

Thermisch-energetische Gebäudesimulation auf Basis eines Bauwerksinformationsmodells

Alexander Benz, Jakob Taraben, Thomas Lichtenheld, Guido Morgenthal, Conrad Völker

Bauhaus-University Weimar, 99423 Weimar, Germany

(Erhalten 26. Januar 2018; überarbeitet 05. März 2018; akzeptiert 09. März 2018)

Copyright-Vermerk

Copyright 2018 Ernst & Sohn. Dieser Artikel kann für den persönlichen Gebrauch heruntergeladen werden. Andere Verwendungen bedürfen der vorherigen Zustimmung der Autoren und des Verlags Ernst & Sohn.

Der folgende Artikel erschien in der Bauphysik 40 (2), 2018 und kann unter folgendem Link abgerufen werden.
https://www.ernst-und-sohn.de/app/artikelrecherche/artikel.php?lang=de&ID=38470&utm_source=eus&utm_medium=artikel-db&utm_campaign=Bp_2018_2.

Abstract

Für eine Abschätzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden und Quartieren können thermisch-energetische Simulationen eingesetzt werden. Grundlage dieser Simulationen sind geometrische und physikalische Gebäudemodelle. Die Erstellung des geometrischen Modells erfolgt in der Regel auf Basis von Bauplänen oder Vor-Ort-Begehungen, was mit einem großen Recherche- und Modellierungsaufwand verbunden ist. Spätere bauliche Veränderungen des Gebäudes müssen häufig manuell in das Modell eingearbeitet werden, was den Arbeitsaufwand zusätzlich erhöht. Das physikalische Modell stellt die Menge an Parametern und Randbedingungen dar, welche durch Materialeigenschaften, Lage und Umgebungseinflüsse gegeben sind. Die Verknüpfung beider Modelle wird innerhalb der entsprechenden Simulationssoftware realisiert und ist meist nicht in andere Softwareprodukte überführbar.

Mithilfe des Building Information Modeling (BIM) können Simulationsdaten sowohl konsistent gespeichert als auch über Schnittstellen mit entsprechenden Anwendungen ausgetauscht werden. Hierfür wird eine Methode vorgestellt, die thermisch-energetische Simulationen auf Basis des standardisierten Übergabeformats Industry Foundation Classes (IFC) inklusive anschließender Auswertungen ermöglicht. Dabei werden geometrische und physikalische Parameter direkt aus einem über den gesamten Lebenszyklus aktuellen Gebäudemodell extrahiert und an die Simulation übergeben. Dies beschleunigt den Simulationsprozess hinsichtlich der Gebäudemodellierung und nach späteren baulichen Veränderungen. Die erarbeitete Methode beruht hierbei auf einfachen Modellierungskonventionen bei der Erstellung des Bauwerksinformationsmodells und stellt eine vollständige Übertragbarkeit der Eingangs- und Ausgangswerte sicher.

Thermal building simulation based on BIM-models. Thermal energetic simulations are used for the estimation of the heating demand of buildings and districts. These simulations are based on building models containing geometrical and physical information. The creation of geometrical models is usually based on existing construction plans or in situ assessments which demand a comparatively big effort of investigation and modeling. Alterations, which are later applied to the structure, request manual changes of the related model, which increases the effort additionally. The physical model represents the total amount of parameters and boundary conditions that are influenced by material properties, location and environmental influences on the building. The link between both models is realized within the correspondent simulation software and is usually not transferable to other software products.

By Applying Building Information Modeling (BIM) simulation data is stored consistently and an exchange to other software is enabled. Therefore, a method which allows a thermal energetic simulation based on the exchange format Industry

Foundation Classes (IFC) including an evaluation is presented. All geometrical and physical information are extracted directly from the building model that is kept up-to-date during its life cycle and transferred to the simulation. This accelerates the simulation process regarding the geometrical modeling and adjustments after later changes of the building. The developed method is based on simple conventions for the creation of the building model and ensures a complete transfer of all simulation data.

1. Einleitung

Grundlage thermisch-energetischer Gebäudesimulationen ist die Bildung und Verknüpfung eines geometrischen und physikalischen Gebäudemodells. Bei der Betrachtung thermisch instationärer Vorgänge ist für die Erstellung des physikalischen Gebäudemodells die Angabe der Materialkennwerte (z.B. Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität) und gegebenenfalls weiterer Bauteileigenschaften (z.B. winkelabhängige optische Eigenschaften von transparenten Bauteilen) zwingend notwendig [1]. Bei der Modellbildung bedarf es zudem einer Zonierung des betrachteten Gebäudes sowie der Zuordnung weiterer Randbedingungen (z.B. Wärmeübergangskoeffizienten, Wetterdaten, Luftwechselraten, interne Wärmegewinne). Das Anwendungsspektrum solcher Gebäudesimulationen erstreckt sich von der energetischen Bewertung bis zur Komfortbewertung des Innenraumklimas und kann beispielsweise auch spezielle Fragestellungen hinsichtlich komplexer Verglasungs- und Verschattungskonzepte beinhalten. Für die Bearbeitung der zuvor genannten Aufgaben stehen auf dem Markt verschiedene Softwareprodukte zur Verfügung (z.B. TRNSYS, EnergyPlus, IDA-ICE, Therakles) [2].

Im Rahmen des Modellbildungsprozesses nimmt die Erstellung des geometrischen Gebäude-modells mit ca. 80% den größten Anteil des Zeitaufwands ein [3]. Die Methoden reichen von der Rekonstruktion einer Oberfläche aus Bilddaten [4] oder Punktwolken [5] bis zum händischen Nachmodellieren bestehender Daten. Durch eine manuelle Nachmodellierung werden allerdings weitere subjektive Einflüsse in das Gebäudemodell eingebracht [3][6].

Die weitestgehende Eliminierung von solchen fehlerhaften manuellen Modellüberführungen kann durch die Nutzung eines allgemein übertragbaren Bauwerksinformationsmodells erreicht werden. Solche Modelle können im offenen, plattformneutralen und unter ISO 16739:2013 standardisierten IFC-Datenschema gespeichert und übergeben werden [7]. In [8] werden so-wohl die Methode des Building Information Modeling im Allgemeinen, als auch mögliche Schnittstellen zur Anwendung der thermisch-energetischen Gebäudesimulation basierend auf IFC-Modellen beschrieben. Hierbei ist die Definition von speziellen Räumen nötig, welche später in thermische Zonen übersetzt werden. Mögliche Prozessabläufe hinsichtlich der Arbeit mit unterschiedlichen Oberflächen, Modellstrukturen in 2D und 3D, sowie die Nutzung und Kompatibilität unterschiedlicher Formate wurden in [3] beschrieben und in ausgewählten Szenarien bewertet. In [6] wird eine Methode zur Anreicherung von IFC-Dateien mit Bauteilinformationen beschrieben, welche mit der Software EnergyPlus ausgewertet werden können. Eine konsistente Abbildung aller Eingangswerte und Simulationsergebnisse wird hierbei nicht erreicht. Bestehende Lösungen für den Datenaustausch zwischen IFC-Modellen und Softwaresystemen für die

Gebäudesimulation zeigen ein hohes Maß an Modellkonventionen für die korrekte Interpretation einer entsprechenden Simulationssoftware [9], zudem beschränkt sich der Datenaustausch in der Regel auf geometrische Aspekte [8] oder ausgewählte BIM-fähige Software, wie ArchiCAD oder Autodesk Revit. Diese Konventionen und Beschränkungen auf bestimmte Software bieten keinen flexiblen und offenen Austausch von beliebigen Bauwerksmodellen zu Simulationsanwendungen [10].

Im Folgenden wird daher ein von den Autoren entwickeltes Konzept zur Kopplung eines IFC-Modells mit Gebäudesimulationen auf Basis des IDF-Formats beschrieben. Zur Erprobung wird in der vorliegenden Arbeit die Software TRNSYS [11] genutzt. Die Geometrie inklusive der Zuordnung von Bauteil- und Materialkennwerten kann dabei mit einer beliebigen CAD-Software erstellt werden und von dort in IFC exportiert werden. Das exportierte Modell wird mit allen zur Simulation nötigen Daten (Kennwerte, Heizregime, interne Lasten) angereichert. Zur Ausführung der Simulation wird das Modell in das Eingangsformat für TRNSYS, IDF (Intermediate Data Format), umgewandelt. Die berechneten Ergebnisdaten (Heiz-/Kühllasten auf Zonenebene, Temperaturverlauf) werden nach der Simulation in das IFC-Modell rückgeführt und bilden so den gesamten Simulationsvorgang ab. Mithilfe des erarbeiteten Konzepts ist es außerdem möglich, die Ergebnisse für Vergleiche nach Änderungen der Geometrie oder anderer Randbedingungen zu nutzen. Die Verwendung der IFC bedient sich dabei einer softwareunabhängigen Modellierung und Darstellung. Nach der Darstellung der Methode wird die Leistungsfähigkeit des Konzepts an einem ausgewählten Beispiel aufgezeigt.

2. Methode

2.1. Allgemeines

Die in der Programmiersprache JAVA implementierte Anwendung liest ein IFC-Modell über die von APSTEX bereitgestellte ifc4javatoolbox [12] und überführt dieses in eine Eingangsdatei für die Simulationssoftware TRNSYS. Grundlage ist ein IFC-Modell, welches unter anderem die geometrischen Gebäudeinformationen beinhaltet. Innerhalb dieses Datenschemas finden sich zusätzlich zur Geometrie auch direkt verknüpfte Informationen bezüglich Material, Nutzung und bauteilspezifischen Eigenschaften wieder, welche bereits in der Modellierungssoftware ergänzt werden.

Während des Imports werden die nötigen geometrischen Daten zur Generierung der thermischen Gebäudehülle extrahiert und in ein internes Datenmodell überführt (siehe Kapitel 2.2). Zusätzlich werden die entsprechend hinterlegten bauphysikalischen Informationen gelesen (siehe Kapitel 2.3). Für den Simulationsprozess wird das interne Datenmodell in das IDF-Format umgewandelt, welches die Software TRNSYS interpretieren und verarbeiten kann (siehe Kapitel 2.4). Dabei werden geometrische und bauphysikalische Parameter sowie Nutzungsszenarien

(Schedules) und simulationsspezifische Parameter extrahiert oder dem Model hinzugefügt. In TRNSYS selbst müssen auf diese Weise lediglich programminterne Einstellungen gesetzt werden, um eine Simulation auszuführen. Die Rückführung und Dokumentation der Ergebnisse in das interne Datenformat der entwickelten Schnittstelle oder in das ursprüngliche IFC-Modell eröffnet die Möglichkeit, mehrere Simulationsresultate miteinander zu vergleichen. Dadurch können beispielsweise die Effekte aus späteren baulichen Änderungen beurteilt werden. Der beschriebene Prozess ist in Bild 1 dargestellt.

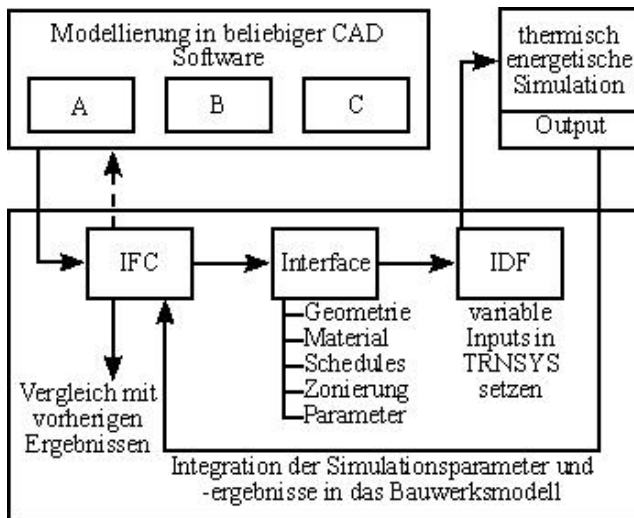


Bild 1. Workflow der entwickelten Schnittstelle von der Modellierung des Gebäudemodells über die Anreicherung mit bauphysikalischen Parametern zur thermisch-energetischen Simulation bis zur Rückführung und Einordnung der Simulationsergebnisse in das IFC-Modell

Fig. 1. Workflow of the developed interface from the original building model to the extension with building physics parameters for the thermal energetic simulation and the integration and interpretation of the simulation results in the IFC model

2.2. Geometrische Modellbildung (Erstellung der Geometrie aus BIM)

Basis des geometrischen Modells ist die thermische Gebäudehülle, welche die lückenlose Geometrie der umschließenden Flächen eines Gebäudes beschreibt. In dieser Arbeit soll lediglich auf die Erstellung von Ein-Zonen-Modellen eingegangen werden, was bedeutet, dass die gesamte thermische Gebäudehülle gleichzeitig die Geometrie der thermischen Zone beschreibt.

Die relevanten und in der entwickelten Schnittstelle unterstützten Bauteile sind hierbei Außenwände, Fenster, Dächer und Bodenplatten. Die IFC bezeichnen diese als IfcWall, IfcWindow, IfcRoof und IfcSlab. Im Modell befinden sich zusätzlich zu geometrischen Bauteilinformationen die jeweiligen Zugehörigkeiten untereinander, wie beispielsweise von Wand-öffnungen zu Fenstern, Fenstern zu Wänden oder Wänden zu Geschossebenen. Zur Identifikation der Außenwände wird außerdem der standardmäßig in den Eigenschaften hinterlegte Wert IsExternal genutzt. So können alle Bauteile bereits bei der Extraktion der Geometrie einander zugeordnet werden. Die einzelnen geometrischen Definitionen sind Inhalt des IfcProductDefinitionShape. Bild 2 zeigt den Aufbau und die Verknüpfung von Bauteilen mit den zugehörigen Eigenschaften, Materialbeschreibungen und geometrischen Repräsentationen.

In der prototypischen Umsetzung werden vorerst nur einfache Darstellungen unterstützt. Ta-belle 1 zeigt die jeweiligen Geometrien, welche zur Repräsentation der Bauteile im späteren Zielformat IDF genutzt werden.

Tabelle 1. Beschreibung der genutzten Bauteilrepräsentation und Einordnung in IFC-Modellstruktur
Table 1. Description of building element representations and relations used in the IFC model structure

Bauteil	Geometrie aus IFC	Objektbezug in Modellstruktur
Wand	Wandachse als Ende-Anfang-Polylinie	Aus IfcBuildingStorey (Geschoss)
Fenster	Umrissgeometrie der zugehörigen Wandöffnung als Polylinie	Aus IfcWall (Wand)
Dach/Bodenplatte	Geometrie aus Draufsicht als Polylinie	Aus IfcBuildingStorey (Geschoss)

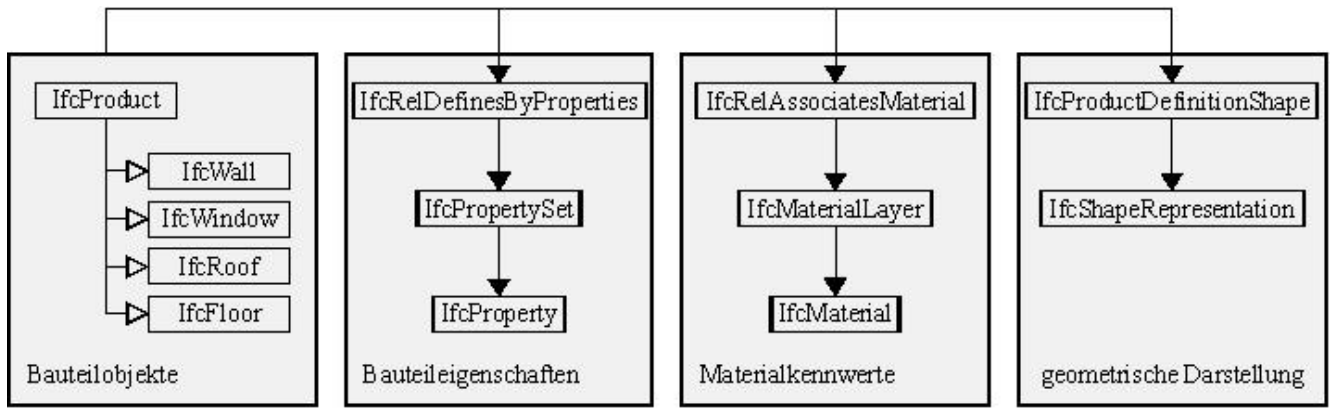


Bild 2. Für die entwickelte Schnittstelle relevante Beziehungen in IFC zwischen Bauteilobjekten und zugehörigen Eigenschaften, Materialbelegung und geometrischer Repräsentation

Fig. 2. Relationships in IFC between building objects, element properties, material definition and geometrical representation relevant for the developed interface

Die Darstellung der Geometrie im IDF-Format erfolgt über die geordnete Angabe der Flächeneckpunkte bezogen auf ein globales Koordinatensystem. Diese Form kann für Fenster-, Dach- und Bodenplattenelemente direkt aus der Repräsentation im IFC-Modell übernommen werden. Außenwandgeometrien werden aus den Endpunkten der Wandachse und den Höhen der angrenzenden Geschosse ermittelt. Den Vergleich der Darstellungen und Komponenten einer Wandgeometrie in IFC und IDF soll Bild 3 verdeutlichen.

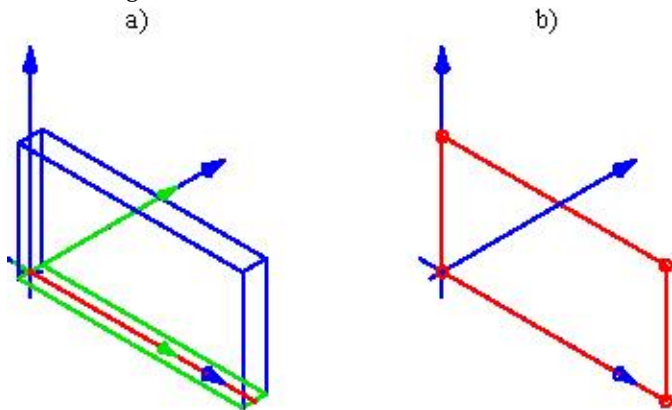


Bild 3. Definition der Wandgeometrien in IFC (a) aus Grundfläche der Extrusion (grün), Volumenkörper aus Extrusion (blau) und Wandachse (rot) verglichen mit der Form in IDF (b) aus vier Eckpunkten der Wandfläche im 3-dimensionalen Raum (rot)

Fig. 3. Definition of wall geometries in IFC (a) containing base area for extrusion (green), the volume resulting from extrusion (blue) and the wall axis (red) compared to IDF (b) composed by the edge points of the wall surface in 3D

Für die Überführung der Bauteile von Volumenkörpern in Flächen müssen automatische Anpassungen realisiert werden. Dazu gehört das Anbinden oder Verschneiden der Wandachsen, sollten die Endpunkte nicht exakt identisch sein, wie in Bild 4 dargestellt. Ebenso müssen sich Öffnungsgeometrien in der Ebene der Wandfläche befinden oder in diese verschoben werden.

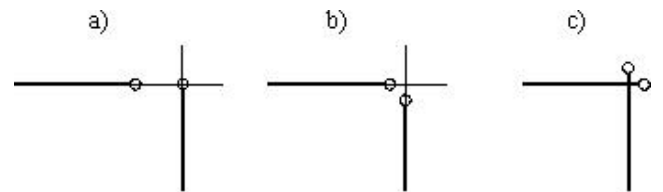


Bild 4. Modellierungsbedingte fehlerhafte Verschneidungen von Wandachsen, falls durch Abstände (a, b) oder Überlappungen (c) keine deckungsgleichen Endpunkte vorliegen, müssen automatisch korrigiert werden

Fig. 4. Incorrect axis intersections caused by modelling, leading to non-congruent points through gaps (a, b) or overlapping (c), are adjusted automatically

Die implementierte Methode der Konvertierung der Geometrie von IFC in IDF unterliegt einer Reihe von einfachen Modellkonventionen, die sich aus den zuvor festgelegten Anforderungen an die erarbeitete Schnittstelle ergeben:

- Die Summe aller Wandachsen eines Grundrisses ergibt einen geschlossenen Polygon-zug
- Die von Wänden umrandeten Flächen sind vollständig von Dachelementen über-deckt, wodurch sich ein geschlossenes Volumen ergibt
- Wandhöhen sind gleich mit Geschosshöhen (keine Wände über mehrere Geschosse modelliert)
- Stimmige semantische Zuordnung der Bauteile zu den entsprechenden IFC

Die zusätzliche Definition von Räumen als thermische Zonen ist nicht notwendig, wodurch auch Modelle verwendet werden können, die ursprünglich nicht für die Anwendung der Gebäudesimulation exportiert wurden.

2.3. Bauphysikalische Modellbildung (Zuordnung/Beschreibung von Zonierung, Materialkennwerten, Nutzern im BIM- Modell/weiteren Datenbanken)

Die Zonierung stellt einen wesentlichen Schritt im Rahmen der Modellbildung dar, wobei eine zu große Anzahl der Zonen aufgrund des steigenden Rechenaufwands zu vermeiden ist [13]. In diesen definierten Zonen erfolgt die Bilanzierung und Bewertung bestimmter Parameter (z.B. zu-/abgeführte Wärmemenge, zeitlicher Temperaturverlauf). Damit sich der Berechnungsaufwand auf ein Minimum reduziert, wird zunächst die Bildung von Ein-Zonen-Modellen angestrebt. Für die Beschreibung zonenbegrenzender Bauteile und den darin enthaltenen Materialien bedarf es entsprechender Materialkennwerte und Bauteileigenschaften (z.B. Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, winkelabhängige optische Eigenschaften von transparenten Bauteilen). Zudem ist die Integration weiterer Parameter in das bauphysikalische Modell notwendig. Dies betrifft in der Regel sämtliche Nutzungsrandbedingungen, wie z.B. Heiz- und Kühlzyklen, Luftwechsel- und Infiltrationsraten sowie interne Wärmequellen aus Personen und Geräten. Die Berücksichtigung nicht zonenbegrenzender Bauteile, wie der Innenwände und -decken im Ein-Zonen-Modell, kann über die interne Wärmekapazität der Zone erfolgen.

Ein IFC-Modell aus einer Modellierungssoftware beinhaltet üblicherweise nicht alle für die Simulation benötigten bauphysikalischen Parameter. So sind

beispielsweise im allgemein definierten Eigenschaftssatz Pset_MaterialThermal bereits die Werte für Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität hinterlegt, während Heizregime oder Emissionsgrade in der Regel nicht abrufbar sind. Die Verknüpfung der zusätzlich benötigten Werte ist in Tabelle 2 dargestellt.

Solare Absorptionsgrade, Emissionsgrade für langwellige Strahlung und Wärmeübergangskoeffizienten werden den Bauteilobjekten direkt über IfcPropertySets zugeordnet, da sie maßgeblich von den angesetzten äußeren Randbedingungen abhängen. Bauphysikalische Kennwerte für Fenster werden für die Simulationssoftware TRNSYS über die Software WINDOW [14] des Lawrence Berkeley National Laboratory als DOE-2 Datei importiert. Die aktuelle Version der IFC, Version 4, beinhaltet keine direkte Klassendefinition für die Modellierung eines Heizregimes in Bauwerksmodellen. Zur Vereinfachung wird das Nutzerverhalten in einem IfcWorkSchedule-Objekt mit entsprechenden Identifiern abgelegt. Die Struktur der Einträge orientiert sich dabei stark an der späteren Darstellung im IDF-Format. Da lediglich Ein-Zonen-Modelle behandelt werden, wird für die thermische Zone und die zugehörigen Eigenschaften ein IfcSpace-Objekt angelegt, welches nicht in die sogenannte spatial structure, also Modellstruktur, eingebunden wird. Die Zone existiert als nicht verknüpftes Objekt ohne geo-metrische Repräsentation und dient als Container für die allgemeinen Eigenschaften der thermischen Zone. Andere bauwerksspezifische Parameter, wie die Ausrichtung oder Lage sind in den Eigenschaften des IfcBuilding-Objekts zu finden.

Tabelle 2. Übersicht der hinterlegten Simulationsobjekte und Parameter in IFC nach den gesetzten Modellkonventionen der Schnittstelle

Table 2. Summary of the integrated simulation objects and parameters in the IFC following the modelling conventions introduced with the interface

Eigenschaft	IFC-Objekt (Modellebene)	Namenskonvention
Heizregime	IfcWorkSchedule (IfcModel)	TesScheduleSet
Thermische Zone	IfcSpace (IfcProject)	ThermalSimulationZone
IDF-typische Bauwerksbezeichnung	IfcBuilding	Pset_TesBuildingParameterSet
Lagebezeichnung und Orientierung	IfcBuilding	Pset_TesLocationParameterSet
Konstruktionsanordnung für IDF-Geometrien	IfcBuilding	Pset_GlobalGeometryRules
Oberflächeneigenschaften der Bauteile	IfcProduct	Pset_TesMaterialLayerSet

2.4. Schnittstelle zur Gebäudesimulation

Die vorgestellte Methode zur Einbettung geometrischer und bauphysikalischer Grundlagen stellt den Grundstein der Schnittstelle dar. Im vorliegenden Status der Schnittstelle verschiebt sich der Modellbildungsprozess in eine BIM-fähige Planungssoftware, so dass lediglich simulationsspezifische Änderungen, z.B. Zeitschritte und Simulationszeitraum oder Konvergenzkriterien sowie Klimarandbedingungen, nachträglich in TRNSYS eingepflegt werden müssen. Im Sinne einer sicheren Modellbildung kann das Gebäudemodell im IDF-Format über ein bereits bestehendes SketchUp-Plugin visualisiert und hinsichtlich etwaiger Modellierungsfehler, z.B. Zonierung, überprüft werden. Individuelle Fragestellungen bezüglich bauphysikalischer Gesichtspunkte bedürfen zudem nicht selten detaillierten Anpassungen in der Ergebnisausgabe. Diese Outputs müssen zum jetzigen Stand der entwickelten Schnittstelle in der Benutzeroberfläche von TRNSYS manuell festgelegt und mit entsprechenden Dateibezeichnungen versehen werden, um die Rückführung dieser definierten Ergebnisse in das BIM-Modell zu realisieren.

3. Fallstudie

Anhand eines fiktiven Testgebäudes soll die in Kapitel 2.4 beschriebene Schnittstelle erprobt werden. Das Gebäudemodell repräsentiert ein L-förmiges, dreigeschossiges Bauwerk, das ohne innenliegende Bauteile erstellt wurde. Die geometrische Modellierung erfolgte mit ArchiCAD, wobei hier bereits Bauteilaufbauten und Materialzuweisungen enthalten sind. Im Anschluss daran wurden innerhalb der entwickelten Schnittstelle alle weiteren nötigen Materialkennwerte und beispielhafte Nutzungsszenarien (siehe Kapitel 2.4, Modellbildung im IFC-Format) in das BIM-Modell eingearbeitet. Bild 5 zeigt den Austausch an Informationen zwischen ursprünglichem IFC-Modell und dem Simulationsmodell über die Schnittstelle.

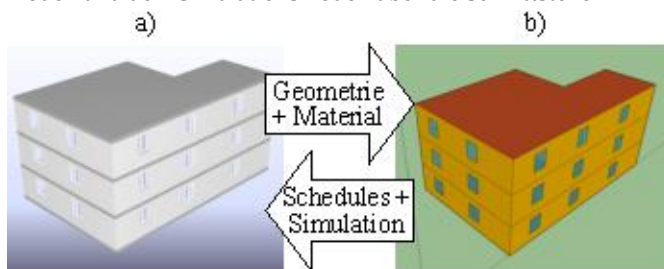


Bild 5. Visualisierung des fiktiven Testgebäudes als IFC im Viewer von APSTEX (a) und als konvertierte IDF in SketchUp (b)

Fig. 5. Visualisation of the notional test building as IFC in the APSTEX viewer (a) and as converted IDF in SketchUp (b)

Die mit der entwickelten Schnittstelle extrahierte IDF-Datei konnte fehlerfrei in die Simulationssoftware TRNSYS eingelesen und bearbeitet werden. Zu den übertragenen Parametern gehörten alle nötigen geometrischen Informationen, Materialkennwerte, sowie sämtliche

Nutzungsszenarien, in Form von Zeitplänen (sog. Schedules), Heiz-/Kühlsteuerungen (sog. Heating-/Cooling-Types), Infiltrations-/Luftwechselraten (sog. Infiltration-/Ventilation-Types) sowie interne Lasten (sog. Gain-Types). Daraus ergab sich in TRNBuild (Bestandteil des genutzten TRNSYS-Types 56) die Möglichkeit zur direkten Auswahl gewünschter Nutzungsszenarien (siehe Bild 6).



Bild 6. Übersicht der im BIM-Modell hinterlegten Schedule-Types, die in TRNBuild zur Auswahl stehen
Fig. 6. Overview of the available Schedule-Types in TRNBuild, which were integrated into the BIM-model

Für die Durchführung der Simulation wurden zusätzlich benötigte Parameter, die nicht im BIM-Modell hinterlegt werden konnten, in TRNSYS eingestellt. So z.B. das Format und der Speicherort für ausgewählte Simulationsausgaben sowie der Simulationszeitraum. Im Anschluss an diese Anpassungen wurde für das Testgebäude eine Jahres-Simulation, in stündlicher Auflösung, durchgeführt und der Heizwärmebedarf sowie die Innenraumlufttemperatur visualisiert (vgl. Bild 7).

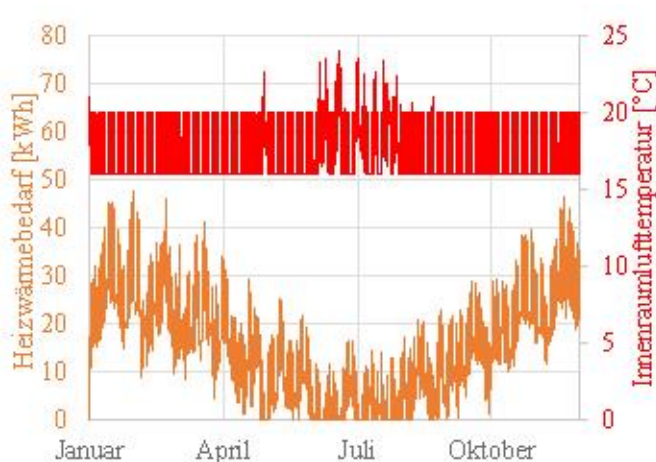


Bild 7. Ergebnis einer Jahres-Simulation des Testgebäudes, basierend auf stündlicher Auflösung
 Fig. 7. Result of an annual simulation for the test building, based on hourly resolution

Alle zusätzlich im IFC-Modell integrierten Parameter, welche für die reproduzierbare Ausführung der Simulation notwendig sind, können auch von weiterer unabhängiger Software angezeigt, entsprechend interpretiert und bearbeitet werden. Bild 8 zeigt beispielsweise einen Screenshot ausgewählter Parameter, die im Solibri Model Viewer sichtbar sind.

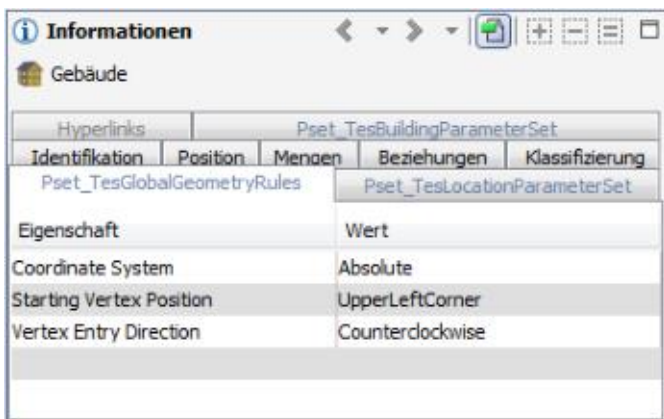


Bild 8. Beispiel für Simulationsparameter zur Interpretation der Geometrie, welche über die entwickelte Schnittstelle in das IFC-Modell integriert wurden und auch mit unabhängiger Software (hier: Solibri Model Viewer) ausgelesen werden können.

Fig. 8. Exemplary integration of additional simulation parameters for geometry interpretation that were added to the IFC model and are also visible in independent software (screenshot from Solibri Model Viewer).

Bei komplexeren Geometrien der Gebäudehülle können noch Fehler in der Orientierung der Wandelemente auftreten, welche sich dadurch äußern, dass Außen- und Innenfläche vertauscht sind. Außerdem können nicht alle kleinen fehlerhaften Modellierungen abgefangen werden. Sind Bauteile nicht durch die entsprechenden IFC-Objekte

repräsentiert oder ist die Außenhülle des Modells lückenhaft, muss in der Schnittstelle händisch nachmodelliert werden. Ebenso sind Etagensprünge der Dachkonstruktion nicht erfasst. Damit werden beispielsweise Vordächer oder Dächer über mehrere Etagen nicht korrekt übernommen.

4. Zusammenfassung

Innerhalb des Planungs- und Fertigungsprozesses von Bauwerken kommt es zum Zusammen-spiel vieler unterschiedlicher Softwareanwendungen und folglich zu einem Austausch von Datenformaten, wodurch Schnittstellen eine große Bedeutung zukommt. Inkompatibilitäten oder fehlerhafte Überführungen von Modellen sorgen für einen hohen Modellierungsaufwand bei den einzelnen Fachplanern. Standardisierte Übergabeformate, wie beispielsweise die IFC, sollen diesen Aufwand verringern und mögliche Fehler bei einer händischen Nachmodellierung oder einem unvollständigem Import von Daten minimieren. Thermisch-energetische Gebäudesimulationen, welche nicht innerhalb einer allgemeinen proprietären Modellierungssoftware angesiedelt sind, können aus Daten der IFC in externen Programmen realisiert werden. Hierfür sind jedoch Modellkonventionen, wie das Anlegen spezieller Räume, einzuhalten. Außerdem besteht kein Austausch zwischen Simulation und Modell.

Die entwickelte Schnittstelle ermöglicht es, IFC-Modelle nahezu ohne Berücksichtigung von Konventionen in das Eingabeformat IDF für die Simulationssoftware TRNSYS zu konvertieren. Dabei werden alle nötigen Daten, wie beispielsweise Materialkennwerte, Nutzerverhalten oder simulationspezifische Eingangswerte, im Modell hinterlegt. Ergebnisse können nach dem Ausführen der Simulation ebenfalls zu Vergleichszwecken in das Modell rückgeführt werden. Die entwickelte Methode mindert nicht nur den Aufwand für mehrere Simulationen an einem Modell, vielmehr können auch bereits Daten früher Planungs- und Entwurfsphasen, sowie grobe Bestandsaufnahmen genutzt werden.

Dem Anspruch der flexiblen Anwendung der Schnittstelle stehen Einbußen im Bereich der Genauigkeit gegenüber. Zurzeit besteht eine Beschränkung der entwickelten Methode auf thermisch-energetische Simulationen von Ein-Zonen-Modellen. Des Weiteren besteht lediglich eine Kompatibilität mit Gebäudesimulationen auf Basis des IDF-Formats, z.B. TRNSYS und EnergyPlus. Eine vollständige Referenzierung aller notwendigen Inputs, inklusive projektspezifischer Eingaben und Klimarandbedingungen ist ebenfalls nicht gegeben, sodass nicht alle Eingaben konsistent erfasst werden können. Des Weiteren werden die bauphysikalischen Eigenschaften der Verglasungen über das externe Tool WINDOW in das IDF-Format übergeben, wodurch die Nutzung einer zusätzlichen Software notwendig ist.

Erweiterungspotenzial bietet die entwickelte Schnittstelle hinsichtlich der Erstellung von

Mehrzonensmodellen, um die mit Ein-Zonen-Modellen verbundenen Restriktionen (z.B. keine Darstellung des Innentemperaturverlaufs in einzelnen Räumen) aufzuheben. Die damit erhöhte Auflösung der Gebäudesimulation (Mehrzonensmodelle) ist aber zwangsläufig auch mit einem erhöhten Simulationsaufwand verbunden. Die zusätzliche Integration aller Eingabedateien würde in Zukunft die Möglichkeit zur konsistenten Dokumentation aller, während des Lebenszyklus eines Gebäudes durchgeführten, Gebäudesimulationen sowie den dafür zugrunde gelegten Rand- und Berechnungsbedingungen bieten.

Auch der Modellbildungsprozess selbst kann optimiert werden. Häufig sind hierfür entweder aktuelle Bestands- bzw. Baupläne oder ein detailliertes Aufmaß aus Vor-Ort-Begehungen notwendig. Die Arbeit mit diesen Datengrundlagen geht folglich mit einem hohen manuellen Aufwand einher. Unbemannte Flugsysteme (UAS) bieten bereits die Möglichkeit zur Datenaufnahme an Bestandsobjekten. Die Erweiterung dieses Systems auf die Aufnahme der gesamten Gebädekubatur und die anschließende Rekonstruktion eines dreidimensionalen Gebäudemodells stellt eine Möglichkeit zur automatisierten Generierung von Gebäudemodellen im IFC-Format dar. Ein auf diese Weise erstelltes Gebäudemodell repräsentiert, bedingt durch die Außenaufnahme, die äußere Gebäudehülle und somit ein Ein-Zonen-Modell. Die entwickelte Schnittstelle zwischen BIM-Modell und Gebäudesimulation könnte dadurch auch auf diese rekonstruierten Gebäudemodelle angewendet werden.

5. Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Forschergruppe „Digital Engineering für Planungs- und Revitalisierungsprozesse von Stadtquartieren“, welche vom Freistaat Thüringen aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert wird.

6. Literatur

- [1] Hiller, M.; Schulz, M.: Das dynamische Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TRNSYS. Bauphysik Kalender 2015. Berlin: Ernst & Sohn 2015.
- [2] Crawley, D.; Hand, J.; Kummert, M.; Griffith, B.: Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment* 43 (2008), S. 661-673.
- [3] Bazjanac, V.: Acquisition of building geometry in the simulation of energy performance. *IBPSA Building Simulation Conference* (2001).
- [4] Cao, J.; Metzmacher, H.; O'Donnell, J.; Frisch, J.; Bazjanac, V.; Kobbelt, L.; van Treec, C.: Facade Geometry Generation from Low-resolution Aerial Photographs for Building Energy Modeling. *Building and Environment* 123 (2017), S. 601-624.
- [5] Vosselman, G.; Dijkman, S.: 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV (2001).
- [6] Bazjanac, V. (Hrsg.): IFC BIM-Based methodology for semi-automated building energy performance simulation. *International Conference on Information Technology in Construction*. 2008.
- [7] Pazlar, T.; Turk, Ž.: Interoperability in practice: Geometric data exchange using the IFC standard. *ITcon Vol. 13* (2008), S. 362-380.
- [8] Borrmann, A.; König, M.; Koch, C.; Beetz, J. (Hrsg.): *Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Wiesbaden: 2015.
- [9] Weise, M.; Liebich, T.; See, R.; Bazjanac, V.; Laine, T.; Welle, B.: *Implementation Guide: Space Boundaries for Energy Analysis*. US General Services Administration (GSA) and Open Geospatial Consortium (OGC), 2011.
- [10] Kim, I.; Kim, J.; Seo, J.: Development of an IFC-based IDF Converter for Supporting Energy Performance Assessment in the Early Design Phase. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 11 (2012).
- [11] Thermal Energy System Specialists, LLC. www.trnsys.com, Letzter Zugriff am 14.12.2017.
- [12] Apstex IFC Tools Project. www.ifctoolsproject.com, Letzter Zugriff am 04.12.2017.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN V 18599-1. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.
- [14] Lawrence Berkeley National Laboratory, Software WINDOW: <https://windows.lbl.gov/software/window>, Letzter Zugriff am 20.11.2017.
- [15] Homepage der Forschergruppe: <https://www.uni-weimar.de/de/bauingenieurwesen/forschung/forschergruppe/>, Letzter Zugriff am 15.11.2017.