

Lars Oberwinter
Iva Kovacic
Rüdiger Suppin

BIM-GESTÜTZTE PLANUNGSPROZESSE FÜR NACHHALTIG KONZIPIERTE GEBÄUDE PROZESS-SIMULATION UND EVALUIERUNG DURCH EXPLORATIVE FORSCHUNG



Mit der fortschreitenden technischen Entwicklung von BIM-Anwendungen steigen die Anforderungen an die Daten-Schnittstellen für eine interdisziplinären Daten- und Informationsaustausch drastisch an. Die Planungspraxis zeigt aber auch Bereiche auf, in denen bei BIM-Implementierung Probleme entstehen. Zum einen auf technischer Ebene (durch heterogene Datensätze, Schnittstellen und große Datenvolumen), zum anderen aber auch auf der Prozess-Ebene (durch die Frage nach Verantwortlichkeiten und Arbeitsteilung sowie durch das Fehlen von Konventionen und Standards in der Darstellung von Gebäuden).

In diesem Artikel zeigen wir die ersten Ergebnisse des FFG Forschungsprojekts „BIM sustain“, welches in einer Kooperation von der Technischen Universität Wien gemeinsam mit sieben marktführenden Softwarefirmen durchgeführt wurde. Ziel des Projekts ist einerseits die Untersuchung der Praktikabilität von Schnittstellen und Methoden, die für interdisziplinären Datenaustausch angeboten werden, und andererseits gut abgestimmte Softwarekonstellationen zu identifizieren, die in der Praxis als solche anwendbar wären. Es sollen Methoden zur optimalen Modellierung von Gebäudeelementen innerhalb eines interdisziplinären Umfelds gefunden und definiert werden.

Um einen BIM-unterstützten Planungsprozess zu simulieren wurden Studierende aus den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen und „Building Science“ mit der Aufgabe betraut, als interdisziplinäres Team ein energieeffizientes Bürogebäude zu entwickeln. Es sollten Architektur-, Tragwerks- und Heizung/Lüftungsmodelle erzeugt werden, mit denen im weiteren Schritt thermische und statische Simulationen und Berechnungen durchgeführt wurden. Jede Gruppe von Studierenden wurde beauftragt, mit verschiedenen vordefinierten Softwarekonstellationen das Projekt zu entwickeln und den notwendigen interdisziplinären

Datenaustausch abzuwickeln. Mit Hilfe von Protokollen und Stundenlisten wurden Informationen über technische Themen (Fragen an Kompatibilität und Benutzerfreundlichkeit) und prozessbezogene Themen (Effizienz, Kommunikation, Koordinierungsaufwand) gesammelt. Durch die Auswertung der primären BIM-Daten und der zugehörigen Prozessdokumentationen konnten erste Erkenntnisse der heterogenen Problemfelder BIM-gestützter Planungsprozesse identifiziert und beschrieben werden.

KW.: BIM, Zusammenarbeit, Integrale Planung, explorative Forschung, Experiment

1. EINFÜHRUNG

Mit dem wachsenden Bedarf an nachhaltig konzipierten Gebäuden steigt die Notwendigkeit von integraler Planung, die simultane Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen ermöglicht und neuartiges kollektives Wissen herstellt, drastisch an.

BIM wurde einerseits weitläufig als objektorientierte digitale Darstellung von Gebäuden und gebauter Umgebung verstanden, die Datentransfer und Interoperabilität in digitaler Form ermöglicht, (Kiviniemi et al 2008) und andererseits als

Werkzeug erkannt, das gemeinschaftliche Planung unterstützt sowie Kommunikation und Informationsaustausch zwischen allen Projektbeteiligten erleichtert. Das führt möglicherweise zu einer Erhöhung von Effizienz und Qualität mit gleichzeitiger Reduktion von zeitlichem Aufwand. (Sebastian van Berlo 2011). Darüber hinaus verspricht BIM großes Potenzial in der Planung und Optimierung des Lebenszyklus von Gebäuden. In unserem Verständnis ist das Thema von BIM mehr das „Wie“ (also das Design der Designprozesse) als das „Was“ (Gebäudemodel und seine Eigenschaften).

Die AEC-Industrie (Architecture Engineering Construction) ist eine projektorientierte Sparte mit großer Fluktuation des Personals und den daran geknüpften innerbetrieblichen Wissensverlusten. Es gibt zwar in jeder Disziplin spezialisierte MitarbeiterInnen, diese haben aber selten Erfahrung mit integraler Planung. Die Einführung von neuen BIM-Werkzeugen ist daher mehr als eine Erweiterung der CAD-Methodik, denn sie bedarf innerhalb jeder Projektorganisation einer kompletten Reorganisation der Prozess- und Managementstrategien. Die Probleme in der Umstellung von CAD auf BIM sind auf zwei Ebenen zu finden: auf einer technischen Ebene (unterschiedliche Benutzeroberflächen und heterogene

Datenstrukturen) sowie auf einer semantischen Ebene bezogen auf unterschiedliche Fachsprachen der Professionisten und Darstellungsmethoden (Bazjanac and Kiviniemi, 2007). Optimales Management, das Filtern und verlässliche Synchronisieren aller unterschiedlichen Informationen im Umfeld der Bauindustrie und ihrer heterogenen Softwarestruktur bedarf eines hohen Maßes an Organisation, Administration, interdisziplinärer Kommunikation und Wissens.

Da jeder Entwurfprozess eine prototypische Natur mit immer anderen Projektpartnern besitzt, stellt sich die Frage, ob eine Standardlösung durch ein Komplettpaket eines Softwareherstellers, die zurzeit für dieses breite Spektrum an Anforderungen noch gar nicht existiert, überhaupt brauchbar wäre.

Das Entstehen von hoch entwickelten BIM-Werkzeugen gemeinsam mit der Aussicht eines Paradigmenwechsels – weg von linearen fragmentierten Prozessen hin zu einer integralen Praxis – würde nicht nur Vorteile in der Planung und Umsetzung von Gebäuden bringen, sondern gleichfalls zu einer Optimierung des Betriebs jedes Gebäudes führen.

Integrale Softwarepakete, welche Aspekte von Architektur und Tragwerksplanung, TGA, Energieverbrauch, Errichtungs- und Betriebskosten miteinander vereinen, existieren für die hohen Anforderungen der im zentraleuropäischen Raum vorherrschenden Baupraxis und Baupolitik schlicht noch nicht. Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Einbringung von BIM-Strategien in Lebenszyklus-orientierte Planung und Management bildet somit das Ermöglichen eines Datenaustausches ohne Informationsverlust in enger Verbindung mit der Weiterentwicklung offener Datenschnittstellen.

BIM Forschung beschäftigte sich bisher hauptsächlich mit der Suche nach Lösungen bezüglich Effizienz im Da-

tenaustausch und der Interoperabilität von unterschiedlicher Software. Erst vor kurzem erkannte auch die akademische Welt die Notwendigkeit einer Reorganisation des Entwurfsprozesses an sich. (Succar 2010, Penttilä, Elger 2008).

Dies beruht auf einer gemeinschaftlich verstandenen Planungskultur, der Reorganisation und Standardisierung von Arbeitsschritten sowie der Klarstellung von Rollenverteilung und Aufgabenbereich unter den einzelnen Akteuren. Aus einer Fallstudie (Rekkola et al 2010) heraus wurden zum Identifizieren von Problemen und Vorteilen innerhalb BIM-unterstützter Prozesse folgende drei Kategorien gebildet.

Akteure - Probleme basierend auf Kompetenz oder Wissen

Prozesse - Probleme basierend auf Arbeitsfluss, Zeitplan, Verträgen oder Aufgabenverteilung

Technologie – Softwareprobleme

Folgende Schlussfolgerungen wurden daraufhin getroffen: Einerseits ist für die erweiterte integrative Praxis ein partizipatorischer Prozess nötig und andererseits beruht die langsame Aneignung von BIM in der Praxis vor allem auf den

schwierigen Wechselbeziehungen innerhalb des Dreiecks von Akteur – Prozess – Technologie. (Rekkola et al 2010)

2. METHODOLOGIE

Das Verständnis der Vorteile einer BIM- orientierten Planung sowie BIM-unterstützten Umsetzung ist auf Grund der Komplexität der Werkzeuge und die zuvor notwendige Veränderung der Planungsprozesse und der organisatorischen Prozederes noch nicht voll ausgeprägt.

Daher argumentieren wir für die Notwendigkeit, die BIM-Forschung im Dreieck Akteure – Prozesse – Technologien zu vertiefen. Ein Schritt in diese Richtung stellt unser laufendes Experiment im universitären Umfeld dar, welches zum Inhalt hat, mit Hilfe unterschiedlicher BIM- und Auswertungsprogramme einen multidisziplinären Planungsprozess für eine nachhaltig konzipiertes Bürogebäude zu simulieren. Es wurden bereits mehrere solche Experimente im akademischen Umfeld durchgeführt, jedoch stets mit dem Focus auf technologische Themen oder Themen, die Akteure und Prozesse betreffen.

Plume and Mitchell (2007) führten 2004

Team	Architektur	Bauingenieur		Bauphysik und TGA (Simulation in TAS)	
	CAD	CAD	FEM	CAD	Calculation
1	Allplan	Allplan	Scia Engineer	Allplan	Allplan
2	Revit	Revit	Sofistik	Revit	Plancal
3	ArchiCAD	Tekla	Dlubal RFEM	Plancal	Plancal
4	ArchiCAD	Allplan	Dlubal RFEM	Plancal	Plancal
5	Revit	Allplan	Scia Engineer	Plancal	Plancal
6	ArchiCAD	Allplan	Dlubal RFEM	Revit	Plancal
7	Allplan	Tekla	Sofistik	Revit	Plancal
8	Revit	Tekla	Scia Engineer	Allplan	Allplan
9	ArchiCAD	Revit	Dlubal RFEM	Plancal	Plancal
12	ArchiCAD	Allplan, Tekla	Dlubal RFEM	Revit	Plancal
13	ArchiCAD	Tekla	Sofistik	Revit	Plancal

Tab. 1: Verwendete Softwarekombination



bim

im studentischen Rahmen ein Experiment durch, bei dem eine multidisziplinäre Studentengruppe die Möglichkeiten der IFC-Schnittstelle untersucht hat. Ihr Fokus waren operationale Themen. Das Ergebnis ließ erkennen, dass das Architekturmodell für den Gebrauch durch andere Disziplinen deutlich zu adaptieren war.

Sacks, Kaner and Eastman (2010) verglichen im „Rosewood experiment“ herkömmliche 2D CAD-Methoden mit der BIM-Technologie, mit der Erkenntnis, dass mit BIM zwar ein um 57 % effizienterer Planungsprozess möglich war, das IFC-Format jedoch noch zu unreif für einen fehlerlosen Datentransfer war.

Struts, Dossick and Neff (2011) wiederum fokussierten sich auf Akteur- und Prozessthemen. Sie erkannten, dass zu rigide Technologie den Workflow und Wissensaustausch behindern kann.

Unsere Studie versucht eine holistische Betrachtung des BIM-gestützten Planungsprozesses. Durch das im Folgenden beschriebene Planungs-Experiment

im studentischen Umfeld wurden Daten zu den unterschiedlichen Problemfeldern erhoben, die die Wechselwirkung von Akteur und Prozess im derzeitigen Entwicklungsstand der Technologie beleuchten.

3. EMPIRISCHE FORSCHUNG IM EXPERIMENT

Als Forschungsexperiment wurde ein interdisziplinäres Entwurfs-Szenario entwickelt, bei dem Gruppen von Studierenden der TU Wien mit der Aufgabe betraut wurden, mit Hilfe von BIM-gestützter Planung ein energieeffizientes Bürogebäude mit etwa 7000m² am Standort Wien zu entwickeln.

Dieses Experiment ist Teil des laufenden Forschungsprojekts: „BIMsustain: Prozessoptimierung für BIM unterstütztes nachhaltiges Design“, bei dem drei Institute der Technischen Universität Wien und sieben Anbieter aus der Softwareindustrie involviert sind. Elf Gruppen wurden aus jeweils einem oder einer Studierenden der Bereiche Architektur, Bau-

ingenieurwesen und „Building Science“ gebildet, die gemeinsam die Entwurfsaufgabe bearbeiten sollten. Durch einen Fragebogen wurden im Vorfeld die unterschiedlichen Software-Kenntnisse der Studierenden evaluiert und so die Teams in unterschiedlichen Softwarekonstellationen zusammengestellt:

> Tab. 1

Innerhalb dieser Kombinationen können grundsätzlich zwei Kategorien unterschieden werden: zum einen „Open-Platform BIM“ (Gruppen 3 – 11) – heterogene Softwarekonstellationen, die auf die jeweiligen offenen oder auch proprietären Datenschnittstellen zu den jeweils anderen Programmen angewiesen sind, und zum anderen „Single-Platform BIM“ (Gruppen 1 und 2) – das Team arbeitet im CAD-Bereich innerhalb einer einzigen Softwarefamilie. Basierend auf den Arbeitsunterlagen, welche ein Raumprogramm, einen Lageplan sowie verpflichtende Angaben bezüglich Layerstruktur und Raumstempelkodierung beinhalteten, produzierten die Teams architektonische, Tragwerks-, thermische und Belüftungsmodelle in der zeitlichen Abfolge des in Abbildung 1 illustrierten Prozessschemas und tauschten dabei immer wieder ihre Daten mit den gegebenen Schnittstellen aus.

In weiterer Folge wurden energetische und strukturelle Simulationen erarbeitet. Die Projektphasen wurden mit drei festgelegten Präsentationen (mit definierten Inhalten und Schwerpunkten), wöchentlichen Korrekturen und einleitenden Tutorien von den Softwarefirmen vorab strukturiert.

> Abb. 1

Abbildung 1 zeigt den im Verlauf der Lehrveranstaltung simulierten Planungsprozess in seiner zeitlichen Reihenfolge und gegliedert nach Daten-Art: Zunächst wird ein Architekturmodell erzeugt und an die beiden anderen Disziplinen über-

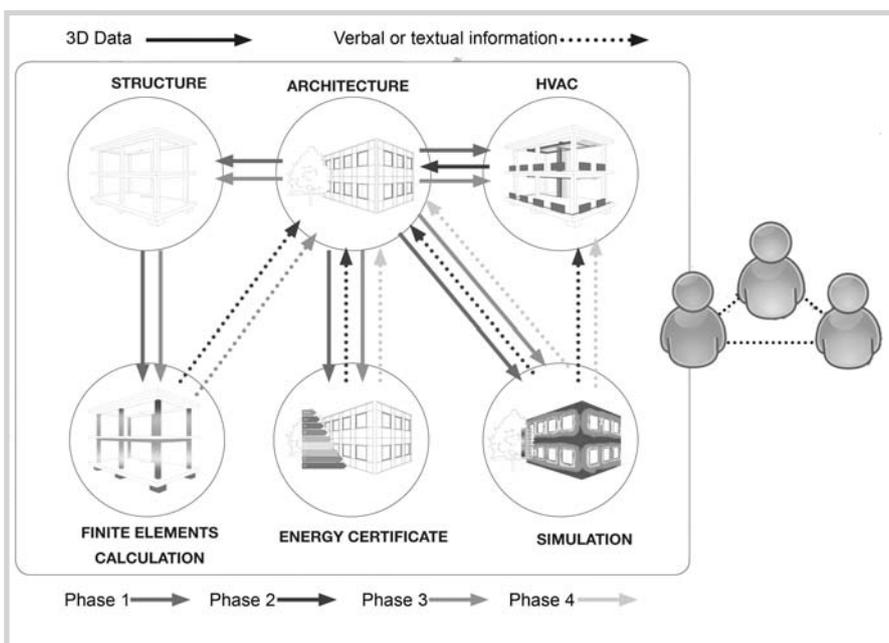


Abb. 1: Prozess-Schema

planung

geben. Diese bereiten es auf, reichern es mit Informationen an und übergeben diese dann wieder an die Architektur, der Prozess beginnt von neuem.

Mit Hilfe von verpflichtenden Protokollen zum Zeitaufwand einzelner Arbeitsschritte, etwaiger technischer, kommunikativer und sonstiger Probleme wurden parallel zur Entwurfsaufgabe die für das Experiment benötigten Daten von den Studierenden erhoben und gelangten anschließend gemeinsam mit sämtlichen Datensätzen der Gruppen (CAD-Dateien, Schnittstellenformate, etc.) in die Auswertung.

4. ERSTE ERKENNTNISSE

Die erste Datenerhebung bezüglich allgemeiner Zufriedenheit der Studierenden mit dem vorgegebenen Planungsszenario wurde im Zeitraum der zweiten offiziellen Präsentation gemacht. Bis dahin wurden die Modelle der unterschiedlichen Disziplinen bereits einmal gegenseitig übergeben.

> Tab. 2

Die Unzufriedenheit mit BIM-Technologie resultiert vor allem aus Inkompatibilitäten während des Datentransfers. So mussten Studierende der Bauphysik für ihre Simulationen die Architekturmodelle fast zur Gänze neu zeichnen, da die Adaptierung der importierten Modelle gleich viel Arbeitszeit benötigt hätte wie das Neuzeichnen. (zwei Arbeitstage).

Bei dem Transfer von Architekturmodellen (CAD) zu Tragwerksmodellen (FEM) stehen grundsätzlich zwei Transfermöglichkeiten im IFC-Format zur Verfügung. Zum einen der „coordination view“ und zum anderen „structural analysis view“ (Building Smart 2012).

Jedoch können die unterschiedlichen Softwarefamilien nicht beide Arten der IFC gleichwertig schreiben und lesen, was

Frage	0 = Niedrig 6= Hoch	Median
Zufriedenheit mit BIM	1,89	2
Zufriedenheit mit Teamwork	3,84	4
Zufriedenheit mit Prozess	2,37	2
Stress Level	4,16	5
Konflikt Level	1,37	1

Tab. 2: Ergebnisse einer ersten Umfrage zur Zufriedenheit mit dem Projektszenario

Zwischenschritten nötig macht, die wiederum zu Informationsverlusten führen.

> Tab. 3 & 4

und der thermischen Simulation (EDSLTAS). Neben der beschriebenen Problematik der unterschiedlichen IFC-Standards machten auch das gbxml-Format und viele der proprietären Schnittstellen

CAD		FEM	
Archicad	↔	Dlubal RFM	←
Allplan	↔	Scia Engineering	↔
Revit	↔	Sofistik	
Tekla	↔		

Tab. 3: Kompatibilität IFC – Coordination View

> Abb. 2, 3, 4, 5

Probleme gab es vor allem beim Datentransfer vom Architektur-Modell in die Analyse-Programme der Statik (FEM)

in der Regel einen reibungslosen Datentransfer unmöglich. Vor allem auch Geometrie wie Rundungen, Dachelemente und Öffnungen verursachen Probleme oder können gar nicht exportiert werden. Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine

CAD		FEM	
Archicad		Dlubal RFM	↔
Allplan		Scia Engineering	↔
Revit	↔	Sofistik	↔
Tekla	↔		

Tab. 4: Kompatibilität IFC – Structural Analysis View



bim

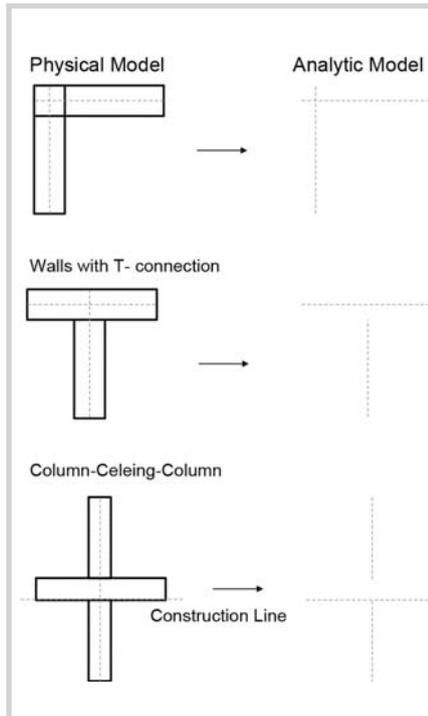


Abb. 2: Ergebnis des Exports von Architektursoftware, Imports in RFM Simulation

Versuchsanordnung von unterschiedlichen Test-Geometrien als CAD-Modell, Abbildung 4 und 5 die in Ergebnisse

des Transfers in FEM Software. Ähnliche Ergebnisse fanden sich in fast allen Software- und Schnittstellen-Konstellationen. Eine detailliertere Beschreibung dieser Problematik wird Teil des Endergebnisses des Forschungsprojekts sein.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Arbeit präsentiert die ersten Ergebnisse eines Forschungsexperiments zur Simulation von einem BIM-unterstützten multidisziplinären Entwurf eines energieeffizienten Bürogebäudes. Dies geschah mit Verwendung von unterschiedlicher BIM-Software für architektonische, tragwerksplanerische und bauphysikalische Darstellung sowie deren Simulationen.

Klar zu erkennen ist, dass der Datentransfer zwischen den Disziplinen mit dem Anstieg der geometrischen Komplexität deutlich schwieriger und fehlerhafter wurde. Die semantische Ebene der unterschiedlichen Gebäudemodelle stellt ebenso ein großes Thema dar. Zum Beispiel variiert die Art der Darstellung von Tragelementen oder die Auswertung der Raumstempel zwischen der Soft-

ware der unterschiedlichen Professionisten. Weiters sind komplette Inkompatibilitäten zwischen den unterschiedlichen Softwareprodukten erkennbar.

Der Vergleich von „One-platform BIM“ versus „Open-platform BIM“ lässt folgenden Schluss zu: Eine „One-platform“-Konstellation als funktionierendes geschlossenes System existiert bis jetzt noch nicht. Auch innerhalb von proprietären Systemen kommt es bei anspruchsvollerer Geometrie zu Problemen. Bei „Open-Platform“ BIM, die eine IFC Schnittstelle verwenden, ist der Datentransfer als zeiteffizient und präzise beobachtet worden, sofern standardisierte Einstellungen des IFC verwendet wurden und unter der Voraussetzung von einfacher Geometrie.

Die generelle Zufriedenheit mit BIM-Technologie wurde primär auf Grund der Schwierigkeiten während des Datentransfers von den Projektbeteiligten als niedrig eingestuft. Die Zufriedenheit bezogen auf den Prozess wird mit schwach bewertet. Der Workflow innerhalb der Projektgruppen ist schlecht organisiert, es gab keine klare Verteilung der übergeordneten Aufgaben.

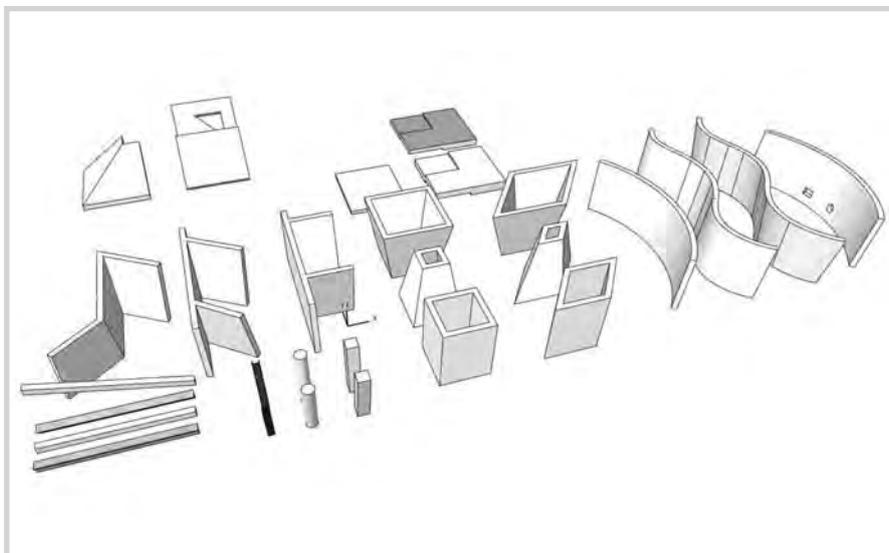


Abb. 3: Architekturmodell aus ArchiCAD16

Obwohl das Konfliktpotenzial als niedrig eingestuft wurde, war die Zufriedenheit in den Gruppen nur als mittelmäßig eingestuft worden. Es wurde oft das Fehlen von Gruppenzugehörigkeit beobachtet. Wir können die These von Struts, Dossick and Neff (2011) nur unterstützen, nach welcher BIM vorteilhaft für den Austausch und der Präsentation von eindeutiger Information ist, jedoch von sich aus kein Rezept bietet, wie Gebäude entwickelt werden sollten. Unsere ersten Erkenntnisse bestätigen ebenso, dass BIM an sich keine integrale Praxis unterstützt. Um eine Zusammenarbeit zu fördern bedarf es Kommunikationsarten wie gut organisierter Meetings, nach wie vor aber ebenso die Möglichkeit von informeller Kommunikation, (Both und Zentner [2004]).

planung

Das bidirektionale Modellmanagement stellt weiterhin eine der größten Herausforderungen dar. Nicht nur auf Grund von technischen Beschränkungen, sondern vor allem im Bereich der prozessbezogenen Themen, wie zum Beispiel der Vergabe von Zugriffsrechten innerhalb eines Modells.

Zusammenfassend scheint die derzeitige Verwendung vom BIM kaum den Workflow zwischen Architekten und Ingenieuren zu verändern – nicht allein durch die Limitationen der Benutzeroberflächen, sondern auch aufgrund vieler logischer Widersprüche bei der Frage nach der Beschaffenheit eines optimal interdisziplinär nutzbaren Modells.

Neben dem Detaillierungsgrad stellen vor allem die unterschiedlichen Diskretisierungs-Ansätze aus statischer und thermischer Simulation heutige ArchitektInnen vor das Problem, mit einem einzelnen Modell scheinbar nie allen Disziplinen gleichermaßen gerecht werden zu können. Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts werden durch empirische Gegenversuche im Schnittstellenbereich und eine weitere Lehrveranstaltung gleichen Aufbaus vertiefende Einblicke zu der gestellten Thematik angestrebt und wesentliche Problemfelder genauer und umfassender beschrieben, um diese Erkenntnisse an unsere Partner aus der Softwareindustrie weitergeben zu können.

DANK:

Diese Arbeit ist Teil des laufenden Forschungsprojekts "BIMsustain" gefördert vom FFG (Österreichische Förderungsgesellschaft) und folgenden Software-Anbietern als Projektpartnern: A-Null, Artaker, b.i.m.m. Gasteiger, Dlubal REFM, Sofistik, Construsoft Tekla und Nemetschek Allplan. Wir bedanken uns für die Arbeit unserer akademischen Partner: Industriebau und Interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien, Prof. C.

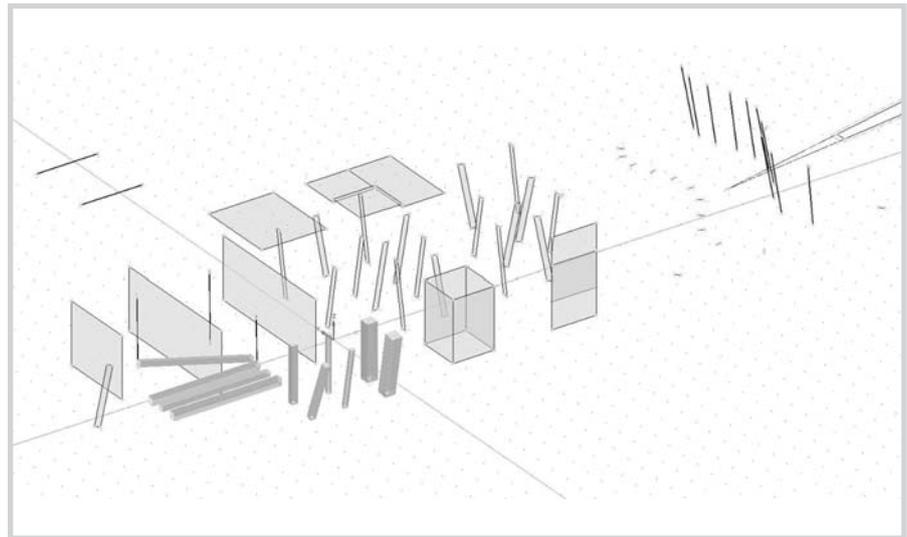


Abb. 4: Import via IFC in Dlubal REFM

Achammer, Institut Managementwissenschaften, TU Wien, Prof. S. Kösegy, Dr. M. Filzmoser and Institute for Building Physics and Ecology, TU Wien, Prof. A Mahdavi, L. Skoruppa and K. Kiesel., TU sowie bei allen Studierenden der Technischen Universität Wien, die an diesem Projekt teilgenommen haben.

QUELLEN / REFERENZEN:

- ArchiCAD16 (2012), <http://www.archicad.at>, letzter Zugriff Dez. 2012
- Building Smart (2012): <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>, letzter Zugriff Februar 2013
- Dlubal REFM (2012), <http://www.dlubal.de>, letzter Zugriff Dez. 2012

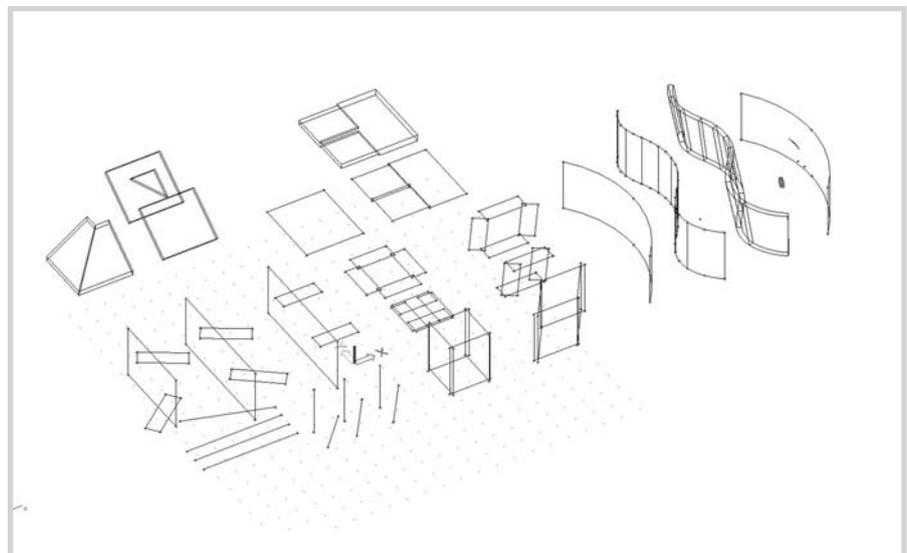


Abb.5: Import via IFC in Scia

- Nemetschek Allplan (2012), <http://www.nemetschek-allplan.at>, letzter Zugriff Dez. 2012
- Revit Architecture, Structure and MEP 2013 (2012) <http://www.autodesk.de>, letzter Zugriff Dez. 2012
- Scia (2012), <http://www.scia-software.de>, letzter Zugriff Dez. 2012
- Sofistik (2012), <http://www.sofistik.de>, letzter Zugriff Dez. 2012
- Tekla Structures (2012), <http://www.tekla.com/>, letzter Zugriff Dez. 2012
- TAS (2012) <http://www.edsl.net/main/Software.aspx>, letzter Zugriff Dez. 2012
- von Both P, Zentner F (2004) „LUZIE Lebenszyklus-bezogene Einbindung der Zielplanung und des Zielcontrolling in den Integralen Planungsprozess“, Technical Report, FIA Projekt, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Bazjanac V, Kiviniemi A (2007) “Reduction, Simplification, Translation and Interpretation in Exchange of Model Data”, CIB W78, Maribor
- Penttilä H, Elger D (2008) „New Professional Profiles for International Collaboration in Design and Construction“, 26th eCAADe Conference Proceedings, 17–20 September 2008, Antwerpen (Belgium), 333–340
- Plume J, Mitchell J (2007) “Collaborative design using a shared IFC building model—Learning from experience”. *Automation in Construction* Vol. 16: 28 – 36
- Rekkola M, Kojima J, Mäkeläinen T (2010) “Integrated Design and Delivery Solutions”, *Architectural Engineering and Design Management* 6:264-278
- Rizal S., van Berlo L., 2010. Tool for Benchmarking BIM Performance of Design, Engineering and Construction Firms in The Netherlands, in *Architectural Engineering and Design Management* 6 (4), pp. 254–263.
- Sacks R, Kaner I, Eastman MC, Jeong YS (2010) “The Rosewood experiment — Building information modelling and interoperability for architectural precast facades” *Automation in Construction* 19: 419–432
- Succar B (2010) “The five components of BIM performance management”, In: *Proceedings of CIB World Congress, Salford*
- Sturts Dossick C, Neff G (2011) “Messy talk and clean technology: communication, problem-solving and collaboration using Building Information Modelling”, *Engineering Project Organization Journal* 1(2): 83-93



LCT One