-28) zurückgegriffen werden. Dies erfolgt durch ein Verschieben der Schnittebene, wodurch Abweichungen leicht festgestellt werden können. Für detailliertere Auswertungen ist die Überführung in 2D-Schnitte an definierten Stellen sowie der Export in diverse CAD-Systeme möglich. Die Möglichkeiten des visuellen,

qualitativen Soll-Ist-Vergleichs illustriert die Gegenüberstellung von Schnitten zu unterschiedlichen Bauzuständen in Abbildung 3.2-29 sowie Abbildung 3.2-30.

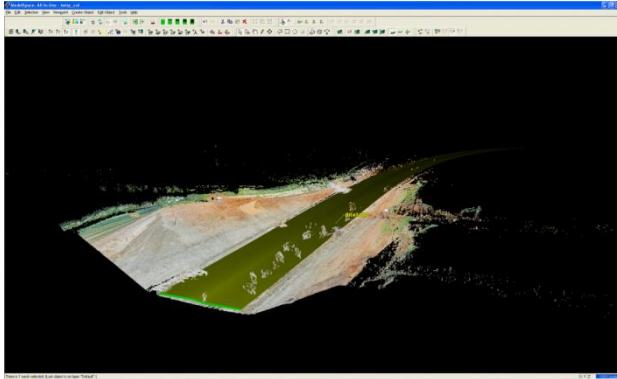


Abbildung 3.2-29: Überlagerung des Soll-DGMs der Trasse mit der Punktwolke des terrestrischen Laserscannings direkt in Leica Cyclone, Schnitt durch Soll- und Ist-Modell.

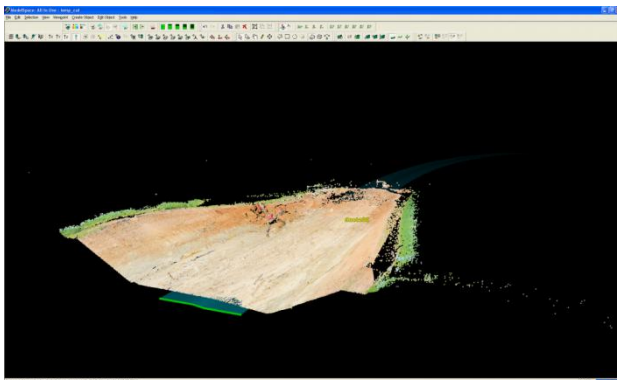


Abbildung 3.2-30: Überlagerung von Soll- und Ist-Modell an identischer Stelle wie Abbildung 3.2-29, jedoch mit einer Punktwolke (Ist-Modell), die zwei Wochen früher aufgenommen wurde

Bei den Auswertungen in *Leica Cyclone* ist weiterhin zu beachten, dass keine Vermaschung des Ist-Modells erfolgte, was bei größeren Ausdehnungen eine erhebliche Zeitersparnis bedeuten kann. Darüber hinaus ist das Soll-Modell durch die einfachen Geometrien wenig datenintensiv und kann ohne Probleme zwischen den CAD-Systemen ausgetauscht werden.

Die Ist-Modelle der verschiedenen Bauzustände können neben der Verwendung für den mengenmäßigen Abgleich auch für einen kostenmäßigen Abgleich genutzt werden. Der Massenabgleich zwischen zwei Ist-Modellen dient dabei als Eingangsdatensatz für die Kalkulation. Mit den entsprechenden Kalkulationsansätzen für Aushub und Erdaufrag, die z.B. in RIB iTWO hinterlegt sind, können so auf Basis der baubegleitenden Vermessung die Ist-Kosten basierend auf den 3D-Modellen fortgeschrieben werden. Weitere Eingangsdaten können durch eine Auswertung von Produktionsdaten aus der Maschinenführung (vgl. TP4) und einem dynamischen Nachführen des Ist-Modells [STE-10c] gewonnen werden.

Zusammenfassung. In der durchgeführten Studie an der Pilotbaustelle konnte der betrachtete Einschnittsbereich mittels terrestrischem Laserscanning aufgenommen und der Baufortschritt durch Folgemessungen dokumentiert und ausgewertet werden. Der messtechnische Aufwand des baubegleitenden terrestrischen Laserscannings ist als sehr hoch einzustufen. So ist die vorgestellte Technik vorwiegend für räumlich begrenzte und kontinuierlich aufzunehmende Bauabschnitte geeignet. Die messtechnische Begleitung einer gesamten Straßenbaumaßnahme ist durch terrestrisches Laserscanning nicht wirtschaftlich (vgl. auch [STE-10c]). Hierfür sind mobile Systeme mit kinematischem oder luftgestütztem Laserscanning besser geeignet.

Mit dieser Studie wurden weitere Grundlagen für die baupraktische Anwendung des terrestrischen Laserscannings gelegt.

So wurden Untersuchungen zur Positionierung der Scanner in Abhängigkeit von der Bausituation (Damm/Einschnitt) vorgenommen und die Arbeitsabläufe zur kontinuierlichen und wiederkehrenden messtechnischen Geländeerfassung analysiert und optimiert. Hinsichtlich der verwendeten Auflösungen und der resultierenden Punktdichte kann festgehalten werden, dass das Gelände im vorliegenden Fall auch ohne die Definition von expliziten Bruchkanten ausreichend genau in den erstellten Geländemodellen abgebildet wurde. Weiterer Entwicklungsbedarf besteht z.B. in der Schaffung von Möglichkeiten zur schnelleren lokalen Referenzierung der Scannerpunktwolken in Form von optimierten Feldverfahren.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die verfügbaren Methoden des Laserscannings und die Software-Systeme ein sehr detailgetreues und vollumfängliches Mittel für den geometrischen Soll-Ist-Abgleich darstellen. Es wurde erkannt, dass zur besseren Veranschaulichung der Abweichung zwischen Soll- und Ist-Modell eine farbige Kodierung der einzelnen Punkte in Abhängigkeit von der Lage zum Soll-Modell unabdingbar ist. Die Bereitstellung derartiger Funktionalitäten wurde durch die Hersteller erkannt und bereits in einigen Softwareprodukten (z.B. *Geomagic Qualify*) umgesetzt.

Luftgestützte Vermessung – Verifikation und Auswertung an einer ausgesuchten Baustelle

Im Zuge des ForBAU-Projektes wurden am DLR Institut für Robotik und Mechatronik (RM) in Kooperation mit den Industriepartnern AEE und Ascending Technologies das Luftschiff ALUSTRA und die Octocopterlinie Falkon aufgebaut. Eine genaue Beschreibung des Luftschiffes ist im Zwischenbericht von 2009 [FOR-09] gegeben.



Abbildung 3.2-31: Luftschiff ALUSTRA ist mit 13 Aktoren steuerbar

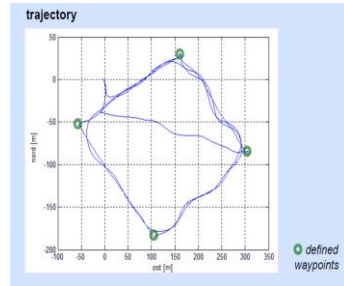


Abbildung 3.2-32: Autonomes Abfliegen eines Rechteckes mit dem Luftschiff

Wegen der hohen Betriebskosten, insbesondere der Kosten für das Helium der Luftschiffhülle, wurden die weiteren Arbeiten mit dem Luftschiff jedoch eingestellt.

Mit dem Falcon Octocopter wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Industriepartner zahlreiche Versuche durchgeführt und die ursprüngliche Steuerung über ein GPS/INS System durch einen Leica TPS Real Time Kinematik Theodoliten ergänzt.



Abbildung 3.2-33: Falcon 12 für Kameras bis 850 g Gewicht



Abbildung 3.2-34: Falcon 8 für leichte Kameras bis 350 g

Darüber hinaus wurde bei RM ein neues plattformübergreifendes Steuerungssystem für fliegende Roboter erarbeitet, mit dem Dreh- und Starrflügler autonom geflogen werden können. Damit

stehen zukünftig Systeme für 2.500 bis 5.000g Sensorgewicht bereit.



Abbildung 3.2-35: Elektro-Helikopter für Sensoren bis 2.500g.



Abbildung 3.2-36: Elektro-Starrflügler für Sensoren bis 5.000g

Neben diesen Arbeiten zur Systementwicklung konnte im Oktober 2010 die Demonstrationsbaustelle B15N in einem Abschnitt mit dem FALCON 8 und mit der Helikopterversion der MultiCam erfolgreich befliegen werden. Die für die Auswertung erforderlichen Passpunkte wurden durch die Hochschule Regensburg aufgenommen. Die Daten der Octocopterbefliegung wurden bereits ausgewertet.



Abbildung 3.2-37: B15N aus 90 m Höhe vom FALCON 8 aufgenommen

Abbildung 3.2-39: B15N True Orthobild aus 65 Octocopter Bildern



Abbildung 3.2-38: B15N Senkrechtaufnahme aus 90 m Höhe



Abbildung 3.2-40: B15N 3D-Baustellenmodell Die Daten können im PLY Format oder als Punktwolke im PTS-Format abgespeichert werden.

Die Befliegung erfolgte mit einer Ricoh GR 3 Kompaktkamera mit ca. 12 Megapixeln Auflösung. Die Überdeckung in Längs- und Querrichtung betrug 80% bei einer Flughöhe von 90m über Grund, was einer Auflösung von ca. 3cm entspricht. Die Befliegung erfolgte „out of the Box“ ohne vorherige Flugplanung im Büro. Die Flugvorbereitung im Feld beanspruchte 60min, die Befliegung selbst 40min mit einmaligem Akkuwechsel, wobei in fünf Streifen aufgenommen wurde.

Die Orientierung der Aufnahmen erfolgte durch Bündelausgleichung mit Simultankalibrierung der Restfehler der Kamera. Für die automatische Bildverknüpfung wurden die Kamerapositionen aus der Flugplanung herangezogen; die endgültige Verortung erfolgte über 20 Passmarken, wobei folgende Genauigkeiten erreicht wurden.

RMS control points

- X = 0.047 m
- Y = 0.057 m

- $Z = 0.22 \text{ m}$

Um diese Werte weiter zu verbessern ist der Einsatz einer speziellen Meßkamera anstelle der handelsüblichen Kompaktkamera notwendig. Diese kann aufgrund ihres höheren Gewichtes aber erst mit einer neuen, leistungsfähigeren Generation von Flugrobotern sicher eingesetzt werden. Bis dahin ist das terrestrische Laserscanning den Multicoptern bezüglich der Genauigkeit vorzuziehen.

Anders sieht dies bei dem Einsatz der MultiCam auf einem bemannten Helikopter aus. Auch wenn die Aufnahmen an der Pilotbaustelle B15N zum Zeitpunkt der Drucklegung noch nichtvollständig ausgewertet waren, so kann man die Genauigkeit aus den zahlreichen 3D-Stadtbefliegungen zur Abschätzung heranziehen. Diese liegt bei ± 1 Pixel in Lage und Höhe. Eine Befliegung mittels Helikopter ist allerdings nur dann ökonomisch, wenn mehre 10km Trasse aufzunehmen sind.

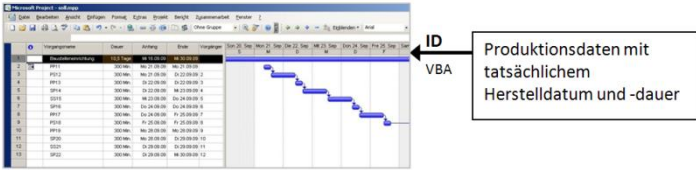
Baumaschinenüberwachung

In vielen Bereichen des Bauens werden täglich Geräte bzw. Baumaschinen eingesetzt, die eine Erstellung eines Bauwerks unterstützen bzw. entsprechend benötigte Arbeitsschritte vorbereiten. Einige dieser Geräte dokumentieren bereits Produktionsdaten für bestimmte Arbeitsschritte. Leider werden diese Informationen jedoch bisher nicht für weiterführende Analysen genutzt. Ziel dieses Arbeitspaketes war es daher, den Bauunternehmen ein System zur Verfügung zu stellen, dass die gesammelten Maschinen- und Produktionsdaten auswertet und somit Mängel und Toleranzabweichungen bereits während der Bauausführungsphase identifiziert.

Umsetzung des automatisierten Auswerteverfahrens für Produktionsdaten. Im Projektjahr 2009 wurde bereits die konzeptionelle Entwicklung eines Auswerteverfahrens zur Bestimmung der Dichtheit von Bohrpfahlwänden sowie die technische Umsetzung der geometrischen Auswertung realisiert (vgl.

[FOR-09], S. 165ff). Auf diesen Ergebnissen basierend beschäftigte sich ForBAU in diesem Projektjahr mit der Umsetzung einer zeitlichen Ist-Daten-Analyse. Der während der Bauphase entstandene Ist-Bauzeitenplan bildete zusammen mit dem 3D-Modell aus der geometrischen Auswertung die Basis für die Umsetzung einer Ablaufvisualisierung des realen Herstellprozesses.

Zeitliche Auswertung. Der *Ist-Bauzeitenplan* lässt sich aus den zeitlichen Informationen, die in den Produktionsdaten beinhaltet sind, ableiten. Hierzu wurden die zeitlichen Komponenten aus den Produktionsdaten in einer Excel-Tabelle zu einer Auswerteliste zusammengestellt und anschließend über eine VBA-Makro Schnittstelle in die Projektmanagementsoftware Microsoft Project übergeben. Mit Hilfe dieses Vorgangs konnten die tatsächlich auftretenden Bauablaufprozesse in Form eines Gantt-Diagramms dargestellt werden. Mit Abschluss dieses Auswerteprozesses konnte anschließend eine automatisierte Soll-Ist-Analyse der Bauzeiten durchgeführt werden. Der Soll-Zustand wird hierbei durch das Gantt-Diagramm aus der Arbeitsvorbereitung der Baufirma bzw. durch die Ergebnisse der Ablaufsimulation bereitgestellt. Der Soll-Ist-Vergleich erfolgt anhand einer eindeutigen ID aus einer Hilfsdatei. Diese ordnet den entsprechenden Soll-Vorgängen die tatsächliche Anfangszeit und Herstdauer zu. Durch die überlagerten Balkendiagramme können somit Abweichungen identifiziert werden. In MS Project wird ein detaillierter Soll-Ist-Vergleich leider nur in tabellarischer Form dargestellt, sodass die Ergebnisse nur sehr schwierig interpretierbar sind. Für eine anschaulichere Auswertung der Ergebnisse wurden daher die geometrischen und zeitlichen Daten in der Software *Autodesk NavisWorks* zusammengeführt und anschließend visuell dargestellt.



Soll-Bauzeitenplan in Microsoft Project 2007

Vergleich mit Soll-Werten

Berichte in Tabellenform über:
 - Nicht angefangene Vorgänge
 - Abgeschlossene Vorgänge
 - Verspätete Vorgänge
 - Verzögerte Vorgänge

Ergebnisse daraus:
 - Rückschluss auf tägliche Bauleistung
 - Einhaltung der Fristen
 - Ressourcen- und Kostenoptimierung

Abbildung 3.2-41: Soll-Ist-Vergleich Bauzeitenplan

4D-Visualisierung. Diverse Untersuchungen haben gezeigt, dass 80% unserer Wahrnehmungen visuell erfolgen [FLE-10]. Demnach ist die Aufnahmefähigkeit von Menschen deutlich höher, wenn sie die Dinge, die sie koordinieren müssen, zuerst sehen. Gerade bei komplexen Projekten wie sie u.a. in der Bau- und Maschinenbaubranche existieren, sind wir nicht mehr in der Lage, geplante 3D-Objekte von mehreren Projektbeteiligten mit einem zeitlichen Ablauf in Verbindung zu bringen. Ein mit einer Zeitachse versehenes, wachsendes 3D Modell, das mit den Planungsobjekten aller Beteiligten verknüpft ist, kann hier Abhilfe schaffen.

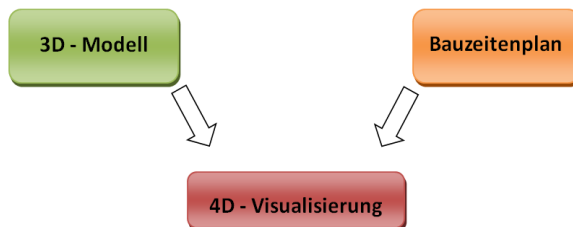


Abbildung 3.2-42: Datenfluss für die 4D-Visualisierung

Eine derartige 4D-Visualisierung bietet folgende Vorteile:

- Zeitliche und räumliche Überschneidungen mit Vorgänger-Gewerken können frühzeitig erkannt werden
- Unterschiedliche Bauabläufe für die spätere Ausführung können am Computer analysiert und bewertet werden
- Problem- und Kollisionsstellen mit anderen Gewerken werden sichtbar
- Planungssicherheit wird erhöht
- Wettbewerbsvorteile gegenüber Marktbegleitern
- Darstellung von Soll-Ist-Vergleichen
- Leistungsmeldungen gegenüber dem Bauherrn können visuell stattfinden

Die damit gewonnenen Zusatzinformationen stellen eine neue Qualität der Planung dar.

Eine Software wie Navis Works ist in der Lage, 3D-Daten aus der geometrischen Analyse zusammen mit den Ergebnissen des Soll-Ist-Vergleichs aus dem Bauzeitenplan in visueller Form darzustellen [FOR-09]. Dazu wurden die beiden Datensätze in *NavisWorks* eingelesen und anhand der eindeutigen ID überlagert. Die Kopplung der beiden Komponenten erfolgt in der Software über ein sogenanntes TimeLiner-Modul. Durch eine interne Abfrage der Objekt-ID und des Layernamens des Objektes aus der 3D-Modellierung wird eine konsistente Verknüpfung sichergestellt. Anschließend können mit Hilfe des TimeLiner-Moduls verschiedene Aktivitäten (Errichten, Abbrechen), Regeln etc. definiert und zugeordnet werden. Nachdem die Integration der geometrischen und zeitlichen Daten sowie verschiedene Vordefinitionen getroffen wurden, kann die 4D-Ablaufanimation gestartet werden. Anhand der visuellen Auswertung ist nun eine Identifizierung von Prozessen, die sich im Sollablauf oder sich außerhalb der geplanten Zeiten befinden, möglich. Objekte die sich im Soll-Prozess

befinden werden grün, Objekte im Ist-Prozess rot dargestellt.

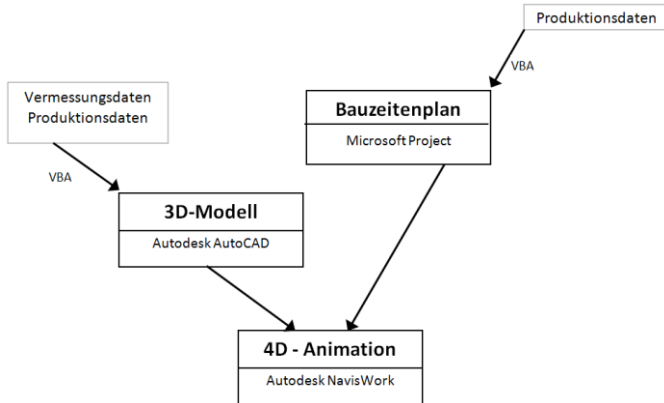


Abbildung 3.2-43: 4D-Visualisierungskonzept

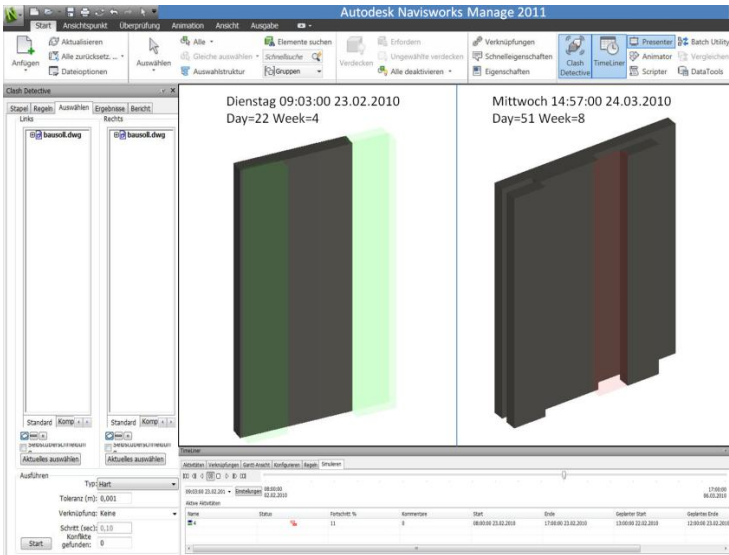


Abbildung 3.2-44: 4D-Visualisierung bei der Herstellung von CSM-Schlitzwänden in NavisWorks

Ergebnis und Ausblick. Das automatisierte Auswerteverfahren ist ein einfaches digitales Werkzeug zur Kontrolle von geometrischen Anforderungen in Bauprozessen. Ausführende Firmen können mit Hilfe dieses digitalen Werkzeuges die qualitative Überwachung ihrer Objekte und Prozesse deutlich steigern. Kernaufgabe ist es, mit möglichst geringem Mehraufwand einen *Nachweis* zu erbringen, der eine ordnungs- und fachgemäße Bauwerksausführung dokumentiert und – wenn möglich – rechtssicher belegt. Der Baufirma wird somit ein System zur Verfügung gestellt, das ein *Ist-Modell* erzeugt, *Mängel* identifiziert und einen *Nachweis* der sachgemäßen Bauwerksausführung darlegt. Zudem lassen sich durch die geometrische und zeitliche Auswertung der Daten *Bauprozesse* optimieren, *Ressourcen* besser ausnutzen und *Kosten* reduzieren. Die Einsetzbarkeit des digitalen Werkzeuges wurde im Zuge einer Baumaßnahme durch eine renommierte Spezialtiefbaufirma validiert und als praxistauglich bestätigt.

Baubegleitendes Qualitätsmanagement & Geotechnischer Bestandsplan

Im Arbeitspaket III-3 wurden im Jahr 2009 Untersuchungen zum baugleitenden geotechnischen Qualitätsmanagement durchgeführt. Hierzu wurden Bewertungs- und Erfassungsmöglichkeiten von Bauleistungen in der Geotechnik untersucht. Ein entsprechendes Qualitätsmanagement wurde an der Pilotbaustelle "Penzberg" umgesetzt. Im Ergebnis wurde ein geotechnischer Bestandsplan, der exemplarisch als fortgeschriebenes Baugrundmodell für weitere Auswertungen zur Verfügung stand, erstellt. Die Ergebnisse sind im Zwischenbericht 2009 [FOR-09] dargestellt.

3.2.3.4 PDM-Systeme als unternehmensübergreifende Projektplattform² (AP IV)

Rückblick. Im ersten Projektjahr wurde zunächst eine umfassende Recherche zum Status Quo im Bereich des Datenmanagements im Bauwesen durchgeführt. In mehreren Arbeitstreffen wurden daraufhin gemeinsam mit den Industriepartnern Schwachstellen identifiziert und die Anforderungen an ein PDM-System für die unternehmensübergreifende Projektabwicklung in Bauplanung und -abwicklung definiert. Nach einer Marktanalyse konnte auf Basis der gewichteten Anforderungen mit dem System Procad PRO.FILE eine PDM-Basis ausgewählt werden, welches die grundlegenden Anforderungen nach derzeitigem Stand besonders gut abdeckt. Die in den ersten beiden Projektjahren durchgeführten bauspezifischen PDM-Anpassungen umfassten die Definition einer Datenablagestruktur, einen Objektkatalog für Brückenbauteile, die konzeptionelle Erstellung und Implementierung von elektronischen Arbeitsabläufen (Workflows) sowie die Visualisierung des Baufortschritts direkt am 3D-Modell. Darüber hinaus wurde eine Möglichkeit geschaffen, den Fortschritt der Baustelle möglichst einfach mit Hilfe eines Mobiltelefons zu erfassen und an das PDM-System zu übermitteln. Ein Expertenverzeichnis bietet innerhalb der PDM-Umgebung zudem die Möglichkeit, gezielt nach Projektbeteiligten mit bestimmten Fähigkeiten zu suchen.

Objektkataloge & Dokumenttypen. Im dritten Projektjahr wurden die Objektkataloge für Brückenelemente umfassend überarbeitet. Die Bezeichnung und Verschlagwortung von Komponenten wurde (1) ausgeweitet und (2) nun nicht mehr wie bisher auf Basis eines Listenfeldes, sondern mit Hilfe einer

² Voller Name des AP IV lt. Antrag: Evaluierung von PDM-Systemen, Aufstellen eines Anforderungskatalogs, Anpassung an Bauspezifika, Schaffung von Schnittstellen für Projektpartner, Validierung der Einsetzbarkeit des Systems anhand konkreter Baustellen

hierarchisch gegliederten Auswahlmaske vorgenommen. Das erleichtert v.a. die Suche nach Komponenten, da nun beispielsweise die aus einer bestimmten Betonsorte bestehende Widerlagerwand einer Hohlkasten-Balkenbrücke nicht mehr mühsam im Listenfeld gesucht werden muss. Der Nutzer kann stattdessen vom Unterbau der Balkenbrücke über das Widerlager bis hin zur Widerlagerwand in einem hierarchischen Strukturbaum navigieren (vgl. Abbildung 3.2-45). Dieses aus der Fertigungsindustrie unter dem Schlagwort „Sachmerkmaliste“ bekannte Verfahren wurde im Rahmen von ForBAU für Brückenbauwerke adaptiert. Darüber hinaus wurde in diesem Projektjahr auch für Trassenelemente eine hierarchische Klassifikation der Objekte entwickelt und technisch umgesetzt. Abbildung 3.2-46 zeigt einen entsprechenden Screenshot des Systems Procad PRO.FILE.

Speicherassistent
Bitte geben Sie die Daten für das anzulegende Teil ein.

- [-] Baugrund
- [-] Baustelleneinrichtung
- [-] Brücke
 - Eisenbahnbrücke
 - Fußgängerbrücke
 - Kanal- / Wasser- / Trogbücke
 - [-] Straßenbrücke
 - [-] Balkenbrücke (SIBa)
 - [-] Überbau (SIBa)
 - [-] Unterbau (SIBa)
 - [-] Pfeiler (SIBa)
 - [-] Pfeilergründung (SIBa)
 - [-] Pfeilerkopf (SIBa)
 - [-] Pfeilerlager (SIBa)
 - [-] Pfeilerschaft (SIBa)
 - [-] Widerlager (SIBa)
 - [-] Auflagerbank (SIBa)
 - [-] Lager (SIBa)
 - Betonlager (SIBa)
 - Elastomerlager (SIBa)
 - [-] Lagersockel (SIBa)
 - Stahllager (SIBa)
 - [-] Widerlagerfügel (SIBa)
 - [-] Widerlagergründung (SIBa)
 - [-] Flachgründung (SIBa-Wlg)
 - Beton (SIBa-Wlg-Fg)
 - Schotter (SIBa-Wlg-Fg)
 - [-] Tiefgründung (SIBa-Wlg)
 - [-] Widerlagerwand (SIBa)
 - Beton (SIBa-Wlw)
- Bewegliche Brücke
- Bogenbrücke
- Extradosed-Brücke
- Fachwerkbrücke
- Hängebrücke
- Rahmenbrücke
- Schrägseilbrücke
- Schwimm- / Pontonbrücke
- Wild- / Grünbrücke
- Kombiniertes Objekt
- [-] Straße

Objekt erstellen

Gruppe:

Beschreibung:

Objektposition

Stationierung Start: km

Stationierung Ende: km

Breite: [UTM-Koordinaten]

Länge: [UTM-Koordinaten]

Bauzeit

Baustart: [dd.mm.yyyy]

Baudauer: Tage

Brückenobjekt erstellen

Funktion:

Bauweise:

Ausführung:

Bereich:

Komponente:

Bauteilbezeichnung:

Material:

Festigkeitsklasse:

Bewehrung:

Anlieferstrategie:

- C16/20
- C20/25
- C25/30
- C30/37**
- C35/45
- C40/50
- C45/55
- C50/60
- C55/67
- C60/75
- C70/85
- C8/10
- C80/95
- C90/105

Abbildung 3.2-45: Überarbeiteter Katalog für Objekte aus den Bereichen Baugrund, Baustelleneinrichtung, Brücke, Kombiniertes Objekt und Straße

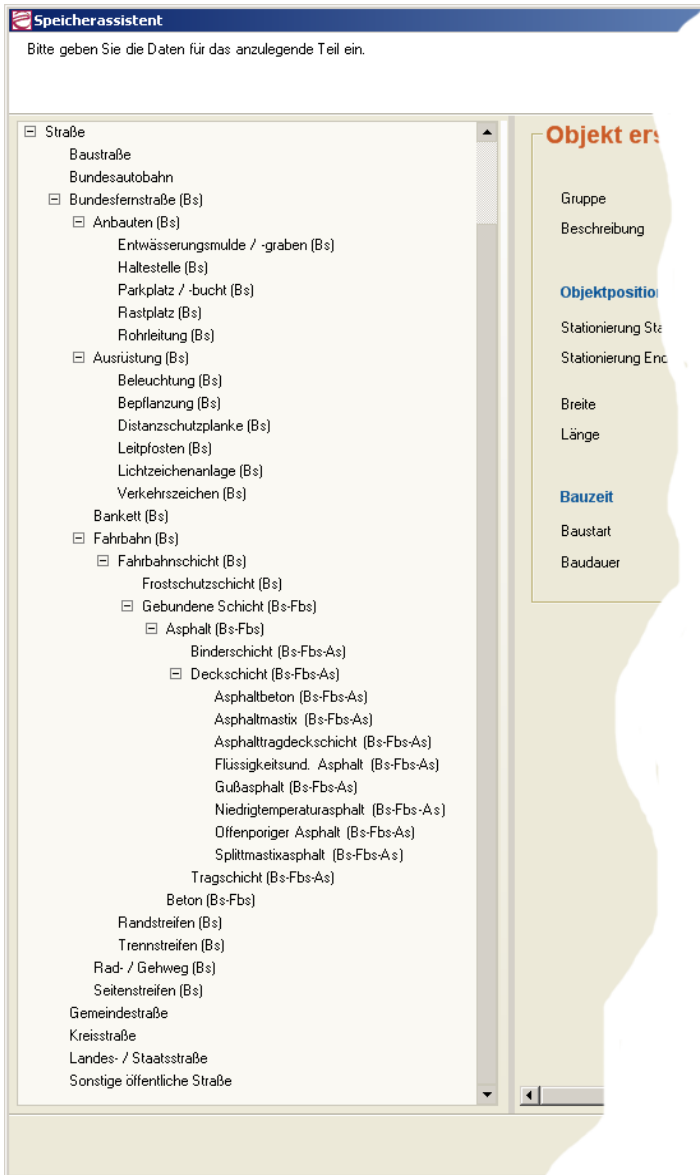


Abbildung 3.2-46: Hierarchischer Objektkatalog für Straßenelemente

Visualisierung des Baufortschritts. Bereits in 2009 wurde eine Möglichkeit geschaffen, den Status von Komponenten einer Brücke visuell im 3D-Modell darzustellen. Die Modelle wurden hierzu nach dem Import mit einer teilweisen Transparenz versehen, die erst deaktiviert wurde, wenn die entsprechende Komponente in den Status „fertig gebaut“ überführt wurde. Durch die halbtransparente bzw. originale Darstellung der Modelle wurde somit anhand des 3D-Modells ersichtlich, welche Elemente sich noch in der Planung oder im Bau befinden bzw. welche bereits fertiggestellt wurden [FOR-09], S. 181).

In der Evaluation mit den Industriepartnern stellte sich heraus, dass für die Praxis eine umfassendere visuelle Darstellung ein noch höheres Nutzenpotenzial bietet. Deshalb wurde im dritten Projektjahr eine statusabhängige Farbcodierung für Brückenkomponenten entwickelt. Die Elemente werden dabei wie in Tabelle 3.2-2 dargestellt eingefärbt.

<i>Status Nr.</i>	<i>Statusbeschreibung</i>	<i>Farbcode</i>
160	Planung abgeschlossen	halbtransparent, originale Farben
163	In Bau	halbtransparent, grün
164	In Bauverzug	halbtransparent, rot
165	fertig gebaut	originale Farben
167	In Wartung	halbtransparent, gelb

Tabelle 3.2-2: Statusabhängige Farbcodierung für Brückenbauwerke

Die Umsetzung erfolgte analog zur ersten Version mit einem NX Open Java Programm, das mit Hilfe eines Jobserver³ in die PDM-Umgebung integriert wurde. Je nach Zielstatus wurde dem NX Open Programm dabei vom PDM-System PRO.FILE eine Variable übergeben, welche die jeweilige Farbgebung regelt. Der Screenshot in Abbildung 3.2-47 zeigt die Umsetzung am 3D-

³ Ein Jobserver wickelt wiederkehrende Routineaufgaben wie z.B. die automatische Erstellung von Neutralformaten ab

Modell. Die Status wurden dabei lediglich zur Visualisierung wie in Abbildung 3.2-47 gewählt und entsprechen keinem realen Bauzustand einer Brücke.

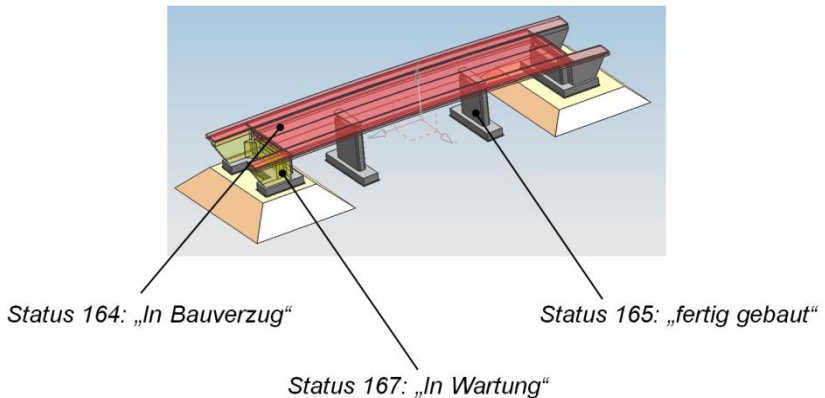


Abbildung 3.2-47: Statusabhängige Färbung von Komponenten einer Brücke im digitalen 3D-Modell

Neutralformate. Besonders für den Betrieb eines Bauwerks ist es wichtig, CAD-Daten langfristig in einem lesbaren Format vorzuhalten (Langzeitarchivierung). Deshalb werden zum Zeitpunkt des Statuswechsels eines CAD-Dokuments nach „Planung abgeschlossen“ automatisch über einen Jobserver die neutralen Datenformate 3D-PDF und JT⁴ erzeugt. Die PDM-Lösung wurde dabei so konfiguriert, dass beliebige Konvertierungsprogramme bei einem bestimmten Statuswechsel ausgeführt werden können. So ist es denkbar, nach der Fertigstellung des IFC-Bridge Standards einen entsprechenden Konverter relativ einfach und schnell zu implementieren. Darüber hinaus können Datenformate

⁴ JT ist ein neutrales 3D Datenformat, dass sich derzeit in der finalen Phase zur formalen ISO Standardisierung befindet

für die Kalkulation wie etwa CPIXML⁵-Dateien automatisch erzeugt werden.

Vorlagenmanagement. In die PDM-Umgebung können stets aktuelle Vorlagen, z.B. für Besprechungsprotokolle eingebunden werden. Metadaten wie Ersteller oder an einer Besprechung beteiligte Personen können dabei aus dem Dokument als Attribute entnommen und in die Metadaten der PDM-Datenbank überführt werden. Es war ein Wunsch der Industriepartner, diese Funktionalität abzubilden. Da diese Anforderung jedoch zur Standardfunktionalität von einigen PDM-Systemen gehört, wird in diesem Bericht nicht näher darauf eingegangen.

Anforderungsmanagement. Besonders in der frühen Planungsphase ist es wichtig, neben ersten Skizzen und Entwürfen alle Anforderungen strukturiert und objektorientiert zu verwalten. So hat der Planer stets alle Informationen zu seiner zu erstellenden Komponente zur Verfügung. Im PDM-System Procad PRO.FILE wurde daher ein Dokumenttyp „Anforderung“ angelegt, der mit den jeweils betroffenen Komponenten verknüpft werden kann. Eine wichtige Quelle für Anforderungen stellt das Leistungsverzeichnis (LV) dar. Typischerweise liegt dieses in Form einer D83-Datei (ohne Preise) [GAE-10] vor. Um Anforderungen aus dem LV bestimmten Bauelementen zuzuordnen, muss das LV in Einzelpositionen zerlegt werden. Hierfür existieren am Markt Programme, die jedoch mit einer Reihe zusätzlicher Funktionen ausgestattet und daher für diesen einfachen Anwendungsfall zu umfangreich sind. Daher wurde im Rahmen von ForBAU ein intuitives und schlankes Tool, der sogenannte „LV-Splitter“, entwickelt. Dieses Java Programm gliedert das LV in Einzelpositionen und speichert jede Position als Excel-Datei ab.

⁵ CPIXML ist ein auf XML basierendes Austauschformat zur Übertragung von CAD-Geometriedaten an die Softwarelösung RIB iTWO

Diese kann dann per Drag & Drop auf ein Bauelement im PDM-System gezogen und verknüpft werden.

Beton-Qualitätscontrolling. Bereits in den beiden ersten Projektjahren wurden Vorlagen für Dokumenttypen inklusive deren Attributierung für typische, in Bauprojekten anfallende Dokumente entwickelt und implementiert. Unterschiedliche Datensätze können so einfach und bequem verschlagwortet, mit Bauobjekten verknüpft und archiviert werden. Dem Hinweis der Gutachter folgend wurde die reine Archivierungsfunktion nun um ein echtes Controlling der importierten Informationen erweitert. Folgendes Szenario wurde dabei betrachtet: Für eine Komponente, z.B. die Kappe einer Straßenbrücke wird in der Planung die Beton-Festigkeitsklasse C25/30 fixiert. Diese Information wird im variablen Teilstamm (vgl. Abbildung 3.2-49) des PDM-Systems abgelegt. Wird nun in der Bauausführungsphase eine Prüfung des angelieferten Betons durchgeführt, so werden neben dem Herstellungsdatum und der -uhrzeit auch weitere Parameter wie z.B. das Ausbreitmaß und die Betontemperatur protokolliert. Ein weiterer wesentlicher Parameter ist die Festigkeitsklasse, die in jedem Fall mit den Planungswerten übereinstimmen sollte. Das PDM-System bietet die Möglichkeit, diese Informationen am Notebook zu dokumentieren und z.B. über UMTS direkt an die PDM-Plattform zu übertragen. Abbildung 3.2-48 zeigt einen Screenshot des hierfür entwickelten Dokumenttyps „QM: Frischbetonprüfung“. In diesem Beispiel stimmt die Festigkeitsklasse des Betons (C20/25) nicht mit den Vorgaben der Planung (C25/30) überein.

Speicherassistent: C:\Users\Infiodia\Desktop\beton.rtf
 Bitte geben Sie hier die Daten für das anzulegende Dokument ein. Falls Sie ein anderes Dokument als Vorlage benutzen wollen, oder ein vorhandenes Dokument verwenden wollen, wählen Sie stattdessen die entsprechende Option.

Dokument anlegen - Aktives Projekt: ForBAU_Demo Markus_000000010017 PROJ 10017 6 0.30.11.2009 07.12.2012 schorr1 / Gastrolle: (Berechtigung der Rolle 00 PDM Manager)

Neuanlage | Neu von Vorlage | Aus Liste wählen | Suchen | Projekt aktivieren | Projekt deaktivieren

Dokument erstellen

Dokumenttyp: QM: Frischbetonprüfung
 Beschreibung:

Frischbeton QM-Dokument erstellen

Lieferwerk: BLG München
 Lieferschein-Nr.: 101475/10
 Probekörper-Nr.: 147-269
 Herstellungsdatum: 12.10.10
 Herstellungszeitpunkt: 12.36 [hh:mm] Uhr

Festigkeitsklasse: C20/25
 Konsistenzklasse: F3

Temperatur Luft: 8 °C
 Temperatur Beton: 11 °C
 Ausbreitmaß: 35j cm

Anderes Dokument
 Anforderung
 Bauablauf
 Baugrundgutachten
 Beleg
 Besprechungsprotokoll
 CAD-Dokument
 CAD-NeutralfORMAT-Dokument
 Foto
 Geometrische Ist-Information
 Infodokument
 Kontakt
 Korrespondenz
 LV-Dokument
 Plan / Zeichnung
 QM: Allgemein- oder Abnahmedokument
 QM: Frischbetonprüfung
 QM: Mängelrassung im Baufortschritt
 QM: Prüfbericht nach DIN 1076
 QM: Schadensfassung nach DIN 1076
 Sprachmemo
 Vertrag
 Videoclip
 Vorlage
 Webcam
 Webseite

< Zurück | Fertigstellen | Abbrechen

Abbildung 3.2-48: PDM-Integration von qualitätsrelevanten Betoninformationen aus der Bauausführung

Um die Informationen bezüglich der Betonprüfung objektorientiert zu verwalten, müssen die Daten nach dem Import mit einer Komponente – in diesem Szenario mit dem Element Brücken-

kappe – verknüpft werden. In diesem Moment wird über einen sogenannten User Exit in der PDM-Umgebung geprüft, ob die Attribute im Feld Festigkeitsklasse sowohl für das importierte Dokument als auch für die Planvorgaben im festen Teilstamm übereinstimmen. Abbildung 3.2-49 zeigt, dass der Benutzer direkt nach der Verknüpfung von QM-Dokument und dem Element Brückenkappe eine Meldung erhält, dass der auf der Baustelle eingebaute Beton nicht den Vorgaben der Planung entspricht.

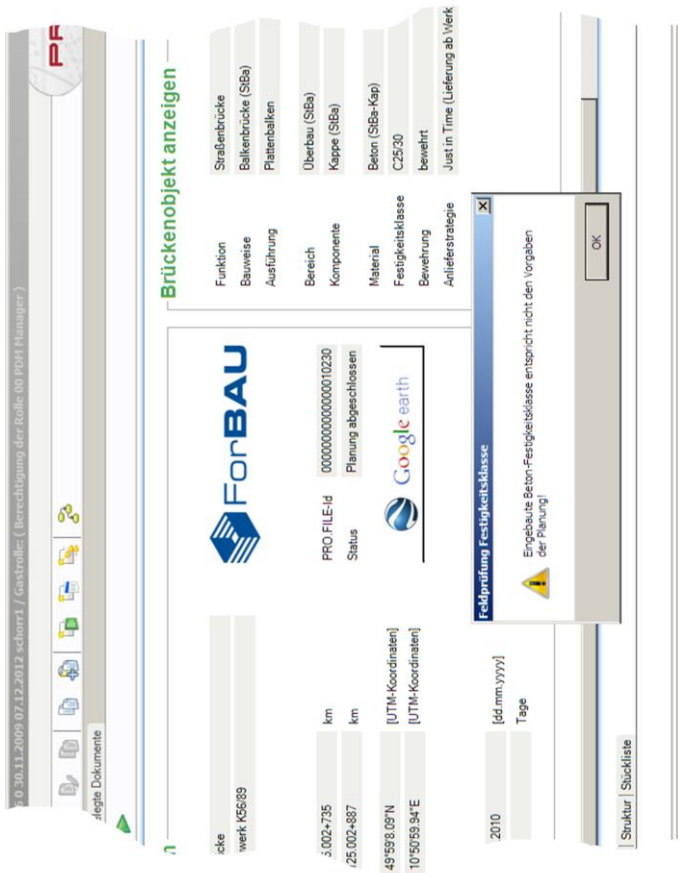


Abbildung 3.2-49: Abgleich von QM-Informationen mit den Planungsdaten

Zudem wird vom PDM-System eine Email an den Projektbeteiligten versendet, der im entsprechenden Bauabschnitt die Rolle des „Bauüberwachers“ inne hat. Darüber hinaus wird der gesamte Vorgang lückenlos im System dokumentiert. Das Szenario wurde so umgesetzt, dass das Qualitätscontrolling nicht nur für Brückenkappen, sondern für alle Bauelemente aus Beton analog funktioniert.

Mobile Bau- und Lifecycle-Datenerfassung. Im Bereich der mobilen Datenerfassung wurde bereits im vergangenen Zwischenbericht [FOR-09], S. 182) eine Lösung vorgestellt, den Bauzustand mit Hilfe der RFID⁶-Technologie und einem Mobiltelefon aufzunehmen und diesen zusammen mit weiteren Informationen, wie z.B. Fotos an die PDM-Umgebung zu übermitteln. Dieser erste Demonstrator weist jedoch noch folgende Schwachstellen auf:

- die mobile Software ist lediglich auf einem Nokia 6112 Mobiltelefon lauffähig
- die Auslesereichweite des RFID-Transponders beträgt lediglich 5cm

Diese Schwachstellen wurden im Rahmen einer Neukonzipierung beseitigt. Die mobile Baufortschrittskontrolle erfolgt nun mit Hilfe eines robusten, RFID-fähigen PDAs⁷, der vom Polier oder Bauleiter auch als Telefon benutzt werden kann. Aufgrund der Verwendung eines höherfrequenten RFID-Systems konnte die Auslesereichweite stark erhöht werden. Die Datenaufnahme erfolgt mit einer Software des norwegischen Unternehmens e-pocket Solutions auf Basis von Windows Mobile und ist somit für unterschiedlichste Geräte nutzbar. (siehe auch Abschnitte 3.4.3.1 und 3.4.3.2).

Auf der Grundlage dieses verbesserten Demonstrators zur Baufortschrittskontrolle wurde das Konzept um den Mobile Lifecycle

⁶ radio-frequency identification

⁷ Personal Digital Assistant

Manager (MLM) erweitert. Der MLM unterstützt die Wartung von Brückenbauwerken nach DIN 1076 durch eine mobile Software an einem Handheld. Eine detaillierte Beschreibung der Funktionalität sowie der Gestaltung der Softwareoberflächen am Handheld sind in Abschnitt 3.4.3.2 dargestellt.

Wichtig für die PDM-Anbindung ist die Übertragung der Informationen vom Handheld und deren Verknüpfung mit dem jeweils betroffenen Bauelement. Nimmt der Bauleiter oder der Polier Daten auf der Baustelle auf, so werden diese zunächst an einen zentralen Serverrechner gesendet. Befindet sich der Nutzer in einem Funkloch, so werden die Daten zum nächstmöglichen Zeitpunkt übertragen. Die Server-Software zum Empfang der Daten stammt dabei ebenso wie die Handheld-Applikation vom norwegischen Softwarehaus epocket. Nach dem Datenempfang am epocket-Server wird eine XML-Datei erzeugt, die alle am Handheld eingegebenen Informationen enthält. Diese wird nun an den PDM-Server übergeben. Dort überwacht ein Dienst den Eingang von neuen XML-Dateien. Wird ein neuer Datensatz übermittelt, so wird dieser analysiert und die Informationen entsprechend des Importschemas in Abbildung 3.2-50 an das PDM-System übertragen.

Integration der XML-Daten für die Bauwerksprüfung nach DIN1076 und die entsprechende Schadenserfassung in das PDM System

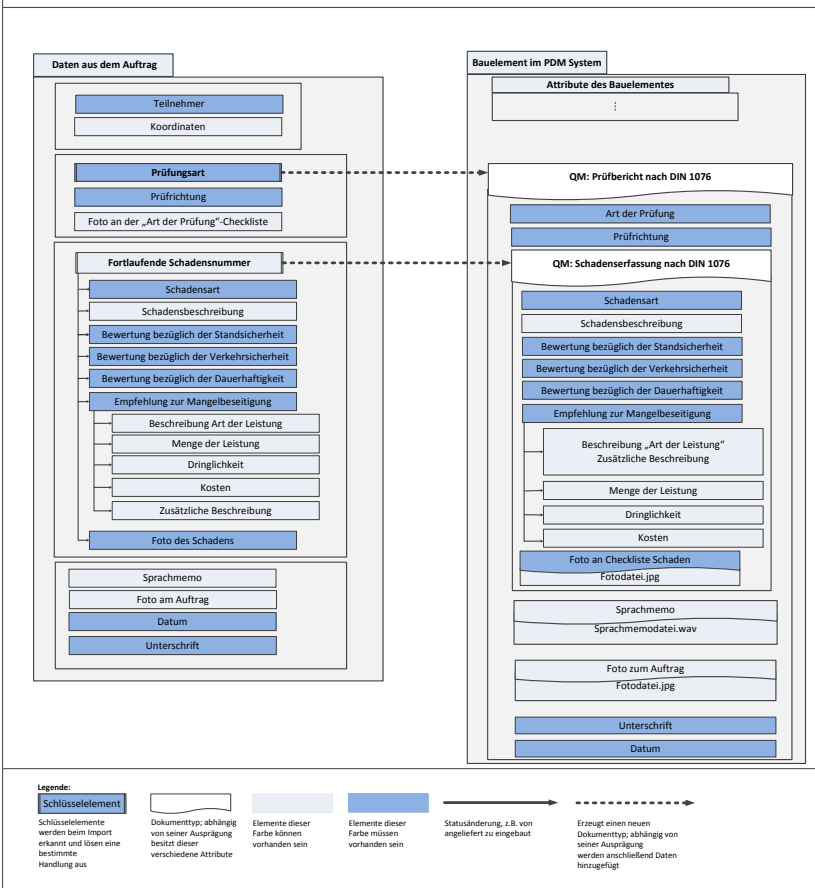
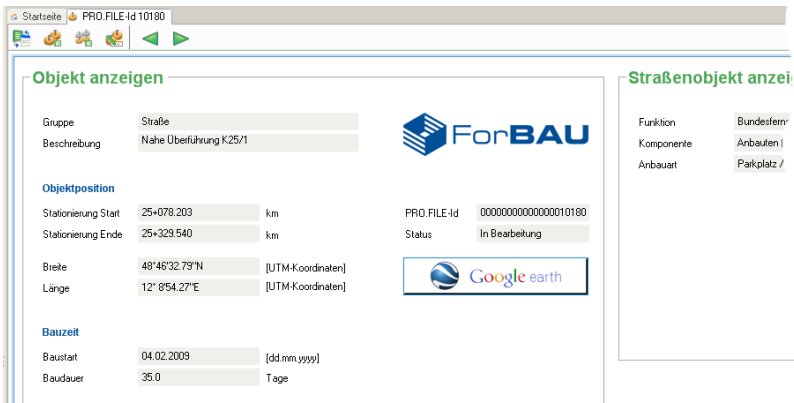


Abbildung 3.2-50: Mobile Lifecycle Manager: Importschema für die XML-Daten aus epocket Handyman

GIS-Integration. Im Gegensatz zu Hochbauprojekten sind Infrastrukturmaßnahmen äußerst weitläufig. Selbst einzelne Bauabschnitte sind oft mehrere Kilometer lang. Die Gutachter des Forschungsverbundes ForBAU wiesen daher darauf hin, dass es sinnvoll sei, allen Objekten eine Verortung anzufügen. Dieser

Hinweis wurde aufgenommen und eine Schnittstelle des PDM-Systems Procad PRO.FILE zum Geoinformationssystem Google Earth entwickelt. Google Earth wurde ausgewählt, da das System frei verfügbar ist. Konzeptionell wurde jedoch darauf geachtet, die Schnittstelle so zu gestalten, dass auch andere Systeme wie beispielsweise Intergraph GeoMedia angebunden werden können. Die Funktionsweise der Schnittstelle gestaltet sich wie folgt: Beim Import von 3D-Modelldaten wird stets ein neues PDM-Objekt erzeugt. Auf der entsprechenden Maske wird nun zusätzlich zu weiteren Informationen auch der Längen- und Breitengrad des Objektes in UTM-Koordinaten⁸ abgefragt. Diese Informationen werden in der Datenbank abgelegt. Möchte nun ein Projektbeteiligter die Position eines Bauelementes auf der Google Earth-Karte ansehen, so genügt ein Klick auf einen Button, der in die PDM-Umgebung via C#-Programmierschnittstelle implementiert wurde.



The screenshot shows a web-based interface for Procad PRO.FILE. The browser address bar displays 'Startseite PRO.FILE-Id 10180'. The main content area is divided into several sections:

- Objekt anzeigen**: Contains fields for 'Gruppe' (Straße), 'Beschreibung' (Nahe Überführung K.25/1), 'Objektposition' (Stationierung Start/Ende, Breite, Länge), and 'Bauzeit' (Baustart, Baudauer).
- Logo**: The ForBAU logo is prominently displayed.
- PRO.FILE-Id**: 00000000000000010180
- Status**: In Bearbeitung
- Google earth**: A button with the Google Earth logo for integration.
- Straßenobjekt anzeigen**: A sidebar with fields for 'Funktion' (Bundesfern), 'Komponente' (Anbauten I), and 'Anbauart' (Parkplatz /).

Abbildung 3.2-51: Umsetzung der Google Earth-Integration in Procad PRO.FILE

⁸ Universal Transverse Mercator Koordinaten

Umgekehrt wurden alle Placemarks⁹ in Google Earth, wie z.B. ein Parkplatz entlang einer Trassenbaustelle oder der Überbau einer Brücke, mit einem Link versehen. Dieser öffnet das PDM-System direkt aus Google Earth und stellt dem Anwender alle aktuellen Informationen und Dokumente über das Objekt zur Verfügung, sofern der Nutzer über ausreichende Berechtigungen verfügt.

Die im Rahmen des ForBAU-Projekts erzielten Ergebnisse im Bereich Produktdatenmanagement für die Bauindustrie werden im Frühjahr 2011 in Form einer Studie veröffentlicht.

⁹ deutsch: Ortsmarken

3.2.4 Überarbeitete Arbeits- und Zeitpläne

	Zeitplan Prof. Rank (TP 2)												Personal- einsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK
	Beteiligung in den AP I, IV & V												
	2008			2009			2010						
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP I-2		■											0,5
◆		◆											
AP I-4		■											2
AP I-5		■											3
◆				◆									
AP I-6		■											1
◆						◆							
AP I-7						■							0,5
AP I-8										■			1
AP IV		■				■				■			15
AP V												■	1
Summe Mannmonate ohne AP IV (entsprechend Antragsstellung)												9	
Summe Mannmonate												24	



□ Arbeitsplan Antragsstellung ■ Arbeitsplan aktuell

	Zeitplan Prof. Günthner (TP 2)													Personal- einsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK
	Beteiligung in den AP I, III, IV & V													
	2008			2009			2010							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP I-1														4
AP I-2														1
◆														
AP I-3														20
AP I-4														8
AP I-5														12
◆														
AP I-6														8
◆														
AP I-7														4
AP I-8														7
AP III-2														7
AP IV														
AP V														1
														72



Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell



		Zeitplan Prof. Euringer (TP 2)												Personal- einsatz Mannmonate
		Beteiligung in den AP I, III & V												
		2008				2009				2010				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	TVL 13 excl. Stud. HK
AP I-2	Definition notwendiger Ein- und Ausgangsparametern													1
AP I-4	Schnittstellenentwicklung für Datenaustausch mit Bauezeitenplan													2
AP I-5	Visualisierung													5
◆	Meilenstein: Koppelung Bauezeitenplan				◆									
AP I-6	Schnittstelle zu CAD-													2
◆	Meilenstein: Koppelung CAD							◆						
AP I-7	Modellvalidierung													1
AP III-2	Baumaschinenüberwachung													
AP V	Abschlussbericht													1
Summe Mannmonate													12	

Arbeitsplan Antragsstellung Arbeitsplan aktuell

	Zeitplan Prof. Hartmann (TP 2)													Personal- einsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK
	Beteiligung in den AP II & V													
	2008			2009			2010							
	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04		
AP II-1	Fixierung des Umfangs													1
◆	Meilenstein			◆										
AP II-2	Definition der Kennzahlen													0,5
AP II-3	Hinterlegen der Prozesse mit Kostenparametern													0,5
AP II-4	Plausibilitätscheck "offline"													0,5
AP II-5	Verknüpfung Kosten - Prozesse													0,5
◆	Meilenstein						◆							
AP II-6	Verknüpfung Prozesskostenrechnung - Simulationstool													1
◆	Meilenstein								◆					
AP II-8	Algorithmus stichtagsbezogene Parametervalidierung													1
AP II-9	Integration der Kosten in die virtuelle Baustelle													0,5
AP II-10	Schnittstelle zur Dateneingabe - Stichtagsabgleich													0,5
AP II-11	Abbildung der Parametervalidierung													0,5
AP II-12	Plausibilitätscheck "online"													0,5
AP II-13	Benchmarking													1
AP V	Abschlussbericht													1
														9
														Summe Mannmonate

Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell



		Zeitplan Prof. Hirzinger (TP 2)												Personal- einsatz Mannmonate
		Beteiligung in den AP III & V												
		2008				2009				2010				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP III-1.1	Strategieentwicklung Einsatz Airborne/Terrestisch													2
AP III-1.2 (a)	Entwicklung autonomer, kamerabestückter Quadcopter mit Lowcost-Navigation und entsprechenden Prozessierungs-algorithmen zur automatischen 3D-Modellierung der Baustelle (Ziel: permanentes 3D-Update)													15
AP III-1.3 (a)	Weiterentwicklung der begonnen Luftschifftechnologie zu einem autonom 3D-modellierendes System mit vergleichsweise hoher Tragkraft (z.B. 20kg, d.h. Laserscanning nicht ausgeschlossen)													15
AP III-1.4 (a)	Verifikation und Auswertung an einer ausgesuchten Baustelle													4
AP V	Abschlussbericht													
Summe Mannmonate													36	

Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell

	Zeitplan Prof. Stockbauer (TP 2)													Personal- einsatz Mannmonate
	Beteiligung in den AP III & V													
	2008			2009				2010				TVL T3 excl. Stud. HK		
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP III-1.1														1
AP III-1.2 (b)														3
AP III-1.3 (b)														2
AP III-1.4 (b)														2
AP III-1.5														1
AP V														
														9
	Summe Mannmonate													

Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell



Zeitplan Prof. Vogt (TP 2)													Personal- einsatz	
Beteiligung in den AP III & V														
	2008				2009				2010				Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK	
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP III-3.1 Baubegleitendes Qualitätsmanagement														5
AP III-3.2 (Geotechnischer) Bestandsplan														4
AP V Abschlussbericht														
Summe Mannmonate													9	



Arbeitsplan Antragsstellung



Arbeitsplan aktuell

3.2.5 Kooperationen

3.2.5.1 Zusammenarbeit mit TP1

Die in BAU-IT entwickelten parametrischen 3D-Modelle werden im PDM-System zentral verwaltet und mit Prozesswissen angereichert. Hier ist aufgrund der engen Verzahnung eine Zusammenarbeit unabdingbar. Gleichzeitig liefern die digitalen Modelle in Zusammenspiel mit den in TP1 entwickelten Tools Integrator und Preparator wichtige Eingangsgrößen für die Ablaufsimulation. Im Bereich der baubegleitenden Vermessung dienen die 3D-Soll-Modelle und initiale Vermessungsdaten aus TP1 dem Soll-Ist-Abgleich als Basis.

3.2.5.2 Zusammenarbeit mit TP3

Kooperationen zum Teilprojekt BAU-LOG sind v.a. im Bereich der Anlieferstrategien zu sehen. Diese werden in TP2 im Rahmen der Ablaufsimulation umgesetzt. Gleiches gilt für die Baustellen-einrichtung – auch diese beeinflusst die Abläufe auf der Baustelle maßgeblich und muss daher in die Simulation integriert werden. Eine weitere Zusammenarbeit war bei der Integration der Maschinendatenbank EIS und dem Turmdrehkraneinsatzplaner TEP nötig, die bereits im ersten Projektjahr durchgeführt wurde. Darüber hinaus wurde definiert, welche Bauelement-Daten aus der PDM-Umgebung an ein Baustellenwirtschaftssystem (BWS) übergeben werden müssen, um Bedarfsermittlungen und damit die Steuerung von Anlieferungen zu optimieren.

3.2.5.3 Zusammenarbeit mit TP4

Im Teilprojekt BAU-IDENT werden die Ist-Daten erzeugt, die für das Controlling in TP2 maßgebend sind. Eine besonders enge Zusammenarbeit besteht in der mobilen Baudatenerfassung und im Wartungsmanagement von Brückenbauwerken. Hier können Informationen mit Hilfe der RFID-Technologie auf der Baustelle erfasst und direkt an das PDM-System weitergeleitet werden.

3.2.6 Literatur

- [ACE-03] Acerplan Planungsgesellschaft mbH; Anwaltskanzlei Dr. Handschumacher & Merbecks; FIDES DV-Partner; OBERMEYER PLANEN+BERATEN; Planungs- und Ingenieurbüro Jäger; Schmitt Stumpf Frühauf und Partner; Thomas Liebich Consulting; Im TU Dresden, L. f. C. B.: Integriertes Client-Server-System für das virtuelle Bauteam, 2003
- [AUT-10] AutoBauLog: Webseite; <http://www.autobaulog.de>; Aufruf am 03.12.2010
- [BAU-07] Bauer, H.: Baubetrieb; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007
- [BAU-10] BauVOGrid: Webseite; <http://www.bauvogrid.de/>; Aufruf am 01.12.2010
- [BEE-10] Beetz, J.; van Berlo, L.; Laat, R. de; van den Helm, P.: BIMSERVER.Org – An Open Source IFC Model Server, Proc. of the CIB W78 2010 - 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry, Kairo, Ägypten, 2010
- [BUI-07] buildingSMART: IFC-Bridge v2r7 draft; http://www.iai-tech.org/groups/msg-members/projects/IFC-BRIDGE-V2-Data-Model-R7-draft.pdf/at_download/file; Aufruf am 02.12.2010
- [DON-10] Doneus, M.: Analysis of full-waveform ALS data by simultaneously acquired TLS data Remote Sensing and Spatial Information Sciences; In: Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII, Part 7B (2010), S. 193–198

-
- [FLE-10] Flegl, G.: Versteckte Sehfunktionsdefizite, Sachsenheim, Optik Flegl, 2010
- [FOR-08] ForBAU: Zwischenbericht des Forschungsverbundes "Virtuelle Baustelle", 2008
- [FOR-09] ForBAU: Zwischenbericht des Forschungsverbundes "Virtuelle Baustelle", 2009
- [GAE-10] GAEB: Datenaustausch XML; <http://www.gaeb.de/produkte505.php>; Aufruf am 01.12.2010
- [GIR-10] Girmscheid, G.: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse; Springer; vdf, Berlin, Heidelberg, Dordrecht, Zürich, 2010
- [GOL-09] Golparvar-Fard, M.; Peña-Mora, F.; Gutsell, J. M.: D4AR – A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication, in ITcon Vol. 14, 2009, unter: <http://www.itcon.org/2009/13>; In: ITcon Vol. 14, 2009
- [GÜN-08] Günthner, W. A.; Kessler, S.; Frenz, T.; Peters, B.; Walther, K.: Einsatz einer Baumaschinendatenbank (EIS) bei der Bayerischen BauAkademie; In: Tiefbau, Jahrgang 52 (2008)12, S. 736–738
- [HIN-92] Hintze, D. G.: Einfluss der Witterung auf die Bodenfestigkeit als Kriterium der Geländebefahrbarkeit, Hamburg, 1992
- [HOR-10] Hornung, P.; Hilbert, F.; Katranuschkov, P.; Öhring, P.: Konzeption des BauVOGrid-Portals, 2010
-

- [INP-10] InPro: Webseite; <http://www.inpro-project.eu>;
Aufruf am 01.12.2010
- [JI-08] Ji, Y.; Lukas, K.; Obergriesser, M.; Borrmann, A.:
Entwicklung integrierter 3D-
Trassenproduktmodelle für die
Bauablaufsimulation; In: Tagungsband des 20.
Forum Bauinformatik, Dresden, 2008
- [KAM-10] Kaminski, I.: Potenziale des Building Information
Modeling im Infrastrukturprojekt, Dissertation,
Institut für Stadtentwicklung und Bauwirtschaft,
Universität Leipzig, Leipzig, 2010
- [KHE-10] Khemlani, L.: Revit's New Server and Conceptual
Energy Analysis Capabilities;
http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2010/RevitServer_CEA.html; Aufruf am 03.12.2010
- [LE-10] Le, H. H.; Bargstädt, H.-J.: Simulation von
Witterungsbedingungen auf die Bauausführung;
In: Integrationsaspekte der Simulation: Technik,
Organisation und Personal, Fachtagung
Simulation in Produktion und Logistik, Karlsruhe,
2010
- [LIE-03] Liebich, T.; Katranuschkov, P.; Weise, M.: iCSS -
Verifikation des Gesamtsystems, München, 2003
- [MAR-10] Marx, A.; König, M.: Simulation von Bauprozessen
unter Berücksichtigung zeitvarianter räumlicher
Restriktionen; In: Integrationsaspekte der
Simulation: Technik, Organisation und Personal,
Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik,
Karlsruhe, 2010
- [MEF-10] mefisto: Webseite; <http://www.mefisto-bau.de/objective>; Aufruf am 03.12.2010

- [MET-10] Meteotest: METEONORM 6.1;
http://www.meteonorm.com/media/pdf/mn6_prodinfo.pdf; Aufruf am 14.12.2010
- [MIC-04] Michalewicz, Z.; Fogel, D. B.: How to solve it: modern heuristics; Springer, Berlin [u.a.], 2004
- [ONU-10] Onuma: Onuma Model Server;
<http://www.onuma.com/products/BimDataApi.php>;
Aufruf am 01.12.2010
- [SCH-10a] Schapke, S. E.; Katranuschkov, P.; Scherer, R.: Towards Ontology-Based Management of Distributed Multi-Model Project Spaces, Proc. of the CIB W78 2010 - 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry, Kairo, Ägypten, 2010
- [SCH-10b] Scherer, R.; Schapke, S. E.: MEFISTO: Management - Führung - Information - Simulation im Bauwesen, TU Dresden, Dresden, 2010
- [SCH-10c] Schorr, M.; Borrmann, A.; Klaubert, C.; Ji, Y.; Günthner, W. A.; Rank, E.: A Product Lifecycle Management Approach for Civil Engineering Projects, Proc. of the CIB W78 2010 - 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry, Kairo, Ägypten, 2010
- [STE-10a] Stebner, K.: Orientierung von Schrägluftbildern aus UAV-Aufnahmen mit Amateurkameras., Masterarbeit, Beuth Hochschule für Technik, Berlin, 2010

-
- [STE-10b] Steinmetzger, R.: Ermittlung von Maschineneinsatzzeiten für ereignisorientierte Simulationsmodelle im Baubetriebswesen; In: Modellierung von Prozessen zur Fertigung von Unikaten, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, 2010
- [STE-10c] Stempfhuber, W.: Echtzeitdokumentation bei 3D-Baggeranwendungen, Beiträge zum 16. Internationalen Ingenieurvermessungskurs, Berlin, 2010
- [YOU-09] You S.-J. et al.: Building an Digital Model of an Earthwork Site for Autonomous Excavator Operation, 2009

3.3 BAU-LOG

- Projektleitung:** Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre
Insbesondere Logistik
Prof. Dr.-Ing. Evi Hartmann
Prof. Dr. Michael Krupp(ext.)
+49(0)911 / 580619545
michael.krupp@hs-augsburg.de
www.logistik.uni-erlangen.de
- Beteiligte Institute:** Lehrstuhl für
Fördertechnik Materialfluss Logistik, TUM
Zentrum für Geotechnik, TUM
- Mitarbeiter:** Dipl.-Kfm. Gerritt Höppner (bis 11/2010)
Dipl.-Ing. Tim Horenburg
Dipl.-Ing. Tobias Baumgärtel
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jörg Weidner
- Industriepartner:** baulogis GmbH, Bundesverband der
Deutschen Transportbetonindustrie e.V.,
sfirion AG, Bauer AG, Züblin AG, Max Bögl
GmbH & Co KG, Eberth Bau GmbH & Co
KG, Zapf GmbH, Saint Gobain Building
Distribution Deutschland; Bissantz &
Company GmbH, Computer Institut
Bamberg. Motorola Enterprises Mobility
Business, Bauvision BVM GmbH;

3.3.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Bauen heißt transportieren. Eine übergeordnete logistische Planung und Koordination dieser Materialbewegungen findet in der Baubranche bisher jedoch nur selten statt – anders in der stationären Industrie, die bereits in den 1980er Jahren die Bedeutung der Logistik zur ganzheitlichen Vernetzung und Synchronisation von Einzelprozessen zu einem durchgängigen Gesamtablauf erkannt hat. Dieser Ansatz erfordert jedoch eine frühzeitige Integration aller beteiligten Akteure, wobei deren informatorische Vernetzung eine entscheidende Rolle spielt. Denn nur mit hochwertigen, aktuellen Daten und Informationen lassen sich logistische Prozesse effektiv planen, steuern und kontrollieren.

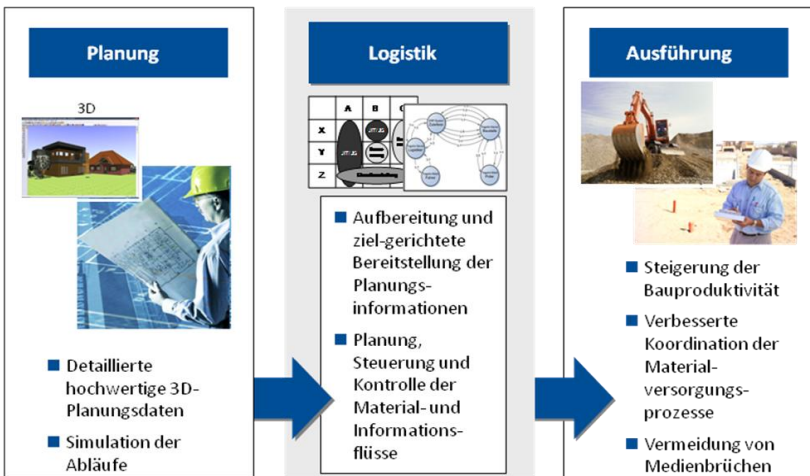


Abbildung 3.3-1: Einordnung und Ziele der Baulogistik

Ziel des TP3 Baulogistik ist die Verbesserung der Materialversorgung in der Ausführungsphase durch Adaption und Weiterentwicklung bekannter logistischer und betriebswirtschaftlicher Konzepte. Dabei steht die Integration von

Informations- und Materialfluss im Mittelpunkt (vgl. Abbildung 3.3-1).

Hierfür wurden Lösungen erarbeitet, welche die effiziente Planung, Steuerung und Kontrolle der unternehmensübergreifenden, bauleistungsorientierten Materialversorgungsprozesse ermöglichen. So wurde im letzten Projektjahr das Konzept der Materialklassifikation unter Berücksichtigung baustellenspezifischer Kriterien weiterentwickelt und in einem Tool umgesetzt, das die teilautomatisierte Ableitung von Anlieferstrategien ermöglicht (APII).

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung eines Baustellenwirtschaftssystems (APIII-BWS), in welchem Material- und Informationsflüsse unternehmensübergreifend abgebildet werden können. In diesem Rahmen wurden ebenfalls die beiden Themengebiete Logistik-Controlling (APIII-3) und Monitoring der Finanzflüsse (APIV) aufbereitet und konzeptionell weiterentwickelt.

Weiterhin wurde der Fokus des letzten Projektjahres, wie vom Gutachterkreis angeregt, verstärkt auf das Thema der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gerichtet. Um diese Fragestellung zielgerichtet erarbeiten zu können, wurde das Arbeitspaket „APVII Wirtschaftlichkeitsbetrachtung“ geschaffen.

Zudem wurde die Problematik der Versorgung von Tunnelbohrmaschinen an das TP3 herangetragen. Diese logistische Fragestellung wurde im Folgenden aufgenommen und im Rahmen des ebenfalls neu geschaffenen „APVIII Versorgungslogistik im Tunnelbau“ behandelt.

Diese Umstrukturierungen führten zu Verschiebungen im Arbeits- und Ressourcenplan, die in Kapitel 3.3.4. ausführlich erläutert werden.

3.3.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Aufmerksamkeit hat zu Beginn des Jahres das Innenstadt-Projekt „PalaisQuartier“ in Frankfurt/Main erregt. Für die *zentrale Koordination der Logistik* wurde der Baulogistikspezialist Bauserve beauftragt. Mittels Planung des Prozessablaufs in einem Logistikhandbuch und einer Online-Avisierung der Materiallieferungen konnten alle Transportvorgänge transparent gestaltet werden. Ergebnisse waren u.a. Kosteneinsparungen bei der Baustelleneinrichtung sowie eine Reduzierung von Transportaufwänden und Wartezeiten. Zudem konnte die Bauzeit um ca. 2 Monate verkürzt und die Entsorgungskosten gesenkt werden. Für diese Leistung ist die Bauserve GmbH mit dem Logistic Service Award ausgezeichnet worden [Bau-10]. Dieses Projekt verdeutlicht das Optimierungspotential in der Baulogistik, insbesondere hinsichtlich standardisierter Prozesse und durchgängigem Informationsfluss.

Im Kern aktueller wissenschaftlicher Aktivitäten steht nach wie vor die Nutzung von Technologien als unterstützende Werkzeuge für logistische Prozesse. Zu erwähnen ist hier die Publikation zum Forschungsprojekt „*Integriertes Wertschöpfungsmodell (InWeMo) mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft*“ [Hel-09]. Das Modell deckt den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks ab und soll zu einem unternehmensübergreifenden, lückenlosen und transparenten Informationsfluss zwischen den am Projekt Beteiligten führen. Dieser Ansatz geht in eine ähnliche Richtung wie das in APIII entwickelte Baustellenwirtschaftssystem. Während bei InWeMo die Schwerpunkte auf Architektur und Vernetzung der Beteiligten sowie der Lebenszyklusbetrachtung von Bauwerken liegen, steht im BWS die Optimierung der Baustellenversorgungsprozesse aus wirtschaftlicher Sicht (z.B. Materialbedarfsplanung, Ableitung optimaler Bestellmengen, Logistikcontrolling) im Vordergrund.

Der Einsatz *zentraler, baulogistischer Softwaresysteme* ist in der Praxis der Baubranche bisher noch kaum verbreitet. Eine

Ausnahme stellt bspw. der Bau des Terminals 5 am Londoner Flughafen Heathrow dar, bei dem ein Warehouse Management System (WMS) eingesetzt wurde, wodurch Läger eingespart und Materialien überwacht werden konnten [Log-05]. Während es sich allerdings bei WMS um geschlossene und unternehmensspezifische Softwarelösungen handelt, steht hinter dem BWS-Konzept der Gedanke der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit.

Fehlende *logistische Informationen* auf dem Lieferschein werden in [Rös-09] als eine Ursache für Ineffizienzen im Anlieferprozess gesehen. Ziel des Ansatzes ist die Definition eines standardisierten Lieferscheins mit baulegistischen Informationen. Der Ansatz ist für die praktische Umsetzung äußerst interessant, löst aber nicht ohne Weiteres die Problematik manueller Erfassungsaufwände, langsamer Informationsflüsse aufgrund von Medienbrüchen sowie unzureichender, weil deutlich zeitverzögerter, Möglichkeiten zum Controlling.

Bezüglich der Auswahl von Anlieferstrategien gibt es ein Konzept aus der Textil- und Bekleidungsindustrie [Schm-09]. In diesem Forschungsprojekt wurden verschiedene branchenspezifische Kennzahlen ermittelt und ein Prozessmodell für die Entscheidungsunterstützung erstellt. Die Erkenntnisse dieser Arbeiten wurden bei der Entwicklung des *EUS-Konzeptes* berücksichtigt.

Das *Monitoring von Finanzflüssen* entlang von Lieferketten oder Supply Chains ist ein hochaktuelles Thema. Insbesondere die Mobilisierung von Finanzmitteln und die Vorfinanzierung von bewegten Gütern in der Kette spielt eine zentrale Rolle. In der Literatur wird dies meist mit dem Begriff der Kapitalbindung diskutiert. Letzterer lässt sich nicht vom Thema des Bestandsmanagements trennen [Kla-06]. Aktuelles und viel beachtetes Werk, das auch mit dem Wissenschaftspreis der BVL bedacht wurde, ist die Dissertationsschrift von Gomm [Gom-05]. Die Bedeutung des Themas für die Baubranche wurde von [Mar-

05] aufgeworfen. In APIV wird diese Thematik konkretisiert und Konzepte aufgezeigt, wie die neue Informationslage für die Sicherung der Liquidität und die Verstetigung der Finanzflüsse genutzt werden kann.

3.3.3 Aktueller Stand und Ergebnisse

AP II Entwicklung eines Entscheidungs-Unterstützungs-Systems (EUS)

Die Thematik der Materialversorgung besitzt in der Baubranche bisher einen rein operativen Charakter. Die Entscheidung ob, wann und wie viel Material bestellt werden soll, wird zumeist Ad-Hoc gefällt. Die Folge sind häufige Materialengpässe trotz hoher Lagerbestände und dadurch Verzögerungen im Bauablauf. Auf Grund der heterogenen Materialien (von geringwertigen Standardprodukten bis zu komplexen Fertigteilen), unter Berücksichtigung der aktuell verbesserungswürdigen Datenlage und einer fehlenden Software-Unterstützung ist eine Überprüfung der Anlieferstrategie jedes einzelnen Materials im Vorfeld eines Bauprojekts zeitlich und wirtschaftlich kaum durchführbar.

In der stationären Industrie werden heterogene Materialien klassifiziert. Dabei werden diese nach bestimmten Kriterien (teil-) automatisiert strukturiert und daraus materialklassenspezifische Versorgungsstrategien abgeleitet [Wil-09]. Wesentlich ist dabei den Bestand an kapitalintensiven Produkten so niedrig wie möglich zu halten, aber zeitgleich die Versorgung von produktionskritischen Materialien sicherzustellen. Diese Ansätze wurden mit bau-typischen Aspekten ergänzt.

Das Ziel des APII war es den Erfahrungsschatz der stationären Industrie zu nutzen und die Methoden auf die Besonderheiten der Baubranche anzupassen sowie ein Tool zu entwickeln, das im Rahmen der Materialversorgungsplanung hilft, die richtige Anlieferstrategie zu wählen.

AP II-2 Definition von Attributen und deren Kennzahlen

Aus Gesprächen mit Bauunternehmern und Baustoffhändlern, diversen Vor-Ort-Terminen sowie nach Auswertung einschlägiger Literatur konnten, neben der bereits im letzten Jahr vorgestellten ABC-/XYZ-Klassifizierung, noch weitere Einflussgrößen auf die Wahl der Anlieferstrategie analysiert werden. Die identifizierten Einflussfaktoren wirken sich dabei entweder auf die „geplante Lagerhaltungszeit“ oder auf die „Komplexität und Planbarkeit der auszuführenden Bestellung“ aus.

Bei der Entscheidung zur Lagerhaltungsdauer sind die Faktoren **Warenwert** (Kapitalbindung) und **Volumen** (Lagerplatzbedarf) entscheidend. Zusätzlich müssen Risiken einer Lieferverzögerung berücksichtigt werden. Diese werden über die Faktoren **Verfügbarkeit** (Lieferzeit und Liefertreue) sowie die **Kritizität** [Dod-04] für den Bauprozess abgebildet.

Um der großen Spanne verschiedener Beschaffungsaufgaben gerecht zu werden und eine Gleichbehandlung aller Materialien zu vermeiden, wird zusätzlich die Komplexität der Beschaffungsaufgabe bewertet. Hier sind der **Verbrauchsverlauf** (Planbarkeit und Konstanz der Bedarfe) sowie der **Standardisierungsgrad** (Standardprodukt oder Spezialanfertigung) entscheidend. Für die Nutzung im EUS-Tool wurden die genannten Kriterien mit bekannten Materialklassifikationslogiken verknüpft und über gängige Kennzahlen quantitativ messbar gemacht (vgl. Abbildung 3.3-2).

Influssfaktor	Erfassungs-Methode	Kennzahl bzw. Messgröße
Beeinflussung der geplanten Lagerdauer		
Warenwert	ABC-Analyse	Einstandspreis x geplante Menge
Volumen	GMK-Analyse	Volumen
Liefertreue	UVW-Analyse	Anzahl pktl. Lieferungen / Anzahl Gesamtlieferungen

Lieferzeit	-	∅ Lieferzeit
Kritizität	kritischer Pfad Methode	Pufferzeit (des Bauvorgangs)
Einfluss auf die Komplexität der Bestellung		
Verbrauchsverlauf	XYZ-Analyse	Variationskoeffizient des geplanten Verbrauchs = Standardabweichung/Mittelwert
Standardteil	-	Keine - Dichotome Ausprägung (ja/nein)

Abbildung 3.3-2: Einflussfaktoren zur Wahl der Anlieferstrategie und zugehörige Kenngrößen

Das Zusammenspiel der Faktoren und deren Auswirkung auf die Wahl der Anlieferstrategie ist in Abbildung 3.3-3 dargestellt.

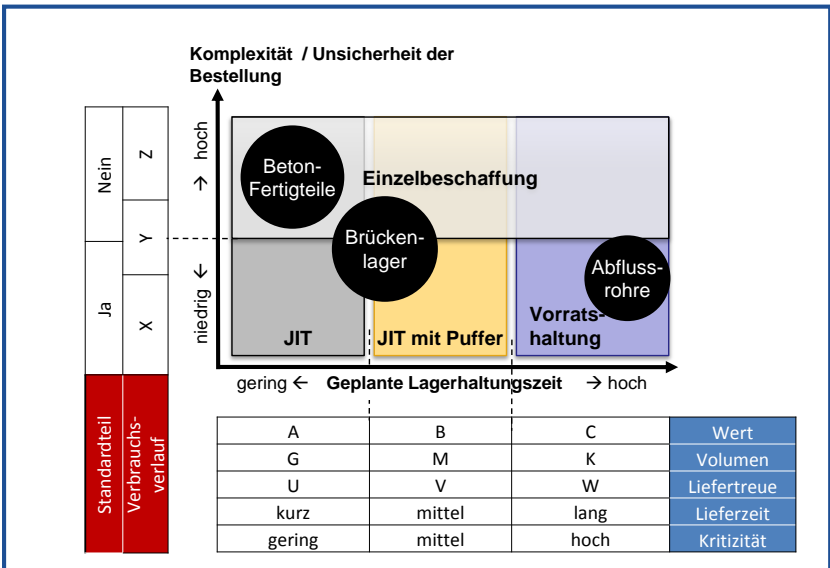


Abbildung 3.3-3: Ableitung der Anlieferstrategien aus den Einflussfaktoren

Dabei besitzen nicht alle Einflussfaktoren die gleiche Bedeutung für eine kostenoptimale und versorgungssichere Materialbereitstellung. Aufgrund von Platzverhältnissen ist für

Infrastrukturbaustellen im offenen Gelände bspw. der Warenwert bedeutender als das Volumen – anders als bei Baumaßnahmen im Bestand mit stark beschränkten Lagerflächen. Aus diesem Grund wurde eine Gewichtung der einzelnen Faktoren durchgeführt (vgl. Abbildung 3.3-5).

AP II-3 Schnittstelle zur Ablaufsimulation

Für die Entwicklung des Tools und dessen exemplarische Anwendung ist eine Schnittstelle zur Ablaufsimulation, die als Datenlieferant fungiert, unabdingbar. Hierfür wurde in APII-3 eine Lösung entwickelt und exemplarisch für eine Simulation von Brückenbauwerken umgesetzt.

Der Preparator (TP1) wurde entsprechend angepasst, so dass sowohl Liefermenge als auch Bedarfszeitpunkt automatisiert aus dem 3D-Modell entnommen und über ein xml-File zugänglich gemacht werden können. Bislang sind in der Ablaufsimulation jedoch keine validen Prozesskostensätze hinterlegt, so dass für eine vollautomatisierte Schnittstelle weiterer Forschungsaufwand nötig ist. Für die anfallenden Kosten wurde in der Simulation der Einkaufspreis zu Grunde gelegt und neben Materialmenge und Bedarfszeitpunkt innerhalb der xml-Datei gespeichert.

Abbildung 3.3-4 zeigt exemplarisch die Auswertung der Bedarfszeitpunkte (in Tagen) mittels Preparator, zu denen Material (hier in m³) bauprozessbedingt benötigt wird – aufgetragen über die entsprechende Menge (rot) sowie die über die Gesamtzeit kumulierte Liefermenge (grün).

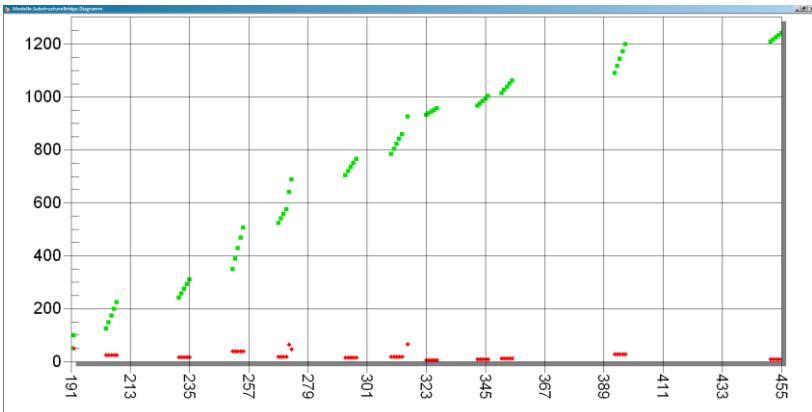


Abbildung 3.3-4: Materialverbrauch [m³] und Verbrauchszeitpunkte [d]

Damit können geplante Materialverbräuche und Verbrauchszeitpunkte über die gesamte Bauzeit an das Entscheidungsunterstützungstool übergeben werden. Zudem kann aus den Kosten und der Materialmenge das Mengen-Wert-Verhältnis errechnet werden. Die übrigen, in APII-2 definierten Kriterien können zum jetzigen Entwicklungsstand nicht aus der Simulationsumgebung entnommen werden, sondern werden vom Nutzer manuell ergänzt.

AP II-4 Umsetzung in einem Tool

Das ausgearbeitete EUS-Konzept wurde anschließend in einem Tool umgesetzt, das basierend auf der Auswertung der Kriterien eine Anlieferstrategie vorschlägt. Mögliche Anlieferstrategien wurden bereits 2009 erarbeitet und im letzten Zwischenbericht beschrieben:

- Just-in-Time
- Bevvorratung in einem Lager
- Einzelbeschaffung
- kurzzeitiges Lagern in einem Puffer

Die in APII-2 identifizierten Merkmale besitzen, wie erwähnt, unterschiedlichen Einfluss auf die Entscheidungsfindung. Dies wird im Tool durch eine Gewichtung berücksichtigt. Dazu wurde ein paarweiser Vergleich der Einzelkriterien durchgeführt. Die

Zuordnung von Gewichtung und geeigneter Anlieferstrategie zeigt Abbildung 3.3-3.

	Gewichtungsfaktor	Auswahl-Optionen	JIT/JIS	Puffer	Bevorratung	Einzelbeschaffung
Kritizität	10	Hoch	0	0,5	1	0
		Mittel	0,5	0,5	1	0,5
		Niedrig	1	1	0,5	1
Standardprodukt	1	nein	0	0	0	1
		ja	1	1	1	0,5
Größe	6	Groß	1	0,5	0	1
		Mittel	1	1	0,5	1
		klein	0,5	1	1	1
Lieferzeit	3	Sehr lang	0	0	1	0
		Mittel	0,5	0,5	1	0
		Kurz	0,5	1	0,5	0,5
		Sehr kurz	1	1	0	1
Liefertreue	3	Hoch	1	1	0	1
		Mittel	0,5	1	0,5	0,5
		gering	0	0,5	1	0
		Sehr gering	0	0	1	0

Abbildung 3.3-5: Zuordnung der Kriterien und deren Ausprägungen zu den Anlieferstrategien

Die Ergebnisse der kombinierten ABC-XYZ Analyse aus dem letzten Projektjahr wurde ebenso implementiert und sowohl das Mengen-Wert-Verhältnis als auch der Verbrauch mit Gewichtungsfaktoren versehen (jeweils Gewichtung 7 – in Abbildung 3.3-5 nicht ausgewiesen).

Die jeweilige Auswahl für ein Kriterium wird mit obiger Tabelle verglichen, der entsprechende Wert mit dem Gewichtungsfaktor multipliziert und die Summe über die einzelnen Lieferstrategien gebildet. Diejenige Strategie mit dem höchsten resultierenden Wert wird als die am besten geeignete vorgeschlagen.

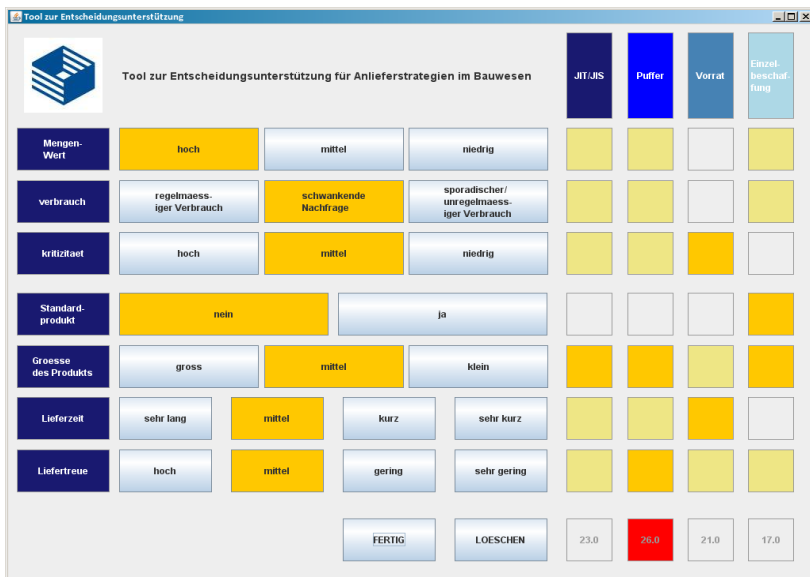


Abbildung 3.3-6: Screenshot – Entscheidungsunterstützungssystem für die sichere Versorgung der Baustelle

Ein an der Pilotbaustelle B15n durchgeführtes Planungsbeispiel zeigt Abbildung 3.3-6. Die Anlieferung eines Brückenlagers soll demnach zeitnah zum Verbau erfolgen und in einem Puffer zwischengelagert werden. Ist beispielsweise der Zwischenpuffer belegt, so kann man das Lager auch bedarfssynchron (JIT-nächst höhere Wertung) bereitstellen, sofern der Lieferant dies bewerkstelligen kann.

Die Zuweisung von Anlieferstrategien zu den Beschaffungsmaterialien beeinflusst auch deren Bestellzeitpunkt. Die im EUS-Tool erzeugten Informationen sind folglich die Basis zur automatisierten Ableitung von Bestellzeitpunkten in einem operativen IT-System. Wie ein solches, projektspezifisches System zur Beschaffung und Kontrolle von Materialflüssen gestaltet sein kann, wird nachfolgend erörtert.

AP III Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Baustellenwirtschaftssystems (BWS)

Wie einleitend bereits erwähnt, spielt die informatorische Verknüpfung der Akteure für die Optimierung der Baulogistik eine zentrale Rolle. Hierfür werden in der stationären Industrie sogenannte Enterprise Resource Planning Systeme (kurz ERP Systeme) eingesetzt. Kombiniert mit *unternehmensübergreifenden Funktionen* ermöglichen diese eine ganzheitliche Planung, Steuerung und Kontrolle der Materialversorgung. Eine Übersicht zu gängigen Lösungen findet sich in Markt-Studien des IML [IML-10] oder des BARC [BAR-10]. *DaimlerChrysler* implementierte bspw. eine unternehmensübergreifende Software mit Vorlieferanten mehrerer Wertschöpfungsstufen und konnte dadurch die Gesamtlogistikkosten der betreffenden Lieferbeziehungen um ca. 20 Prozent reduzieren [Cor-04].

Dieser Ansatz der ganzheitlichen Koordination der Supply Chain, wurde im AP III aufgegriffen und in die Baubranche transferiert. Fokussiert wurde eine unternehmensübergreifende Planung, Steuerung und Kontrolle der Versorgungsprozesse und Ressourcen bezogen auf eine Baustelle. Letzteres unterscheidet den Ansatz von den heute eingesetzten unternehmensbezogenen ERP- oder Materialwirtschafts-Systemen.

AP III-1 Definition der Ein- und Ausgangsdaten

Planungsdaten aus dem Baustellenwirtschaftssystem sollen zur Einsteuerung der Lieferanten und Subunternehmer genutzt werden. Für einen späteren Soll-Ist-Abgleich der Materiallogistik sind Daten aus verschiedenen Quellen nötig. Abbildung 3.3-7 zeigt die für das BWS notwendigen Ein- und Ausgangsinformationen.

Datenart	Daten	aus	für	
Eingang				
	Soll	Materialmenge	Simulation	
		Verbauzeitpunkt	Simulation	
		Verbauort	Simulation	
		Flächen	Simulation	
		Bauteilinformation	PDM/ Baustellen- informationsmodell	
		Anlieferstrategie	EUS	
	Ist	Materialmenge	Ident-Technologie	(Finanz-)Controlling
		Lieferort	Ident-Technologie	Lieferanten-Contr.
		Lieferzeitpunkt	Ident-Technologie	(Finanz-)Controlling
Verbrauchsort		PDM/ Ident-Technologie	(Finanz-)Controlling	
Verbrauchszeitpunkt		PDM/ Ident-Technologie	(Finanz-)Controlling	
Sonstige	Material und Lieferantenstammdaten	PDM/ Ident-Technologie		
Ausgang			Last-Meter-Baulogistik	
	Bestandsdaten		Betriebswirtschaftliche Auswertungen	
	Logistikdaten		Bestellzeitpunkt	
	Bestelldaten		Last-Meter-Baulogistik	

Abbildung 3.3-7: Definition der Ein- und Ausgangsdaten für ein Baustellenwirtschaftssystem

Die **Eingangsdaten** sind vorwiegend in Soll- und Ist-Daten zu unterteilen. Daneben sind projektunabhängige Material- und Lieferantenstammdaten abgelegt. Soll-Daten werden größtenteils analog zum EUS-Tool (APII-3) aus der Simulation an das BWS übergeben, am Bauteil orientierte Informationen und Materialspezifika müssen aus dem PDM-System übernommen werden. Eine entsprechende Anlieferstrategie liefert das EUS-Tool.

Die für einen Soll-Ist-Vergleich notwendigen aktuellen Ist-Daten werden durchgängig aus Ident-Technologien (RFID, Barcode, etc.) generiert und an das BWS übergeben. Die Bestände werden entsprechend der eingehenden Informationen aktualisiert. Somit

werden Wareneingänge und -ausgänge auf der Baustelle, beziehungsweise in vorab definierten Lagerorten, dokumentiert und Warenbewegungen durchgängig nachverfolgt.

Ausgangsdaten dienen vor allem der Leistungsüberprüfung (Verweildauern, Lagernutzung, etc.) und der Erzeugung von Lieferantenaufträgen. Dabei werden die Ist-Bestände sowie zukünftige Materialbedarfe und material- beziehungsweise vorgangsspezifische Anlieferstrategien berücksichtigt. Diese Informationen werden an die Last-Meter-Baulogistik-Lösung (APIII-6) übermittelt und ein GPS-gestützter Bestellprozess ausgeführt.

AP III-2 Anforderungsanalyse

Das Ziel des APs war es, Anforderungen zu definieren und diese mit am Markt verfügbaren Systemen abzugleichen. Im Rahmen der Softwareentwicklung spricht man hier von der Definitionsphase [Mer-05]. Wesentliche Aufgabe ist die Analyse der Anforderungen an ein System (Requirements-Engineering) mit dem Ziel die Anforderungen vollständig zu erfassen und zu definieren [Poh-08]. Partsch beschreibt Anforderungen als Aussagen über zu erfüllende Eigenschaften eines Systems, eines Prozesses bzw. der am Prozess beteiligten Akteure [Par-10]. Es wurden drei grundlegende Anforderungssichten für das BWS-Konzept abgeleitet:

- Software allgemein (System)
- Supply Chain Management Charakter (Prozesssicht)
- bauspezifischen Rahmenbedingungen (Abbildung der Akteure)

Unter allgemeinen Anforderungen an eine Software versteht man bspw. die Bedienerfreundlichkeit, einen angemessenen Funktionsumfang und eine einfache Wartung [Mer-05]. Die zweite Anforderungssicht berücksichtigt den unternehmensübergreifenden Charakter der Materialversorgungsprozesse, d.h. den Supply Chain

Management Charakter des System. Eine zentrale Forderung ist hier die Durchgängigkeit, sowohl bei der Integration verschiedener Softwarelösungen als auch bei der Verwaltung und Nutzung einer gemeinsamen Datenbasis, so dass eine ganzheitliche Planung und Steuerung möglich ist und eine angemessene Geschwindigkeit der informatischen Prozesse gewährleistet werden kann. Nach Krupp [Kru-01] ergeben sich hieraus folgende Anforderungen:

- Vorhalten und Verwalten einer Datenbasis
- Niedriger Pflegeaufwand
- Antwortzeitverhalten
- Stabilität
- Portabilität

Diese Kriterien müssen in der **Architektur** der BWS-Lösung berücksichtigt werden. Im Weiteren wurden die spezifischen Anforderungen der am Prozess beteiligten Akteure ermittelt. Dabei steht v.a. die **Datenintegration** im Mittelpunkt. Es muss sichergestellt werden, dass für alle Akteure jeweils relevante Daten in passender Form in das BWS übernommen und abgebildet werden können. Das Fehlen relevanter Daten oder Schwierigkeiten bei der Darstellung würden einen späteren Praxiseinsatz verhindern. Hierfür wurde analysiert welche Informationen die Akteure zur Planung, Steuerung und Kontrolle von Versorgungsprozessen benötigen. Die für das **Controlling** benötigten Informationen und Kennzahlen wurden im APIII-3 und APIV erarbeitet und mit in die Anforderungsliste aufgenommen. Abschließend wurden alle Kriterien in einem Katalog zusammengeführt und gewichtet. Dieser umfasst insgesamt 33 Kriterien, mit dem die am Markt verfügbaren ERP-Systeme evaluiert wurden. Abbildung 3.3-8 zeigt einen Auszug des Katalogs.

Anforderungen an ein unternehmensübergreifendes Baustellenwirtschaftssystem		
Datenintegration	Architektur	Controlling
Lieferantendaten	Offene Schnittstellen zur Anbindung anderer Systeme	Soll-Ist-Abgleiche
Verschiedene Projekträume	Personalisierte Oberflächen	
Materialstammdaten	Rechtmanagement	Kennzahlenermittlung
Soll- & Ist-Termine	Web-Client bzw. Netzwerkfähigkeit	
Soll- & Ist-Mengen	Übersichtlichkeit, Intuition	Abbildung der Finanzflüsse
Lagerorte	Einfache & schnelle Anpassung (projektbezogenes Customizing)	
Liefer- & Zusatzinformationen		
Bestell- & Mengenplanung		

Abbildung 3.3-8: Auszug aus Kriterienkatalog für die Evaluation des BWS

Für die Evaluation wurden verschiedene ERP-System-Anbieter mittels Online-Recherche ermittelt und deren Leistung in Telefoninterviews abgefragt. Das System, welches die Anforderungen am besten erfüllt, ist die Lösung Bauvision der BVM GmbH. Die BVM GmbH konnte als Praxispartner in das Projekt integriert werden.

AP III-3 Kennzahlendefinition

Controlling wird als „Beschaffung, Aufbereitung und Prüfung von Informationen [...] zur Steuerung der Betriebswirtschaft auf deren Ziel hin“ definiert [Rei-06]. Um jener Vorstellung eines zielorientierten Controlling-Systems als „Einrichtung der betrieblichen Informationswirtschaft“ [Mül-74] gerecht zu werden, bedient man sich einer Fülle an Rohdaten aus den einzelnen Geschäftsprozessen, die in einem prozessorientiert strukturierten Informationspool - dem BWS - gesammelt werden.

Grundlage für die Erarbeitung aussagekräftiger Informationen ist nach Weber [Web-97] die Definition einer konkreten Zielsetzung. Hierfür wurde die „Logistikeffizienz“ nach DIN 4400

herangezogen. Definiert ist die Effizienz logistischer Abläufe dabei durch eine hohe Versorgungssicherheit (Materialflussoptimierung) bei möglichst niedrigen Kosten. Auf Basis dieser Zielformulierung können nun relevante Kennzahlen abgeleitet werden, die die Steuerung und Kontrolle der Versorgungssicherheit und der Kosteneffizienz ermöglichen.

Aufgrund des unternehmensübergreifenden Charakters des BWS wird für die Ableitung und der logischen Gliederung der Kennzahlen der Total Landed Cost-Ansatz (TLC) verwendet [Jak-06].

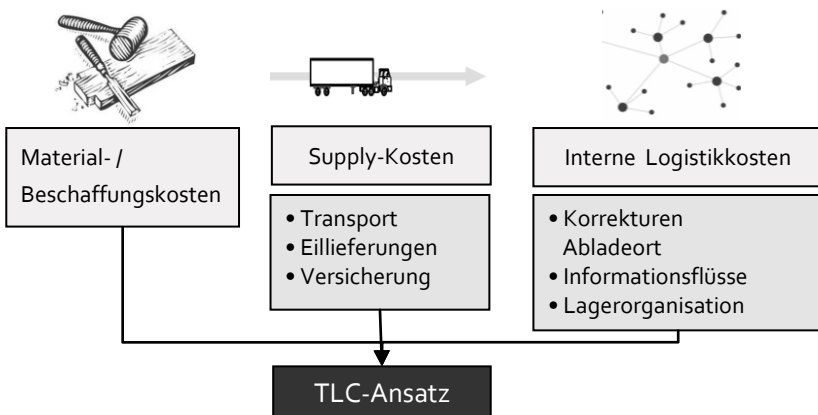


Abbildung 3.3-9: Ganzheitliche Kostenbetrachtung mit Hilfe des TLC-Ansatzes; in Anlehnung an [Jak-06]

Dieser Ansatz, dessen Ziel eine ganzheitliche, unternehmensübergreifende Kostenbetrachtung ist, ermöglicht Aussagen bzgl. der Logistikeffizienz eines Materialversorgungsprozesses. Eine TLC-Betrachtung umfasst neben den offensichtlichen Kosten auch Kosten, die oft vernachlässigt werden, weil sie nur schwer ermittelbar oder im Einzelfall sehr gering sind. Kosten die im Beschaffungsprozess

anfallen sowie interne Logistikkosten sind hier als Hauptpunkte zu nennen (Abbildung 3.3-9).

Werden mit Hilfe der TLC-Betrachtung Kosten ganzheitlich fokussiert, lassen sich aus dem „Informationspool Baustellenwirtschaftssystem“ kostenorientierte Kennzahlen ableiten. Unter Berücksichtigung der Kategorisierung nach Material- bzw. Beschaffungskosten, Supply-Kosten und internen Logistikkosten ergeben sich die in Abbildung 3.3-10 dargestellten Kennzahlen zur Unterstützung eines kosteneffizienten Bauvorhabens.

Kennzahlen „Material-/Beschaffungskosten“	
Mittlere Kosten pro Bestellposition	Misst die Kosten, die für den Hauptprozess „Einkauf“ anfallen.
Mittlere Durchlaufzeit Wareneingang	Misst den Zeitraum, der von der Entladung bis zur Bereitstellung der Ware am Verbauplatz vergeht.
Kennzahlen „Supply-Kosten“	
Mittlere Kosten des Transports pro Bestellauftrag	Misst die Kosten des Hauptprozesses „Transport zur Baustelle“ pro Bestellauftrag.
Mittlere Transportkosten pro Bestellposition	Misst die Transportkosten für eine einzelne Bestellposition.
Kennzahlen „Interne Logistikkosten“	
Mittlere Kosten pro Wareneingangsposition	Misst die Kosten, die für den Prozess „Wareneingang“ entstehen.
Mittlere Qualitätsprüfungskosten pro Wareneingangsposition	Misst die Kosten für die Teilprozesse „Qualität der Ware prüfen“ und „Prüfbeleg erstellen“.
Kapitalbindungskosten	Zeigen die Opportunitätskosten für in Beständen gebundenes Kapital

Abbildung 3.3-10: Kennzahlen zum Controlling der Kosteneffizienz

Ähnlich lässt sich die bisher angewandte Systematik auf den zweiten Faktor einer optimalen Logistikeffizienz, der Versorgungssicherheit, projizieren. Auch hier können relevante

Kennzahlen aus dem Baustellenwirtschaftssystem abgeleitet werden, die eine sichere Materialversorgung unter den Gesichtspunkten Materialbeschaffung, Supply Chain Management und Interne Logistik überwachen können. In Abbildung 3.3-11 sind ausgewählte Kennzahlen gelistet, die eine hohe Versorgungssicherheit im Bauwesen sicherstellen.

Kennzahlen „Material und Beschaffung“	
Mittlere Durchführungszeit	Maß für den bautechn. Aufwand. Lange Durchführungszeit verursacht lange Auftragsdurchlaufzeiten.
Kennzahlen „Supply Management“	
Liefertreue	Trifft Aussagen über die Termin-, Mengen- und Produktqualität der Warenlieferungen.
Servicegrad	Dient der Messung des Lieferservice und damit der Kundenzufriedenheit. Liefermengen und -termine sind Entscheidungskriterien.
Reklamationsquote	Misst die Qualität des Logistikprozesses anhand von Reklamationen.
Mittlere Transportzeit je Bestellauftrag	Maß für die Quantifizierung des zeitlichen Transportaufwands im Rahmen der Distribution der Ware an den Kunden.
Mittlere Planwiederbeschaffungszeit	Beschreibt die geplante Zeit zur Beschaffung der Ware.
Kennzahlen „Interne Logistik“	
Anteil Qualitätsprüfungen im Wareneingang	Beschreibt den Aufwand, der betrieben wird, um die den Qualitätsanforderungen entsprechenden Teile bereitzustellen.
Umschlagshäufigkeit	Erfasst die Güte des Bestandsmanagements im Untersuchungsobjekt.

Abbildung 3.3-11: Kennzahlen zum Controlling der Versorgungssicherheit

Auch bei Berücksichtigung einer klaren Zieldefinition und unter Zuhilfenahme entsprechender Kennzahlen lassen sich erfolgreiche Controlling-Maßnahmen nur dann umsetzen, wenn die entsprechenden Rohdaten frühzeitig (bestenfalls in Echtzeit)

verfügbar sind. Aus diesem Grund ist die Möglichkeit zur Verarbeitung von Auto-ID-Daten, wie z.B. durch die Nutzung von RFID, eine wichtige Anforderung für das BWS und wurde entsprechend in den Kriterienkatalog aufgenommen.

AP III-4 Konzept Baustellenwirtschaftssystem BWS

Das BWS dient dem Zweck, Materialströme unternehmensübergreifend planen, steuern und kontrollieren zu können. Dies erhöht die Transparenz der Materialbewegungen auf und im Zulauf der Baustelle. Damit wird die Datenbasis für eine effiziente Disposition der Materialien geschaffen. Verstapelungen und damit verbundene Suchzeiten können reduziert werden und die Beplanung von evtl. knappen Lagerflächen wird vereinfacht. Die Gesamtverwaltung obliegt bestenfalls dem Generalunternehmer beziehungsweise einem gesamtverantwortlichen Logistikdienstleister.

Entsprechend den Anforderungen aus AP III-2 haben mehrere Unternehmen (beziehungsweise Akteure) Zugriff auf das BWS. Daten werden von allen Beteiligten des Bauprojektes in dem System abgelegt und verarbeitet. Somit ist dieses in der Lage, Planungsdaten zu speichern, Warenströme abzubilden, zu überwachen und zu steuern sowie über einen Soll-Ist-Vergleich zu kontrollieren. Es werden Zugriffsrechte vergeben, die es den Beteiligten erlauben, lediglich die für sie relevanten Informationen einzusehen. Inhalte anderer Unternehmen bzw. des Auftraggebers bleiben verborgen, sofern diese nicht freigegeben werden.

Weitere Eigenschaften des Konzepts ergeben sich aus dem Unikats-Charakter eines Bauprojekts. Dieser erfordert das einfache Anlegen neuer Projektstrukturen als eigene Instanz des Grundprogramms. Zentrale Anforderung im Datenmanagement ist die Definition der Ein- und Ausgangsdaten, die in verschiedenen Systemen erzeugt und im BWS abgebildet werden. Die Verwendung des 3D-Produktmodells (vgl. TP2) in

der Planungsphase, kombiniert mit einer durchgängigen Artikelnummernlogik, vereinfacht die Implementierung einer solchen Datenbasis.

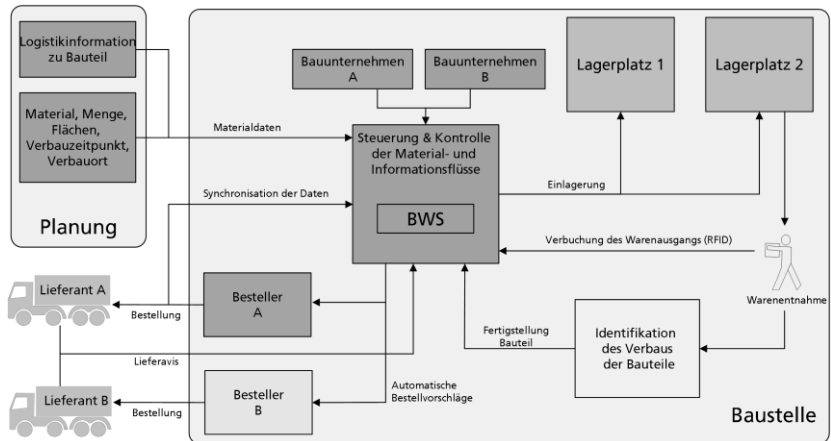


Abbildung 3.3-12: Prinzipskizze des unternehmensübergreifenden Baustellenwirtschaftssystems (BWS)

Das BWS soll die Informationen der Planungsphase für die Bauausführung nutzbar machen. Dazu werden notwendige materialspezifische und logistische Daten (z.B. Mengen aus dem Baustelleninformationsmodell oder Verbaupzeiten aus der Simulation) verknüpft und verarbeitet (vgl. Abbildung 3.3-12). Diese werden als Soll-Daten im BWS abgelegt. Im BWS werden auf Basis aller zur Verfügung stehenden Informationen logistisch sinnvolle Bestellungen festgelegt und an die Lieferanten weitergegeben. Dazu werden neben den Materialeigenschaften auch die Anlieferstrategien berücksichtigt, die sich aus dem EUS-Tool ergeben und für die Lagerhaltung typische Losgrößenberechnungen durchgeführt. Lieferungen werden vorweg avisiert und können im System entsprechend der gewünschten Belieferungsreihenfolge eingeplant werden. In Abhängigkeit der gewählten Liefer- bzw. Lagerhaltungsstrategie

wird den Materialien ein Lagerplatz in einem der Lager oder temporären Pufferlager zugewiesen. Daten, die heute in papierbasierter Form auf Lieferscheinen vorhanden sind, werden durch digitale Informationen mittels RFID ergänzt (vgl. Anbindung LMB; APIII-6). Dadurch besteht die Möglichkeit, Warenbewegungen durch festgelegte, RFID-gestützte Workflows automatisiert zu verbuchen. TP2 und TP4 geben zudem Statusänderungen des Bauwerks mittels mobiler Endgeräte an das PDM-System weiter. Über eine Schnittstelle zum PDM-System kann der Status eines Bauteils mitsamt den verwendeten Materialien entnommen und die korrespondierenden Materialien als verbraucht im BWS verbucht werden (APIII-5).

Mit dem BWS werden somit sämtliche Warenbewegungen transparent. Dies ermöglicht die Verfolgung der Warenbewegungen (Tracking), den Abgleich der Bewegungen mit Planungsdaten (Tracing und Soll-/IST-Vergleich) sowie die einfache Ermittlung von Kennzahlen und die Mobilisierung von Zahlungsströmen (APIV-1).

AP III-5 Schnittstelle Produktdatenmanagement PDM

Sowohl PDM-System als auch BWS sind mit offenen Schnittstellen versehen, über die Daten in neutralen Standardformaten ausgetauscht werden können. Initialisierend gilt es Daten aus dem Produktmodell in das BWS zu übertragen. Dazu werden sämtliche Material(stück)listen – verknüpft mit deren Verbrauchszeitpunkten – aus dem PDM-System an das BWS übergeben. Dazu wird ein xml-Format aus dem PDM exportiert, bearbeitet und in das BWS eingelesen. Damit stehen Soll-Daten zur Verfügung, die mit Ist-Daten während der Ausführungsphase abgeglichen werden um betriebswirtschaftliche Kennzahlen für die Materialbereitstellung zu ermitteln.

Hierfür wurde eine Schnittstelle für die in der Bauausführung an das PDM-System übergebenen Fortschrittsdaten definiert. Für

den Statusübergang „fertig gebaut – 165“ werden im PDM Events ausgelöst und notwendige Informationen, wie die Materialliste des Bauteils und die Verbauzeitpunkte, bereitgestellt.

Dieser Event-Trigger wird allerdings nur ausgeführt, sofern der Statuswechsel auf Bauteilebene auftritt (vgl. TP2 – Zwischenbericht 2009 S. 179). Der Statuswechsel auf Objektbeziehungsebene Projektebene bedingt eine vorherige Fertigstellung der untergeordneten Bauteile, so dass ein zusätzliches Update für einzelne Materialien unzweckmäßig ist.

Durch den Event-Trigger können Lagerausgänge im BWS zeitnah, d.h. nach Verbau, erfasst werden. Dieser erzeugt zu oben angesprochenen Statusübergängen eine xml-Datei und legt diese in einem festgelegten Verzeichnis auf dem zentralen Server ab. Eine Überwachungsfunktion meldet Änderungen am Verzeichnis und aktiviert die Schnittstelle zum BWS. Ein Datenaustausch findet somit nur zu Beginn – für die Ermittlung der Soll-Daten – und zu definierten Statusübergängen während der Bauausführung statt. Durch diese Schnittstelle können aus den Fortschrittsdaten die Lagerabgänge abgeleitet und an das BWS übergeben werden.

AP III-6 Umsetzung und Validierung

Das Ziel des Arbeitspaketes war die Entwicklung eines BWS-Demonstrators, der durch die Integration von RFID-Daten die Wareneingänge und -ausgänge sowie Materialbewegungen auf der Baustelle erfassen und dokumentieren kann. Die Arbeiten setzten auf den bereits entwickelten Last-Meter-Baulogistik Demonstrator auf, der um spezifische Funktionalitäten erweitert und an das System von Bauvision angeschlossen wurde.

Zu Beginn der Umsetzung wurden, im Rahmen eines Arbeitstreffens mit den beteiligten Unternehmen Silverstroke AG und BVM GmbH, notwendige Komponenten für ein solches System erarbeitet. Diese wurden von den Teilnehmern im Anschluss bezüglich ihrer Relevanz für das

Demonstrationsszenario bewertet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3.3-13 dargestellt.

Rangfolge der wichtigsten Komponenten des BWS und Voraussetzungen für dessen Umsetzung	Anzahl der Nennungen
1. Bestellvorgang aus ERP-System	9
2. Gemeinsame Datenbasis (intern/extern)	6
3. Bidirektionale Kommunikation: mobile Applikation – Back-End System	4
4. Implementierung eines Rechte- und Rollenkonzeptes	3
Mobile Erfassung und Kontrolle der Warenbewegungen auf der Baustelle	3
6. Prozessdefinition und Projektverwaltung	2
7. EDI / Fax / Mail – Kommunikation zur Einbindung von Partnern und Beteiligten	1

Abbildung 3.3-13: Komponenten zur Umsetzung des BWS-Konzeptes mit mobiler Datenerfassung

Demnach erachtet die Mehrzahl der Beteiligten die zielgerichtete Weitergabe von Bestellvorschlägen an das mobile Endgerät als wichtigste Komponente. Neuartig ist daran die Möglichkeit, die Informationen aus dem Back-Office real-time dort zur Verfügung zu stellen, wo sie benötigt werden. Konkret heißt das vor Ort: auf der Baustelle und zwar genau zur richtigen Zeit, um logistisch und betriebswirtschaftlich optimale Materialversorgungsprozesse anstoßen zu können. Die Bidirektionalität der Kommunikation (Pkt.3) ermöglicht zudem die Übergabe der auf der Baustelle erfassten Warenzugänge an das BWS.

Das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme und die Einordnung der Lösung in den Gesamtkontext der virtuellen Baustelle ist in Abbildung 3.3-14 dargestellt. Zentrale Elemente des Demonstrators sind die Übermittlung von Bestellvorschlägen auf das mobile Endgerät sowie die Übergabe der dort mittels RFID erfassten Warenbewegungen an das BWS.

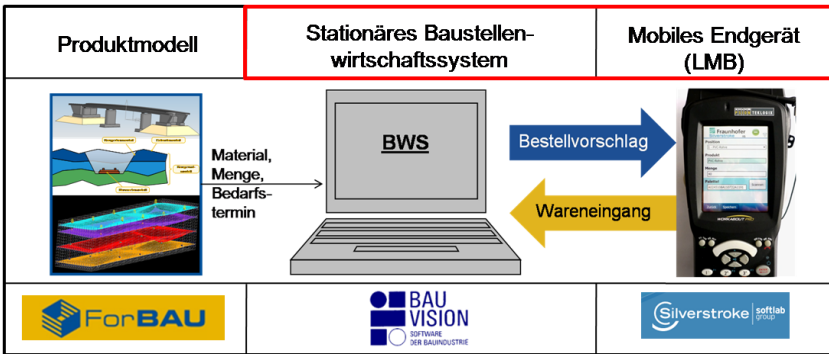


Abbildung 3.3-14: Umsetzung des BWS-Konzeptes mit mobiler Bestellung und Datenerfassung

Für den Datenaustausch wurde eine Webservice-Schnittstelle geschaffen. Diese ermöglicht die Interaktion zwischen dem mobilen Endgerät und dem stationären BWS mittels xml-basierter Nachrichten.

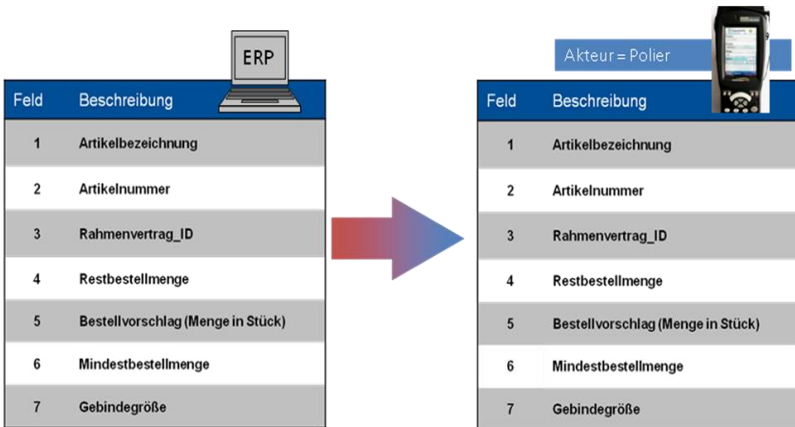


Abbildung 3.3-15: Relevante Informationen zur mobilen Materialbestellung mittels Last-Meter-Baulogistik

Zur fehlerfreien, durchgängigen Verwendung mussten für die Ausgestaltung der Schnittstelle die benötigten Informationen für

jeden einzelnen Prozessschritt detailliert analysiert und definiert werden. Hierfür wurde ein Daten-Konzept erarbeitet, das in einem zweiten Workshop zusammen mit den Praxispartnern entwickelt wurde. Abbildung 3.3-15 zeigt beispielhaft die benötigten Daten für den Prozessschritt „Übermittlung der Bestellinformationen auf das mobile Endgerät“.

Das Ergebnis ist die exemplarische Verknüpfung des LMB-Demonstrators mit der BWS-Lösung. Dabei werden Bestellvorschläge automatisch an das mobile Handgerät übertragen und die Wareneingänge im BWS verbucht.

AP IV Monitoring von Finanzflüssen

AP IV-1 Darstellung der Kapitalbindung in Beständen

Logistische Prozesse lassen sich, wie in Abbildung 3.3-16 dargestellt, als Kombination aus drei wesentlichen Flüssen betrachten.



Abbildung 3.3-16: Logistische Flüsse (nach [Kla-07])

Zunächst fließen Informationen in Form von Auftragsdaten und Bestellinformationen vom Kunden in Richtung Lieferant. Diese Informationen werden verarbeitet und mit der Auslieferung der bestellten Waren bzw. mit der Erbringung der Dienstleistung „beantwortet“. Parallel zur Abwicklung des Güterflusses werden Informationen zum Güterfluss bereitgestellt. So bieten Tracking und Tracing Systeme dem Kunden Informationen zum Weg und dem aktuellen Status der bestellten Güter. Die Transaktion wird durch einen Finanzfluss, also durch die Bezahlung der Güter und Dienstleistungen, abgeschlossen.

Ziel im APIV war es, ein Konzept zu erstellen, das durch Nutzung der neuen Informationslage eine nachhaltige und ökonomisch günstige Gestaltung der Güter und Finanzflüsse ermöglicht. Das Konzept dient als Grundlage für eine mögliche zukünftige Erweiterung der BWS Software. Genutzt werden aktuelle Informationen zur Materialbewegung, die z.B. über Ident-Technologien erfasst werden (vgl. Abbildung 3.3-7).

Wesentliche Problematik ist die Bindung von Werten, dem sogenannten „Working Capital“ oder Umlaufvermögen. Dieses Vermögen gliedert sich in Bestände, ausstehende Forderungen und liquide Mittel (vgl. Abbildung 3.3-18). Im Fokus der Logistik steht das Management der Bestände (vgl. APIV-2), aber auch der Mittelrückfluss.

Herausforderungen für das Bestandsmanagement bzw. die Lagerung von Waren wurden in anderen Teilprojekten und früheren Arbeiten bereits betrachtet [Web-07]. Optimiert wurden hier insbesondere Lagerabmessungen und deren Auswirkungen auf Prozessabläufe durch Simulation von Logistikprozessen. Das Monitoring von Finanzflüssen bezieht sich speziell auf die Bindung von Werten, also Kapitalbindung entlang der Supply Chain. Mit der Berücksichtigung der ABC-Analyse im EUS-Tool ist bereits eine Methode zu Reduzierung von gebundenem Kapital in das Projekt eingeflossen (vgl. APII).

Entlang der Lieferstufen einer Supply Chain agieren unterschiedliche, meist rechtlich unabhängige Unternehmen. Zwischen diesen bestehen Liefer- und Zahlungsbeziehungen. Güter und Finanzflüsse werden typischerweise entlang dieser Lieferstufen durch Gefahrübergänge unterbrochen. Diese kennzeichnen den rechtlichen Übergang von einem in das andere Unternehmen. Zwischen Rechnungsstellung und Zahlungseingang vergeht Zeit, d.h. der Lieferant gewährt dem Abnehmer einen sog. Lieferantenkredit. Die Länge des Kredits wird durch das Zahlungsziel bestimmt. Der Kredit besteht aus

dem Warenwert. Da dieser nicht verzinst wird stellt er eine besonders günstige Art der Finanzierung dar.

In Waren gebundenes Kapital stellt keine Kosten an sich dar, es kann aber in Kosten umgerechnet werden, wenn die Zinskosten für die Kapitalbeschaffung berechnet werden. Dabei wird der WACC (Weighted Average Cost of Capital) [Ezz-80], also ein fiktiver interner Zins ermittelt, der eine Kombination der Kosten der Kapitalbeschaffung am Markt und Kosten des Eigenkapitals darstellt. Der WACC wird dann zur Zinskostenberechnung herangezogen. Häufig wird - zur Vereinfachung - mit einem WACC von 10% gerechnet. In Abbildung 3.3-17 ist die Waren- und Kapitalbindung entlang einer Bau-Supply Chain beispielhaft abgebildet.

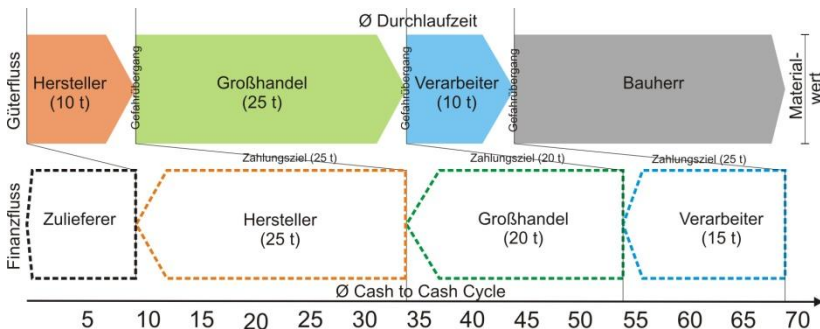


Abbildung 3.3-17: Kapitalbindung in einer SC (nach [Kla-06])

Skizziert wird der Durchfluss einer Menge X fiktiver Materialeinheiten. Zur Vereinfachung wurde die Wertschöpfung entlang der Kette vernachlässigt und damit der Materialwert als fix angenommen. Im oberen Bereich der Grafik sind die Warenbestände dargestellt. Je länger die durchschnittliche Durchlaufzeit, desto höher sind die Bestände in der jeweiligen Stufe. Die Fläche der Pfeile gibt also den in Waren gebundenen Kapitalwert wieder.

Im unteren Bereich sind zugehörige Finanzflüsse als „Cash to Cash Cycle“ abgebildet. Der „Cash to Cash Cycle“ gibt die Zeit von der Bezahlung einer Lieferung beim Lieferanten bis zum Zahlungseingang für die eigene Leistung durch den Kunden an. Die Fläche der gestrichelten Pfeile weist den Wert des gewährten Kredites des jeweiligen Akteurs aus.

Die beschriebenen Lieferantenkredite zählen zu den kurzfristigen Verbindlichkeiten. Die sogenannte „goldene Bilanzregel“ gibt an, dass Anlagevermögen durch langfristiges Kapital zu finanzieren ist, während das Umlaufvermögen durch kurzfristiges Kapital finanziert werden sollte (vgl. Abbildung 3.3-18).

Aktiva	Passiva
A. Anlagevermögen (z.B. Immobilien, Maschinen, Patente etc.)	A. Eigenkapital
<small>Goldene Bilanzregel</small> B. Umlaufvermögen	B. Fremdkapital
I. Vorräte (Bestände)	I. langfrist. Fremdkapital
II. Forderungen	II. kurzfristiges Fremdkapital
III. Liquide Mittel	II. a Verbindlichkeiten aus Lieferungen u. Leistungen
	II. b Kurzfristige Darlehn
Vermögen	Kapital

Abbildung 3.3-18: Umlaufvermögen in der Bilanz

Kurzfristige Darlehen sind eine sehr teure Finanzierungsart, Verbindlichkeiten aus Lieferungen und Leistungen hingegen sehr günstig. Für die Betrachtung der einzelnen Stufen in einer Supply Chain bedeutet dies, dass Unternehmen bestrebt sind die eigenen Bestände aber auch die eigenen Forderungen mit Verbindlichkeiten zu finanzieren. Mit Blick auf Abbildung 3.3-17 sind folgende Konstellationen möglich:

1. Zahlungsziel Lieferant = Zahlungsziel Kunden:
Vorräte/Bestände werden aus Eigenkapital finanziert
2. Zahlungsziel Lieferant > Zahlungsziel Kunden:

- Ein Teil der Vorräte/Bestände wird über Verbindlichkeiten/Lieferantenkredite fremdfinanziert
3. Zahlungsziel Lieferant < Zahlungsziel Kunden:
Ein Teil der Forderungen wird aus Eigenkapital finanziert

Fall 2 ist aus dem Konsumgüterbereich gut bekannt. Discounter haben meist gegenüber Ihren Lieferanten ein langes Zahlungsziel. Konsumenten bezahlen die Waren sofort im Markt. Durch die Geschwindigkeit mit der Waren verkauft werden, also durch die niedrige Durchlaufzeit ergibt sich folgendes finanzielles Konstrukt: Die Waren werden verkauft bevor die Zulieferer bezahlt werden müssen. Es entsteht ein Kapitalstock, den die Discounter nutzen können. Problematisch, insbesondere für die Baubranche, ist Fall 3. Letztlich gehen Unternehmen in dieser Situation in Vorleistung. Dies kann, wie hier betrachtet, im Bereich der Güterlieferung sein, aber ähnlich gilt dies auch für Dienstleistungen. Das Resultat können Liquiditätsengpässe und schlimmstenfalls Insolvenzen sein.

Aus globaler Sicht und mit Blick auf die nachhaltige Mobilisierung von Lieferketten muss also das Ziel sein, die Kapitalbindung zu reduzieren und Finanzflüsse zu mobilisieren. In diesem Zusammenhang sei aber auch angemerkt, dass lange Zahlungsziele und Verzögerung von Zahlungen auch große finanzielle Vorteile für Unternehmen mit sich bringen, d.h. die genannten Verbesserungsziele liegen nicht zwingend im Interesse aller beteiligten Unternehmen, stabilisieren potenziell aber die Branche.

Ansätze aus ForBAU schaffen eine Informationsbasis, die Grundlage für ein neues Management von Beständen und Finanzflüssen sein kann. Das Management von Beständen basiert auf der verbesserten Bedarfsprognose sowie aktuellen Daten zu Bestandssituationen entlang der Lieferkette. Die Identifikation und Erfassung der Güter bei jedem Gefahrübergang und in einem übergeordneten BWS (Tracking; vgl. APIII-6) liefert

Bestandsinformationen, die ein effizienteres Management ermöglichen. Aus Vergangenheits-Daten (Tracing) lassen sich Bedarfsverläufe ableiten, die eine Grundlage für Prognose-Verfahren bieten.

Eine automatisierte Identifikation der Güter kann genutzt werden um Durchlaufzeiten im Bereich der Gefahrübergänge zu reduzieren. Wareneingangskontrollen und Leistungsabnahmen verzögern hier die Durchlaufzeit. So entstehen Grauzonen und Verzögerungszeiten an Gefahrübergängen, die in Abbildung 3.3-19 verdeutlicht sind.

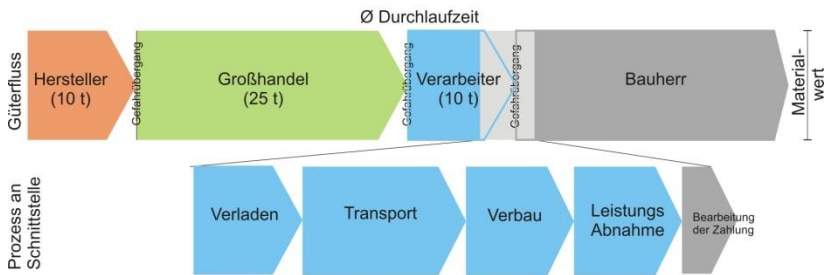


Abbildung 3.3-19: Grauzone Gefahrübergang (nach [Kla-06])

Der Einsatz neuer Identifikationstechnologien und darauf aufbauender Steuerungskonzepte ermöglicht eine scharfe Identifikation von Prozessschritten, mobilisiert so Zahlungsflüsse und führt zu einer Verkürzung der Durchlaufzeiten.

Nachstehend beschriebene, in ForBAU entwickelte Konzepte zur Integration des Managements von Finanzflüssen in das BWS berücksichtigen die beschriebenen Herausforderungen.

- Monitoring von Finanzflüssen
- Automatisierung von Zahlungen

Monitoring von Finanzflüssen:

Ziel ist die Sicherstellung der Liquidität aller beteiligten Unternehmen entlang einer Lieferkette. Ein Liquiditätsempass

kann zu Lieferengpässen führen und betrifft somit die gesamte Kette. Genutzt werden Kontobewegungen und Daten aus der automatischen Identifikation von Waren, aus welchen Güterbewegungen abgeleitet werden (vgl. Abbildung 3.3-7). Bei Rahmenverhandlungen werden Zahlungsziele und Service Level Agreements (SLA) vereinbart. Aus den SLA leitet der Lieferant die nötige Bestandshöhe ab. Aus diesen Werten kann das benötigte Kapital für ein Projekt ermittelt werden.

Kontobewegungen machen den Mittelzu- und -abfluss transparent. Aus den Daten des Planungstools können Materialbedarfe entnommen werden. Diese werden über Zahlungsziele in Kapitalbedarfe umgerechnet. Dem Zulieferer wird ermöglicht zu prognostizieren wann er welche Materialmenge auf Lager haben muss, um den vereinbarten Servicegrad zu erreichen (vgl. APIV-2). Daraus kann der Kapitalbedarf für diesen Zeitraum abgeleitet werden. Denkbar ist hier, dass Kapitalbedarfe in der Preisfindung berücksichtigt werden, was heute bereits über Skonto-Rabatte pauschal praktiziert wird. Unvorhersehbare Änderungen im Bauverlauf können durch die Einplanung von Sicherheitszeiten und Beständen berücksichtigt werden.

Folgende Szenarien generieren eine Meldung an die Partner. Im einfachsten Fall führt diese zu einer gemeinsamen Lagebesprechung bevor ein Liquiditätsproblem tatsächlich auftritt:

- Bauverzögerungen die länger dauern als geplante Sicherheitszeiten. Liquidität des Lieferanten ist gefährdet.
- Verzögerungen bei der Zahlung an den Lieferanten. Das System errechnet die kritische Verzugs-Grenze, die sich am vorab kalkulierten Kapitalbedarf orientiert und generiert eine Meldung.
- Verfrühung der Anlieferung von Zulieferprodukten. Bestandsüberschreitung wird gemeldet. Weitere Bestellungen werden „gebremst“.

- Eine Unterschreitung der Bestände durch zu schnelle Abrufe oder verzögerte Lieferungen des Vorlieferanten werden gemeldet.

Problematik in der Umsetzung:

Die technische Umsetzung der beschriebenen Funktionalitäten ist problemlos denkbar. Der Erfolg hängt im Wesentlichen von der verlässlichen Identifikation der Güterbewegungen ab. Kritisch in der praktischen Umsetzung ist jedoch die Transparenz, die zwischen den Unternehmen durch ein solches Tool entsteht. Diese ist nicht in jedem Falle erwünscht, so könnte das Tool in der beschriebenen Form bspw. missbräuchlich zur „Ausreizung der Möglichkeiten“ eines Partners genutzt werden. Offen ist also die Frage, ob und wie die Funktionalitäten gestaltet werden können, um einen Missbrauch der Informationen zu verhindern. Ein Ansatz wäre es, die Monitoring-Funktion dem Bauherrn transparent zu machen, um Probleme in der Kette, die letztlich zu Baufortschrittsverzögerungen führen können, frühzeitig sichtbar zu machen.

Automatisierung von Zahlungen:

Durch die Identifikation von Gütern entlang der Prozesse der Lieferkette wird eine genauere Definition und Festlegung der Gefahrübergänge möglich, die dann als automatischer Auslöser von Zahlungen genutzt werden können.

- Anlieferung löst Zahlung aus
Ein Möglichkeit wäre, die Anlieferung am Verbauort bereits als Verbau zu interpretieren und die Zahlung – ggf. zeitverzögert – anzustoßen.
- Bereitstellung zur Abzeichnung
Angelieferte Materialien werden kumuliert digital bereitgestellt. Diese werden auf den Bauabschnitt bezogen und können bereits während der Abnahme

abgezeichnet werden. Die Abzeichnung löst automatisch eine Zahlung aus.

Die beschriebenen Konzepte reduzieren die in Abbildung 3.3-19 gezeigte Grauzone. Übergänge werden planbarer und die Bezahlprozesse werden durch Automatisierung und Digitalisierung beschleunigt.

Vergleichbare Modelle finden sich mit dem „Self Billing“ im Einzelhandel [Sar-00]. Hier löst das Einscannen der Ware an der Rampe eine Zahlung der mit dem Barcode verknüpften Bestellung aus. Mittlerweile wird zugunsten flüssiger Prozesse auch auf die Wareneingangskontrolle verzichtet. Konsequenz ist die Beschleunigung der Finanzflüsse entlang der Kette und damit eine Stabilisierung der Lieferbeziehungen. Eine Analyse dieser Vorgehensweise ergab, dass durch die Vermeidung von Kontrollprozessen und juristischen Auseinandersetzungen sowohl Lieferant als auch Empfänger Kosten sparen konnten.

Das Monitoring von Finanzflüssen und die automatisierte Zahlung ergänzen sich gegenseitig. Aufeinander aufbauend ermöglichen die Konzepte eine neue Abwicklung von Zahlungsflüssen. Die angedeuteten Probleme in der Umsetzung benötigen weitere Forschungsarbeiten, in welchen die negativen und positiven Auswirkungen der Transparenz der Finanzflüsse in Bau-Supply Chains detailliert bewertet und abgewogen werden müssen.

AP IV-2 Darstellung durchschnittlicher Verbräuche

In APIV-1 wurde die Relevanz von Beständen und der damit verbundenen Kapitalbindung entlang der Lieferkette beschrieben. Wesentlich für die Kapitalbindung ist die Höhe der Bestände und deren Lagerdauer, die sich aus dem durchschnittlichen Materialverbrauch und dem Materialzugang ergeben (vgl. Abbildung 3.3-20). Zur Bestellplanung gibt es verschiedene Varianten – die wesentliche Gemeinsamkeit moderner Verfahren besteht im Abgleich der aktuell gelagerten Menge mit zukünftigen

Materialverbräuchen bzw. definierten Grenzwerten (vgl. bspw. [Hil-07]).

Im Rahmen des ForBAU-Projektes wurden verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Transparenz der aktuellen Bestandssituation (APIII BWS und TP4) sowie zur Beschleunigung der Informations- und Finanzflüsse (APIV-1 und TP4) erarbeitet. Zudem wurde ein EUS-Tool entwickelt, das hilft, auf dieser Basis und unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher sowie projektspezifischer Kriterien, grundsätzliche und bestandsoptimale Beschaffungsstrategien abzuleiten.

Ziel dieser Bemühungen ist die verstärkte Anwendung des JIT-Konzeptes in der Bauwirtschaft – die prozessualen Vorteile einer JIT-Belieferung, wie bspw. die Reduzierung des baustelleninternen Transports, sind in APVII beschrieben. Die positive Wirkung des JIT-Verfahrens, d.h. die Wirkung kleinerer Zugangsmengen auf den Lagerbestand und damit die Kapitalbindung, wird nachfolgend aufgezeigt.

Durch die geringeren Wareneingangsmengen gelingt es bei JIT-Beschaffung den mittleren vorgehaltenen Bestand, bei identischem Materialverbrauch, deutlich zu reduzieren. In Abbildung 3.3-20 ist die Abhängigkeit des mittleren Bestands von der Bestelllosgröße ersichtlich.

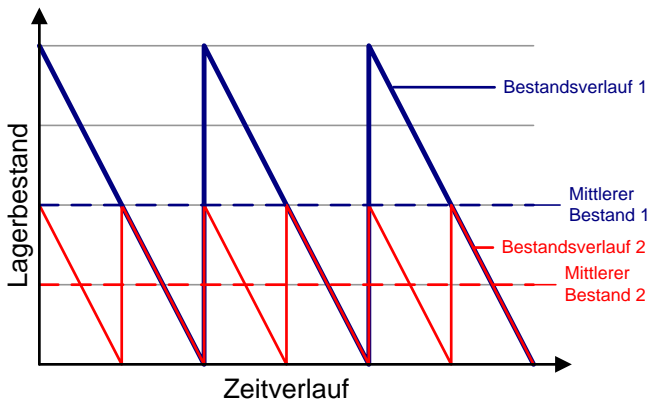


Abbildung 3.3-20: Abhängigkeit des Lagerbestands von der Bestellmenge

Im Modell berechnet sich der mittlere Lagerbestand folgendermaßen:

$$\text{mittl. Best} = \frac{\text{Anfangsbestand} + \text{Endbestand}}{2}$$

Abbildung 3.3-21: Berechnung des mittleren Bestands (vgl. [Gab-08])

Durch die zeitliche Begrenzung eines Bauprojektes kann für den Endbestand Null angenommen werden. Dadurch verhält sich der mittlere Bestand direkt proportional zur Wareneingangsmenge, d.h. eine Halbierung der beschafften Zugangsmengen führt zu einer Halbierung des mittleren Lagerbestands - bei einer Verdoppelung der notwendigen Anlieferungen (vgl. [Gud-07]). Da die Kapitalbindung wiederum proportional zum mittleren Bestand ist, halbieren sich im vorliegenden Fall auch die Kosten für das gebundene Kapital. Für die Bauunternehmen kann dies zu einer beträchtlichen Verbesserung ihrer Kapitalstruktur führen (vgl. Abbildung 3.3-22).

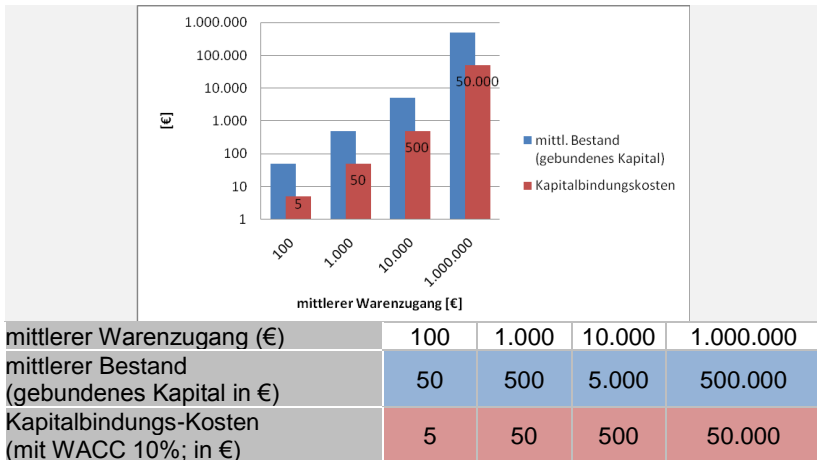


Abbildung 3.3-22: Anstieg der Kapitalbindungskosten mit steigendem Materialzugang (unter der Annahme eines konstanten Materialverbrauchs)

Daneben verhindert eine höhere Transparenz in der Materialversorgungsplanung das Auftreten des sog. „Bullwhip-Effektes“ [Schö-07]. Dieses Phänomen der „aufschaukelnden“ Mengenschwankungen in Distributionsketten entsteht durch einen mangelhaften Informationsfluss entlang einer Supply-Chain und führt zu hohen Sicherheitsbeständen, um die extrem kurzfristigen, stochastischen Bestellvorgänge bedienen zu können. Durch eine frühzeitige und transparente Materialversorgungsplanung können somit alle Beteiligten entlang der Supply Chain eine Senkung ihrer Lagerbestände erreichen. Die resultierende, höhere Liquidität führt tendenziell zu einer gesamtwirtschaftlichen Stabilisierung in der Branche (vgl. APIV-1).

AP VI Stoffstrommanagement

AP VI-3 Einsatzplanung von Transport und Geräten

Materialspezifische Konzepte zur erdbautechnischen Wiederverwendung von ausgehobenen Erdmassen bedingen eine umfassende Beschreibung und Dokumentation der Eigen-

schaften der im Bereich der Baumaßnahme anstehenden Böden. Entsprechende Angaben und Anforderungen wurden in die bereits umgesetzte Baugrunddatenbank integriert (vgl. Zwischenbericht 2009, TP1). Aus den verfügbaren geotechnischen und erdbautechnischen Baugrundinformationen können Verwendungsmöglichkeiten für den Erdaushub abgeleitet werden – unter Beachtung der zu erstellenden Bauwerke und sonstigen Randbedingungen im Umfeld der Baumaßnahme. Sind diese Konzepte zur Wiederverwendung des auszuhebenden und anstehenden Bodens für ein bestimmtes Bauvorhaben festgelegt, gilt es den Einsatz von Transporten und Gerätschaften, unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen (Raumverhältnisse, Bauablauf, etc.), zu bestimmen.

In enger Zusammenarbeit mit TP2 wird die Transportmittelwahl mit Hilfe eines Simulationsmodells durchgeführt. Dazu werden die Leistungen der einzelnen Geräte für verschiedene Transportmittelkonfigurationen und die entsprechenden Wiederverwendungskonzepte bestimmt und die resultierende Gesamtdauer für die Erdbaumaßnahme ausgewertet.

Eine erste Validierung des Simulationsmodells konnte an der Pilotbaustelle Penzberg durchgeführt werden, da hier die verschiedenen Bodenarten mit ihren geotechnischen Eigenschaften bekannt waren. Geotechnische und umwelttechnische Randbedingungen ermöglichten nur die teilweise direkte Wiederverwendung der ausgehobenen Böden. Daraus ergibt sich folgende Strategie für das Stoffstrommanagement.

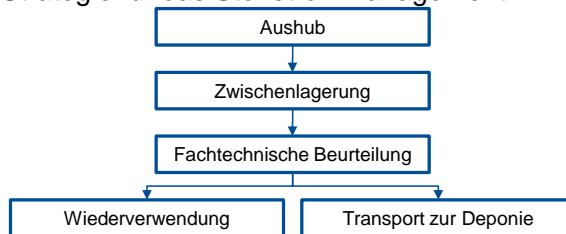
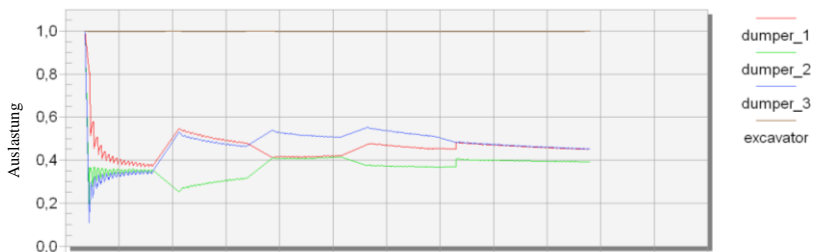


Abbildung 3.3-23: Stoffstrommanagement an der Pilotbaustelle

Die Baugrube wurde zunächst in festgelegter Reihenfolge ausgehoben und das Erdmaterial im Anschluss auf verschiedene Zwischenlager gepuffert. Dort erfolgte eine geo- und umwelttechnische Beurteilung der Aushubmassen. Aushub, der aufgrund fachtechnischer Beurteilungen nicht für eine Wiederverwendung geeignet war, wurde auf eine Deponie außerhalb der Baustelle transportiert. Für eine Wiederverwendung geeigneter Böden wurde der Aushub, unter Beachtung erdbautechnischer Eigenschaften, beurteilt (u.a. DIN 18196) und konnte entweder innerhalb der Baumaßnahme oder in umliegenden Baumaßnahmen qualifiziert weiterverwendet werden.

Da die Ergebnisse der Bodenanalyse zum Zeitpunkt der Transporteinsatzplanung unklar waren, wurde an der Pilotbaustelle der Erbau bis zur Zwischenlagerung auf der Baustelle betrachtet. Dazu wurden verschiedene Konfigurationen zum Transporteinsatz simuliert. Abbildung 3.3-24 zeigt einen Auszug der Experimente. Die Diagramme zeigen die Auswirkungen zweier Szenarien auf die Auslastung der beteiligten Gerätschaften.



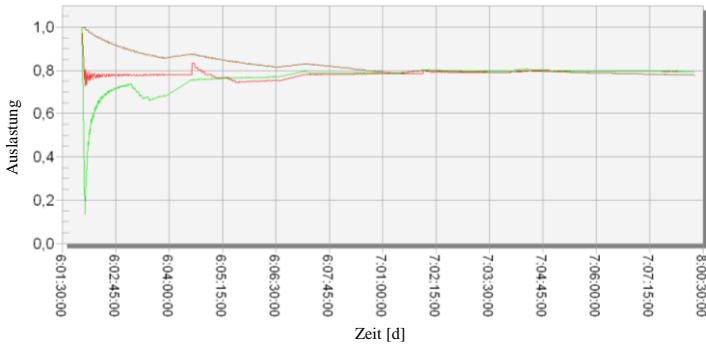


Abbildung 3.3-24: Auslastung der Geräte für verschiedene Konfigurationen

Im Bild oben werden drei Dumper für den Transport des ausgehobenen Materials zu den Zwischenlagern eingesetzt, im unteren Fall lediglich zwei. In beiden Konzepten wird die Einschwingphase, d.h. die Zeit bis sich das System eingependelt hat, deutlich. Erkennbar ist dies an den schwankenden Auslastungen zu Beginn. Im oberen Szenario ist der Raupenbagger der Engpass, so dass die potentielle Leistung der drei Dumper durch hohe Wartezeiten für die Beladung limitiert wird. Im zweiten Szenario pendelt sich die mittlere Auslastung der Maschinen auf ca. 80% ein. Damit kommt es zu geringeren Wartezeiten bei gleichmäßiger Auslastung der Geräte. Allerdings wird die gesamte Bauzeit verlängert. In den Szenarien werden auch die Lagerflächen über die Zeit unterschiedlich ausgelastet. Abbildung 3.3-25 zeigt die Auslastung der Lager für Szenario 2.

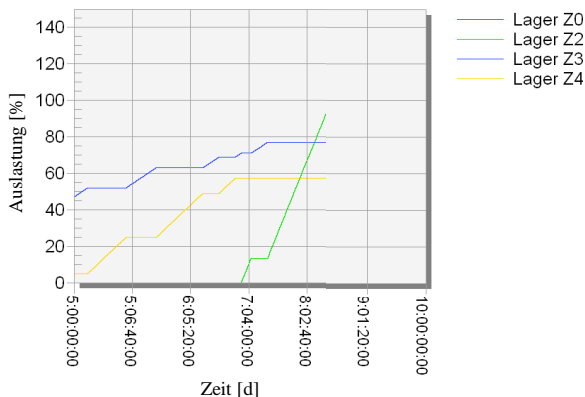


Abbildung 3.3-25: Auslastung der Zwischenlager

In Abhängigkeit von den im Baugrundmodell beschriebenen bzw. beim Aushub angetroffenen Bodenschichten wird das Material in die verschiedenen Lager transportiert. Im Anschluss können die geotechnischen Untersuchungen durchgeführt werden. Deutlich erkennbar ist die Vorbelegung von Lager Z3 durch vorgelagerte Erbaumaßnahmen. Lagerfläche Z2 kann hingegen an den ersten Tagen für andere Tätigkeiten genutzt werden.

Das beschriebene Vorgehen für die Einsatzplanung ermöglicht eine gleichmäßige Auslastung der Gerätschaften. Die Möglichkeit zum Vergleich verschiedener Szenarien erhöht die Transparenz in der Planung und stellt die Wirtschaftlichkeit der Abläufe sicher.

AP VII Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Verlauf des ForBAU-Projektes sind eine Reihe vielversprechender Technologien und Konzepte entwickelt worden. Essentieller Bestandteil des Technologiemanagements ist die frühzeitige Analyse und Bewertung dieser Technologien hinsichtlich ihres wirtschaftlichen Nutzens. So können erfolgversprechende Ansätze frühzeitig erkannt und ihre Umsetzung gefördert werden.

Im Vergleich zu anderen Branchen werden Technologieinnovationen in der Bauwirtschaft nur sehr zögerlich übernommen. Grund hierfür sind zum einen strukturelle Probleme (u.a.: unflexible öffentliche Vergabeverfahren, Marktstruktur, unzureichender Innovationstransfer zwischen Projekten, fast ausschließlicher Preiswettbewerb vgl. dazu [Web-07]). Daneben ist das größte Hindernis für die Einführung neuer Technologien die Unsicherheit über den zu erwartenden Nutzen sowie die erforderlichen Kosten.

Ziel von APVII ist die Schaffung eines umfassenden Nutzenverständnisses sowie das Aufzeigen quantitativer und qualitativer Analysemethoden, um Unsicherheiten und Risiken zu reduzieren und damit den Technologietransfer in die Praxis nachhaltig zu forcieren.

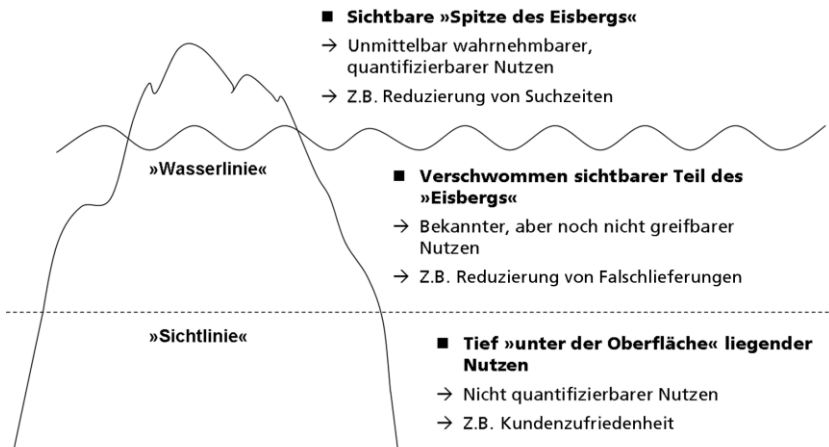


Abbildung 3.3-26: Qualitative und quantitative Effekte (in Anlehnung an [Kru-09])

Gedankliche Basis für die Nutzenbewertung bildet das Eisberg-Modell (vgl. Abbildung 3.3-26). Eine exemplarische Wirtschaftlichkeitsbewertung wurde im Projekt quantitativ und

qualitativ für die Technologie der Last-Meter-Bau Logistik (LMB) durchgeführt.

AP VII-1 Quantitative Bewertung

Bei der Implementierung neuer Technologien kommt es meist zu Änderungen im Prozessablauf. Für Aussagen über die zu erwartenden Kostenvorteile bedarf es einer umfassenden, strukturierten Analyse der zu erwartenden Änderungen. Methodisches Hilfsmittel zur Bewertung der Änderungen ist die vergleichende **Prozesskostenrechnung** (vgl. dazu [May-98]). LMB hat zum Ziel, baustellenseitige Transportvorgänge effizienter abzuwickeln, indem Materialien GPS-unterstützt und punktgenau angeliefert werden.

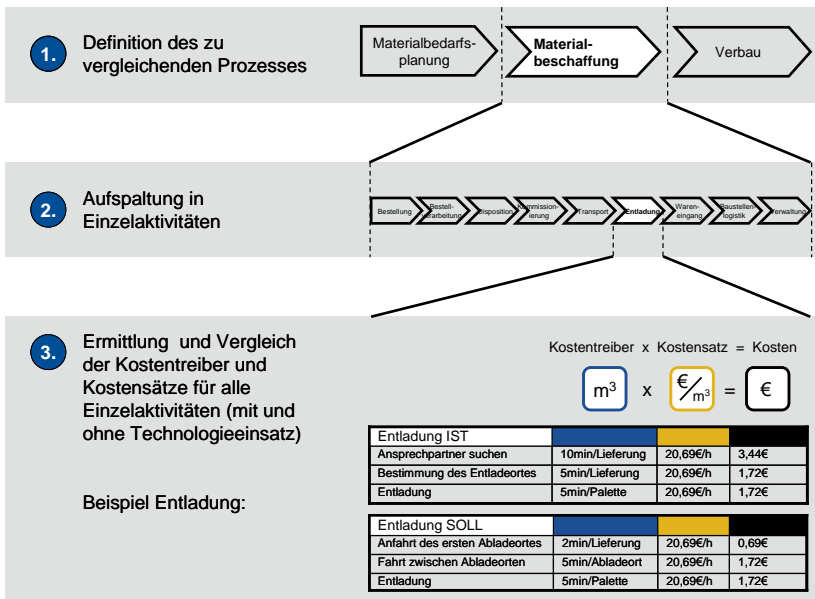


Abbildung 3.3-27: Ablaufschema der Prozesskostenrechnung

Für die Prozesskostenbetrachtung wurden alle relevanten Teilschritte des Materialanlieferungsprozesses erfasst und für jede Einzelaktivität ein Kostentreiber und ein Kostensatz aufgestellt (vgl. zum Vorgehen Abbildung 3.3-27).

Grundlage hierfür bildeten eigene Datenerfassungen auf einer Baustelle sowie Daten aus Tarifverträgen und marktübliche Preise für Sachmittel. Danach wurden die Änderungen im Prozessablauf durch den Einsatz der LMB erarbeitet und ein Modell entwickelt, das abhängig von wenigen Variablen (Materialwert, Materialmenge, Anzahl der Anlieferungen, Anzahl der Abladeorte auf der Baustelle, Transportentfernung) die Prozesskosten der Materialanlieferung mit und ohne Technologieeinsatz beschreibt. Unter Nutzung verschiedener Einsatzszenarien konnte vorausberechnet werden, dass der Einsatz der LMB die Gesamtkosten des Materialanlieferungsprozesses um durchschnittlich 15-20% reduzieren könnte (vgl. Abbildung 3.3-28).

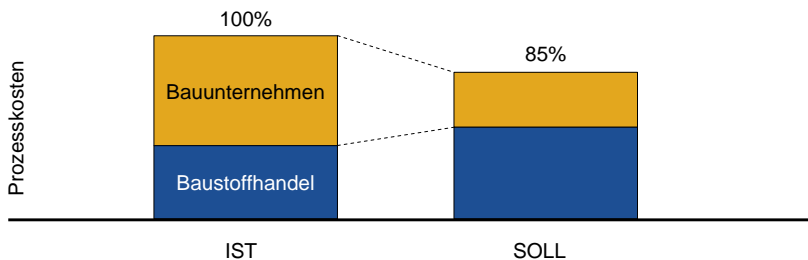


Abbildung 3.3-28: Ergebnis der Prozesskostenrechnung für das LMB Beispielszenario

AP VII-2 Qualitative Bewertung

Zur systematischen Erfassung qualitativer Nutzenpotentiale wurde ein Technologiesteckbrief erarbeitet und für alle in ForBAU entwickelten Technologien zusammen mit den jeweiligen

Mitarbeitern ausgefüllt (vgl. Abbildung 3.3-29 oben). In der Abbildung 3.3-29 (unten) sind die dabei am häufigsten genannten Chancen aber auch Risiken aufgeführt.

	A	D	M
1			
2	Technologie	Gegenwärtige Lösung	Nutzenbewertung
3	Integrator2NX	2D-Lösung (2D Trassenentwurf), manuelle Datengenerierung für Ablaufsimulation	+ Einsparung von aufwändigen manuellen Arbeiten für die Ablaufsimulation + 3D-Modell, Datenverwaltung, PDM, 'Brückenentwurf' + Reduzierung Änderungsaufwand (Automatisierung) + Neues Verfahren zur Erdmassenermittlung) + Höhere Planungsfrquenz (-> höhere Planungssicherheit)
4	Bauablaufsimulation Tiefbau	Ablaufplanung mit MS Project, MS Excel, 2D-CAD Plänen und viel Erfahrungswissen	+ Überzeugung potentieller Auftraggeber + Vermeidung von planungsbedingten Stillständen + schnelle Überprüfung unterschiedlicher Varianten + verbesserte Kommunikation mit allen Baubeteiligten durch 4D-Visualisierung
5	mBDE	Papierbasierte Dokumentation des Bauteilstatus und -zustandes auf Basis von Lieferscheinen. Manuelles Übertragen der Informationen in ein zentrales System	+ Beschleunigung der Prozesse + Echtzeit Baufortschrittskontrolle + Höhere Datenqualität & -aktualität + Vereinfachte Schadensdokumentation + vereinfachter Verleihprozess. höhere Datenqualität & -

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Durchgängiger Dateneinsatz • Detailliertere Planung • Effizientere Prozesse 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Entwicklungsaufwand und lange Amortisationszeiten • Adoptionsvorbehalte

Abbildung 3.3-29: Auswertung der Steckbriefe zur Erfassung der qualitativen Nutzenpotentiale der ForBAU Technologien

Für die Last-Meter-Bauglogistik wurde die qualitative Analyse über den Steckbrief hinaus ausgeweitet. Mittels einer Schwachstellenanalyse konnten dabei, ausgehend von Defiziten der Ist-Situation, weitere zentrale Nutzenpotentiale identifiziert werden.

Zum einen wird mit der Einführung der Technologie unmittelbar auch die Qualität des Prozesses erhöht. Durch eine drastische Reduzierung der baustellenseitigen Transportvorgänge kann in diesem Bereich eine **Senkung von Arbeitsunfällen** erreicht werden (1/3 der Arbeitsunfälle auf dem Bau fallen auf den Bereich Transport/Umschlag/Lagerung [Schü-03]). Durch die

technologiegestützte Materialbeschaffung können zudem **out-of-stock Situationen**, die zu unkalkulierbaren Verzögerungen des Bauablaufs führen, vermieden werden. Durch eine elektronische Unterschrift kann eine **Steigerung der Transparenz** im Materialanlieferungsprozess erreicht werden.

In der zweiten Gruppe der qualitativen Bewertung (vgl. Abbildung 3.3-26, unterster Teil des Eisbergs) sind abschließend zukünftige Nutzenpotenziale zusammengefasst. Die mit der LMB geschaffene Infrastruktur kann für weitere Zwecke genutzt werden, um bspw. in Verbindung mit **Augmented Reality** (vgl. TP2) Verarbeitungs- und Transporthinweise der Hersteller weiterzugeben, bis hin zu digitalen Aufbau- und Montageanleitungen. Daneben kann die **geschaffene Datenbasis** zur besseren Planung zukünftiger Projekte genutzt werden – der Baustoffhandel kann diese zur Tourenoptimierung und Steuerung der eigenen Beschaffung verwenden. Die **RFID-Technik** bildet die Grundlage für die Anwendung weiterer Konzepte (vgl. Mobile Lifecycle-Management in TP4).

Die genannten Punkte zeigen, dass die Entscheidung über eine Technologieübernahme somit nicht nur auf einer reinen Prozesskostenbetrachtung beruhen sollte, sondern auch unmittelbar greifbare sowie zukünftige qualitative Nutzenpotenziale berücksichtigt werden müssen.

AP VII-3 Zusammenfassende Betrachtung unter dem Aspekt des Cost-Benefit Sharing

Wie auch im Fall der LMB sind bei technologiegetriebenen Prozessanpassungen oft mehrere Unternehmen betroffen, da gerade an den Unternehmens-Schnittstellen häufig großes Optimierungspotenzial besteht. Grundvoraussetzung für den Erfolg eines Projektes ist, dass der Netzwerkgewinn positiv ist, also über alle Beteiligten hinweg der Nutzen die Kosten überwiegt. Da die Einführung unternehmensübergreifender Technologien gegen den Widerstand eines Akteurs quasi

unmöglich ist, müssen für alle beteiligten Partner Anreize zur Kooperation bestehen. Mit der Lösung dieses wirtschaftlichen Konflikts beschäftigt sich das **Cost-Benefit Sharing** (vgl. dazu [Rih-09]). Ziel ist die Schaffung eines Ausgleichs innerhalb des Netzwerkes, damit alle Beteiligten am Gesamtnutzen profitieren. Für die LMB konnte der positive Netzwerkerfolg bereits bei der quantitativen Bewertung gezeigt werden. Dieser wird durch die positiven qualitativen Nutzenpotentiale zusätzlich untermauert. Allerdings kommt es zu einer Verschiebung der Kostenstrukturen (vgl. Abbildung 3.3-28).

Während die ausführenden Bauunternehmen von der Reduzierung der Transportvorgänge auf der Baustelle am meisten profitieren, übernimmt der Baustoffhandel mit der punktgenauen Anlieferung eine zusätzliche Leistung. Diese Verlagerung der Wertschöpfung im Bereich der Materialanlieferung in Richtung des Spezialisten (=Baustoffhändler) ist dabei gewollt und ein Ziel der Technologie. Die insgesamt sinkenden Prozesskosten bestätigen die dadurch erreichte Effizienzsteigerung. Bei der Betrachtung der Investitionskosten kommen ebenfalls auf den Baustoffhandel tendenziell größere Belastungen zu als auf den Bauunternehmer. Auf qualitativer Seite sind die Nutzenvorteile bei beiden Seiten gegeben.

Insgesamt zeigt sich ein Ungleichgewicht zu Ungunsten der Händler. Um hier einen beanspruchungsgerechten Ausgleich zu erreichen ist als **Ausgleichsmechanismus** die Gestaltung eines Pricing-Modells für die punktgenaue Anlieferung nötig.

AP VIII Versorgungslogistik im Tunnelbau

Von Seiten der Industrie wurde die Problematik der Versorgung von Tunnelbohrmaschinen an das Teilprojekt 3 herangetragen. Durch ein nicht ausreichend geplantes, intransparentes Logistiksystem müssen häufig empfindliche Leistungseinbußen hingenommen werden. Aus diesem Grund rückt der Faktor

Logistikplanung für die Baubranche auch im Tunnelbereich immer stärker in den Vordergrund, so dass ein geeignetes Werkzeug für die ganzheitliche Planung und Auslegung der komplexen Materialflusssysteme gefordert wird.

Aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen für die Logistik im Tunnel, wurde ein Simulationsmodell für die Abläufe zur Materialversorgung und -entsorgung der Nachläuferlogistik erstellt. Dazu wurde innerhalb des Simulationsprogramms Plant Simulation – ähnlich der Bausteinbibliothek für die Simulation des Erdbaus (TP2) – eine Modellstruktur entworfen, die es gestattet, aus einzelnen Modulen ein Gesamtmodell der zum Tunnelbau gehörenden Materialflussprozesse zusammenzusetzen.

Die einzelnen Bausteine sind derart gestaltet, dass sie aufgrund standardisierter Schnittstellen ausgetauscht und auf ein spezifisches Projekt parametrisiert werden können. Im Gegensatz zu herkömmlichen Planungstechniken für den Materialfluss im Tunnelbau wurde dabei besonderer Wert auf die Ermittlung und Berücksichtigung der statistischen Verteilung der Dauer einzelner Vorgänge gelegt. Wenn auch die Datengrundlage für die Prozesszeiten bislang auf wenigen Werten beruht, konnte durch die Aufteilung der Vortriebszyklen in Einzelprozesse eine solide Basis geschaffen werden, die zukünftig mit weiteren, ausreichend genauen Werten versehen werden kann.

Ergebnis des Simulationsmodells ist eine exakte Planung der Materialversorgung in Abhängigkeit der Ringnummer. Abbildung 3.3-30 zeigt ein Ablaufdiagramm für eine exemplarisch untersuchte Baumaßnahme.

3.3.4 Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan

	Zeitplan Prof. Hartmann (TP 3)												Personaleinsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK	
	Beteiligung in den AP 1, 2, 3, 4						2010							
	2009		2010		2010		2010		2010		2010			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP I-1		■											1	
AP I-3		■											1	
AP I-4			■										2	
AP II-1			■	■									1	
AP II-2			■	■	■								1	
AP III-1				■	■	■							1	
AP III-2				■	■	■	■						1	
AP III-3				■	■	■	■	■					1	
AP III-6							■	■	■				2	
AP III-7							■	■	■	■			1	
AP IV-1							■	■	■	■			1	
AP IV-2							■	■	■	■	■		1	
AP VII-1										■	■		2	
AP VII-2										■	■		2	
													Summe Mannmonate	18



Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell

Zeitplan Prof. Günthner (TP 3)										Personal- einsatz
Beteiligung in den AP_1, 2, 3, 5, 6										
	2009						2010			Mannmonate excl. Stud., HK TVL 13
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP I-2										1
AP I-4										2
AP II-2										1
AP II-3										1
AP II-4										3
AP III-1										1
AP III-2										1
AP III-4										1
AP III-5										1
AP III-6										2
AP V-1										1
AP V-2										1
AP V-4										1
AP VI-3										2
AP VIII-1										1
Summe Mannmonate										20



Arbeitsplan Antragsstellung


 Arbeitsplan
aktuell

	Zeitplan Prof. Vogt (TP 3)										Personal- einsatz
	Beteiligung in den AP 6										
	2009		2010		2011		2012		2013		Summe Mannmonate
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	
AP VI-2	Stoffstrommanagement für geotechnische Wiederverwendung und Transportplanung										6
Summe Mannmonate											6

Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell

Erläuterungen zum Zeitplan der Arbeitspakete

Für die Bearbeitung des neuen Arbeitspaketes „APVII Wirtschaftlichkeitsbetrachtung“ wurden insbesondere Ressourcen aus dem „APIII-7 BRP-System“ verwendet. Diese Verschiebung ist auch insofern begründet, als sich im Projektverlauf gezeigt hat, dass die Erarbeitung einer ganzheitlichen Baustellen-

Ressourcen-Planungs-Software innerhalb des geplanten Zeitrahmens nicht in ausreichender Tiefe möglich ist. Dieses Thema soll stattdessen in einem Folgeprojekt weiter bearbeitet werden, das aktuell in der Beantragungsphase ist. Hier sollen die Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbereiche einer solchen Software, insbesondere die Komponenten Produktionsplanung und -steuerung (PPS), für die Baubranche evaluiert werden. Zudem wurden Ressourcen aus APIV verwandt, da hier, entgegen des ursprünglichen Projektplans trotz erheblicher Bemühungen nicht in ausreichendem Maße Daten zur Verfügung gestellt werden konnten, weshalb die Arbeiten zum Monitoring von Finanzflüssen rein konzeptionell erbracht wurden. Durch studentische Projekte konnte ein Teil des in APII-4 kalkulierten Programmieraufwands ausgelagert und ein Mannmonat eingespart werden. Dies ermöglichte die zusätzliche Bearbeitung des „APVII Versorgungslogistik im Tunnelbau“.

3.3.5 Weiterer Verlauf

Die in TP3 bisher erzielten Ergebnisse werden auch über das ForBAU-Projekt hinaus weiter vorangetrieben. Hierfür konnte im Bereich der **Last-Meter-Baulogistik LMB** bereits ein Nachfolgeprojekt aufgesetzt werden. Geplanter Projektstart ist Mai 2011. Im Rahmen des vom BMWi finanzierten Forschungsprojektes wird die entwickelte Lösung auf technologischer Seite hinsichtlich einer Indoor-Ortungskomponente erweitert. So wird LMB für Baumaßnahmen im Bestand nutzbar gemacht. Auf betriebswirtschaftlicher Seite steht die Ausgestaltung des Cost-Benefit Sharing im Mittelpunkt der Arbeiten.

Die im APVI erarbeiteten Erkenntnisse zum **Stoffstrommanagement** werden aktuell mit Eigenmitteln der Fraunhofer Gesellschaft vorangetrieben. Fokus ist die Entwicklung eines Informationssystems zur transparenten

Verfolgung von Stoffströmen und Erdbewegungen auf Infrastrukturbaustellen.

Aufbauend auf den Erkenntnissen des in APIII entwickelten **Baustellenwirtschaftssystems BWS** soll ein umfassendes Produktionsplanung und -steuerung System für die Bauwirtschaft konzipiert werden. Ein entsprechendes Projekt befindet sich in der Beantragungsphase.

3.3.6 Kooperationen

TP3 stellt ein Querschnittthema innerhalb des ForBAU-Konsortiums dar, indem es die in TP1 und TP2 generierten hochwertigen Planungsdaten aufgreift, strukturiert und in die Ausführungsphase transferiert. Die während der Ausführungsphase erzeugten Daten des TP4 werden im BWS verarbeitet.

Zusammenarbeit mit allen Teilprojekten

Neben der oben genannten Verbindung über die Arbeitsinhalte, wurden in TP3 Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit für alle bisher entwickelten Werkzeuge und Methoden angestellt und qualitative Nutzenaspekte herausgearbeitet.

In einem abschließenden Arbeitstreffen (Arbeitskreis AK2) wurden Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Fortführung der entwickelten Ergebnisse diskutiert. Hauptaugenmerk lag auf der Bearbeitung möglicher Geschäftsmodelle für die Projektbestandteile „Baublaufsimulation“, „PDM-System“ und „Integrator“. Für letzteren konnte noch im Treffen eine weiterführende Kooperation der Projektpartner vereinbart werden.

Zusammenarbeit mit TP1

Das TP1 legt den Grundstein für die Arbeiten des TP3. Eine ganzheitliche Planung bringt eine neue Datenlage hervor und ermöglicht so die Verbesserung der Prozesse in der Ausführung. Die in TP3 entwickelten Tools und Methoden greifen auf diese hochwertigen Planungsdaten zurück, z.B. in Form von

Materialstücklisten, und stellen diese den Akteuren zielgerichtet zur Verfügung. Für das APVI werden zudem geotechnische Anforderungen aus dem Baugrundmodell des TP1 abgeleitet.

Zusammenarbeit mit TP2

Die für das EUS-Tool geschaffene Schnittstelle zur Simulation, d.h. die Anbindung des Tools an die aktuellen Materialbedarfsinformationen, ist eine Grundvoraussetzung, um Anlieferprozesse nach betriebswirtschaftlich optimalen Gesichtspunkten festlegen zu können.

Als Informationsplattform enthält das PDM Informationen des 3D-Modells in für die Logistik weiterverwendbarer Form. Eine definierte Schnittstelle zwischen PDM und BWS, zur Integration von Soll- und Materialstammdaten, ist ein wichtiger Bestandteil des BWS-Konzeptes.

Zusammenarbeit mit TP4

Die in TP4 erzeugten Informationen der Bauausführungsphase sind, neben den Planungsdaten, maßgeblicher Input für das BWS-System. Soll-Ist-Vergleiche und die Verdichtung der Informationen zu Kennzahlen ermöglichen ein umfangreiches Controlling bauleistungslogistischer Prozesse. Die in APIII-3 definierten Kennzahlen wurden zudem in TP4 aufgegriffen und dienen als Basis für das entwickelte Ist-Daten-Konzept. Zudem können die Logistikinformationen den ausführenden Akteuren mit Hilfe der I&K-Technologien des TP4 direkt zur Verfügung gestellt werden.

3.3.7 Literatur

- [Bau-10] Bauserve Baulogistik – Logistics Service Award 2010, Online: <http://www.bauserve.net/188.html>
- [BAR-09] O.A.: Business-Intelligence(BI)-Softwaremarkt 2009. Würzburg, 2009.
- [Cor-04] Corsten, D.; Gabriel, C.: Supply Chain Management erfolgreich umsetzen – Grundlagen, Realisierung und Fallstudien. Berlin u.a., 2004.
- [Dod-04] Dodel, J.-H.: Supply Chain Integration. Verringerung der logistischen Kritizitäten in der Automobilindustrie. Wiesbaden, 2004.
- [Ezz-80] Ezzell, J.R.; Miles, J.A.: The weighted average cost of capital, perfect capital markets, and project life: a clarification. In: Journal of Financial and Quantitative Analysis, 15, p. 719–730, 1980.
- [Gab-08] Gabath, C.W.: Gewinngarant Einkauf. Wiesbaden, 2008, S.135.
- [Gom-05] Gomm, M.: Supply Chain Finanzierung: Optimierung der Finanzflüsse in Wertschöpfungsketten. Berlin, 2005.
- [Gud-07] Gudehus, T.: Logistik 1: Grundlagen, Verfahren und Strategien,.3. Auflage, Berlin u.a, 2007.
- [Hel-09] Helmus, M.; Kelm, A.; Laußat, L.; Meins-Becker, A.: RFID in der Baulogistik. Wiesbaden, 2009.
- [Hil-07] Hildebrand, K.; et. al.: IT-Lösungen im Handel: Handbuch Produktion. Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling. Heidelberg-München, 2007.
- [IML-10] O.A.: ERP-Marktstudie; Online: <http://www.erp-logistics.com>.

- [Jak-06] Jacob, F.; Meyer, T.: Globalisierung und Globale Produktion. In: Abele, Eberhard; Kluge, Jürgen; Näher, Ulrich (Hrsg.)(2006): Handbuch Globale Produktion: 1. Auflage, München, 2006.
- [Kla-06] Klaus, P.; Krupp T., Krupp M.: A Quantum Leap in Reducing Working Capital Commitment in a global Supply Chain, Online: www.cscmp.org, 2006.
- [Kla-07] Klaus, P.: Logistik - Flow Management. Nürnberger Logistik-Arbeitspapier Nr. 8. Nürnberg 2007.
- [Kru-01] Krupp, T.: Supply Chain Software. Nürnberger Logistik-Arbeitspapier Nr. 12, Reihe Supply Chain Management. Nürnberg, 2001.
- [Kru-09] Krupp, M; Precht, P.: RFID Nutzen Eisberg – Eine Methodik zur Strukturierung von RFID-Nutzenpotentialen. Information Management and Consulting 24/2009 4, S. 77-84.
- [Log-05] o.A.: Logistik Heute: Terminal ohne Zettelwirtschaft, In: Logistik Heute Sonderdruck, Jahrgang 2005, Ausgabe 6.
- [Mar-05] Marsch, E.W.; Hoffmann, C.: Entwicklung von alternativen Finanzierungsmöglichkeiten für mittelständische Bauunternehmen zur Sicherung der Existenz des Unternehmens und der dort vorhandenen Arbeitsplätze. Stuttgart, 2005.
- [May-98] Mayer, R.: Prozesskostenrechnung – State of the Art, In: Horváth & Partners (Hrsg.): Prozesskostenmanagement: Methodik und Anwendungsfelder. 2. Auflage, München: 1998, S. 3-27.
- [Mer-05] Mertens, P.; et. al.: Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 9. Auflage, Berlin u.a., 2005.
- [Mül-74] Müller, W. Die Koordination von Informationsbedarf und Informationsbeschaffung als zentrale

- Aufgabe des Controlling, In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 26. Jg., 1974.
- [Par-10] Partsch, H.: Requirements-Engineering systematisch. 2. Auflage. Heidelberg u.a., 2010.
- [Poh-08] Pohl, K.: Requirements Engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken. 2. Auflage. Heidelberg, 2008.
- [Rei-06] Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Management-Tools. Die systemgestützte Controlling-Konzeption. 7. Aufl., München, 2006.
- [Rih-09] Riha, I. V.: Entwicklung einer Methode für cost benefit sharing in Logistiknetzwerken. Dissertation, Universität Dortmund 2009.
- [Rös -09] Rösch, P.: Baulogistik – Ein Lieferschein für alle Fälle, Online: <http://www.roesch-unternehmensberatung.de/baulogistik-lieferschein.htm>
- [Sar-00] Sarx, R., Treck, S.: ECR stromaufwärts. In: Coorganisation 4/2000, S. 30, 2000.
- [Schm-09] Schmidt, C.: SupplyTex – Entwicklung einer Entscheidungsunterstützung für das Supply Management in strategischen Netzwerken für kleine und mittlere Unternehmen (kmU) der Textil- und Bekleidungsindustrie. Aachen, 2009
- [Schö-07] Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement. 5. Aufl., Berlin/Heidelberg: 2007.
- [Schü-03] Schüler T., Röbenack K. D.: Unfallstrukturen, Unfallursachen, Unfallverhütung - Arbeitssicherheit im Bauwesen. Berlin, 2003.
- [Web-07] Weber, Jörg: Simulation von Logistikprozessen auf Baustellen auf Basis von 3D-CAD Daten. Dissertation, Universität Dortmund, 2007.
- [Wil-09] Wildemann, H.: Logistik – Prozessmanagement. 4. Auflage, München, 2009.

3.4 BAU-IDENT

- Projektleitung: Technische Universität München
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss
Logistik (fml)
Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner
Dipl.-Ing. Cornelia Klaubert
+49 (0) 89 / 28915973
klaubert@fml.mw.tum.de
www.fml.mw.tum.de
- Beteiligte Institute: Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,
insbesondere Logistik; FAU
Prof. Dr.-Ing. Evi Hartmann
Fachbereich Vermessung; HS.R
Prof. Wolfgang Stockbauer
- Mitarbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jörg Weidner
Dipl.-Ing./-Inf. (FH) Claus Plank
- Industriepartner: Autodesk, axio-net GmbH, Bauer AG,
Bissantz & Company GmbH, Computer
Institut Bamberg,
Hamm AG, Liebherr-Werk Bischofshofen
GmbH, Max Bögl Bauservice GmbH & Co.
KG, Motorola GmbH – Symbol
Technologies GmbH & Co. KG, SITECH
Süd, Topcon Deutschland GmbH, Zapf
GmbH, Züblin AG

3.4.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Medienbrüche zwischen der weitgehend digitalisierten Planungs- und der überwiegend papierbasierten Ausführungsphase verursachen im Projektverlauf eine Vielzahl von

Informationsverlusten wodurch Fehler und Verzögerungen in der Bauabwicklung entstehen.

Der Ist-Zustand einer Baumaßnahme ist durch die fehlende Durchgängigkeit erst Tage oder Wochen später in der EDV-basierten Verwaltungsinfrastruktur abbildbar. Auf Abweichungen vom Terminplan kann deshalb nur verzögert reagiert werden. Improvisierte und teure ad-hoc-Prozesse sind die Folge. Konsequenz ist, dass in der Praxis stets mit großzügig bemessenen Sicherheiten bezüglich Material, Ressourcen und Zeit geplant wird. Hier liegen große Optimierungs- und Kostenersparnispotenziale für die Bauwirtschaft.

Ziel ist deshalb die online-Verknüpfung der Ist-Daten der Baustelle mit den Plandaten. Automatische Identifikations-(AutoID)-Technologien bieten die Möglichkeit diese Verknüpfung herzustellen und dadurch einen durchgängigen Informationsfluss zu generieren. Durch ihren Einsatz besteht die Möglichkeit Informationen der Baustelle automatisch an eine zentrale Datenplattform zu übermitteln. Die Fehleranfälligkeit der Daten sinkt durch die automatische Weitergabe und sowohl die Datenqualität als auch die -aktualität steigen, so dass die Transparenz der Prozesse auf der Baustelle insgesamt erhöht wird.

Durch die Kennzeichnung und eindeutige Identifikation von Betriebsmitteln können Kosten exakt ermittelt und die Auslastung der Betriebsmittel deutlich erhöht werden. Zusätzlich können Einsatzzeiten und Auslastungen der Betriebsmittel bestimmt und so Wartungsintervalle angepasst werden. Bauteile können mit Hilfe von RFID¹⁰ individualisiert werden. Den Bauteilen können Informationen wie z.B. Fertigungsdatum oder Einbauort angehängt werden, die sowohl während der Bau- als auch während

¹⁰ RFID steht für Radio-Frequency Identifikation. Die RFID-Technologie erlaubt es Objekte und Personen eindeutig, schnell, berührungslos, gleichzeitig und ohne direkte Sichtverbindung zu identifizieren.

der Betriebsphase genutzt werden können. Zudem können Leistungsdokumentation, -nachweis und -kontrolle automatisiert und beschleunigt werden. Diese zusätzlichen Informationen bieten jedoch nicht nur in der Bauabwicklungsphase einen großen Mehrwert, sondern können auch über den Lebenszyklus genutzt werden.

Bei den Arbeiten von TP4 stehen vor allem die RFID-, Smart Objects-Technologien und Maschinensteuerungssysteme im Fokus.

3.4.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Die Dokumentation des Baufortschritts ist die wesentliche Voraussetzung, um das volle Potenzial der digitalen Baustelle ausnutzen zu können, da in der Ausführungsphase die größten Kosten entstehen bzw. vermieden werden können. Neben den Baufortschrittsinformationen sind aber auch Daten über den Bestand notwendig, um einen planmäßigen Ablauf der Baustelle zu gewährleisten. Diese Informationen können über unterschiedliche Technologien gewonnen werden. Die RFID-Technologie bietet dabei die Möglichkeit diese Informationen sichkontaktfrei zur Verfügung zu stellen. Unterschiedliche Firmen und Forschungseinrichtungen beschäftigen sich damit, diese Potenziale zu beschreiben und auszuschöpfen. Während in den vergangenen Jahren der Fokus der Forschungsarbeiten hauptsächlich auf die Entwicklung von RFID-Systemen gelegt wurde, tritt nun die Kopplung von RFID-Systemen mit dem Produktmodell oder auch BIM in den Vordergrund.

So wird in dem auf der IEEE-Konferenz veröffentlichten Paper der University of Arkansas at Little Rock, USA wird ein Konzept zur Kopplung von BIM mit RFID vorgestellt [HAN-10].

Das Institute for Research in Construction in Ottawa, Canada beschäftigt sich ebenfalls mit der Kopplung von RFID und BIM Informationen. Die Forscher stellen ein Konzept vor, bei dem ein BIM erweitert durch Daten aus RFID-Transpondern oder

Sensoren die Grundlage für Entscheidungen des Facility Managements bildet [AHA-10].

In der Arbeit von Razavi und Hass wurde ein Konzept zur Nutzung unterschiedlicher Sensoren wie RFID, GPS oder Ultraschall zur automatischen Materialverfolgung im Baubereich entwickelt [RAZ-09]

Am 12. April 2011 wird in Orlando, USA im Rahmen der RFID Journal LIVE! Konferenz ein Seminar mit dem Schwerpunkt RFID im Bauwesen stattfinden. Es werden Lösungen aus dem Bereich Bestandsmanagement, Werkzeugverwaltung und Diebstahlschutz vorgestellt [JOU-10].

Die britische Firma Magnor Plant Ltd. nutzt RFID um die Wartung der Sicherheitsausrüstung für Baustellen zu unterstützen und konnte dadurch signifikante Zeiteinsparungen realisieren [SWE-10].

Das österreichische Unternehmen IdentecSolution vertreibt verschiedene Lösungen zur Zugangskontrolle und Lokalisierung von Mitarbeitern bei Tunnelbaustellen. Einsatz fand dieses System z.B. bei einem Tunnelprojekt in Stockholm, Schweden. Es wurden aktive RFID-Transponder eingesetzt, um den Zugang der Mitarbeiter in verschiedene Tunnelabschnitte zu überprüfen und zu dokumentieren. Damit wurde sichergestellt, dass im Notfall die exakte Anzahl und der Aufenthaltsort der sich im Tunnel befindlichen Personen in Echtzeit festgestellt werden kann.

Ein ähnliches System würde auch für die Zugangskontrolle in ein Kohlebergwerk in Spitzbergen, Norwegen eingesetzt. Auch bei dieser Lösung wird überprüft, wer sich in dem Tunnel in welchem Bereich befindet. Im Notfall ist ein Tracking der Personen möglich [DIE-10].

Das niederländische Unternehmen b|a|s nutzt aktive Sensortransponder zur Ermittlung der Druckfestigkeit bei frischen Beton. Die drahtlosen digitalen Sensoren messen den Temperaturverlauf im erhärtenden Beton. Für die Berechnung der

Druckfestigkeit z. B. zur Bestimmung der Ausschalfestigkeit werden die Betonzusammensetzung und der Temperatureinfluss berücksichtigt. Unterschiedliche deutsche Bauunternehmen sind bereits an der Lösung interessiert, um so Ausschalzeiten zu minimieren und damit die Bauzeit zu verkürzen [BAS-10].

Aktuelle Forschungsprojekte im Bereich der Sensorknotentechnologie in der Bauwirtschaft beschäftigen sich v.a. mit der Struktur- und Dauerüberwachung von Bauwerken (insbesondere Brücken und historische Bauwerke). Die Sensoren erfassen dabei Kennwerte wie Lufttemperatur und -feuchte oder auch die Dehnung, Verschiebung sowie Schwingungen und werten diese aus [SMA-10].

In anderen Branchen findet diese Technologie bspw. zur mobilen Überwachung von Beständen Anwendung. Ein Ansatz der sich ebenfalls mit der Lösung dynamischer Zuordnungsproblematiken beschäftigt ist das Forschungsprojekt OPAL Health, in dem mit der Sensorknotentechnologie die richtige Zuordnung von Patient und Blutbeutel sichergestellt werden soll [RFI-10].

Die im Gegensatz dazu geringe Anzahl von neuen Lösungen in diesem Jahr in Deutschland zeigt, dass nach wie vor Zurückhaltung gegenüber RFID in der deutschen Baubranche herrscht. Die Ergebnisse, die Unternehmen die RFID einsetzen erzielen, zeigen aber deutlich, dass diese Zurückhaltung nicht gerechtfertigt ist und sich RFID langfristig weiterverbreiten wird.

Systeme zur Maschinensteuerung und -führung sind im Gegensatz zu RFID mittlerweile am Markt und bei den Baufirmen etabliert. Zum Teil wirkt sich dies bereits auf die Ausschreibung von Maßnahmen aus, wenn hier die Verwendung von Maschinensteuersystemen zwingend vorgeschrieben wird, um die Qualität der Ausführung zu sichern [STE-10].

Der Verband der Baumaschinen-Ingenieure und Meister e.V. (VDBUM) setzt technologische Akzente und stellt in seiner regelmäßig erscheinenden Verbandszeitschrift den state-of-the-art im Bereich Baumaschine heraus [VDB-10].

Für die Lehre wurde an der Hochschule Coburg unter Leitung von Prof. Schreiber ein eigenes Maschinensteuerungssystem (Bagger) mit visueller Rückmeldung zur Position des Löffels entwickelt und stetig erweitert [SCH-06].

Schon seit mehreren Jahren werden an der ETH Zürich von Prof. Ingensand vielfältigste Untersuchungen auf dem Feld „Machine Control and Guidance“ durchgeführt [ETH-10].

Durch den Ruf von Prof. Stempfhuber (Fa. Leica) an die Beuth-Hochschule Berlin sind auch von dieser Stelle künftig Einflüsse auf die Technologie zu erwarten und sollten verfolgt werden.

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Maschinensteuerung ist das dynamische Update von Planungsmodellen. Hierfür sollen Produktionsdaten aus der Maschinensteuerung genutzt werden, da diese derzeit beim Arbeitsprozess bereits erstellt jedoch häufig nicht oder nicht ausreichend gespeichert bzw. weitergenutzt werden. Gründe hierfür sind vor allem die zur Zeit noch intensive Aufbereitung und Filterung der Daten, die für eine Weiterverwendung notwendig sind.

Ansätze gibt es u.a. bei einem System zur Unterwasserbaggerung der Fa. PROLEC, bei dem die Veränderungen am Grundmodell in Echtzeit und für den Baggerfahrer sichtbar nachgeführt werden [PRO-10]. Des Weiteren wurden an der ETH Zürich im Rahmen einer Masterarbeit eine Idee und ein Prototyp zur Echtzeitdokumentation bei 3D-Baggeranwendungen entwickelt [STE-10]. Nicht zuletzt arbeiten auch zwei unserer Industriepartner (RIB, Topcon) gemeinsam an einem Konzept zur Nachmodellierung von Baugrunddaten auf der Basis von Maschinendaten. Ein erster Demonstrator wurde von diesen beiden Partnern bereits auf der BAUMA 2010 vorgestellt [RIB-10] [AUT-2010].

Wie man aus all diesen Bestrebungen und Ideen sieht, steckt vor allem in der Verbindung von 3D-Modellierung und 3D-Steuerung noch großes Potenzial.

3.4.3 Aktueller Stand und Ergebnisse

Im ersten Projektjahr wurden Kennzeichnungskonzepte für Betriebsmittel, Bohrröhre und Betonelemente entwickelt. Diese Entwicklung geschah auf Grundlage eines Betriebsmittelclusters, welches in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern erarbeitet wurde. Darüber hinaus wurden mögliche Nutzenpotenziale eines RFID-Einsatzes für die Baubranche beschrieben und das I-Punkt Konzept des Mobilen Gates entworfen. Die Praxistests der Lösungen wurden im zweiten Projektjahr durchgeführt. Als neues Kennzeichnungskonzept wurde die Eignung von Schlitzantennen für die Kennzeichnung von metallischen Elementen untersucht. Der Fokus der Arbeiten lag im zweiten Projektjahr auf der Entwicklung von bautaughen Identifikationspunkt Konzepten. Es wurde das im ersten Jahr entworfene Konzept des mobilen Gates umgesetzt sowie für die Dokumentation von Verleih- und Wartungsprozessen die RFID-Theke konzipiert. Zur Dokumentation des Baufortschritts wurde das Konzept der mobilen Baudatenerfassung entwickelt. Als weitere Technologie wurden Sensorknoten betrachtet. Diese bilden die Grundlage des Konzepts zur Vermeidung von Verwechslungen von Ölarten und der daraus resultierenden Folge von Motorschäden und Ausfällen von Baumaschinen.

Im dritten Jahr lag die Zielsetzung von TP4 bei der Weitergabe der erfassten Daten an das PDM-System (TP2) bzw. an das in TP3 entwickelte BWS. Hierfür wurden Schnittstellen zu den beiden Systemen definiert und Lösungen umgesetzt.

Neben den Auto-ID-Technologien wurden in diesem Jahr auch Maschinendaten betrachtet. Moderne Baumaschinen schreiben bereits heute eine Vielfalt von Produktionsdaten mit, die häufig aber keine weitere Verwendung finden. Zielsetzung der Arbeiten war es daher, unterschiedliche Maschinensteuerungssysteme sowie die von den Systemen gesammelten Daten zu untersuchen.

3.4.3.1 Mobile Baudatenerfassung

Im vergangenen Jahr wurde das Konzept der mobilen Baudatenerfassung (mBDE) entwickelt. Ziel dieser Lösung ist es Informationen zum Baufortschritt in Echtzeit an das PDM weiterzuleiten und den Baufortschritt somit zentral zu dokumentieren. Damit können digitale Plandaten mit den Ist-Daten der Baustelle verknüpft werden, so dass ein Soll/Ist-Vergleich der Bauleistung ermöglicht wird.

Abbildung 3.4-1 zeigt das entwickelte Konzept der mBDE. In Expertengesprächen mit unterschiedlichen Baupraktikern wurden die Anforderungen an das System wie folgt definiert:

- Die Identifikationstechnologie muss den rauen Bedingungen der Baustelle stand halten.
- Die Geräte (Hard- und Software), die zur Identifikation der Bauteile auf der Baustelle eingesetzt werden, müssen den bisherigen Arbeitsprozess vereinfachen.
- Das System muss online und offline funktionieren, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass zu jeder Zeit eine Funkverbindung vorhanden ist.
- Informationen müssen in Form von Text, Bildern und Ton aufgenommen und versendet werden können.
- Das zentrale Verwaltungssystem muss den Baufortschritt in jeder Phase abbilden und die Verknüpfung zwischen den realen Daten und den digitalen Daten herstellen.

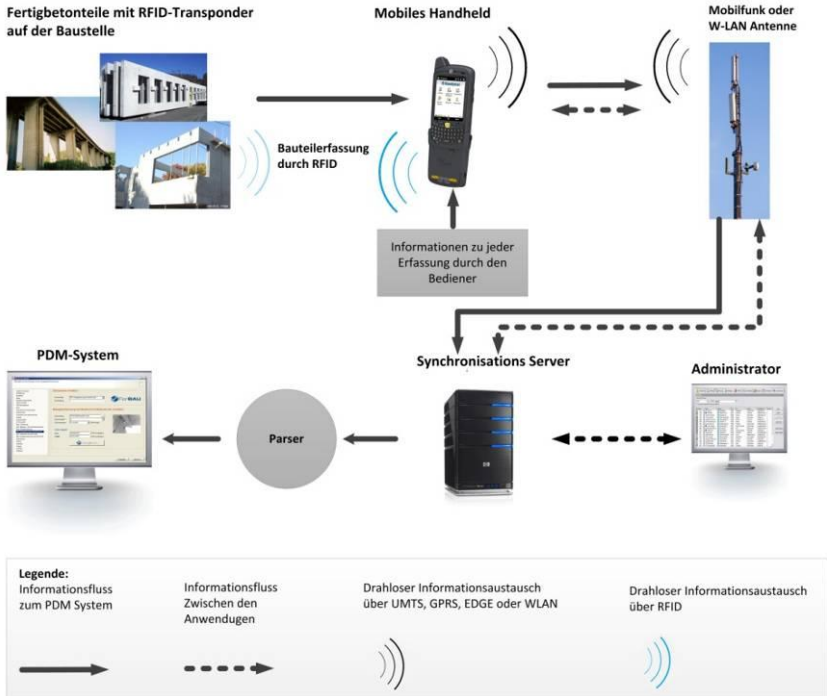


Abbildung 3.4-1: Konzept Baufortschrittskontrolle

Das Konzept sieht vor, dass zur Überwachung des Baufortschritts Bauteile wie z.B. Betonfertigteile mit einem RFID-Transponder ausgestattet werden. Jedes Element erhält eine eindeutige Nummer, die mit der ID des virtuellen Bauteils im PDM-System korreliert. Über ein RFID-fähiges Gerät werden die Bauteile identifiziert. Eine Softwareapplikation auf dem mobilen Endgerät kann dem jeweiligen Bauteil Zusatzinformationen wie den aktuellen Status oder Zustands- bzw. Mängelbeschreibungen durch Bilder, Sprachmemos oder Kommentare zugeordnet werden. Diese werden von der Softwareapplikation automatisch in einer XML-Datei gebündelt, über einen Web-Server an das zentrale PDM-System geschickt und dort dem virtuellen Bauteil angehängt. In der PDM-Umgebung wird der Status des Bauteils

geändert. Damit ist der Baufortschritt zu jeden Zeitpunkt im PDM-System dokumentiert. Diese Lösung wurde in einer selbstentwickelten Softwareapplikation umgesetzt und im Zwischenbericht 2009 vorgestellt.

mBDE.2

Die Eigenprogrammierung der mBDE hatte den Vorteil, dass alle Anforderungen nach Wunsch umgesetzt werden konnten. Als nachteilig stellte sich heraus, dass die Applikation nur auf diesem Typ von Gerät funktioniert, da Standard-Mobiletelefone nur über Betriebssysteme mit stark eingeschränkten Funktionalitäten verfügen. Darüber hinaus wurde von der Industrie gefordert, dass die Auslesereichweite über die mit Mobiltelefonen erzielbaren 5cm hinausgeht. Gleichzeitig wurde die Robustheit des Mobiletelefons für den Baustelleneinsatz kritisch bewertet. Daher wurde beschlossen, die Lösung auf einem für den Einsatzbereich konzipierten Handheld der Fa. Motorola umzusetzen. Um eine höhere Auslesereichweite zu ermöglichen, wurde das Handheld mit einer UHF¹¹-Antenne ausgestattet. Das Handheld ist mit dem Betriebssystem Windows Mobile 6.1 ausgestattet. Um sicherzustellen, dass die Applikation der mBDE.2 auf unterschiedlichsten Geräten nutzbar ist, wurde sie auf Basis der Software Handyman der norwegischen Firma epocket entwickelt. Handyman wurde ursprünglich zur Entgegennahme und Bearbeitung von Aufträgen für Servicetechniker im Außerdienst entwickelt. Als besonders vorteilhaft wurde bei der Auswahl bewertet, dass Handyman ein offenes System ist, das auf den einfachen Datenaustausch mit anderen Systemen ausgelegt ist. Auf dieser Basis wurden die Funktionalitäten der mBDE.2 umgesetzt (Abbildung 3.4-2).

¹¹ UHF steht für Ultra High - Frequency. Diese Frequenz arbeitet bei 868MHz. Es können abhängig von den Umgebungsbedingungen Auslesereichweiten von 0,3m bis 5m realisiert werden.

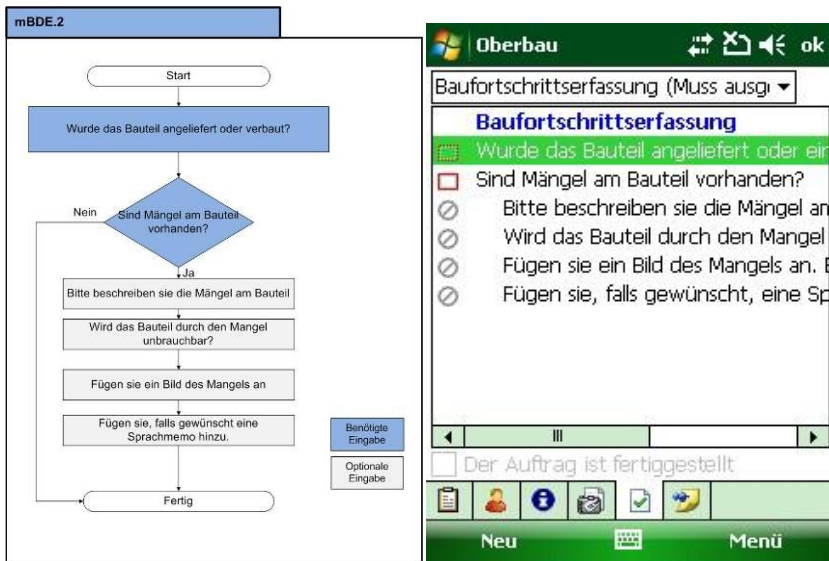


Abbildung 3.4-2 Konzept und Umsetzung der mBDE.2

Die Nutzung der Handyman-Software ermöglichte es auf verschiedene Standardfunktionalitäten der Software zurückzugreifen sowie mit unterschiedlichen Identifikationstechnologien (RFID, Barcode). So kann zur Beschreibung eines Schades z.B. ein Wörterbuch genutzt werden. Dies hat den Vorteil, dass nur eine festgelegte Auswahl von Worten Verwendung findet. Damit wird sichergestellt, dass dem PDM-System interpretierbare Werte übergeben werden. Eine weitere sehr hilfreiche Funktion ist das Redlining. Redlining erlaubt es Markierungen in Fotos vorzunehmen, so dass z.B. ein Schaden direkt im Bild mit einem Kreis hervorgehoben werden kann.



Abbildung 3.4-3 Kennzeichnung eines Rissverlaufs

Zusätzlich muss die Eingabe mit der Funktion der digitalen Unterschrift beendet werden (Abbildung 3.4-4). Die Informationen werden direkt nach Erfassung an das PDM-System weitergeleitet und dort automatisch abgelegt, für den Bearbeiter entsteht so kein weiterer Aufwand. Die entwickelte Schnittstelle zum PDM-System wird in Abschnitt 3.2.3.4 erläutert.



Abbildung 3.4-4 Beendigung der Eingabe mit einer digitalen Unterschrift

Neben der rein textbasierten Statusmeldung kann der Baufortschritt auch anhand des 3D-Modells visualisiert werden. Durch eine Anpassungsprogrammierung des PDM-Systems erhalten die Komponenten von 3D-Brückenmodellen je nach Baufortschritt eine unterschiedliche Färbung (vgl. Abschnitt 3.2.3.4 Visualisierung des Baufortschritts). Damit ist der Baufortschritt auch visuell überprüfbar.

3.4.3.2 MobileLifecycleManager

Ziel des Konzepts des Mobilen Lifecycle Managers, kurz MLM, ist es die hochwertigen Daten der Digitalen Baustelle nicht nur in der Planungs- und Ausführungsphase sondern auch für das Lebenszyklusmanagement zu nutzen. Ein großer Mehrwert kann z.B. bei der Wartung generiert werden indem auf der Baustelle mit Hilfe eines mobilen Gerätes die Daten aus dem PDM-System bedarfsgerecht genutzt werden können.

Folgendes Szenario wurde betrachtet:

Die für die Wartung bestimmter Komponenten verantwortliche Person erhält über das PDM-System eine Erinnerung, dass eine Wartung durchzuführen ist, z.B. die Hauptprüfung nach DIN 1076 bei Ingenieurbauwerken. Nachdem der Verantwortliche die Meldung erhalten hat, schickt er einen Auftrag für eine Prüfung an einen Wartungsmitarbeiter. Nach DIN 1076 ist der Wartungsmitarbeiter verpflichtet „alle auch schwer zugänglichen Bauwerksteile handnah zu prüfen“. Die Einhaltung der „handnahen“ Prüfung wird durch die Nutzung von RFID-Transpondern mit kurzer Reichweite (<20cm) sichergestellt. Diese Transponder werden an verschiedenen, prüfungsrelevanten Stellen einbetoniert bzw. platziert. Um die Prüfung durchzuführen, erhält der Wartungsmitarbeiter ein RFID-fähiges Handheld. Auf diesem ist die Software des MLM installiert. Mit dem Handheld identifiziert der Mitarbeiter die zu prüfenden Bauwerksteile. Es öffnet sich die für den Bereich relevante Checkliste. Scannt der Mitarbeiter beispielsweise ein Bauteil

ab, so öffnet sich auf dem Handheld automatisch die Checkliste für Massivteile. Der Mitarbeiter wird mit Hilfe einer Liste durch die Prüfung geführt. Schäden wie Risse, Verfärbungen oder Abplatzungen werden zusätzlich mit einem Foto der im Handheld integrierten Kamera dokumentiert. Der Mitarbeiter schließt die Prüfung des Bauteils mit einer digitalen Unterschrift am Ende der Checkliste und versendet die Daten. Für den Mitarbeiter ist die Prüfung damit abgeschlossen, ohne dass im Nachgang Prüfungsunterlagen abgehftet oder in der EDV abgelegt werden müssen (Abbildung 3.4-5).



Abbildung 3.4-5 Funktionsweise des MobileLifecycleManagers

Aus diesem Szenario heraus wurde auf Grundlage der DIN 1076 wurde folgendes Ablaufschema entwickelt.

Über die Anmeldung am Handheld identifiziert sich der Teilnehmer. Damit „weiß“ der MLM von welchem Nutzer er betrieben wird. Der Name wird dem Auftrag so automatisch zugeordnet. Über Barcode oder RFID werden die Bauteile identifiziert. Diese Nummer ist die Voraussetzung für die Zuordnung der Daten aus dem MLM zu den vorhandenen Daten im PDM-System und benennt daher den Auftrag. Die Prüfung startet indem der Prüfer die Art der Prüfung festlegt. Hierbei wird zwischen der Einfachen Prüfung, der Hauptprüfung, der Hauptprüfung vor der Abnahme, der Hauptprüfung vor Ablauf der Frist, der Sonderprüfung und der Prüfung nach besonderer Vorschrift unterschieden. Danach wird die Prüfrichtung festgelegt.

MobileLifecycleManager

Allgemeine Informationen

Teilnehmer via Anmeldung an Handheld 1	Bauteilnummer via RFID 1
--	--

Checkliste: Art der Prüfung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Riss 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Ausbeulung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Durchflechtung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Klappung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Setzung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Verformung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Abplatzung 0 ...n

Checkliste: Schadensbeschreibung Anderer Mangel 0 ...n

Zum Auftrag hinzugefügte Daten

Datum und Unterschrift 1	weitere Fotos zum Auftrag 0...n	Sprachmemo zum Auftag 0 oder 1
---	--	---

Abbildung 3.4-6 Ablaufschema des MLM

In den folgenden Checklisten werden die unterschiedlichen Ausprägungen von Schäden abgefragt. In der DIN 1076 wird zwischen unterschiedlichen Schadensformen wie Riss, Ausbeulung, Abplatzung, Verformung, Durchflechtung, Setzung oder Kippung, um einige Beispiele zu nennen, unterschieden. Für jede dieser Schadensformen gibt es eine eigene Checkliste, die jeweils den gleichen Aufbau aufweist. In Abbildung 3.4-7 ist dieser dargestellt. Wird bei der Prüfung z.B. ein Riss festgestellt, muss dieser mit einem Freitext beschrieben werden. Danach erfolgt die Bewertung des Risses bezügl. der Standsicherheit, der Verkehrssicherheit und der Dauerhaftigkeit. Wie in der DIN-Norm

vorgesehen, kann (optional) auch beim MLM der Prüfer eine detaillierte Empfehlung abgeben. Hierzu kann er zunächst eine Art von Leitung zur Behebung des Schadens vorschlagen sowie Angaben über die Menge der Leistung machen. Dieser Eingabe folgt eine Einschätzung der Dringlichkeit sowie der anfallenden Kosten zur Behebung des Schadens. Mit der Möglichkeit zur Abgabe einer zusätzlichen Bemerkung endet die Beschreibung der Empfehlung. Mit der im Handheld integrierten Kamera muss der Schaden dokumentiert werden. Sind weitere Schäden am Bauwerk vorhanden, können diese mit Hilfe der Checklisten nach gleichem Schema beschrieben werden. Die Prüfung endet mit der digitalen Unterschrift des Prüfers. All diese Informationen werden einen zentralen Server versendet.

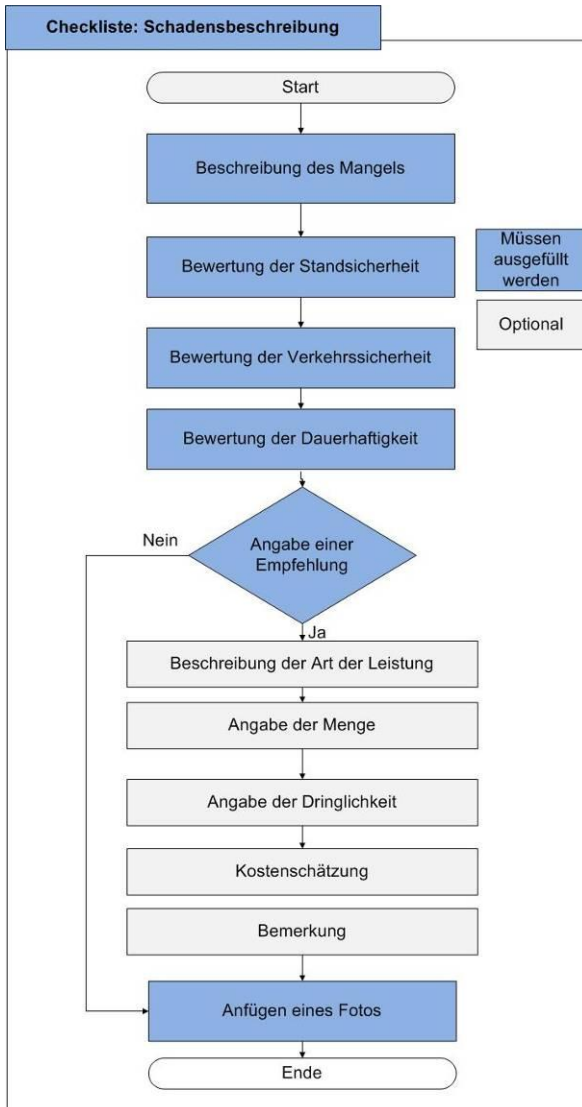


Abbildung 3.4-7 Checkliste Schadensbeschreibung

Da sich viele der technischen Anforderungen des Konzepts des MLM mit denen des mBDE.2 decken, wurde entschieden, die gleiche technologische Basis zu nutzen. Es wurde ein Handheld der Fa. Motorola mit dem Betriebssystem WindowsMobile 6.1 verwendet und die Software-Lösung Handyman der Fa. epocket installiert. Auf Basis von Handyman wurde nun eine Applikation entwickelt, mit der die oben dargestellten Strukturen abgebildet werden konnten. In Abbildung 3.4-8 sind Screenshot der Anwendung dargestellt.



Abbildung 3.4-8 Screenshots des MobileLifecycleManagers

Durch die Nutzung der Handyman-Software konnten auch für den MLM Standard-Funktionalitäten wie das Wörterbuch, Redlining oder die Digitale Unterschrift verwendet werden.

Mit Hilfe des MLM in Kombination mit dem PDM-System wird ein durchgängiges Lebenszyklusmanagement, das von der Planungsphase über die Bauphase bis zur Nutzung reicht, ermöglicht. Für den Bauherrn bietet dieses Konzept die Möglichkeit den Verwaltungsaufwand für die Instandhaltung

wesentlich zu verringern. Grundlage dafür ist jedoch, dass der Bauherr nicht nur das Bauwerk übergeben bekommt, sondern gleichzeitig das PDM-System. Für die Bauindustrie ergibt sich die Chance mit diesem Konzept ein neues Geschäftsfeld zu erschließen.

3.4.3.3 Schulungskonzept RFID-Einsatz in der Baubranche

Auf Veranstaltungen wie z.B. dem Allgäuer Baufachkongress zeigte sich, dass es in der Bauindustrie ein großes Interesse an der RFID-Technologie gibt, das Wissen über die Technologie jedoch lückenhaft ist. In Zusammenarbeit mit dem Verband des Deutschen Baugewerbes wurde daher ein Schulungskonzept entwickelt, das speziell auf die Bauindustrie abgestimmt wurde. Bei der Konzeption der Schulung wurde vor allem auf Praxisnähe und Anschaulichkeit geachtet. Es wurde eine eintägige Veranstaltung entwickelt, bei der den Teilnehmern die Grundlagen der RFID-Technologie zunächst theoretisch vorgestellt wurden. Um die Technologie zu verstehen, ist es jedoch essenziell zu wissen von welchen Faktoren RFID beeinflusst wird. Indem unterschiedliche Experimente zusammen mit den Teilnehmern durchgeführt wurden, konnten sie sehr anschaulich lernen, worauf bei einem RFID-Einsatz geachtet werden muss. Um den Teilnehmern einen Eindruck über den großen Einsatzbereich zu vermitteln, wurden vielfältige Anwendungen aus der Praxis und der Forschung vorgestellt.

Am Nachmittag könnten die Teilnehmer bei unterschiedlichen Livedemonstrationen in der Versuchshalle des Lehrstuhls fml offene Fragen klären und einen ersten Eindruck über den praktischen Einsatz von RFID erhalten (Abbildung 3.4-9).

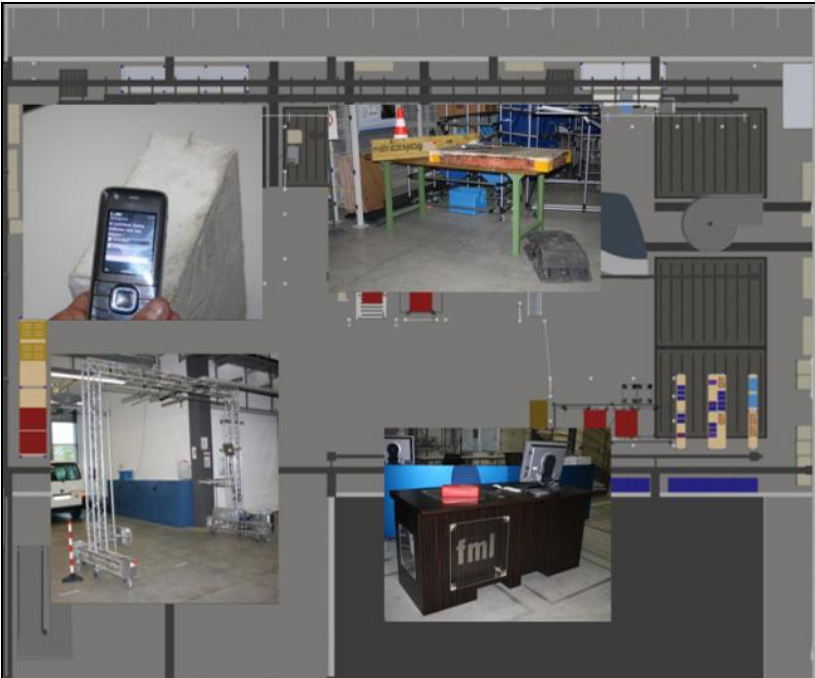


Abbildung 3.4-9 Übersicht über die Livevorführungen in der Versuchshalle des Lehrstuhls fmi (Im Uhrzeigersinn von links oben: mobile Baudatenerfassung mit dem Handy, Kennzeichnung von Baubetriebsmitteln, Werkzeugverwaltung mit der RFID-Theke, Wareneingangsidentifikation auf dem Bauhof mit einem Gate)

Die Veranstaltung wurde von den Teilnehmern durchweg für sehr informativ und gut auf die Zielgruppe abgestimmt bewertet. Auf Grund des positiven Feedbacks wird diese Schulung in das Angebot des RFID-Anwenderzentrums München der TU München aufgenommen. Das RFID-Anwenderzentrum München (www.rfid-azm.de) versteht sich als Plattform für Wissenschaft, Entwickler und Hersteller von RFID-Hardware, Anwender sowie Verbände. Da die RFID-Technologie eine Schnittstellentechnologie ist, werden zur Forschung in diesem Bereich

Kompetenzen aus unterschiedlichen Fachbereichen benötigt. Die wissenschaftlichen Mitglieder des RFID-Anwenderzentrums München setzen sich deshalb aus den Fachbereichen Produktion, Logistik, Elektrotechnik und Informatik zusammen (Abbildung 3.4-10). Zu den Angeboten des RFID-Anwenderzentrums gehören neben der Unterstützung von RFID-Projekten vor allem Schulungen. Mit der Aufnahme dieser neuen Schulung wurde das Angebot erweitert.



Abbildung 3.4-10 Wissenschaftspartner des RFID-Anwenderzentrums München

3.4.3.4 Sensorknotentechnologie zur Vermeidung von Fehlern

Falsche Schmierstoffe in Baumaschinen können zum Totalausfall der Maschine führen. Hohe Kosten durch den Ausfall und die Instandsetzung der Maschine sind die Folge. Um dies zu verhindern wurde das Konzept des Intelligenten Tanksystems (I-Tank) entwickelt, dass in diesem Jahr in einem Demonstrator umgesetzt wurde. Dieser zeigt unter realen Bedingungen auf, wie moderne I&K-Technologien die fehleranfällige Betankung von Baumaschinen technisch unterstützen können, um die richtige

Zuordnung von Schmierstoff und Maschine sicherzustellen. Hierfür werden aktive Funkknoten, sogenannte Sensorknoten, eingesetzt, die bei der Befüllung prüfen, ob das richtige Öl verwendet wird. Sensorknoten sind Rechner in der Größe einer Streichholzschachtel, welche über einen Mikroprozessor, eine Funkschnittstelle, Aktorik, Sensorik und eigene Stromversorgung verfügen [MAT-03]. Sensorknoten können autonom, d.h. unabhängig von zusätzlicher Infrastruktur agieren und untereinander durch eine sogenannte Ad-Hoc Vernetzung Informationen austauschen [KAR-07].

Da ein Technologieeinsatz in der Regel mit hohen Implementierungskosten verbunden ist, wurde die Technologieauswahl auf Basis der Anforderungen des letztjährig skizzierten Szenarios, evaluiert. In folgender Tabelle sind die Eigenschaften unterschiedlicher Identifikations- und Kommunikationstechnologien und deren Einsatzpotential für das beschriebene Szenario aufgezeigt (Vgl. Abbildung 3.4-11).

	Identifikation der Ölsorte und Maschine	Datenspeicherung (zur Dokumentation der verwendeten Ölsorten auf der Maschine)	Sensorik zur Füllstandsbestimmung in der Kanne	Vernetzung von Fass/Kanne/Maschine	Datenverarbeitung zur Entscheidungsausgabe
RFID- passiv	●	●	○	○	○
RFID -Semiaktiv mit Sensormodul	●	●	●	○	○
RFID – Aktiv mit	●	●	●	⊙	⊙

Sensormodul					
Real Time Location Systems für die Positionsbestimmung	●	●	○	○	○
Drahtlose Sensornetzwerke	●	●	●	●	●

Abbildung 3.4-11 Bewertung von I&K-Technologien bzgl. des ausgearbeiteten Szenarios (● erfüllt die Anforderungen in hohem Maße / ○ erfüllt die Anforderungen teilweise / ○ erfüllt die Anforderungen nicht)

Aus der Analyse wird ersichtlich, dass es sich bei drahtlosen Sensorknoten um die geeignete Technologie handelt, um das beschriebene Szenario umzusetzen.

Für einen ersten Funktionstest wurde ein einfaches Demonstrationszenario bestehend aus einer Holzkiste, einer Aluminium-Kanne und zwei Plastik-Tanks errichtet, die die Ölfässer, die Maschinen und die mobile Ölkanne repräsentierten. Mit diesem Aufbau wurde das Kommunikationsprotokoll sowie die Sende- und Empfangseigenschaften der Knoten auf den konkreten Anwendungsfall hin überprüft. Dabei galt es v.a. die optimale Funkreichweite und -frequenz zu bestimmen, um eine sichere Funktion des Demonstrationsablaufs gewährleisten zu können (vgl. Abbildung 3.4-12).

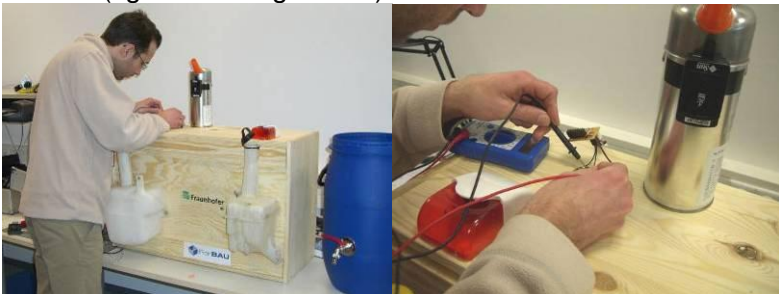


Abbildung 3.4-12: Einfaches Funktionsmuster zur Einstellung der Sensorknotenparameter

Nachdem der Funktionsnachweis mit Hilfe dieses relativ einfachen Aufbaus getätigt werden konnte, wurde der endgültige Demonstrator realisiert. Dabei wurden die metallischen Bedingungen bei Baumaschinen und Ölkantnern nachgebildet (Abbildung 3.4-13). Weiter konnte durch den Aufbau des Szenarios die Funktionsweise mit Flüssigkeiten demonstriert und getestet werden. Die einwandfreie Funktion im Umfeld von Metallen und Flüssigkeiten ist ein zentrales Anliegen der Demonstration, da diese beiden Medien im Rahmen von Funktechnologien zu Abschirm- bzw. Absorptionseffekten führen und eine Anwendung der Technologie obsolet machen können.



Abbildung 3.4-13: Endgültiger Aufbau des Demonstrators

Technische Spezifikation des Demonstrators

Zur Realisierung des Demonstrators werden die drahtlosen Sensorknoten wie folgt eingesetzt: An Ölfass, Kanne und Kanister werden jeweils Sensorknoten befestigt. Bei Befüllung der Ölkanne findet ein Datenaustausch zwischen Fass und Kanne statt, welcher für die Übermittlung der Öl-Informationen auf die Ölkanne dient. Vor Befüllung des Kanisters, d.h. der Maschine, findet ein Datenaustausch zwischen Ölkanne und Kanister statt, bei dem die Informationen auf der Kanne mit den Informationen über die zugelassenen Ölsorten der Maschine abgeglichen werden und eine Entscheidung über die

Verwendbarkeit getroffen wird. Die Interaktion mit dem Nutzer ist in Form einer optischen (rote Warnleuchte) und akustischen (Alarmton) Anzeige umgesetzt. Für den Abgleich der Informationen wurde ein Kommunikationsprotokoll entwickelt, welches den beschriebenen Prozess auf den Knoten umsetzt (Abbildung 3.4-14).

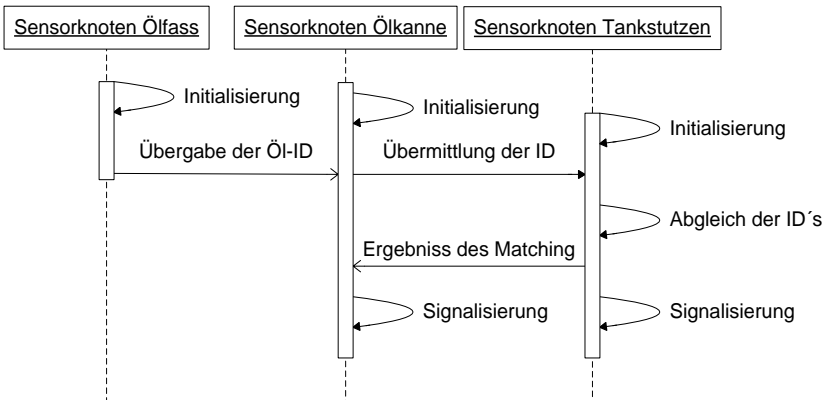


Abbildung 3.4-14: Sequenzdiagramm zur Visualisierung des Kommunikationsablaufs

Die Implementierung des Kommunikationsprotokolls wurde auf dem Developer System der SunSpots-Sensorknoten der Firma Sun realisiert. Die einzelnen Nachrichten für die Übergabe der Informationen zwischen den Knoten wurden in einem generischen Austauschformat spezifiziert (Abbildung 3.4-15).

Element		Beschreibung	
Event		Root Element	
EventID		Fortlaufende Event-ID	Int
EventTime		Zeitstempel	Datetime
Öl – ID		Informationen über das jeweilige Öl	Optional
ID		Eindeutige Identifikation	Int

	Typ	ID-Übergabe Bestimmung der Funktionalität (setID, matchingID, deleteID)	Typ zur	Enum
	MatchingResult	Informationen über das Matching- Ergebnis		Optional
	ID	Eindeutige Identifikationsnummer des Events		Int
	Matching	Ergebnis des Matchings		Boolean

Abbildung 3.4-15: Spezifikation des Nachrichtenformates

Durch das generische Austauschformat ist die entwickelte Lösung unabhängig von der jeweiligen Hardware und kann dadurch zukünftig auch auf andere Sensorknotensysteme aufgesetzt werden, die beispielweise mit einem integrierten Füllstandsmesser ausgestattet sind. Diese Komponente ist für einen späteren Einsatz in der Praxis unentbehrlich, da sichergestellt werden muss, dass sich bei Neubefüllung keine Restmengen des vorherigen Öls mehr in der Kanne befinden. Die Anwendung zur Vermeidung einer falschen Betankung mit Schmierstoffen ist nur ein mögliches Einsatzszenario der Sensorknotentechnologie an Baumaschinen. Mit dem Demonstrator wurde die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Sensorknotentechnologie im Baumaschinenumfeld nachgewiesen. Der Demonstrator wurde dem Fachpublikum auf der Bauma2010 vorgestellt.

3.4.3.5 Konzept zur Integration von Auto-ID-Daten

Hochwertige 4D-Planungsdaten generieren den Großteil ihres Mehrwertes in der Ausführungsphase, da in dieser Phase eines Bauprojektes der größte Anteil an Kosten verursacht wird (vgl. Opitz-Zusammenhänge zur Kostenentstehung und -verursachung; Zwischenbericht 2009, S.204-205). Um das Potenzial der Digitalen Baustelle bestmöglich ausschöpfen zu können, ist die Kopplung zwischen virtueller Planung und realer

Ausführung folglich elementar. Informationen über Prozesse müssen in Echtzeit an das digitale Gesamtmodell zurückgespielt werden, um Verzögerungen im Bauablauf, Materialengpässe und -überkapazitäten schnell und zuverlässig zu erkennen. Eines der Ziele des TP4 lag in der Vereinfachung und Beschleunigung der Datenerfassung und -verarbeitung mittels moderner I&K-Technologien, wie bspw. der Auto-ID-Technologie RFID. Durch Einsatz dieser Technologien können Prozesse besser kontrolliert und gesteuert werden und die kosten- und termingerechte Projektabwicklung sichergestellt werden – eine geeignete Weiterverarbeitung und Interpretation dieser Daten vorausgesetzt.

Ziel des dritten Projektjahres war es ein ganzheitliches Konzept zur Integration und Interpretation von Auto-ID-Daten zu entwickeln, welches die gewonnenen Daten sinnvoll miteinander verknüpft und eine effiziente Abwicklung des Bauprojektes sicherstellt. Der Fokus des Konzeptes liegt dabei auf der Nutzung der Auto-ID-Daten zu Controlling und Steuerungszwecken.¹²

Aufgabe eines durchgängigen Controllingkonzeptes ist die Erfassung und Verarbeitung relevanter Informationen zur Verbesserung der Entscheidungsqualität und zur Unterstützung der Projektleitung bei der Zielerreichung [NEB-03]. Die Definition der Ziele ist hierbei ein vielschichtiges Problem, da Erfolgsurteile immer subjektive Aussagen der beteiligten Akteure sind [LEC-97]. Betrachtet man ein einzelnes Bauunternehmen, so liegt dessen betriebswirtschaftliche Zielsetzung darin, einen möglichst hohen Umsatz, bzw. Gewinn zu erzielen. Nachträge sind in diesem Kontext ein bewährtes Mittel. Aus Sicht des Bauunternehmens können dadurch knapp kalkulierte Projekte „rentabel gerechnet“ werden. Aus gesamtheitlicher bzw. Auftraggeber Sicht stellt dies

¹² Neben dem Controlling können die gewonnenen Daten auch zum Benchmarking, d.h. zur vergleichenden Beurteilung verschiedener Bauprojekte verwendet werden. Zudem wurde in TP3 AP IV-1 ein Konzept aufgezeigt, wie durch die Nutzung von Auto-ID Daten Finanzflüsse optimiert werden können.

jedoch eine unplanmäßige Abweichung von der ursprünglichen Kosten- und Terminzielsetzung dar, die es zu vermeiden gilt. Im Rahmen des nachfolgend beschriebenen Konzeptes wurde die Zielsetzung als „gesamtwirtschaftlicher Projekterfolg“ definiert, ohne die teilweise gegenläufigen Einzelziele der verschiedenen Akteure zu berücksichtigen. Ziel ist folglich die Fertigstellung eines Bauvorhabens unter Einhaltung der geplanten Kosten, in der veranschlagten Zeit und in der richtigen Qualität.

Im Sinne des Prozessmanagement-Ansatzes bildet der Bauausführungsprozess den wertschöpfenden Hauptprozess eines Bauprojektes. Dabei spielt die Materialversorgung als unterstützender Prozess eine herausragende Rolle für die erfolgreiche Projektabwicklung. Aus diesem Grund stehen diese beiden Prozesse im Mittelpunkt des Ist-Daten-Konzeptes (Vgl. Abbildung 3.4-16).

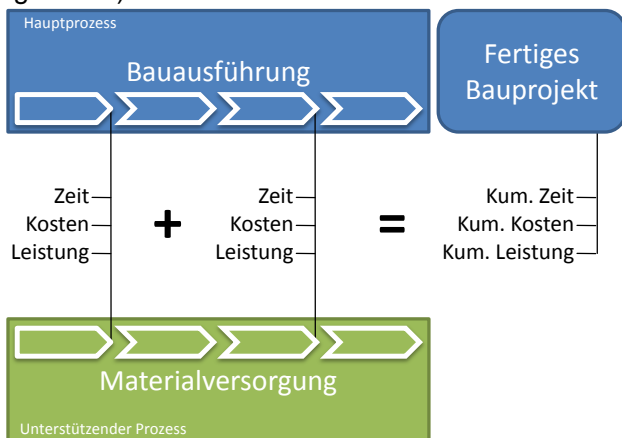


Abbildung 3.4-16: Hauptprozess Bauausführung mit Nebenprozess Materialversorgung

Nach der Prozessmanagement-Logik kann das Gesamtziel einer termin-, kosten- und mengengerechten Abwicklung eines Bauprojektes nur erreicht werden, wenn die Zielerreichung jedes einzelnen Unter- und Teilprozesses gewährleistet werden kann.

Sollten Abweichungen auftreten, ist ein steuernder Eingriff in den Prozess notwendig, um diese Abweichungen frühzeitig zu erkennen und zu minimieren.

Dieser Ansatz führt zu zwei zentralen Fragestellungen, die es durch das Ist-Daten-Konzept zu lösen gilt:

1. Wie müssen die Daten aufbereitet werden, um Abweichungen schnell erkennen zu können?
2. Welche Daten müssen hierfür wann und an welcher Stelle des Prozesses erfasst werden?

Datenaufbereitung und Interpretation

Zur Verortung der Messpunkte wurde zuerst ein Referenzprozess aufgestellt, der die beiden Prozesse, Bauausführung und Materialversorgung, gemäß ihres chronologischen Ablaufs abbildet. Dabei stellt der Materialversorgungsprozess einen zeitlich vorgelagerten Prozess dar, an den sich der Verbau der Materialien anschließt. In einem nächsten Schritt wurde analysiert, wie die Zielvorgaben Leistung, Kosten und Termine in den beiden Prozessen mess- und interpretierbar gemacht werden können. Entsprechend der Zielsetzung des ForBAU-Projektes stellt ein Soll/Ist-Abgleich über Termine und Mengen im Rahmen der Bauausführung das effektivste Mittel dar, um Abweichungen im **Bauablauf** zu identifizieren. Hierfür wurden im ForBAU-Projekt, neben der in TP4 umgesetzten Auto-ID-Lösung mBDE, weitere Konzepte zur Baufortschrittserkennung entwickelt, wie bspw. das TLS oder der Abgleich mittels Augmented Reality.

Um Abweichungen im **Materialversorgungsprozess** schnell zu erkennen und damit weitreichende Risiken frühzeitig zu minimieren, wurde auf die in TP3 entwickelten Kennzahlen zur Sicherstellung einer hohen Logistikeffizienz zurückgegriffen (vgl. APIII-3). Diese Kennzahlen wurden anschließend den jeweiligen

Stufen des Referenzprozesses zugeordnet, um die Messpunkte ableiten zu können (vgl. Abbildung 3.4-17).

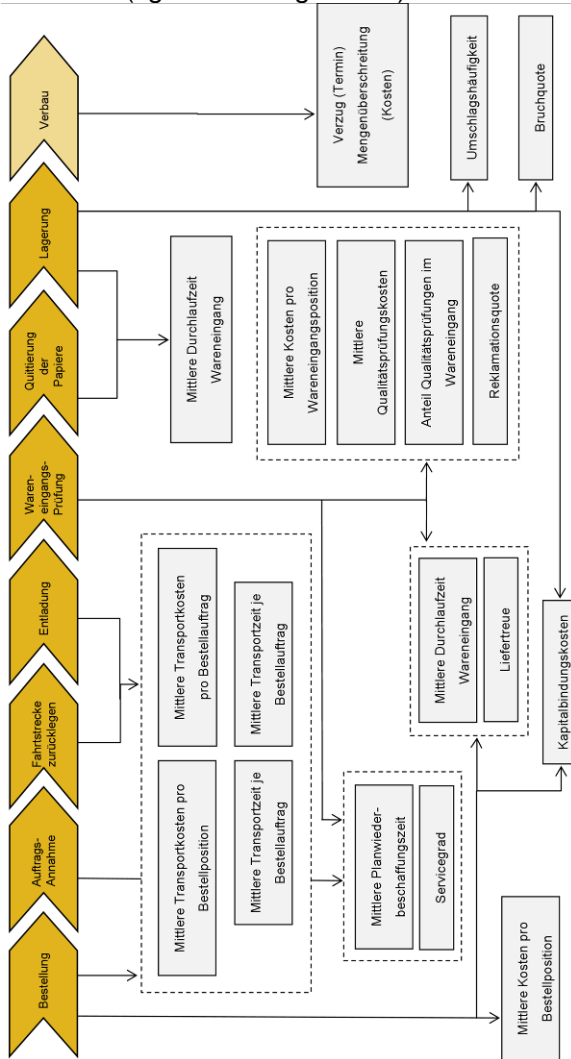


Abbildung 3.4-17: Zuordnung der Kennzahlen zu den Prozessschritten

Identifikation konkreter Messpunkte

Um diese Kennzahlen erheben zu können, müssen Daten an definierten Prozesspunkten aufgenommen werden, aus denen sich die Kennzahlen berechnen lassen. Für die Bestimmung dieser Rohdaten wurden die in TP3 entwickelten Kennzahlen auf Aktivitätenebene heruntergebrochen. Dazu wurden Kostenkennzahlen im Sinne einer Prozesskostenbetrachtung in ihre Einzelbestandteile zerlegt. Diese setzen sich aus der Dauer der Aktivität und dem zugehörigen Ressourceneinsatz, wie Personal oder Sachmittel, zusammen (vgl. auch TP3-AP VII). Zeiträume wurden durch definierte Start- und Endzeitpunkte eindeutig festgelegt.

Ergebnis ist die Fixierung konkreter Messpunkte im Materialversorgungsprozess, an denen Informationen erzeugt und verarbeitet werden müssen. Ein Matching zwischen den benötigten Informationen und der Digitalen Baustelle zeigt, wie eine durchgängige Erfassung dieser Daten mit den in ForBAU entwickelten Technologien möglich ist (vgl. Abbildung 3.4-18).

Bei Abwicklung der Materialbeschaffung über das LMB-Konzept wird jede Position automatisch mit einem Zeitstempel versehen und an das BWS übermittelt. Um den Servicegrad der Lieferanten beurteilen zu können wird vermerkt, wenn aufgrund mengenmäßiger oder terminlicher Schwierigkeiten kein Auftrag zustande kommt. Auf Lieferanten-Seite wird bei der Zuordnung der Paletten zu den jeweiligen Ablieferorten durch Einlesen des RFID-Tags ebenfalls ein Zeitstempel erstellt. Nach erfolgtem Transport, d.h. nach erfolgreichem Auffinden des Ablieferortes, beginnt die Entladung. Die Wareneingangsdaten werden nach Abschluss einer jeden Lieferposition, inklusive GPS-Koordinaten, an das BWS übermittelt (Abbildung 3.4-19). Der Polier bestätigt den Erhalt und meldet etwaige Beanstandungen.

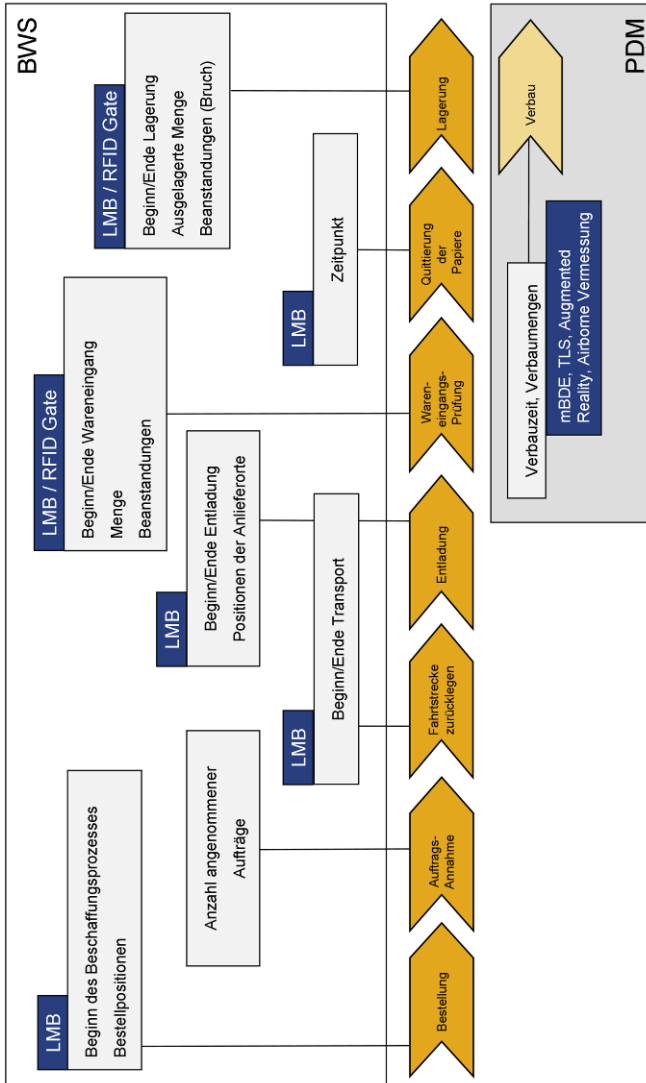


Abbildung 3.4-18: Definition der Messpunkte und Zuordnung der ForBAU-Technologien

Dies ist zugleich der Startpunkt der (Puffer-) Lagerdauer. Über die in TP3 APIII-5 beschriebene Schnittstelle zum PDM-System, kann der Warenausgang aus den Baufortschrittsdaten zeitnah abgeleitet werden. Neben der beschriebenen LMB-Lösung ist eine Erfassung der Warenein- und Warenausgänge im BWS auch über weitere Auto-ID-Verfahren wie bspw. dem mobilen Gate oder einem Barcode-System zur Lieferscheinerkennung möglich.


Vorgang							
Artikelposten ▾							Filtereingabe
Sortieren: Lfd. Nr. ▾ 							Filter: LS-120
Buchungsdatum	Postenart	B...	B...	Artikelnr.	B...	Lagerortcode	Menge
27.01.2011	Zugang		S..	LS-120		WEISS	6
27.01.2011	Zugang		S..	LS-120		GRÜN	13
27.01.2011	Zugang		S..	LS-120		EIGEN-LOG.	13

Abbildung 3.4-19: Ausschnitt aus dem BWS: Wareneingang eines Materials zu verschiedenen Lagerflächen (Screenshot: Bauvision BVM GmbH - auf Basis von MS Dynamics NAV 6.0)

Das Erfassen dieser Daten ermöglicht neben dem direkten Soll-Ist-Abgleich, die Aggregation zu oben genannten Kennzahlen. So kann beispielsweise über den kontinuierlichen Abgleich der Lieferterminabweichungen eines Lieferanten (Soll-Ist-Terminabweichung in Tagen) die durchschnittliche Liefertreue berechnet werden (Anzahl pünktlicher Lieferungen/Gesamtanzahl Lieferungen). Diese Kennzahl erlaubt einerseits einen schnellen Überblick bzgl. der Performance unterschiedlicher Lieferanten, andererseits lassen sich negative Tendenzen, im Sinne einer stetigen Verschlechterung der Liefertreue, schnell erkennen und proaktiv Gegenmaßnahmen einleiten.

Das aufgezeigte Konzept zur Integration von Auto-ID-Daten ermöglicht die durchgängige Erfassung entscheidungsrelevanter Ist-Daten. Diese ermöglichen in Verbindung mit den hochwertigen

Planungsdaten die Implementierung eines effektiven und v.a. zeitnahen Controllingsystems, das hilft den planmäßigen Projektablauf zu überwachen, Abweichungen frühzeitig zu erkennen und entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

3.4.3.6 3D-Maschinensteuerung

Im Bereich des Erd- und Tiefbaues kann ein deutlicher Wandel auf dem Gebiet der Absteckung festgestellt werden. Dieser vollzieht sich von der statischen hin zur kinematischen Absteckung, unter der man die Maschinensteuerung versteht. Die Maschinensteuerung kann in die echte Steuerung, welche bisher sehr selten anzutreffen ist, und eine Führung unterteilt werden [STE-08].

Bei einer echten Steuerung ist ein Eingreifen des Fahrers nur noch die Ausnahme. Die Hydraulik und ein Großteil der Steuerung werden von einem zentralen Rechner übernommen. Dies ist bisher nur in Ausnahmefällen z.B. bei der Steuerung eines Gleitschalungsfertigers verwirklicht. Die Regel sind Führungssysteme, die den Fahrer bei der Steuerung der Maschine unterstützen (Abbildung 3.4-20) - die letzte Entscheidung über Fahrtrichtung und Höhenlage des Werkzeuges trifft in diesen Fällen immer noch der Maschinist. Im weiteren Abschnitt wird diese Unterscheidung, vor allem mit Rücksicht auf den Sprachgebrauch in der Praxis, nicht aufrechterhalten und der Begriff Maschinensteuerung gleichsam als Oberbegriff für beide Aspekte der kinematischen Absteckung verwendet.



Abbildung 3.4-20: Beispiel für einen Universalcontroller (Trimble CB430, Einsatz am Grader)

Bei der Maschinensteuerung wird je nach Einsatzfeld zwischen Systemen zur 1D- und 3D-Steuerung unterschieden. Häufig wird statt von der 1D- auch von einer 2D-Steuerung gesprochen, dies ist jedoch streng genommen nicht korrekt, da hierbei nur eine Raumachse, nämlich die Höhe, Berücksichtigung findet.

Die Sensoren zur Regelung der Höhe reichen von mechanischen Tastern über Ultraschall-„Taster“ bis hin zu optischen Sensoren für Rotationslaser. Systeme zur 1D-Steuerung wurden im Zuge dieser Forschungsarbeit nicht weiter untersucht.

Bei der untersuchten 3D-Steuerung wird die Position der Baumaschine (Grader, Raupe, Bagger, Fertiger) bzw. deren Arbeitsgerät (Schild, Schar, Bohle, Löffel) im Raum (Koordinate X,Y,Z) zum aktuellen Zeitpunkt mit Hilfe eines Vermessungssystems ermittelt. Diese Daten werden mit dem digitalen Geländemodell verglichen und so die Sollhöhe, Neigungen etc. für die aktuelle Position berechnet.

Verfahren zur 3D-Steuerung von Maschinen im Straßen-, Gleis-, Tunnel- oder Flughafenbau verbreiten sich stark. Hierbei wird mit wachsender Komplexität auf die mittlerweile echtzeitfähigen 3D-Messverfahren mittels Satelliten (GNSS) und zielverfolgendem Tachymeter (ATS) zurückgegriffen.

Durch diese Maschinensteuerungssysteme ergeben sich völlig neue Genauigkeiten bei der kinematischen Absteckung, die vom Zentimeterbereich bis hin zum Millimeterbereich reichen. Die Vorteile von Maschinensteuerungssystemen sind:

- Einsparungen von Vermessungsleistungen während der Bauausführung, da die Maschine durch ein hinterlegtes Soll-Design weitgehend autark arbeiten kann
- Im Vergleich zur statischen Absteckung weniger Behinderungen für Fahrzeuge und Maschinen auf der Baustelle
- Weniger Zeitbedarf, da vom ersten Maschinenübergang an auf das Soll-Modell hingearbeitet werden kann

- Materialeinsparungen durch exakte Herstellung der einzelnen Baukörper und Ausnutzung der Einbautoleranzen
- Bessere Maschinenausnutzung wegen zielgerichteter Arbeitsweise und damit einer Verringerung der Maschinenbelastung (Verschleiß, Kraftstoffverbrauch etc.)

In der Summe bedeutet dies also eine wesentliche Steigerung der Effizienz. Laut Untersuchungen an der ETH Zürich kann eine Effizienzsteigerung von 50% bei den Vermessungsarbeiten und von 20% bis 50% für den Gesamtprozess erzielt werden [STE-10].

Neben den genannten Vorteilen wurden aber auch Nachteile des Einsatzes festgestellt:

- Bei ausschließlich kinematischer Absteckung (d.h. keine Pflöcke, Böschungseinweiser etc.) ist ohne elektronische Hilfsmittel keine Kontrolle der korrekten Ausführung möglich
- folglich ist ein erhöhter Erstellungs- und Prüfaufwand für das in der Maschine hinterlegte Modell nötig, da Fehler im Design eine fehlerhafte Ausführung bewirken
- zudem ist es notwendig, dass die Modelle aus der Planung (meist noch 2D) den Anforderungen der Maschinensteuerung genügen (Designverifikation)
- Auch vorhandene Modelle müssen meist den Eigenheiten der Maschinensteuerung angepasst werden
- Der Aufwand und die Verantwortung für das Modell liegen aus vertraglichen Gründen beim Auftragnehmer, so dass Daten aus der Planung nur begrenzt weitergegeben/ weitergenutzt werden (können).

Vergleicht man Vor- und Nachteile der Technologie, stellt sich die Frage, wann und wo der Einsatz von 3D-Maschinensteuerung

sinnvoll ist. Aus den Untersuchungen heraus ergeben sich folgende Einsatzszenarien:

- Überall dort, wo relativ hohe Einbaugenaugkeiten erforderlich sind
- In Bereichen mit sich ständig ändernder Längs- und Querneigung
- Bei allen Arbeiten, bei denen sonst ein erhöhter Vermessungsaufwand vor Ort notwendig wäre
- Dort, wo eine statische Absteckung nicht praktikabel ist oder verschiedenste Aufgabenstellungen ineinander greifen und sich beeinflussen (Trassierungen, Dämme, Regenrückhaltebecken, Unterwasserbau; d.h. komplexen Baustellen)

Automatische Tachymetersteuerungs-Systeme: Anwendungen, Restriktionen und Entwicklungen

Ein automatisches Tachymetersteuerungs-System (ATS) nutzt zur Bestimmung der Position der Baumaschine eine Totalstation, d.h. einen motorisierten Tachymeter, der zusätzlich eine Technologie zur ständigen Verfolgung eines Prismas besitzt. Hierzu wird mehrmals pro Sekunde vom Standpunkt der Totalstation aus ein erhöht montiertes Prisma an der Baumaschine per Laser angemessen und so über Winkel- und Streckenmessung fortlaufend die Position des Prismas bestimmt. Die Position des Werkzeugs erfolgt indirekt über hinterlegte Maschinengeometrien und zusätzliche Sensorik. Die Fahrtrichtung wird nicht direkt ermittelt, sondern ergibt sich durch einen Vergleich mit den Vorpositionen. Voraussetzung für die Bestimmung der Prismenposition auf diesem Weg ist eine ständige Sichtverbindung zwischen Totalstation und Prisma sowie eine kontinuierliche Verfolgung des Prismas (Abbildung 3.4-21).



Abbildung 3.4-21: ATS-Steuerung (Prinzip und realer Einsatz, Motorgrader)

Stellt man die beiden 3D-Messverfahren ATS und GNSS einander gegenüber, weist die ATS-Steuerung folgende Vorteile auf:

- Sehr hohe, konstante Genauigkeiten, damit ideal für Bereiche mit hohen Anforderungen an die Genauigkeit (± 5 mm, d.h. Grader, Straßenfertiger)
- Arbeitet auch in Bereichen, in denen GNSS wegen Abschattungen nicht mehr arbeiten kann, z.B. in Tunneln, an Waldgrenzen usw.
- Wegen hoher Flexibilität bei der Anwendung ideal für KMUs mit kleineren, stark unterschiedlichen Baustellen im häufigen Wechsel
- Flexibler Einsatz auf verschiedenen Baumaschinen (Raupe, Grader, Fräse usw.)
- Tachymeter kann zudem auch vom Vermesser (als 1-Mann-Station) genutzt werden

Als Nachteile der ATS-Steuerung wurden diese festgestellt:

- Ständige Sichtverbindung zwischen Tachymeter und Prisma nötig (dadurch ist z.B. kein Einsatz bei Baggern möglich)
- Arbeitsbereich der Maschine ist durch Reichweite zwischen Maschine und Tachymeter begrenzt

- Pro Maschine ist mindestens ein Tachymeter zur Steuerung nötig
- Als Folge aus den drei vorhergehenden Punkten sind bei langgestreckten, (zeit-)kritischen Arbeiten (z.B. Asphaltbau mittels Fertiger) wegen überlappender Übergabe/Übernahme zwischen Arbeitsbereichen der jeweiligen Tachymeter und Redundanz drei und mehr Tachymeter vorzuhalten.

Die Entwicklungen bei der ATS-Steuerung konzentrieren sich in den letzten Jahren u.a. auf Verbesserungen der Zielverfolgung durch aktive Prismen und verbesserte Verfolgungsstrategien. So kann dank weiterentwickelter Suchalgorithmen ein „verlorenes Prisma“ schneller wiedergefunden werden. Zusätzlich kommen Technologien, wie richtungsabhängige IR-Empfänger am Tachymeter oder zusätzliche GNSS-Empfänger am Prisma zum Einsatz. Hinzu kommt, dass sich die Antriebe der Tachymeter hinsichtlich der Verschleißfreiheit, aber vor allem auch in puncto Drehgeschwindigkeiten stark verbessern und so Winkelgeschwindigkeiten von 180°/Sekunde und mehr erreicht werden. Während die Verbesserung der Verschleißfähigkeit vor allem längere Standzeiten des Tachymeters im Dauerbetrieb ermöglicht, wird durch die höhere Drehgeschwindigkeit die Verfolgung des Prismas auch im Nahbereich um den Tachymeter gewährleistet.

Global Navigation Satellite System Steuerungssysteme: Anwendungen, Restriktionen und Entwicklungen

Wie bei der ATS-Steuerung so ist auch bei der Global Navigation Satellite System (GNSS) -Steuerung die Positionsbestimmung der Maschine die Grundvoraussetzung für die Berechnung des Soll-Designs. Anders als bei ATS erfolgt diese Positionierung bei GNSS über Satellitensignale und einen räumlichen Bogenschnitt.

Das bekannteste GNSS-System hierbei ist das GPS-System. Die Welt der GNSS-Systeme wurde jedoch mit GLONASS erweitert und wird auch noch mit GALILEO weiter wachsen. Zum Einsatz von GNSS für Vermessungszwecke sowie für die Maschinensteuerung ist zu sagen, dass hier im Gegensatz zu Navigation, Telemetrie, Geofencing, etc. nur mit Differentiellem GNSS gearbeitet werden kann. Nur damit kann die nötige Genauigkeit (2-4 cm, gegenüber 30-100m ohne Differenzielles GNSS) durch das Einbeziehen von Korrekturdaten, die von einer eigenen Basis oder einem Referenzdienst zur Verfügung gestellt werden, gewährleistet werden. Die Positionierung des Werkzeuges erfolgt auf der Grundlage von GNSS-Antennen (1- oder 2-Mastsysteme, vgl. Abbildung 3.4-22) an der Baumaschine, unter Einbeziehung der Fahrzeuggeometrie und weiterer Sensortechnik wie z.B. Neigungs- oder Winkelsensoren.



Abbildung 3.4-22: GNSS-Steuerung (Prinzip und realer Einsatz, hier: 2-Mast-System an Raupe bei Böschungsmodellierung)

Die Vorteile der GNSS-Steuerung liegen in der Unabhängigkeit der Technologie von Sichtverbindungen, in der Robustheit (keine anfällige Optik und Mechanik) und in der nicht notwendigen 1:1-Kopplung von Basis und Rover. Damit ergeben sich als Einsatzfelder:

- weitläufige, ausgedehnte Baustellen mit ständig wechselnden Einsatzorten innerhalb der Maßnahme

- Arbeiten bei denen schlechte Sichtverhältnisse (Nebel, Nachtarbeit, Staub, Topologie) und Erschütterungen (Verdichtungs- und Rammarbeiten stören Sensorik von Tachymetern) vorherrschen
- überall dort, wo mehrere GNSS-Nutzer (sowohl Maschinen, als auch Vermesser) tätig sind und das System gleichzeitig nutzen können
- Großbaustellen mit mehreren Monaten Bauzeit (da hier die Schaffung einer festen Infrastruktur und von festen Arbeitsabläufen zu einer zusätzlichen Effizienzsteigerung führt)

Die Nachteile der GNSS-Systeme (gegenüber ATS) zeigen sich in:

- geringerer Genauigkeit, vor allem in der Höhenbestimmung ($\pm 3\text{-}4\text{cm}$, vgl. Tachymeter/ATS $\pm 0.5\text{-}1\text{cm}$)
- keiner Einsatzmöglichkeit in kritischen Gebieten hinsichtlich Abschattungen (Wald, Brücken, Tunnel)
- erhöhtem Aufwand bei Einrichtung einer eigenen Basis, oder laufenden Kosten bei Nutzung eines Referenzdienstes
- Des weiteren ist die Messtechnik meist fest in die Maschine integriert und kann nicht als zusätzlicher Mess-Sensor (Rover) genutzt werden



Abbildung 3.4-23: GNSS-gesteuerter Bagger bei Grabenmodellierung

Entwicklungen auf dem Gebiet der GNSS-Steuerung bewegen sich in Richtung höherer Genauigkeiten. Da Unschärfen durch das System GNSS bedingt sind und nicht ohne weiteres neutralisiert werden können, geht man hier den Weg, die Höhenkomponente der GNSS-Koordinate mit Hilfe von Systemen wie sie aus der 1D-Steuerung bekannt sind zu verbessern. Beispiele hierfür sind die Systeme der Fa. Topcon (mm-GPS) oder der Fa. Trimble (System GCS900-Laser Augmentation). Eine weitere Schwäche von GNSS liegt darin, dass hier zwar die Position des Empfängers, nicht jedoch seine Orientierung im Raum bestimmt werden kann. Hierzu wird von verschiedener Seite an einem „richtungsgebundenen GNSS“ gearbeitet. Dies hätte vor allem auf Baggersystemen, die naturgemäß wenig fahren, sich aber viel drehen, den Vorteil, dass die zweite Antenne, die derzeit nur für die Orientierung nötig ist, eingespart werden kann.

Baumaschinensteuerung im Prozess Bauen, Maschine- Controll-Team

In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Max Bögl und der Hochschule Regensburg wurden die bei Max Bögl eingesetzten Systeme ATS und GNSS untersucht [FRA-08]. Zu den Untersuchungsschwerpunkten gehörte ein grundsätzlicher Vergleich der beiden Systeme, Qualitätsbetrachtungen und Fragen der Genauigkeit. Deshalb wurde zur Überprüfung der erzielten Einbaugenauigkeiten ein eigenes Messverfahren entwickelt.

Ziel war es die Genauigkeit und die Aussagekraft der Abnahme durch eine flächendeckende Kontrolle zu verbessern. Unter Verwendung eines selbst konstruierten Vermessungswagens und eines Tachymeters (Trimble S6, Methode: „kinematische DGM-Absteckung“) wurden hier verschiedene Auswertungen zur tatsächlich vorhandenen Einbaugenauigkeit an realen Baustellen gefahren (Abbildung 3.4-24).

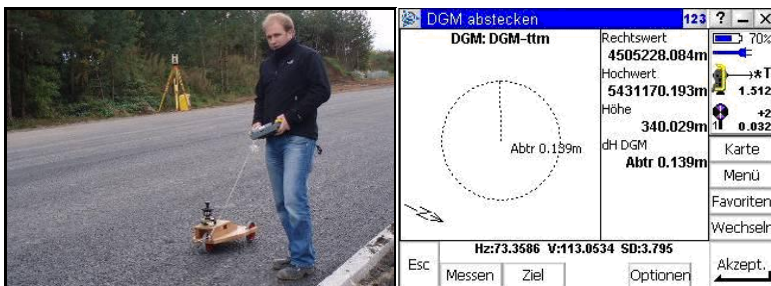


Abbildung 3.4-24: Flächenkontrolle mittels kinematischer DGM-Absteckung

Mit Hilfe der Messmethode können in einem wählbaren Raster Punkte auf der Fläche aufgenommen werden. Der Messwagen wird beim Messvorgang an einer Schnur in Linien über die Fläche gezogen. Er hat hierbei ständig Kontakt zur Oberfläche und das Prisma somit einen konstanten Abstand zur Messebene.

Während dieses Vorgangs wird das Prisma am Messwagen automatisch vom Tachymeter verfolgt und in vorher festzulegenden Abständen werden automatisch Messwerte aufgezeichnet.

Bei der Systemkonzeption wurde ein erhöhtes Augenmerk auf die leichte Durchführbarkeit und die Echtzeitergebnisse vor Ort gelegt. Mit den aufgenommenen Punkten kann ein Ist-Modell gebildet und mit dem Soll-Modell überlagert werden. Eine detaillierte Auswertung wird so möglich (Abbildung 3.4-25). Dies wurde verwirklicht, indem man live - während des Befahrens - Differenzen zum hinterlegten Soll-Modell darstellen kann.

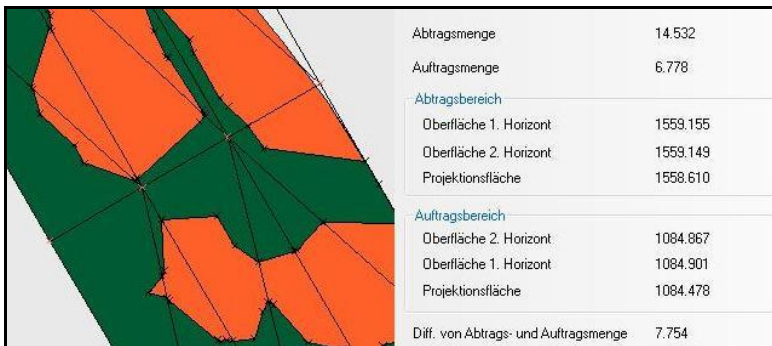


Abbildung 3.4-25: Auswertung der Aufnahmedaten im Büro (z.B. Bestimmung von Mehr-/Mindermengen über DGMs)

Insgesamt ist hierdurch ein einsatzreifes Werkzeug für die Abnahme von Straßenbauschichten und sonstigen Flächen entstanden.

3.4.3.7 Datenfluss und Softwaresysteme: Im-/Export von Daten

Die Daten aus der Planung müssen vor einer Verarbeitung durch Maschinensteuerungssysteme erst auf die wesentlichen Geometrien reduziert und systemspezifisch aufbereitet werden. Für verschiedene Anwendungen der Maschinensteuerung gibt es

unterschiedliche Möglichkeiten des Modelldesigns. So existieren z.B. für Straßen und linienartige Projekte Trassenmodelle, während für Deponien und Regenrückhaltebecken mit Flächenmodellen, also digitalen Geländemodellen (DGM), gearbeitet wird.

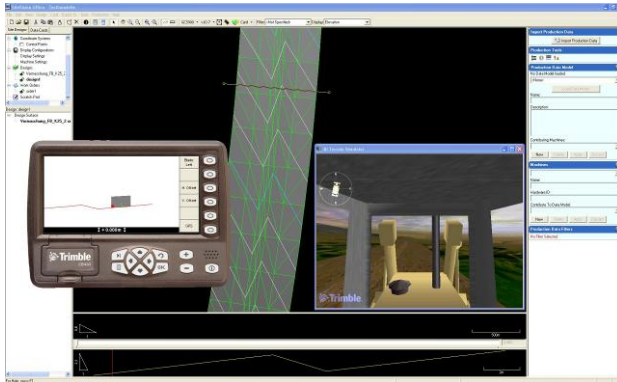


Abbildung 3.4-26: Software zur Aufbereitung der Designdaten (hier: Trimble SiteVision in Einheit mit einer Fahrsimulation und Controller)

Die Hinterlegung des Trassenmodells oder DGMs auf dem Maschinenrechner ist notwendig, um nach der Standortbestimmung mittels GNSS bzw. ATS dynamisch den notwendigen Soll-/Ist-Vergleich zu ermöglichen und so die Führungsdaten für den Fahrer abzuleiten.

Um Baumaschinen untereinander bzw. mit der Zentrale vernetzen und so mit einer gemeinsamen Datenbasis arbeiten zu können, wurden von den führenden Vermessungsgeräteherstellern Produkte entwickelt. Beispiele hierfür sind SiteLink der Fa. Topcon oder Connected Site der Firma Trimble - beides Industriepartner von ForBAU.

Auf dem Feld der Maschinensteuerung müssen inkonsistente und falsche Designdaten meist visuell aufgespürt und manuell behoben werden. Bei dieser Arbeit werden die Angehörigen des Maschine-Controll-Teams von speziellen Softwaresystemen bis

hin zu Fahr-Simulationen (Abbildung 3.4-26, Trimble SiteVision) unterstützt.

Für einen flexiblen Einsatz der Maschinen auf den Baustellen fehlt jedoch ein gemeinsamer Standard. Dieser wäre vor allem im Hinblick auf eine rasche Reaktion bei Engpässen oder Überkapazitäten erforderlich. Hier muss derzeit häufig wegen vorhandener Inkompatibilitäten der Stillstand einer Maschine in Kauf genommen werden, da das Design speziell für ein bestimmtes System eines Herstellers zugeschnitten wurde. Dies hat zur Folge, dass die Daten nur herstellerspezifisch verwendet werden können oder aufwendig angepasst werden müssen.

Vorbereitung einer standardisierten Maschinensteuerungs-schnittstelle

Moderne Telematiksysteme ermöglichen bereits ein effektives Management von Nutzfahrzeugflotten. Von der Fahrtenbuchführung über die Betriebsdatenerfassung bis hin zur Fahrstilanalyse der Fahrzeugführer können Daten erfasst und in nachgelagerten Systemen ausgewertet werden. So können z.B. Wartungs- und Serviceintervalle dynamisch geplant und damit verringert werden. Eine Flottenmanagement-Schnittstelle (FMS) ermöglicht es, dem Disponenten alle Informationen des Nutzfahrzeugparks herstellerunabhängig bereitzustellen und auszuwerten. Auch in Baumaschinen werden Betriebsdaten erfasst, die dem Baumaschinendisponenten zur Verfügung gestellt werden können. Entgegen den Bestrebungen der Nutzfahrzeugbranche erfolgte hier jedoch bis dato noch keine Einigung auf eine einheitliche Schnittstelle.

Als erste Bestrebungen gibt es bereits im angloamerikanischen Raum, in dem große Baumaschinenhersteller eine webbasierte Schnittstelle zu ihren Baumaschinendaten liefern [AEM-10]. Diese Daten sind aber für ein effektives Controlling der Baumaschine nicht ausreichend, da die Daten nur für die

tagesweise Aktualisierung gedacht sind und nicht für die Online-Überwachung und Steuerung der Baumaschinen. Außerdem werden auf diese Weise alle externen Telematikhersteller benachteiligt, da diese ihre Systeme immer noch auf jede Baumaschine einzeln abstimmen müssen.

Ziel muss es daher sein, eine herstellerübergreifende Standard-Schnittstelle zur Übertragung der Maschinen- und Produktionsdaten zu entwickeln. So wird es möglich, herstellerunabhängig Geräte und Baumaschinen in eine durchgängige, EDV-basierte Verwaltung zu integrieren. Durch eine vollständige Dokumentation und Analyse der Betriebsdaten lassen sich Vorschläge zur Einsparung von Emissionen und Treibstoffverbräuchen ableiten. Eine Flexibilisierung des Wartungskonzeptes ermöglicht eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit. Darüber hinaus könnte der Baumaschinen-Einsatz papierlos verrechnet werden.

Um die Wünsche der Baumaschinenbetreiber zu erfüllen, sind eine Vielzahl von Daten notwendig. Diese sind in der Schnittstelle mit den Kategorien:

- Datentyp
- Einheit
- Aktualisierungsfrequenz

zu spezifizieren. In einer Übertragungssoftware zu einem Server oder dem Back-Office sind die Daten zusätzlich in ihrer Vorhaltdauer zu differenzieren. Daten zur Online-Verfolgung einer Baumaschine sind in einer hohen Aktualisierungsfrequenz notwendig, z.B. jede Sekunde ein Wert für die aktuelle GPS-Koordinate. Für die Verrechnung der Baumaschine zu der jeweiligen Baustelle sind jedoch nur noch Stunden- oder Tagesgenaue Werte notwendig. Eine hohe Aktualisierungsfrequenz bedingt aber eine sehr hohe Datenmenge, welche nur in den seltensten Fällen langfristig benötigt wird. Daher wird ein

kaskadiertes Konzept vorgeschlagen. Daten, die in einer hohen Aktualisierungsfrequenz vorliegen, werden in der nächsten Kaskadenstufe zu Kennwerten zusammengefasst, welche über einen längeren Zeitraum archiviert werden. Die Einzeldaten werden nur einen begrenzten Zeitraum gespeichert, z.B. eine Woche, und dann sukzessive durch neue Daten ersetzt. Dadurch wird die zu speichernde Datenmenge auf den Datenservern verkleinert und damit die Kosten verringert.

Diese Entwicklung wird in Zusammenarbeit mit unseren Industriepartnern, Maschinenhersteller und Bauunternehmen, sowie den wichtigsten Verbänden vorangetrieben. In einem Workshop beim Berufsverband der Baumaschinen-Ingenieure und Meister e.V. (VDBUM) wurden die Wünsche und Vorstellungen der Betreiber herausgearbeitet. Mit Vorträgen beim Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau VDMA und dem Zentralverband des deutschen Baugewerbes (ZDB) wurde um Unterstützung geworben. In allen drei Gremien wurden die Idee und der daraus resultierende Nutzen positiv aufgenommen und Unterstützung bei der Entwicklung zugesagt. Daher werden die Bestrebungen auch über die Laufzeit von ForBAU weitergeführt.

3.4.4 Überarbeiteter Arbeits- und Zeitplan

	Zeitplan Prof. Günthner (TP 4)												Personal- einsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK	
	Beteiligung in den AP 1, 2, 3, 4													
	2008				2009				2010					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP I-1	Teilklassifikation													4
AP II-1	Prozessanalyse													1,5
AP II-2	Schnittstellenanalyse													1,5
AP II-3	Beschreibung der Nutzenpotentiale													1
AP II-4	Definition der IPunkte im Prozess													0,5
AP II-5	Mobile/Autarke IPunkte im Prozess													1,5
AP III-1	Anforderungen an die Technologie													2
AP III-2	Studie zu verfügbarer Technologie													1,5
AP III-3	Beschreibung der Entwicklungsbedarfe													1,5
AP IV-1	Auswahl geeigneter Hardware													1,5
AP IV-2	Tagauswahl													0,5
AP IV-3	Prototype													1,5
AP IV-4	Einbettung in Prozess													1,5
AP IV-5	Schnittstellen mit Controlling und SCM													1,5
AP IV-6	Einbettung in IT-Landschaft													1,5
AP IV-7	Probelauf													2
AP VI	Abschlussbericht													2
Summe Mannmonate												27		



Arbeitsplan Antragsstellung
 Arbeitsplan aktuell

	Zeitplan Prof. Hartmann (TP 4)													Personaleinsatz Mannmonate TVL 13 excl. Stud. HK		
	Beteiligung in den AP 1,2,3,4															
	2008				2009				2010							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4				
AP I-1	■	■														4
AP II-1		■	■													1,5
AP II-2				■												1,5
AP II-3					■	■	■									1
AP II-4					■	■	■									0,5
AP II-5					■	■	■									1,5
AP III-1					■	■	■	■								2
AP III-2								■	■	■	■					1,5
AP III-3									■	■	■	■				1,5
AP IV-1								■	■	■	■					1,5
AP IV-2									■	■	■					0,5
AP IV-3									■	■	■					1,5
AP IV-4									■	■	■	■				1,5
AP IV-5									■	■	■	■				1,5
AP IV-6									■	■	■	■				1,5
AP IV-7												■	■			2
AP VI												■	■			2
																Summe Mannmonate
																27

Arbeitsplan Antragsstellung

 Arbeitsplan aktuell



Zeitplan Prof. Stockbauer (TP 4)													Personal- einsatz Mannmonate
Beteiligung in den AP 5,6													
2008			2009				2010				TVL 13 excl. Stud. HK		
Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3		Q4	
AP V-1													2
AP V-2													2
AP V-3													2
AP V-4													1
AP VI													2
Summe Mannmonate												9	

Arbeitsplan Antragsstellung



Arbeitsplan aktuell

3.4.5 Kooperationen

Die Aufgabe von Teilprojekt 4 ist es Ist-Daten von der Bauausführungsphase aufzunehmen und sie den anderen Teilprojektpartnern zur Verfügung zu stellen. Dabei handelt es sich jedoch nicht um eine direkte Kopplung, sondern über eine indirekte über die zentrale Datenplattform und das Baustellenwirtschaftssystem. Eine besonders starke Kopplung besteht daher mit dem TP2 und dem TP3.

3.4.5.1 Zusammenarbeit mit TP1

Die AutoID-Technologie RFID ermöglicht es Bauteile zu kennzeichnen und diese damit sowohl auf der Baustelle als auch im verbauten Zustand eindeutig zu identifizieren. Das erste Teilprojekt beschäftigt sich mit der parametrischen 3D-Modellierung der Baustelle. In der CAD-Software wird jedes Einzelbauteil der Brücke als eigene Partdatei mit eigener Nummer abgespeichert. Über die Verknüpfung der eindeutigen Nummer des virtuellen Bauteils mit der ID des realen Bauteils wird eine online Rückmeldung über den Baufortschritt möglich.

3.4.5.2 Zusammenarbeit mit TP2

Eine enge Zusammenarbeit besteht zum zweiten Teilprojekt. Ist-Daten in Form von AutoID-Daten werden über Lösungen wie z.B. die mobile Baudatenerfassung oder den MobileLifecycleManager an die zentrale Datenplattform weitergeleitet und so den weiteren Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt. Im PDM-System werden diese Daten für die Kontrolle und die Visualisierung des Baufortschritts genutzt. Darüber hinaus werden die Daten strukturiert verwaltet und abgelegt, so dass eine lückenlose Dokumentation und ein durchgängiges Qualitätsmanagement ermöglicht werden.

3.4.5.3 Zusammenarbeit mit TP3

Im Teilprojekt 3 werden sowohl die internen als auch die baustellenübergreifenden Prozesse identifiziert, klassifiziert und

neu definiert. Zur Kontrolle dieser logistischen Prozesse werden die von TP4 erfassten Ist-Daten, die während der Ausführung der Transport- und Lageraktivitäten unter Nutzung der RFID-Technologie oder den Daten aus der Maschinensteuerung gewonnen wurden, benötigt. Aus den in TP4 erzeugten Ist-Daten werden über das Baustellenwirtschaftssystem (BWS) Prozessdaten erzeugt, die dann mit Planungsvorgaben der logistischen Prozesse abgeglichen werden können.

3.4.6 Literatur

- [AEM-10] AEMP Telematics Data Standard: http://www.telematicstandard.org/The_AEMP_Telematics_Data_Standard_Support_Site/Welcome_files/AEMPtelematicsdatastandardV1_1.pdf, Aufruf 01.12.2010
- [AUT-10] AutoBauLog: Webseite; <http://www.autobaulog.de>; Aufruf am 03.12.2010
- [BAS-10] CONCREMOTE, <http://www.basbv.com>, Aufruf 02.11.2010
- [ETH-10] <http://www.geometh.ethz.ch/research/guidance>, Aufruf: 06.12.2010
- [FRA-08] Frank, V./ Lunzer M. (2008): „Maschinensteuerung“, Diplomarbeit an der Hochschule Regensburg,
- [HAN-10] Hang, Y.: Implementation of BIM/RFID in computer-aided design-manufacturing-installation process; <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=5550976>

- [IDE-10] IdentecSolutions,<http://www.identecsolutions.com/casestudies.html>, Aufruf, 25.11.2010
- [JOU-10] RFID Journal Live, RFID in Construction, PRECONFERENCE SEMINAR, Aufruf: <http://www.rfidjournalevents.com/live/preconference.php?sectionID=41&trackID=10>, Aufruf 1.12.2010
- [AHA-10] Ahamed, S. S.; Neelamkavil, J.; Canas, R.: Impact of building information modeling on facility maintenance management, 2010
- [KAR-07] Karl H., Willig A.: Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Wiley 2007
- [LEC-97] Lechler, T. (1997): Erfolgsfaktoren des Projektmanagements, Frankfurt am Main: Peter
- [MAT-03] Mattern F., Römer K.: Drahtlose Sensornetzwerke: Informatik-Spektrum Vol.26 Nr.3 2003: 191-194
- [NEB-03] Nebel, L.: Kennzahlengestütztes Projekt-Controlling in Baubetrieben, Dortmund, 2003, S. 20-21.
- [PRO-10] PROLEC Ltd., Internetplattform des Herstellers http://www.prolec.co.uk/pcx_3d1.html, Aufruf:
- [RAZ-09] Razavi, S.N.; Hass, C.T.; A Data Fusion Model for Location Estimation in Construction, 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2009

- [RFI-10] RFID im Blick: <http://www.rfid-im-blick.de/20100210496/testlauf-funksensoren-im->
- [RIB-10] Transparent, Magazin der RIB-Gruppe, Ausgabe 36/2010, Leitartikel zu autobalog, S. 18-20
- [SCH-06] www.hs-coburg.de/uploads/media/DGM_01.pdf, Aufruf: 06.12.2010
- [SMA-10] Online: <http://www.smartmote.de/>, Aufruf 01.12.2010
- [STE-08] Stempfhuber, W. / Ingensand, H. (2008): „Baumaschinenführung und -steuerung - von der
- [STE-10] Stempfhuber, W. (2010): “Echtzeitdokumentation bei 3D-Baggeranwendungen“. In: Beiträge zum 16.
- [SWE-10] Claire Swedberg: Inspections Made More Efficient for British Construction Firm; <http://www.rfidjournal.com/article/view/7762>
- [VDB-10] Online: <http://www.vdbum.de/onlineartikel.html>, Aufruf 01.12.2010

4 Zusammenarbeit in ForBAU

4.1 Die Arbeitskreise

Bereits im ersten Projektjahr wurden zwei Teilprojekt-übergreifende Arbeitskreise als Plattform für die enge Kooperation zwischen Hochschul- und Industriepartnern eingerichtet. Sie haben in der Folge die wichtige Aufgabe erfüllt, Themen und relevante Fragestellungen gemeinsam zu identifizieren, und im Rahmen eines interdisziplinären Teilnehmerkreises verschiedene Lösungsansätze zu diskutieren. Diese Arbeitsform erlaubte die Einbindung individueller Inhalte aus den unterschiedlichen Blickwinkeln der jeweils Beteiligten.

Neben der themenbezogenen Tätigkeit wurden die eintägigen Arbeitskreissitzungen auch zur kontinuierlichen Kommunikation der Zwischenergebnisse des Verbundes an die Industriepartner genutzt.

Aufgrund des hohen Interesses seitens der Industriepartner wurde beschlossen, die Arbeitskreise auch über die Laufzeit des Forschungsverbundes hinweg weiterzuführen. Auf diese Weise soll dem Austausch von Problemstellungen, Ideen und Konzepten zwischen der Industrie und den Hochschulen verstetigt werden.

4.1.1 Arbeitskreis Modellbildung und Wissensmanagement

Auch im Projektjahr 2010 fanden mehrere Treffen des Arbeitskreises „Modellbildung und Wissensmanagement“ statt. Beim ersten Treffen im April 2010 wurden die neuesten Entwicklungen rund um den ForBAU-Integrator vorgestellt, die auf breites Interesse seitens der anwesenden Industriepartner stießen. Bei einem zweiten Arbeitskreis-Treffen im Juli 2010 wurde intensiv die Anwendung der verschiedenen im Rahmen von ForBAU entwickelten Technologien auf die Pilotbaustelle B15n diskutiert. Dabei wurde vereinbart, die Erstellung eines Brückenbauwerks und die Erdarbeiten im Zuge der Trassen-

herstellung intensiv zu verfolgen und im Nachzug in der Virtuellen Baustelle abzubilden, um auf diese Weise die Funktionsweise der entwickelten Technologien zu evaluieren.

4.1.2 Arbeitskreis Gesamtsicht

Der Arbeitskreis behandelte im vergangenen, letzten Projektjahr die Thematik, wie die im Projekt erzielten Ergebnisse zukünftig weiterverfolgt werden können. Die Relevanz dieser Fragestellung wurde bereits in der Vollversammlung 2010 deutlich. Hier wurde leidenschaftlich über mögliche Geschäftsmodelle diskutiert, mit denen die Ergebnisse von ForBAU weitergeführt werden können.

Im Arbeitskreistreffen wurde diese Diskussion aufgegriffen und vertieft. Dazu wurden verschiedene Ebenen betrachtet:

(1) Zunächst wurde grundlegend besprochen, wie aus den Ergebnissen und Erkenntnissen von ForBAU eine gemeinsame Vision der zukünftigen Bauwirtschaft entwickelt und in der Praxis etabliert werden kann. Diese Vision ist nach Meinung aller Teilnehmer notwendig, um durch Aufzeigen grundlegender Entwicklungsperspektiven das Engagement verschiedener Interessensgruppe wecken zu können. Dabei wurden verschiedene Wege identifiziert, die für die weitere Verbreitung des ForBAU-Ansatzes eine wesentliche Rolle spielen:

- Schaffung eines weiterführenden, dauerhaften Arbeitskreises „Vision einer neuen Bauindustrie“
- Identifikation von Hemmnissen bzgl. der Einführung des Ansatzes der Virtuellen Baustelle
- Ergebnis-Marketing durch Software-Partner: Potentiale aufzeigen und Anforderungen kommunizieren
- Schaffung standardisierter Daten(austausch)formate

(2) Anschließend wurden wesentliche technische Entwicklungen des Projektes im Detail betrachtet. Da nicht alle Entwicklungen

des Projektes diskutiert werden konnten, wurde im Vorfeld eine Online-Abstimmung initiiert. In dieser haben die Teilnehmer die aus ihrer Sicht vielversprechendsten Lösungen ausgewählt. Dieser Auswahl folgend wurden im Arbeitskreistreffen folgende Technologien im Detail behandelt:

- Integrator
- Bauablaufsimulation
- PDM-System

Für diese Technologien wurden Möglichkeiten zur technologischen Weiterentwicklung und deren Transfer in die Praxis diskutiert. Methodische Basis der Überlegungen bildeten dabei die drei grundlegenden Säulen eines Geschäftsmodells:

- Leistung zum Kunden
- Leistungserstellung
- Finanzmodell (Vgl. Abbildung 4.1-1).



Abbildung 4.1-1: Ergebnisse aus dem Workshop – exemplarisch anhand des Integrators

Aus der Diskussion konnten anschließend konkrete Schritte zur Weiterführung der Ergebnisse abgeleitet werden. So wurde durch die anwesenden Praxispartner bspw. im Fall des Integrators angeregt, diesen in einer Kooperation zwischen drei Industrieunternehmen und dem Lehrstuhl CiE, anhand zweier exemplarischer Projekte unter Realbedingungen zu testen. Ziel ist es, bestehende Schwachstellen des bisherigen Entwicklungsstandes aufzudecken und weiteren Forschungsbedarf abzuleiten. Zudem soll die Transparenz über den tatsächlich zu erwartenden Nutzen erhöht werden, indem der Integrator bspw. auf frühere Projekte angewandt und die angefallenen Arbeitsaufwände mit denen bei Integreatoreinsatz verglichen werden.

Wie der Nutzen quantifiziert und transparent kommuniziert werden kann, stand bei allen Technologien im Mittelpunkt der Überlegungen. Die im Falle des Integrators erarbeitete Lösung – einen Testlauf für frühere Projekte durchzuführen – scheint hierfür ein gut geeigneter Weg zu sein.

*Menschen mit einer neuen Idee gelten so lange als Spinner,
bis sich die Sache durchgesetzt hat.*

Mark Twain

5 Pilotbaustellen

In allen Projektphasen wurden die Anforderungen, Konzepte und Ergebnisse an realen Pilotbaustellen validiert. Dabei wurden die den Konzepten zugrunde liegenden Annahmen überprüft und die Praxistauglichkeit der Entwicklungen an den bestehenden Anforderungen der täglichen Baupraxis getestet, weiter optimiert und so in der Realität umgesetzt.

5.1 Bisherige Pilotbaustellen

Im ersten Forschungsjahr wurden an einem Abschnitt eines Bundesstraßenneubaus, der Pilotbaustelle "B 299" des Industriepartners Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG, erste Untersuchungen zur terrestrischen 3D-Vermessung, den Möglichkeiten der parametrisierten Bauwerksmodellierung und der Baufortschrittskontrolle mittels Augmented Reality durchgeführt (siehe Abbildung 5.1-1).



Abbildung 5.1-1 Baufortschrittskontrolle mit Hilfe von Augmented Reality

Eine Vielzahl an Praxisuntersuchungen wurde im zweiten Forschungsjahr an der Pilotbaustelle "Penzberg", die vom Industriepartner BAUER zur Verfügung gestellt wurde, durchgeführt. So wurden beispielsweise die Möglichkeiten der 3D-Baugrundmodellmodellierungen, das baubegleitende Qualitätsmanagement und die Simulation von Erdbauprozessen (siehe Abbildung 5.1-2) untersucht. Weiterhin dienten die Erfahrungen aus der Aufnahme von Anlieferprozessen und der Bauprozesse als eine Grundlage zur Entwicklung des Logistikkonzeptes "Last-meter-Baulegistik" sowie den Konzepten des Stoffstrommanagements.

An einer Tunnelbau-Pilotbaustelle wurden Methoden zum Soll-Ist-Vergleich von Bohrpfahl- bzw. Schlitzwandobjekten entwickelt und im Rahmen des Projektes erfolgreich eingesetzt.

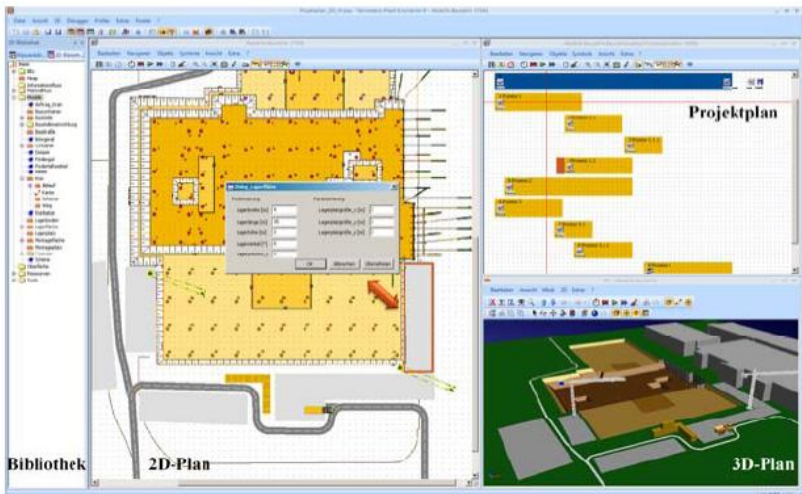


Abbildung 5.1-2 Baustelleneinrichtungsplan in der Simulationsumgebung

5.2 Pilotbaustellen im Jahr 2010

Wesentlicher Bestandteil der Arbeiten im letzten Forschungsjahr war die Pilotbaustelle "B15neu", die gezielt unter Einbeziehung

des Bauherrns (Autobahndirektion Südbayern) ausgewählt wurde. Hierbei handelte es sich um ein Teilstück eines vierspurigen Neubaus einer Bundesstraße, an der die durchgängige Umsetzung der Digitalen Baustelle in maßgeblichen Teilen verwirklicht werden konnte.

An der Pilotbaustelle "B15neu" wurde die Zusammenführung der Teilmodelle mittels des ForBAU-Integrators realisiert. Das vom Integrator erzeugte parametrische Volumenmodell wurde unter anderem für die trassengebundene 3D-Brückenmodellierung verwendet. Durch Verknüpfung aller 3D-Teilmodelle (Trasse, Brücke, Gelände, Baugrund) entstand so das in Abbildung 5.2-1 dargestellte vollständig parametrisierte Baugrund-Trassen-Brückenmodell.

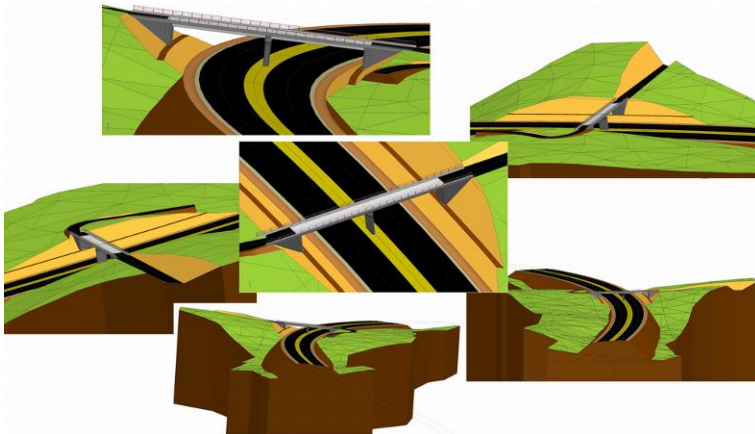


Abbildung 5.2-1 Vollständiges parametrisches Baugrund-Trassen-Brückenmodell

Das im Integrator erzeugte parametrische Volumenmodell war weiterhin Grundlage für Ablaufsimulationen der Erdbauprozesse (siehe Abbildung 5.2-2). In einer Simulationsstudie wurden Erdbauprozessszenarien modelliert und unterschiedliche Maschineneinsatzszenarien ausgewertet.



Abbildung 5.2-2 Trasse und Zwischenlager der Pilotbaustelle

Am betrachteten Brückenbauwerk wurden zudem Teilprozesse der Bauwerksherstellung und der Anlieferung sowie dem Einbau von Fertigteilen simuliert (siehe Abbildung 5.2-3).

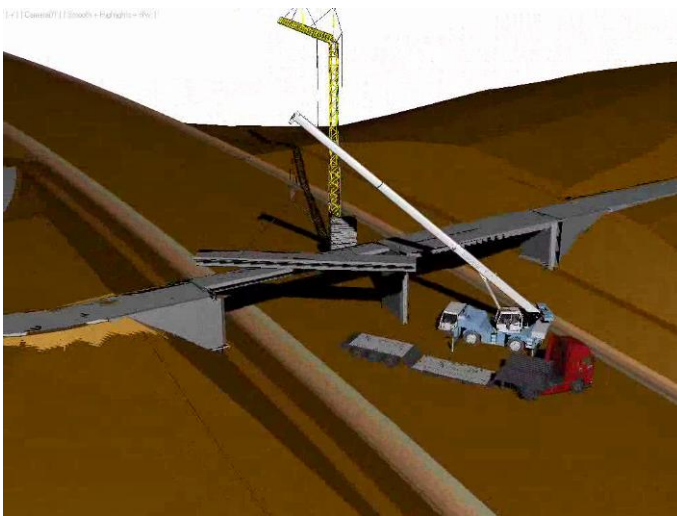


Abbildung 5.2-3 Simulation der Anlieferprozesse

An der Pilotbaustelle "B15neu" wurde weiterhin die baubegleitende Vermessung mittels terrestrischen Laserscannings (siehe Abbildung 5.2-4) und Befliegung aus der Luft getestet.



Abbildung 5.2-4 Terrestrischer Laserscanner (oben in Bildmitte) bei der Aufnahme eines Einschnittsbereichs vom Kronenrand

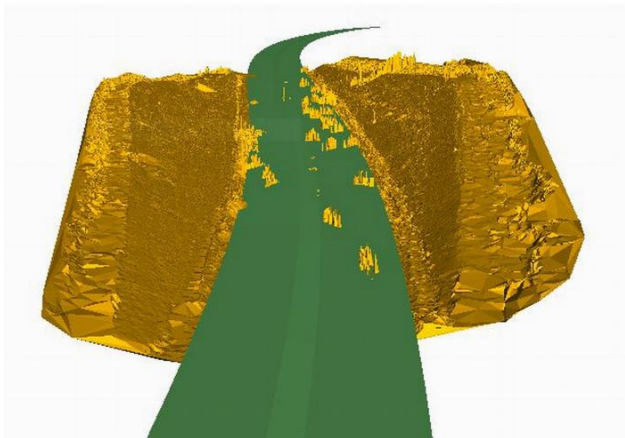


Abbildung 5.2-5 Überlagerung des Soll-DGMs der Trasse mit der ausgedünnten und importierten Punktwolke des Einschnitts (Ist-Modell)

Die Ergebnisse dienen z.B. zum Soll-Ist-Abgleich im Erdbau (siehe Abbildung 5.2-5).

Auch Industriepartnern aus der Vermessung diene die Pilotbaustelle, um neuartige Technologien (Topcon IP-S2, siehe Abbildung 5.2-6) den Baufirmen und Bauherrn vorzustellen.



Abbildung 5.2-6 Baustellen Demo Firma TOPCON, IP-S2

Für die Verwaltung aller relevanten Daten und der Modelle der Pilotbaustelle "B15neu" wurde das PDM-System eingesetzt. Eine für allen Beteiligten via Internet zugängliche Plattform, die speziell auf die Anforderungen der Bauindustrie angepasst wurde.

Neben den gemeinsamen Arbeiten an der Pilotbaustelle "B15neu" wurden an weiteren Pilotbaustellen spezielle Fragestellungen von Industriepartner und von Bauherrn untersucht. Für eine Autobahnbrücke A9, dem so genannten Tatzelwurm, im Stadtgebiet München wurde durch luftgestützte Photogrammetrie ein 3D-Baustellenmodell entwickelt und an den Modellen der Baufortschritt dokumentiert (siehe Bildfolge in Abbildung 5.2-7).


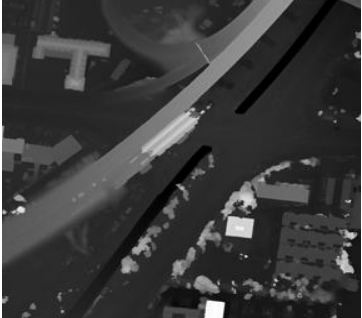

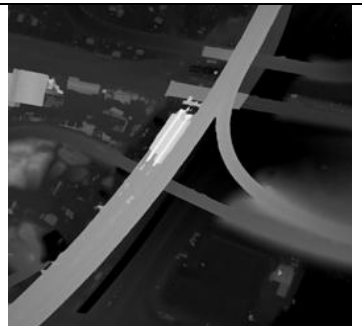
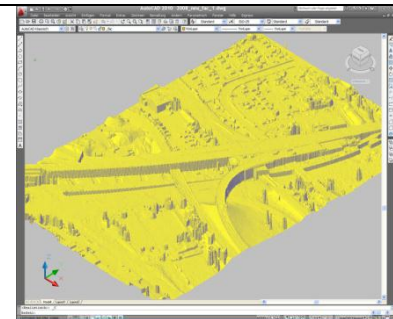
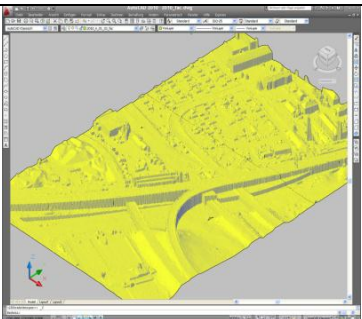
	
<p>2008, Farbbild</p>	<p>2008, Tiefenbild; die bereits abgebaute Fahrspur(rechts) ist deutlich zu erkennen</p>
	
<p>2010, Farbbild</p>	<p>2010, Tiefenbild; die bereits fertiggestellte Fahrspur (rechts) ist deutlich zu erkennen</p>
	
<p>Baustellenmodell 2008 von Südost</p>	<p>Baustellenmodell 2010 von Südost</p>

Abbildung 5.2-7 Autobahnbrücke, Bildfolge zu luftgestützter Photogrammetrie und Entwicklung eines 3D-Baustellenmodells

Für das neue Überführungsbauwerk zwischen der A92 und A9 am Autobahnkreuz Neufahrn, ein sogenannter Überflieger, wurden vom Industriepartner *Schmidt Stumpf Frühauf (SSF)* die geplanten Brückenbauwerke mit Hilfe des CAD-Systems Siemens UGS NX in 3D modelliert (siehe Abbildung 5.2-8). Dieses Modell wurde unter Nutzung des Preparators zu einem 4D-Modell weiterentwickelt und war Grundlage für Untersuchungen zum Baufortschrittskontrolle per Laserscan.

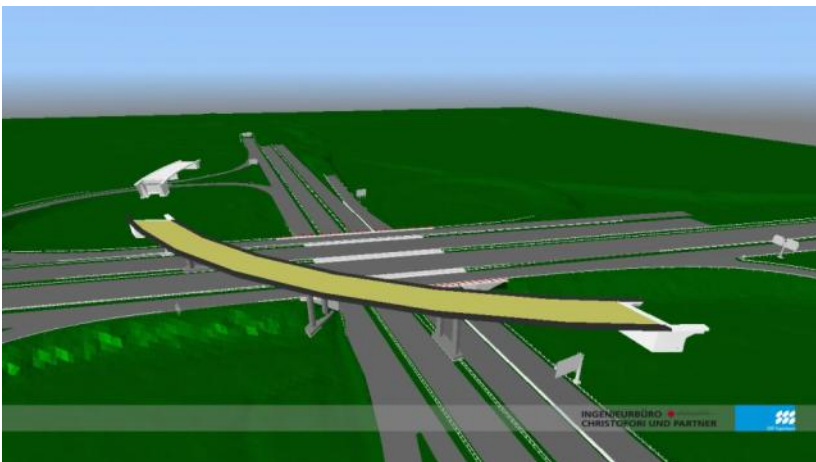


Abbildung 5.2-8 Die geplante Errichtung eines Überfliegers am Autobahnkreuz Neufahrn als 3D-Modell¹³

An der innerstädtischen Tunnelbaustelle Pilotbaustelle "Luise-Kiesselbach-Platz" wurden in Untersuchungen zur Ablaufsimulation Parameterstudien zur Herstellung der Bohrpfahlwände, die Gründungselemente der in Deckelbauweise hergestellten Straßentunnel sind, durchgeführt (siehe Abbildung 5.2-9).

¹³ Der Link zur 4D-Animation der Brückenbaustellen ist im Anhang aufgeführt

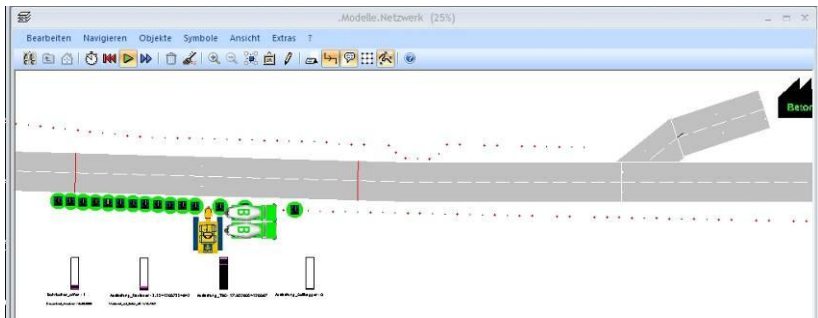


Abbildung 5.2-9 Parameterstudie zur Bohrpfahlherstellung in der Simulationsumgebung

Die Möglichkeiten der Digitalen Baustelle haben inzwischen auch bei weiteren Bauherrn großes Interesse geweckt. So wurde für das Baureferat München an der Pilotbaustelle "Mae West - Effnerplatz" im Vorfeld des Aufstellens einer Skulptur mit ca. 52 m Höhe, das Einheben der Skulptur hinsichtlich möglicher Kollisionen im Straßenraum untersucht. Hierzu wurden terrestrisches Laserscanning und Daten aus luftgestützter zu einem 3D-Modell (siehe Abbildung 5.2-10) kombiniert und darin eine 3D-Simulation und Animation des Herstellvorgangs umgesetzt.

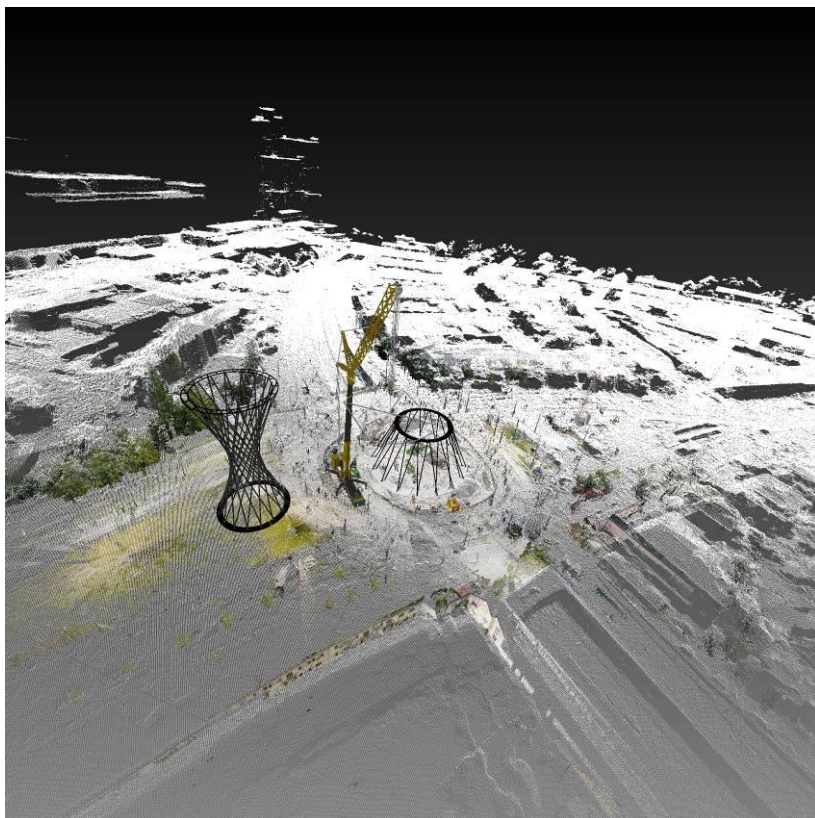


Abbildung 5.2-10 3D-Modell und Simulation des Herstellvorgangs

*Es genügt nicht, dass man zur Sache spricht.
Man muss zu den Menschen sprechen.*

Stanislaw Jerzy Lec

6 Öffentlichkeitsarbeit

Wie auch in den vergangenen zwei Jahren war es dem Verbund in seinem letzten Projektjahr ein großes Anliegen die Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Bei zahlreichen Vorträgen, die sowohl vor wissenschaftlichem Publikum als auch vor der Industrie gehalten wurden, konnten die erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt und diskutiert werden. Der Höhepunkt dieses Projektjahres war sicherlich der 1. ForBAU-Kongress, der im März im neueröffneten Oskar von Miller Forum stattfand. Mit mehr als 200 Teilnehmern war der Kongress ein voller Erfolg.

Ein Ziel von ForBAU für das letzte Projektjahr war vor allem, die Ergebnisse auch über den deutschsprachigen Raum hinaus zu verbreiten. Deshalb würden zahlreiche Paper und Veröffentlichungen bei renommierten nationalen und internationalen Kongressen und Konferenzen wie der CIB W78 in Kairo, der ICCBE in Nottingham oder der ASIM in Karlsruhe platziert. Alle verfügbaren Veröffentlichungen können auf unseren Webseiten unter <http://www.forbau.de> im Bereich Ergebnisse heruntergeladen werden.

Einer der wichtigsten Kommunikationskanäle ist mittlerweile unser ForBAU-Newsletter geworden mit dem wir zum einen unsere Industriepartner aber auch Interessierte in einem zweimonatigen Rhythmus über den Stand des Projektes informieren. Die beachtliche Verbreitung und Anfrage immer neuer Interessenten zeigt uns, dass die in ForBAU erzielten Ergebnisse in der Branche anerkannt sind.

Bei zahlreichen Industrietreffen wurden den Partnern neue Technologien vorgestellt und diese mit Ihnen zusammen getestet. Ein Beispiel hierfür war das Arbeitstreffen am 18.08.2010 bei dem zusammen mit der Fa. Topcon ein Teilstück der B15n mit dem neuartigen System IP2 vermessen wurde.

6.1 ForBAU-Newsletter

Mit unserem Newsletter berichten wir im zweimonatigen Rhythmus über die Aktivitäten im Verbund. Neben dem Stand der Arbeiten in den vier Teilprojekten wird auch über anstehende Projekt- und Arbeitskreistreffen sowie Neuigkeiten aus dem Verbund informiert. Der Newsletter wird an alle Mitglieder des Verbunds und an das interessierte Fachpublikum versendet. Außerdem kann der Newsletter auf der Homepage <http://www.forbau.de/newsletter> heruntergeladen werden. Die stetig wachsende Anzahl an Abonnenten und das positive Feedback zeigen, dass sich dieses Engagement lohnt.

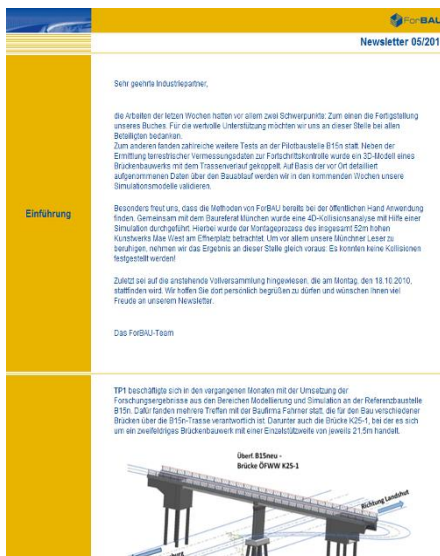


Abbildung 6.1-1 ForBAU-Newsletter

6.2 ForBAU-Kongress

Der 1. ForBAU-Kongress am 18. März 2010 mit dem Thema "Digitale Baustelle – ein Weg zur neuen Partnerschaft" lockte mehr als 200 Fachbesucher in das Oskar von Miller Forum nach München. Das große Interesse an dem Kongress bestätigte, dass der ForBAU-Ansatz kein reines Forschungsthema ist, sondern hohe Praxisrelevanz besitzt. Die angeregte Podiumsdiskussion am Ende der Veranstaltung zeigte, dass die Themen Partnerschaft und Digitalisierung in Forschung, Verwaltung und Industrie gleichermaßen intensiv betrachtet werden.



Abbildung 6.2-1 1.ForBAU-Kongress am 18.März 2010 in München

Im kommenden Jahr wird am 17.02.2011 der 2. ForBAU-Kongress mit dem Thema „*Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen*“ stattfinden. Im Mittelpunkt steht die durchgängige Nutzung Digitaler Werkzeuge über den gesamten Bauprozess. Mit einer Kombination aus Vorträgen von Industrie- und Wissenschaftspartnern sowie Livevorführungen werden dem Fachpublikum Möglichkeiten und Lösungen vorgestellt werden, wie digitale Werkzeuge das Bauen nachhaltig unterstützen können. Darüber hinaus wird bei dem Kongress das

gleichnamige Buch „*Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert*“ vorgestellt.

6.3 ForBAU-Buch

Das Buch mit dem Titel „*Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert*“ wird zum 2. ForBAU-Kongress im Springer-Verlag erscheinen.

Ziel des Buchs ist es die Möglichkeiten und Chancen aufzuzeigen, die der Einsatz digitaler Werkzeuge für die Bauindustrie bietet. Anhand von Beispielen werden die in ForBAU erarbeiteten Lösungen für die Bauplanung und -abwicklung vorgestellt. Das Buch ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der dreijährigen Forschungsarbeit. Es soll als Nachschlagewerk und Erinnerungsstütze dienen und gleichzeitig sicherstellen, dass sich die Konzepte und Lösungen von ForBAU langfristig auch über die Grenzen des Verbundes hinaus verbreiten.



Abbildung 6.3-1 ForBAU-Buch

Das Buch gliedert sich in sieben Kapitel. Im ersten Kapitel werden die Probleme und Herausforderungen heutiger Bauprojekte aus Sicht des Bauherren, des Planers und der Baufirma dargestellt. Hierfür wurden ausführliche Interviews mit unterschiedlichen ForBAU-Partnern geführt. Von der Darstellung der heutigen Praxis wird zum Abschluss des Kapitels ein Blick auf die Vision der Digitalen Baustelle geworfen und diese vorgestellt. Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit der integrierten Planung auf Basis von 3D-Modellen. Die 3D-Modellierung stellt gemeinsam mit einer zentralen Datenhaltung die Basis der Digitalen Baustelle dar. Es werden Modellierungstechniken für die verschiedenen Teilmodelle der Digitalen Baustelle vorgestellt und ein Ausblick für die Weiterverwendung der Modelle z.B. zur Steuerung von Fertigungsmaschinen gegeben. Welche Lösungen es für die Verwaltung von Projektdaten im Bauumfeld gibt, wird in Kapitel drei dargestellt. Neben der Vorstellung verschiedener Instrumente wird anhand von Beispielen gezeigt, wie die Datenverwaltung eines Bauprojektes von der Planung bis zum Rückbau mit Hilfe eines PLM-Ansatzes zukünftig aussehen kann. Kapitel vier beschreibt die Potenziale, Voraussetzungen und Vorgehensweisen für die Nutzung von Simulationsmodellen zur Bauablaufplanung. Es wird anhand von Beispielen gezeigt, wie die Simulation dabei helfen kann, Bauabläufe schon frühzeitig zu überprüfen und dadurch Probleme auf der Baustelle zu vermeiden. Methoden und Konzepte zur Verbesserung des Logistikmanagements werden im fünften Kapitel vorgestellt. Es wird beschrieben, wie durch eine gezielte Planung, Steuerung und Kontrolle des Material- und Informationsflusses auf der Baustelle erheblicher Mehrwert für das Gesamtprojekt erzielt werden kann. Neben Konzepten werden aber auch Lösungsansätze vorgestellt, z.B. wie mit Hilfe der Funktechnologie RFID Materialflüsse verfolgt und der Baufortschritt zeitnah dokumentiert werden können. Zum Abschluss des Buchs beschreibt Kapitel sieben die Umsetzung

der Digitalen Baustelle anhand von verschiedenen im Rahmen von ForBAU begleiteten Demonstrationsbaustellen.

6.4 Studien

Im Laufe der dreijährigen Forschungsarbeiten hat sich herausgestellt, dass drei der ForBAU-Themen bei unseren Industriepartnern auf besonderes Interesse gestoßen sind. Daher haben wir uns entschieden, die Ergebnisse der Bereiche 3D-CAD- Modellierung und Produktdatenmanagement in zwei Studien zusammenzufassen.

Für die **CAD-Studie** wurden Bau- und Maschinenbau CAD-Systeme auf Ihre Eignung für den parametrischen Entwurf in der Bauindustrie bewertet.

Die **PDM-Studie** beschäftigt sich mit der Bewertung unterschiedlicher PDM-Lösungen. Im Fokus der Bewertung stand die Anpassungsfähigkeit der Systeme auf die Besonderheiten der Baubranche.

Die Studien werden im Frühjahr 2011 veröffentlicht.

6.5 Besuchte Messen und Kongresse 2010

Gerade im letzten Projektjahr war es dem Verbund ein besonderes Anliegen die Ergebnisse aus den Forschungsarbeiten nicht nur national, sondern auch international bekannt zu machen. Deshalb wurden zahlreiche Paper und Veröffentlichungen bei nationalen und internationalen Konferenzen eingereicht. Im Fokus stand aber nicht nur die Verbreitung im wissenschaftlichen Umfeld, sondern auch in der Praxis. Durch Vorträge z.B. auf dem VDBUM Seminar in Braunlage oder dem Allgäuer Baufachkongress in Oberstdorf wurde die ForBAU-Vision und die erarbeiteten Lösungen der praxisnahen Fachwelt vorgestellt.

Vom 19.04.-25.04.2010 präsentierte sich der Forschungsverbund auf der bauma. In dieser Woche konnten zahlreiche Gespräche

geführt und die ForBAU-Idee an Interessenten aus Forschung und Industrie transportiert werden.

Nachfolgend befindet sich ein Überblick aller Messen und Kongresse an denen im Jahr 2010 vorgetragen bzw. ausgestellt wurde:

- The 27th CIB-W78 Conference, 16. - 18.11.2010, Kairo, Ägypten, Vorträge
- Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung – Bundesanstalt für Wasserbau, 18.11.2010, Hannover, Vortrag
- Sixth International Congress on Environmental Geotechnics (6ICEG), 08.-12.11.2010, Delhi, Indien
- 6. BIM Anwendertag des buildingSMART e.V., 12.11.2010, München, Vortrag
- Bauer Vertriebstagung, 12.11.2010, Schrobenuhausen, Vortrag
- 31. Baugrundtagung - Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, 03.11.2010, München, Vortrag
- Forschungs-Workshop bei Max Bögl, 13.10.2010, Sengenthal, Vortrag
- 14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und 07.10.2010, Karlsruhe, Vortrag
- 22. Forum Bauinformatik, 30.9.-01.10.2010, Technische Universität Berlin, Vortrag
- 6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL), 30.09.2010, Hannover, Vortrag
- Bundesvereinigung Deutsches Baugewerbe, 12.09.2010, München, Seminar
- 13th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, 30.06 - 02.07.2010, Nottingham, United Kingdom, Vorträge
- RFID-System, 16.06.2010, Ciudad Real, Spanien, Vortrag

- Stadt München - Baureferat, 10.06.2010, München, Vortrag
- FH Augsburg, 07.06.2010, 10.05.2010, Augsburg, Vorträge
- Cebit Australia 2010, 24.05. - 26.05.2010, Sydney, Australien, Messeauftritt
- Bauma 2010, 19.04.-25.04.2010, München, Messeauftritt
- Forschungsworkshop zur Simulation von Bauprozessen, 25.03.2010, Weimar, Vortrag
- 1. ForBAU Kongress 2010, 18.03.2010, München, Vorträge
- Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V., München
ForBAU-Die virtuelle Baustelle
09.03.2010
- ASIM Simulationsworkshops, Bauhaus Universität, 08.03.2010 Weimar, Vortrag
- 39. VDBUM Seminar 2010, 26.02.2010, Braunlage, Vortrag
- Allgäuer Baufachkongress, 21.01.2010, Oberstdorf, Vortrag

6.6 Austausch mit Forschungseinrichtungen

Bei der Vielzahl von national und international besuchten Messen und Kongressen gab es ausreichende Möglichkeiten für den Austausch mit den im Fachbereich beschäftigten Wissenschaftlern, so dass in diesem Jahr keine weiteren Forschungsaufenthalte durchgeführt wurden.

6.7 Veröffentlichungen

In diesem Jahr wurden zahlreiche Veröffentlichungen bei nationalen und internationalen Kongressen und in Fachzeitschriften platziert.

Sämtliche Veröffentlichungen sowie Presseberichte sind auf Webseite des Verbundes unter dem Reiter „Ergebnisse“ als pdf-Dokumente zum Download bereitgestellt.

6.7.1 Gesamtverbund

Die virtuelle Baustelle - Durchgängiger Einsatz digitaler Werkzeuge von der Bauplanung bis zur -ausführung für mehr Effizienz in der Bauwirtschaft

Klaubert, C.

Bauportal 10/2009

ForBAU - The virtual construction site project

A. Borrmann, A.; Ji, Y.; Wu, I.-C.; Obergrießer, M.; Rank, E.;

Klaubert, C.; Günthner, W.

CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction 2009

Visionen werden Realität - auf dem Weg zur virtuellen Baustelle

Günthner, W. A.; Klaubert, C.

Informationsdienst der Wissenschaft; 11/2008;

Gut geplant ist schnell gebaut

Günthner, W. A.; Klaubert, C.; Schorr, M.;

Kurzberichte aus der Bauforschung; Jahrgang 49 (2008), Heft 1;

Die Virtuelle Baustelle

Günthner, W. A.; Klaubert, C.;

TUM Campus; 04/2008;

Forschungsverbund Virtuelle Baustelle (ForBAU) -

Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung

Günthner, W. A.; Klaubert, C.; Schorr, M.;

Tag des Baubetriebs 2008, Weimar; 03/2008;

6.7.2 BAU-IT

Prototypische Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendung in parametrischen CAD-Systemen

22. Forum Bauinformatik 2010

An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes
CIB W78 Conference on Managing IT in Construction 2009

GroundXML – An addition of alignment - and subsoil- specific cross-sectional data to the LandXML-scheme
Civil Comp Press 2009

Entwicklung integrierter 3D-Trassenproduktmodelle für die Bauablaufsimulation

Ji, Y.; Lukas, K.; Obergrießer, M.; Borrmann, A.;
Forum Bauinformatik 2008, Dresden; 10/2008;

Parametrische Modellierung von Brückenbauwerken

Lukas, K.; Ji, Y.; Obergrießer, M.; Borrmann, A.;
Forum Bauinformatik 2008, Dresden; 10/2008;

6.7.3 BAU-SIM

A Product Lifecycle Management approach for Civil Engineering Projects

Schorr, M.; Borrmann, A.; Klaubert, C.; Ji, Y.; Günthner, W. A.;
Rank, E.;
27th CIB-W78 Conference; Kairo, Ägypten; 11/2010

Bidirectional Coupling of Macroscopic Optimization and Microscopic Simulation of Earthwork Processes

Ji, Y.; Borrmann, A.; Wimmer, J.; Günthner, W. A.;
27th CIB-W78 Conference; Kairo, Ägypten; 11/2010

Simulation der Logistik auf Erdbaustellen

Wimmer, J.; Günthner, W. A.

Schüttgut Vol. 16 (2010), Nr.7; 11/2010

Evaluierung einer 3D-Modell-basierten Ablaufsimulation von Erdbauprozessen in der Praxis

Wimmer, J.; Günthner, W. A.

14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik; Karlsruhe; 10/2010

Bauablaufsimulation und -animation für die Planung von Brückenbauvorhaben

Dori, G.; Borrmann, A.

22. Forum Bauinformatik; Berlin; 10/2010

Simulation der Logistik auf Erdbaustellen

Wimmer, J.; Günthner, W. A.

6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik (WGTL); Hannover; 09/2010

Mathematical Modeling of Earthwork Optimization Problems

Ji, Y.; Borrmann, A.; Rank, E., Seipp, E.; Ruzika, S.

ICCCBE & EG-ICE Conference; Nottingham, England; 07/2010

Real time construction progress control using NFC

Klaubert, C.; Schorr, M.; Günthner, W.A.

Systech Conference; Ciudad Real, Spanien; 06/2010

Geometrischer Soll-Ist-Abgleich bei Brückenbauwerken

Schorr, M.; Günthner, W. A.

Bauportal; 05/2010

Ein Konzept zur Kopplung Makroskopischer Optimierung mit Mikroskopischer Simulation von Erdbauprozessen

Ji, Y.; Borrmann, A.

Tag des Baubetriebs 2010, Nr. 19, Schriften der Professur
Baubetrieb und Bauverfahren; Weimar; 03/2010

Erstellung einer Simulationsbibliothek für den Tiefbau

Wimmer, J., Horenburg, T., Günthner, W. A.

Tag des Baubetriebs 2010, Nr. 19, Schriften der Professur
Baubetrieb und Bauverfahren; Weimar; 03/2010

Visualisierung von Bauabläufen mit Hilfe der Virtuellen Baustelle

Günthner, W. A., Kessler, S., Schorr, M., Wimmer, J.

39. VDBUM Seminar; Braunlage/Harz; 02/2010

Virtuelle Ablaufplanung in der Baubranche

Günthner, W. A.; Wimmer, J.

Interface; 01/2010

Neue Wege in der Transportlogistikplanung im Erdbau

Günthner, W.A., Kessler, S., Frenz, T., Wimmer, J.

Jahrbuch Logistik 2010; 01/2010

PLM für die Baubranche

Günthner, W. A.; Schorr, M.; Sanladerer, S.;

Interface, Heft 2; 12/2009,

*A Pattern-Based Approach for Facilitating Schedule Generation
and Cost Analysis in Bridge Construction Projects*

Wu, I.-C.; Borrmann, A.; Beißert, U.; Rank, E.; König, M.;

CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction, Istanbul,
Türkei; 10/2009

*Automatisierte Auswertung von Produktionsdaten für den
geometrischen und prozessualen Soll-Ist-Vergleich bei dem
Verfahren der Pfahlherstellung*

Obergrießer, M.; Borrmann, A.; Euringer, T.;

Forum Bauinformatik 2009; Karlsruhe; 09/2009

Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects – Potenzials and Obstacles

Borrmann, A.; Schorr, M.; Obergrießer, M.; Ji, Y.; Wu, I.-C.;

Günthner, W. A.; Euringer, T.; Rank, E.;

ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering;
Austin, Texas, USA; 04/2009

Einsatzpotenzial kommerzieller PDM-PLM-Softwareprodukte für Ingenieurbauprojekte

Obergrießer, M.; Ji, Y.; Schorr, M.; Lukas, K.; Borrmann, A.;

Forum Bauinformatik 2008; Dresden; 10/2008;

Ablaufsimulation zur Planung von Bauprojekten am Beispiel eines U-Bahnhofs

Günthner, W. A.; Kraul, R.;

Tag des Baubetriebs 2008; Weimar; 03/2008;

6.7.4 BAU-LOG

3D-Planning of construction site equipment based on process simulation

Horenburg, T.; Wimmer, J.; Kessler, S.; Günthner, W. A.

ICCCBE 2010

4D-Einsatzplanung von Turmdrehkränen

Günthner, W.A.; Kessler, S.; Horenburg, T.; Frenz, T.

Bauportal 7/2010

Studie zur Effizienzsteigerung im öffentlichen Bau durch funktionale Ausschreibungen

Uhl, S.; Höppner, G.

06/2010

Baustoffe kennen den Weg

Höppner, G.

Baustoffe 3/2010

Stoffstrommanagement - Effiziente Erdbewegungen auf Baustellen

Krupp, M.; Höppner, G.; Baumgärtel, T.;
Bauportal 1/2010

Steineschleppen kostet viel Zeit

Krupp, M.; Höppner, G.; Kessoudis, K.;
Logistik heute, 1-2/2009

Logistik in der Bauwirtschaft - Status quo, Handlungsfelder, Trends und Strategien

Günthner, W. A.; Zimmermann, J.; Eber, W.; Lügger, M.;
Sanladerer, S.; Haas, B.; Schorr, M.; 2008

6.7.5 BAU-IDENT

Real time construction progress control using NFC

Klaubert, C.; Schorr, M.; Günthner, W.A.
Systech Conference; Ciudad Real, Spanien; 06/2010

RFID-Theke verbucht Mietgeräte automatisch

Schmidt, J.; Günthner, W. A.; Klaubert, C.; Schneider, O.;
RFID im Blick, 08/2009

RFID-Theke – Automatische Identifikation und Verbuchung von Mietgeräten

Günthner, W. A.; Klaubert, C.; Schneider, O.;
Informationsdienst Wissenschaft, 05/2009

6.8 Vorträge

BVM-Kundenveranstaltung, Köln

ForBAU – Projekt "Digitale Baustelle"
24.11.2010

The 27th CIB-W78 Conference, Kairo, Ägypten

- *A Product Lifecycle Management approach for Civil Engineering Projects*
- Bidirectional Coupling of Macroscopic Optimization and Microscopic Simulation of Earthwork Processes

18.11.2010

*Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung -
Bundesanstalt für Wasserbau, Hannover*

Kolloquium – Digitale Verwaltung technischer Unterlagen als
kooperative Austauschplattform

Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen

18.11.2010

*Sixth International Congress on Environmental Geotechnics
(6ICEG), Neu Delhi, Indien*

Sustainable Use of Materials in Earthworks

08.-12.11.2010

6. BIM Anwendertag des buildingSMART e.V, München

ForBAU - Modellbasierte Projektentwicklung im Ingenieur- und
Tiefbau

12.11.2010

Bauer Vertriebstagung, Schrobenhausen

Ablaufsimulation am Luise-Kiesselbach-Platz in München

12.11.2010

*31. Baugrundtagung – Forum für junge Geotechnik-Ingenieure,
München*

3D-Baugrundmodellierung in der Geotechnik

03.11.2010

Forschungs-Workshop bei Max Bögl, Sengenthal
Turmdrehkraneinsatzplaner(TEP) 3D-Modul
13.10.2010

14. ASIM-Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik
Evaluierung einer 3D-Modell-basierten Ablaufsimulation von
Erdbauprozessen in der Praxis
07.10.2010

22. Forum Bauinformatik, Technische Universität Berlin
Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendungen in
parametrischen CAD-Systemen
01.10.2010

22. Forum Bauinformatik, Berlin
Prototypische Entwicklung IFC-Bridge-basierter Anwendungen in
parametrischen CAD-Systemen
30.09.2010

*6. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für
Technische Logistik (WGTL)*
Simulation der Logistik auf Erdbaustellen
30.09.2010

*6. Herforder Bauforum OWL - „Intelligente Gebäude – planen,
bauen, betreiben“, Kreishaus Herford*
Von der vernetzten Baustelle zum intelligenten Bauwerk – wie die
virtuelle Baustelle Planung und Ausführung verändern wird
22.09.2010

*European Satellite Navigation Competition 2010,
Oberpfaffenhofen*
Last Meter Construction Logistics LMCL - just in time & just in
position supply of construction sites
14.09.2010

Bundesvereinigung Deutsches Baugewerbe, München

Seminar - RFID-in der Bauindustrie

12.09.2010

13th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, United Kingdom

- 3D-Planning of construction site equipment based on process simulation
- Mathematical Modeling of Earthwork Optimization Problems

30.06 - 02.07.2010

The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, UK

Mathematical Modeling of Earthwork Optimization Problems

29.06.2010

Bundesverband Transport Beton, St. Ingbert

SCEM in der Betonindustrie

24.06.2010

RFID-Systech, Ciudad Real, Spanien

Real time construction progress control using NFC

16.06.2010

Stadt München – Baureferat, München

Neue Technologien für die Bauplanung und -ausführung

10.06.2010

FH Augsburg, Augsburg

Gastvortrag - Nutzen digitaler Werkzeuge für die Bauindustrie

07.06.2010

Arbeitstreffen Bayerische Bauakademie, Garching

ForBAU - Die Virtuelle Baustelle

- Bauablaufsimulation
- TEP – Turmdrehkraneinsatzplaner
- Einsatz von Ident-Technologien im Bauwesen

01.06.2010

FH Augsburg, Augsburg

Gastvortrag – Bauplanung mithilfe digitaler Werkzeuge

10.05.2010

Forschungs-Workshop bei Max Bögl, Sengenthal

ForBAU – Bauablaufsimulation

30.03.2010

*Forschungsworkshop zur Simulation von Bauprozessen, Weimar*Ein Konzept zu Kopplung makroskopischer Optimierung mit
mikroskopischer Simulation von Erdbauprozessen

Erstellung einer Simulationsbibliothek für den Tiefbau

25.03.2010

Firmenjubiläum Computerinstitut Bamberg, Bamberg

Kommunikationstechnologie in Betondistributionsprozessen

23.03.2010

1. ForBAU Kongress 2010, München

- Parametrische 3D-Modellierung - Möglichkeiten und Nutzen
- PDM - Vorteile eines zentralen Datenmanagements
- RFID - Transparenz auf der Baustelle
- 4D Bauablaufplanung - Probleme frühzeitig erkennen
- Nutzenbewertung neuer Technologien -
betriebswirtschaftliche Aspekte auf dem Weg in die Praxis

18.03.2010

Verein zur Förderung der fachlichen Fortbildung der Straßenbau- und Verkehrs-ingenieure in Bayern, München

Forschungsverbund ForBAU - Entwicklung und Möglichkeiten der 3-dimensionalen digitalen Planung im Erd- und Straßenbau
04.03.2010

Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft e.V., München
ForBAU-Die virtuelle Baustelle

09.03.2010

ASIM Simulationsworkshop, Bauhaus Universität Weimar
Ein Konzept zur Kopplung Makroskopischer Optimierung mit
Mikroskopischer Simulation von Erdbauprozessen

08.03.2010

39. VDBUM Seminar 2010, Braunlage

Visualisierung von Bauabläufen mit Hilfe der Virtuellen Baustelle
26.02.2010

Tagung HandHigh III - Von Handaufmaß bis High Tech, Cottbus
Zukunft und Vergangenheit – 4D-Modellierung als Werkzeug für
die Bauplanung und die baugeschichtliche Forschung
25.02.2010

Fa. Autodesk, München

Workshop – Parameter-, Constraint- und Feature-basierte
Modellierung von gekrümmten Flächen und Körpern
03.02.2010

Fa. Linde, München

Vorstellung des Forschungsverbunds ForBAU und Möglichkeiten
der Bauablaufsimulation
27.01.2010

Allgäuer Baufachkongress, Oberstdorf

RFID-Einsatz in der Bauwirtschaft

21.01.2010

raab karcher Jahrestagung für Logistik, Aschaffenburg

Zukunft der Baustofflogistik

20.01.2010

Fa. Bauer, Schrobenhausen

Möglichkeiten der virtuellen Baustelle in der Praxis

10.12.2009

*Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur,
Verkehr und Technologie, München*

Vorstellung des Forschungsverbunds ForBAU

26.10.2009

Besuch Vizepräsident Education Autodesk

Vorstellung des Forschungsverbunds ForBAU

12.10.2009

Arbeitstreffen Mefisto – ForBAU

Datengrundlagen für Simulationen

08.10.2009

The 26th CIB-W78 Conference on Managing IT in Construction.

Istanbul, Turkey

- ForBAU - The virtual construction site project
- An Integrated 3D Simulation Framework for Earthwork Processes
- A Pattern-Based Approach for Facilitating Schedule Generation and Cost Analysis in Bridge Construction Projects

02.10.2009

21. Forum Bauinformatik, Karlsruhe

Automatisierte Auswertung von Produktionsdaten für den geometrischen und prozessualen Soll-Ist-Vergleich bei dem Verfahren der Pfahlherstellung, 23.09.2009

12th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Madeira, Portugal
GroundXML - An addition of alignment and subsoil specific cross-sectional data to the LandXML scheme
04.09.2009

2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Austin, TX, USA

Using Product Data Management Systems for Civil Engineering Projects – Potenzials and Obstacles
24.07.2009

Mefisto Kick off, Berlin

Virtuelle Baustelle – ForBAU
01.07.2009

Forum 3D 2009

3D - Ein Wettbewerbsfaktor in der Logistik
04.02.2009

3. Beiratssitzung Kompetenzzentrum Bau, Neumarkt

Neumarkt
23.10.2008

20. Forum Bauinformatik, Dresden

Einsatzpotenzial kommerzieller PDM/PLM-Softwareprodukte für Ingenieurbauprojekte
26.09.2008

20. Forum Bauinformatik, Dresden

Parametrische Modellierung von Brückenbauwerken
Entwicklung integrierter 3D-Trassenproduktmodelle für die
Bauablaufsimulation
25.09.2008

*Vorstellung Forschungsverbund Virtuelle Baustelle (ForBAU),
Karlsruhe*

TH Karlsruhe
15.7.2008

Kick-Off Bausaison 2008, Neumarkt

Kompetenzzentrum Bau Neumarkt
12.03.2008

EDV in der Baulegistik, Neumarkt

Cluster-Treff bei Max Bögl GmbH & Co. KG in Sengenthal
Digitale Werkzeuge für die Bauplanung und -abwicklung
06.03.2008

Geotechnik Tag 2008, München

Risiko und Sicherheit in der Geotechnik
15.02.2008

6.9 Medienecho

Digitales 3D-Baustellenmodell angestrebt

Allgemeine Bauzeitung 14/2010

ForBAU: Auf dem Weg zur Digitalen Baustelle

BayForNews 07/2010

Erfolgsfaktor digitale Baustelle

Deutsches Baublatt Nr. 350 Mai/Juni 2010

Auf dem Weg zur gläsernen Baustelle
Economic Engineering 05-2010

Bauprozesse der Zukunft sind digital
transparent 36/2010

ForBAU - Die virtuelle Baustelle
transparent 10/2009

Die Revolution des Bauens
Faszination Forschung 05/2009

Eine neue Dimension
Süddeutsche Zeitung, 03.12.2008;

Neue Technologien für die Bauwirtschaft
Baumarkt + Bauwirtschaft, 10/2008;

Höhere Qualität in der Bauabwicklung
Deutsches Baublatt 03/04, 2008;

Innovation und Integration
Standpunkt - ascos satellite positioning services, 01/2008;

7 Anhang

7.1 Studienarbeiten

7.1.1 BAU-IT

LandXML als Schnittstelle zur Integration von Vermessungs- und 3D-Geländedaten hinsichtlich der Verwendung in grundbaustatischer Software

Claus Plank

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, März 2008

Einführung in das System Trimble S6 / R6 mit

Anwendungsbeschreibungen für den Lehrbetrieb der Hochschule Regensburg im Hinblick auf den Einsatz bei Bachelor-, Diplom-, Master- und Projektarbeiten

Christian Sedlmaier, Thomas Wimmer

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, September 2008

Dokumentation der Einsatzmöglichkeiten der Robotic-Station

System 1200 der Firma LEICA im Rahmen des Forschungsprojektes ForBAU an konkreten Fallbeispielen

Michael Biederer, Mathias Schiedrich

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, März 2009

Praxisorientierte Analyse und Dokumentation der auf dem Tachymeter LEICA 1200 implementierten Anwendungssoftware aus dem Bereich Verkehrswegebau mit Import und Export von Daten zum Programmsystem STRATIS

Elke Kranz, Anne Weber

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, September 2009

Vergleichende Untersuchungen beim Einsatz der Video-Tachymetersysteme Trimble VX und Topcon IS an praktischen Beispielen aus dem Hoch- und Ingenieurbau

Anna Klein, Maria Winhard

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, September 2010

GIS-gestützte Baulegistik

T. Jiang

Diplomarbeit. Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2008

GIS-Einsatz in Prozessen der Baulegistik

F. Kowarsch:

Diplomarbeit, Fachgebiet Geoinformationssysteme,
TU München, 2009

Analysis and coupling of a Geometric Constraint Solver with a CAD application

J. R. Jubierre

Master Thesis. Lehrstuhl für Computation in Engineering.
TU München, 2009

Development of the 4D EarthworkViz Toolkit Applied in Road Construction

Yilin Lu

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2009

Development of an Earthwork Simulation Model with Plant Simulation

Hao Zhou

Master Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2009

Entwurf und Implementierung eines Bridge-Design-Wizards im CAD System Siemens NX

Matthias Andrae

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

3D parametrischer Brückenentwurf - vom Konzept zur Praxis

Thomas Lippert

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

Road Alignment Optimization using Heuristic Algorithms

Wenjia Wang, Minyi Wang, Mehran Monavari

SoftwareLab Project, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

Building Information Modeling am Beispiel des Gebäudes 1 der Technischen Universität München

S. Steger

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

Building Information Modeling am Beispiel des Gebäudes 2 der Technischen Universität München

A. Petry

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

Genetic Algorithms for Bridge Maintenance Scheduling

Yan Zhang

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Computation in Engineering,
TU München, 2010

7.1.2 BAU-SIM

Orientierung von Schrägluftbildern aus UAV-Aufnahmen mit Amateurkameras

Karsten Stebner

Master Thesis, Beuth Hochschule für Technik Berlin & DLR,
Oktober 2010

Automatisierte Auswertung von Produktionsdaten

Andreas Pfäffinger

Studienarbeit, Hochschule Regensburg, September 2009

Einführung in die 4D-Animation

Andreas Pfäffinger

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, Mai 2010

Grundlegende Analysen zum Einsatz des TLS – Terrestrisches 3D-Laserscannings im Erdbau und Rohstoffmanagement

Bernadette Siebler, Tobias Spangler

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, Juni 2007

Anwendungsorientierte Untersuchung von Terrestrischen Laserscansystemen (TLS) im Rahmen des Forschungsprojektes ForBAU am Beispiel der Tiefbaumaßnahme B15neu und des historischen Gesandtenfriedhofs in Regensburg

Florian Dankerl, Thomas Janka

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, September 2010

Augmented Reality-gestützter geometrischer Soll-Ist-Abgleich im Bauwesen

Markus Hopfengärtner

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, Januar 2010

Erstellung eines objektorientierten 3D-Baustellenmodells für die Simulation von Großbaustellen

Yijie Zhou

Masterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, April 2010

Modellierung von Witterungseinflüssen für die Simulation von Erdbaustellen

Siming Pan

Masterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, Mai 2009

Erstellung einer Geräteverwaltung für die Simulation von Bauprozessen

Sebastian Habenicht

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, Januar 2010

Konzeption eines Simulationsbausteines für den Prozess der Tiefgründung

Christoph Brosda

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, April 2009

Optimierung der Ausführungsreihenfolge von Baustellenprozessen

Stephanie Veidt

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, August 2010

Konzeption und Umsetzung einer Transportsteuerung für die Simulation von Baustellen

Annika Hauptvogel

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, August 2010

Konzeption und Umsetzung einer Transportsteuerung für die Simulation von Baustellen

Annika Hauptvogel

Semesterarbeit Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, August 2010

7.1.3 BAU-LOG

Baulegistik im Tiefbau

Florian Hartl,

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2008

Einsatzmöglichkeiten von RFID zur Unterstützung logistischer Prozesse in der Bauwirtschaft

Claudia Conrad

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2008

Benchmarking von Bauprozessen – Möglichkeiten und Grenzen des Benchmarking-Ansatzes in der Baupraxis

Jan Hagemann

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2008

Anwendungen des Supply Chain Event Management in der Bauwirtschaft

Daniel Kurz

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Entwicklung eines Bewertungsinstrumentes zur Beurteilung bauwirtschaftlicher Anlieferkonzepte

Marius Stumpf

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Reichweite von ökologischen Maßnahmen auf intra- und interorganisationeller Ebene einer Supply Chain

Ni Yan

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik,
FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Logistik-Dienstleistungskonzepte als innovative Geschäftsmodell-Option bei der bauwirtschaftlichen Materialversorgung

Sebastian Uhl

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik,
FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Akzeptanzmodelle für die Technologieeinführung in der Bauwirtschaft

Wolfgang Höfler

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik,
FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Theoretische Eigenschaften und Funktionen eines projektbezogenen, unternehmensübergreifenden Ressourcen-Planungssystems für die Bauwirtschaft

Uwe Kellner

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik,
FAU-Friedrich Alexander Universität, 2010

RFID-Nutzenpotenziale in der Baubranche – Eine praxistaugliche Methodik zur Identifizierung von Nutzen und Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel RFID-Technologie für die Baubranche

Matthias Fuchs

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik,
FAU-Friedrich Alexander Universität, 2010

Möglichkeiten zur Reduzierung der Kapitalbindungskosten in der Bauwirtschaft. Konkretisierung an verschiedenen Materialien und die Auswirkungen auf den Cash-to-Cash-Cycle

Cristina Leutenmayer

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Das Product-Lifecycle-Management-Konzept bietet neue Herausforderungen und Möglichkeiten für die Baulogistik: Schnittstellenbetrachtung der Systeme im Product Lifecycle Management und Anbindung der am Bau Beteiligten

Stefanie Gläser

Studienarbeit, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2009

Supply Chain Risk Management zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit auf Baustellen

Walter Willi

Bachelor Thesis, Lehrstuhl für Betriebswirtschaft, insbes. Logistik, FAU-Friedrich Alexander Universität, 2010

Aufbau eines parametrischen CAD-Modells zur Visualisierung dynamisch erzeugter Turmdrehkrane

Lin Cao

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, 2010

Erstellung eines objektorientierten Simulationsmodells zur Optimierung der Baustellenlogistik beim Einsatz von Tunnelvortriebsmaschinen

Ruben Duhme

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, 2010

Entwicklung einer flexiblen Logistikflächenverwaltung für die Baustellenplanung

Robert Rauch

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, 2010

Entwicklung einer 3D-Modellbibliothek zur Materialfluss- und Layoutplanung auf Großbaustellen

Jan Schüler

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, 2010

Übertragung der Methoden der Fabrik- und Materialflussplanung auf das Bauwesen

Marc Schandera

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, 2010

7.1.4 BAU-IDENT

Entwicklung eines neuartigen Verbindungs- und Kennzeichnungskonzepts für Bohrrohre im Spezialtiefbau

Tim Horenburg,

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, Dezember 2008

Entwicklung einer stationären RFID-Theke für die Dokumentation von Wartungs- und Mietumfängen bei Kleingeräten im Umfeld der Bauindustrie

Ben Theobald, Sandro Schmalzl

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München, Oktober 2009

Kennzeichnung von metallischen Rohrkörpern mittels der RFID-Technologie

Alban Filser

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, August 2009

Konstruktion und Aufbau eines automatisch verfahrbaren Drehtellers und eines 2-dimensionalen Achsenkreuzes zur Erweiterung einer RFID-Versuchseinrichtung

Daniela Neubauer

Diplomarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, April 2010

Entwicklung eines RFID-basierten Kennzeichnungskonzeptes für Betonfertigbauteile

Jan-Jasper Mühle

Semesterarbeit, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
TU München, November 2010

Untersuchungen zum Thema "Genauigkeit" beim Einsatz von Maschinensteuerung im Erd- und Straßenbau im Rahmen des Forschungsprojektes ForBAU am Beispiel einer Straßenbaustelle der Firmengruppe Max Bögl

Valentin Frank, Martin Lunzer

Diplomarbeit, Hochschule Regensburg, Dezember 2008

7.2 Ausgründungen

BIMconsult UG (haftungsbeschränkt)

Marlene-Dietrich-Str. 21

80636 München

email: info@bimconsult.de

Internet: <http://www.bimconsult.de>

7.3 Berufungen

I-Chen (Kelly) Wu

Assistant Professor

Department of Civil Engineering

National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan

Prof. Dr. Michael Krupp

Fachgebiet Logistik und Supply Chain Management

Fakultät für Wirtschaft

Hochschule Augsburg

Dr.-Ing. André Borrmann hat den Ruf erhalten für die

Professur für Computergestützte Modellierung und Simulation

Fakultät für Bauingenieurwesen

Technische Universität München