

## SIMULATIONSSZENARIEN FÜR GEBÄUDEENERGIESIMULATION IN FRÜHEN PLANUNGSPHASEN

E. Eckstädt<sup>1</sup>, A. Paepcke<sup>2</sup>, A. Hentschel<sup>3</sup>, A. Schneider<sup>1</sup>, A. Nicolai<sup>2</sup> und F. Schumann<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer IIS/EAS, Dresden, Deutschland

<sup>2</sup>Institut für Bauklimatik, TU Dresden, Dresden, Deutschland

<sup>3</sup>EA Systems Dresden, Dresden, Deutschland

<sup>4</sup>Innius GTD, Dresden, Deutschland

### KURZFASSUNG

Der vorliegende Beitrag widmet sich der intensiven Analyse des Gebäudeplanungsprozesses nach deutschen Richtlinien für die Gewerke Architektur, Bauphysik, Heizung, Lüftung, Kälte und Gebäudeautomation. Ziel ist es herauszuarbeiten, wie die Gebäudesimulation einen Beitrag leisten kann, die Planungsqualität zu erhöhen. Aus der Analyse ergeben sich sechs Simulationsszenarien, welche durch unterschiedliche Fragestellungen und Datenverfügbarkeit gekennzeichnet sind. Diese Szenarien bilden den Ausgangspunkt für künftige Untersuchungen, bei denen verfügbare Softwarewerkzeuge evaluiert werden sollen um Potenziale zu identifizieren, welche einen Einsatz dieser Tools in der Praxis ermöglichen.

### ABSTRACT

The present paper is dedicated to the intensive analysis of the building planning process according to German guidelines for architecture, building physics, heating, ventilation, cooling and building automation. The goal is to investigate how building simulation can contribute to improve the quality of planning. The analysis results in six simulation scenarios, which are characterized by different questions and data availability. These scenarios form the starting point for future investigations in which available software tools are to be evaluated in order to identify potentials that enable these tools to be used in practice.

### EINFÜHRUNG

Die Gebäude- und Anlagensimulation kann einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden leisten, sofern ihre Möglichkeiten rechtzeitig im Planungsprozess berücksichtigt und genutzt werden. Momentan bestehen hier erhebliche Hürden. Einerseits gibt es Barrieren in Verbindung mit traditionellen Planungsmethoden und andererseits ist der für die Simulation erforderliche Modellierungsaufwand oft noch zu hoch. Durch den aktuell zu beobachtenden Trend zur Digitalisierung der Planungsprozesse – bekannt unter dem Schlagwort BIM (Building Information Modeling) – besteht jedoch großes Potenzial, die Simulation von Anfang an in den Planungsprozess einzubeziehen. Der Planungsprozess in Deutschland ist auf der Basis der „Honorarordnung für Architekten und Ingenieure“ (HOAI, 2013) umfassend standardisiert, was die Ergebnisse und Kosten angeht. Dadurch ergeben sich entscheidende Randbedingungen für eine mögliche Einbindung von Simulationen.

Es existiert eine Vielzahl an Vorarbeiten im Bereich Gebäude- und Anlagensimulation und zu deren Kopplung mit BIM. Beispielhaft seien hier die Ergebnisse der Projekte *Annex 60* (Wetter & van Treeck, 2017) und *EnEffBIM* (van Treeck, 2017) genannt. Diese Arbeiten haben vorrangig technologische Hürden adressiert.

1	Grundlagenermittlung	2%	
2	Vorplanung	9%	
3	Entwurfsplanung	17%	
4	Genehmigungsplanung	2%	
5	Ausführungsplanung	22%	
6	Vorbereitung der Vergabe	7%	
7	Mitwirkung bei der Vergabe	5%	
8	Objektüberwachung	35%	
9	Objektbetreuung	1%	

*Abbildung 1: Leistungsphasen nach HOAI mit ihrem Honoraranteil für das Leistungsbild „Technische Ausrüstung“ (im Leistungsbild „Gebäude und Innenräume“ sind die Prozentpunkte ähnlich)*

Dieser Artikel zeigt Wege auf, vorhandene Digitalisierungsansätze mit den Strukturen der HOAI zu vereinbaren. Dazu erfolgt die Ableitung von Szenarien basierend auf einer gründlichen Analyse des Planungsprozesses.

## ANALYSE DES AKTUELLEN GEBÄUDEPLANUNGSPROZESSES

### **Akteure**

Der Bauherr definiert grundsätzlich die Anforderungen an das Gebäude. Dabei hat er gegebenenfalls Anforderungen seitens Finanzierung/Bank/Fördermittelgeber oder zukünftiger Nutzer beispielsweise hinsichtlich eines zu erreichenden Energieniveaus zu berücksichtigen. In diesem Beitrag stehen die Planungsdisziplinen, die den Energieverbrauch der Gebäude wesentlich bestimmen, im Fokus: die Architektur- und die Fachplanung für die Gewerke Heizung (inkl. Trinkwarmwasserbereitung), Kälte und Lüftung mit der zugehörigen Gebäudeautomation. Akteure wie zum Beispiel Baufirmen, die erst nach Ende der zeitigen Planungsphasen aktiv werden, werden hier nicht berücksichtigt.

Der Architekt nimmt innerhalb des Planer-Teams eine Sonderrolle ein, da er neben der architektonischen Fachplanung auch die Aufgabe hat, die anderen Planungsbeteiligten zu koordinieren. Dies sind in der Regel mindestens die Fachplaner für Tragwerk und Technische Gebäudeausrüstung. Je nach Projektgröße können weitere Spezialisten im Planungsteam beteiligt sein: Bauphysik, Brandschutz, Lichtplaner, etc.

Außerhalb von Planungsteam und Bauherrenseite sind Behörden, Prüfsachverständige und Zertifizierungseinrichtungen relevante Akteure.

### **Phasen der HOAI**

Die „Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI“ (HOAI, 2013) gliedert den Planungs- und Errichtungsprozess von Gebäuden in neun aufeinander aufbauende Leistungsphasen. Das Projektmanagement von Bauprojekten folgt dem klassischen Wasserfallmodell: Die Ergebnisse vorhergehender Projektphasen sind Ausgangspunkt für jeweils folgende Phasen. *Abbildung zeigt die Leistungsphasen in ihrer Abfolge und mit ihrem nach HOAI für das Leistungsbild „Technische Ausrüstung“ vorgesehenen Honoraranteil.* Dieser kann zunächst als Indikator für den Aufwand in den einzelnen Planungsphasen bei klassischem Projektablauf dienen. Der Fokus der folgenden Betrachtungen liegt auf den Leistungsphasen 1 bis 5. Ab Leistungsphase 6 treten konzeptuell technische Fragestellungen in den Hintergrund und der Fokus verschiebt sich zu organisatorischen und praktisch technischen Fragestellungen. Erst in der nächsten Gebäudelebensphase „Nutzung“ gibt es wieder sinnvolle Anwendungsfälle für die Gebäude- und Anlagensimulation. Diese werden in diesem Beitrag jedoch nicht betrachtet.

Die HOAI regelt für verschiedene Projektbeteiligte (Architekt, Tragwerksplaner, Planer für technische Gebäudeausrüstung) die Grund- und Sonderleistungen in den einzelnen Leistungsphasen. Für die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) nimmt die VDI 6026 „Dokumentation in der Technischen Gebäudeausrüstung“ (VDI 6026-1, 2008) noch Detaillierungen vor. Die demnach zu klärenden Fragestellungen, durchzuführende Berechnungen und zu liefernde Unterlagen werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

### **Architektur in den Leistungsphasen 1 bis 5**

Die Objektplanung muss der Fachplanung in der Regel geringfügig vorauslaufen, da sie die Rahmenbedingungen für die Fachplanung setzt. Jedoch handelt es sich nicht ausschließlich um eine einseitige Vorgabe, vielmehr bedingen Planungsergebnisse von TGA und Tragwerk regelmäßige Anpassungen in der Objektplanung.

Am Ende jeder Planungsphase wird dem Bauherrn eine konsistente Gebäudeplanung aller beteiligten Fachdisziplinen übergeben. Diese beinhaltet jeweils auch eine Fortschreibung der Kostenplanung. Der Abgleich mit den Anforderungen des Bauherrn und des Baurechts ist ebenfalls eine kontinuierliche phasenübergreifende Aufgabe.

In der Grundlagenermittlung erfolgt in Zusammenarbeit des Architekten mit dem Bauherrn die Ausarbeitung der Randbedingungen für das zukünftige Bauvorhaben. In Abhängigkeit der Komplexität der ausgearbeiteten Randbedingungen sind eventuell weitere Fachplaner notwendig. Hierbei sind schon erste Geometrie-Ideen (Kubatur) und Nutzungsflächen verfügbar. Nur bei Bestandsgebäuden liegen mitunter detaillierte Informationen zur Materialität, zum Tragwerk oder Ähnliches bereit.

In der Vorplanung liefert der Architekt bereits erste Skizzen und Zeichnungen in typischen Maßstäben 1:500 - 1:200 und ggf. auch Modelle an den Bauherrn. Des Weiteren ist es die Aufgabe des Architekten, in Abstimmung mit Behörden und Ämtern die Realisierung des Entwurfes vorzubereiten. Am Ende der Leistungsphase 2 sind Lösungen für die wesentlichen städtebaulichen, gestalterischen, funktionalen, technischen, bauphysikalischen, wirtschaftlichen, energiewirtschaftlichen und landschaftsökologischen Fragen erarbeitet. Eine grobe Aufteilung der Flächen für die einzelnen Nutzungen und ein Konzept zur Fassade werden festgelegt. Anhand der ausgearbeiteten Lösungen wird die Kostenabschätzung und ein Terminplan für Planungs- und Bauablauf an den Bauherrn übergeben.

In der Entwurfsplanung wird die Vorplanung fortgeschrieben. Detaillierte Schnittzeichnungen, Grundrisse und Ansichten, in der Regel im Maßstab 1:100, werden angefertigt. Des Weiteren erfolgen die Kostenberechnung und die Fortschreibung des Terminplans. Die Raumaufteilung und

Fassadengestaltung stehen am Ende dieser dritten Leistungsphase fest.

In der Genehmigungsplanung werden die Vorlagen und Nachweise für öffentlich-rechtliche Genehmigungen zusammengestellt und die notwendigen Verhandlungen durchgeführt. Ggf. erfolgt eine geringfügige Anpassung der Planung.

In der Ausführungsplanung erfolgt eine weitere Detaillierung des Entwurfs. Insbesondere werden ausführungsrelevante Details erarbeitet und die Gewerke-orientierte Bearbeitung während der Bauausführung berücksichtigt.

### Heizung, Kälte, Lüftung und zugehörige Gebäudeautomation in den Leistungsphasen 1 bis 5

In der Grundlagenermittlung erfolgt die Abstimmung der Nutzungsvorgaben für verschiedene Bereiche mit dem Bauherrn:

- Nutzungszeiten, Wochentage,
- Solltemperaturen (Begrenzung nur nach unten, oder auch nach oben – besteht Kühlanforderung?),
- Anforderungen an die Frischluftversorgung (Fensterlüftung, maschinelle Lüftung),
- Anforderungen an die Raumluftfeuchte,
- innere Lasten (thermische Lasten wie Licht und elektrische Verbraucher, Feuchtelasten wie Personen oder Produktionsprozesse).

Weiterhin wird ermittelt, welche Energieträger zur Versorgung zur Verfügung stehen. Es erfolgt eine erste Abschätzung zum Primärenergieeinsatz anhand von Flächenansätzen.

In der Vorplanung erfolgt eine überschlägige Ermittlung der Bedarfe:

- Heiz- und Kühllast von Räumen und wesentlicher Anlagentechnik wie Raumlufttechnik (RLT), Trinkwarmwasserbereitung (TWB),
- Wasserverbrauch (Qualität, warm/kalt),
- Luftwechsel, Volumenströme,
- Befeuchtungsleistungen und
- Elektroenergiebedarf.

Es erfolgen anschließend Variantenbetrachtungen zur Deckung dieser Bedarfe. Für die Vorzugsvariante erfolgt die Grobbemessung der wesentlichen Komponenten (Wärmeerzeuger, Lüftungsgeräte, Kältemaschinen, Pumpen, Raumübergabeeinheiten) hinsichtlich Anschlussleistung, Flächenbedarf und Verbrauchskosten und die Kostenschätzung nach DIN 276 „Kosten im Bauwesen“ (DIN 276, 2018).

Sobald die Versorgungskonzepte feststehen und die Objektplanung hinreichend fortgeschritten ist, können die wesentlichen Berechnungen nun in der Entwurfsplanung erfolgen. Dazu gehören

- Lastberechnung für Heizung, Kühlung, Trinkwassererwärmung raumweise und als Gebäudebilanz,
- ggf. Thermische und/oder Strömungssimulation für ausgewählte Bereiche,
- Luftmengenberechnungen,
- Rohrnetzberechnungen,
- Druckverlustberechnung Kanalnetz.

Basierend auf den Berechnungsergebnissen erfolgt die Dimensionierung der wesentlichen Komponenten:

- Raumübergabe (freie Heiz-/Kühlflächen, bauteilintegrierte Heizung/Kühlung, Luftdurchlässe),
- Speicher, Behälter,
- Wärmetauscher, Pumpen, Rohrleitungen,
- Wärme- und Kälteerzeuger, Rückkühler, Wärmequellen,
- Kanäle, Schalldämpfer,
- Lüftungsregistern, Ventilatoren und Wärmerückgewinnungssystemen.

Basierend auf den Konzeptentscheidungen der Fachgewerke erfolgt die Erstellung der Regelschemata der Gebäudeautomation, die Erstellung der Datenpunktlisten und die Auslegung der Regelarmaturen.

Die Kostenplanung wird fortgeschrieben und eine Kostenberechnung nach DIN 276 (DIN 276, 2018) erstellt.

In der Genehmigungsplanung sind seitens der TGA Zuarbeiten auf Basis der Entwurfsplanung für öffentlich-rechtliche Genehmigungen zu erbringen:

- Brandschutzkonzept,
- Immissionsschutzrechtliche Genehmigung,
- EnEV-Nachweis (EnEV, 2016) mit Einhaltung der Anforderung nach dem EEWärmeG (EEWärmeG, 2015), zum sommerlicher Wärmeschutz (DIN 4108-2, 2013) und dem Primärenergieverbrauch nach DIN V 18599 (DIN V 18599, 2018).

In der Ausführungsplanung wird der Entwurf geprüft und fortgeschrieben. Es wird eine vollständige Berechnung und Dimensionierung aller Komponenten durchgeführt. Der Entwurf wird durch vertiefte Koordination in eine ausführungsfähigen Planungslösung überführt. Es erfolgt insbesondere eine terminliche Koordination mit den anderen Planungsbeteiligten und die technische Koordination wird fortgeführt.

### Bauphysik

Das Leistungsbild „Beratung zur Bauphysik“ umfasst nach HOAI die Betrachtung der Themen

- Wärmeschutz,
- Energiebilanzierung,
- Bauakustik (Schallschutz) und Raumakustik.

Das Leistungsbild bildet somit eine Gelenkfunktion zwischen Objektplanung und TGA.

Dies beinhaltet in der Vorplanung die bauphysikalische Vordimensionierung der relevanten Bauteile des Gebäudes und das Erstellen eines Gesamtkonzeptes in Abstimmung mit der Objektplanung und den Fachplanungen. Die Mitwirkung beim Abstimmen der fachspezifischen Planungskonzepte der Objektplanung und der Fachplanungen ist explizit Teil der Leistung. Das Erstellen von Rechenmodellen und das Auflisten der wesentlichen Kennwerte als Arbeitsgrundlage für Objektplanung und Fachplanungen sind als Methode vorgeschrieben.

In der Entwurfsplanung werden die Rechenmodelle und darauf basierend die Planungskonzepte fortgeschrieben. Es werden in dieser Phase alle Bauteile bauphysikalisch dimensioniert.

In der Genehmigungsplanung werden die förmlichen Nachweise erstellt. In der Ausführungsplanung erfolgt eine Ergänzung und Fortschreibung.

Die Honoraranteile in diesem Leistungsbild sind ggü. denen der Objekt- und Fachplanung deutlich in Richtung der zeitigen Planungsphasen verschoben.

### BIM-Unterstützung in der Planung

Mit *Building Information Modeling* (BIM) wird eine Methode für Planung, Errichtung und Betrieb von Gebäuden bezeichnet, welche auf softwaregestützter Informationshaltung und -verarbeitung basiert. BIM kann somit als Synonym für die Digitalisierung des Bauwesens betrachtet werden. Die Methode ist softwareunabhängig, jedoch sind mit IFC (ISO 16739, 2018) und BCF (buildingSMART International, 2020) Dateiformate für die Zusammenarbeit standardisiert.

Der vorher beschriebene Planungsprozess ist zunächst methodenunabhängig, wird aber seit Jahren zunehmend BIM-basiert realisiert.

Je nach BIM-Reifegrad im einzelnen Projekt beinhaltet dies

- die Arbeit mit 3D-Modellen, welche neben der Geometrie zusätzliche Informationen („Attribute“) enthalten,
- die Arbeit in einer gemeinsamen Datenumgebung und
- die Arbeit mit standardisierten Prozessen.

Aufgrund dessen ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, den Planungsprozess effizienter zu gestalten und/oder die Planungsqualität zu erhöhen. Allerdings geht dies in der Regel mit der Verschiebung von Planungsaufwand zwischen den Akteuren und Phasen einher. Der Ausschuss der Architekten und Ingenieure für die Honorarordnung thematisiert die Umstellung auf BIM-basiertes Arbeiten in seinem 2019 erschienenen Heft Nr. 11 (AHO e.V., 2019): Es werden Modelldetailierungsgrade (MDG) für die einzelnen Leistungsphasen definiert. Für Details wird auf die projektspezifischen Auftraggeber-Informationen

Anforderungen (AIA) verwiesen. Zahlreiche BIM-Leistungen werden vom Ausschuss nicht als Grund-, sondern als besondere Leistung eingestuft.

An die Stelle der verschiedenen Planungsmaßstäbe, die in den vorherigen Abschnitten teilweise genannt wurden, treten bei der BIM-basierten Arbeit *Level of Detail* bzw. *MDG*.

Das Grundcharakteristikum eines BIM-Planungsprozesses ist, dass Informationen zunehmend maschinenlesbar abgelegt werden, dadurch ergeben sich zahlreiche Verbesserungsmöglichkeiten, darunter eine effizientere Einbindung von Simulationen in den Planungsprozess.

### Simulationsunterstützung in der Planung

Der oben beschriebene Planungsprozess nach HOAI ist unabhängig von einer konkret gewählten Methodik. Simulationen sind im Planungsprozess der vorher beschriebenen Gewerke nicht zwingend vorgeschrieben. Häufig ist in den einschlägigen Normen ein statisches Berechnungsverfahren für die Dimensionierung von Komponenten festgelegt. Eine Ausnahme bildet die Kühllastberechnung, für die in (VDI 2078, 2015) ein dynamisches Simulationsverfahren vorgeschrieben ist. Für den Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach (DIN 4108-2, 2013) ist ein Simulationsverfahren als Alternativvariante beschrieben. Für viele Berechnungen existieren keine normierten Verfahren. Es liegt somit in der Verantwortung des Planers, ein geeignetes Verfahren zur Anwendung zu bringen. Ein Simulationsverfahren anstelle einer statischen Berechnung ist in der Regel dann sinnvoll,

- wenn die statischen Berechnungsverfahren starke Vereinfachungen enthalten, die zu einer nennenswerten Überdimensionierung von Anlagen führen. Damit einhergehen erhöhte Investitions- und Betriebskosten. Dies trifft beispielweise für die Heizlastberechnung zur Auslegung der zentralen Erzeuger und die Auslegung von Lüftungsregistern zu.
- wenn die statischen Berechnungsverfahren so starke Vereinfachungen enthalten, dass die Bewertung bestimmter Effekte gar nicht erfolgen kann: beispielsweise Nachtabsenkung von Soll- und Vorlauftemperaturen, effizientere Beleuchtung und Ausstattungsgegenstände, Einsatz geregelter Pumpen.
- wenn die betrachteten Geometrien sehr unregelmäßig sind und damit die den genormten Verfahren zugrundeliegenden Vereinfachungen ihre Gültigkeit verlieren. Dies kann zur Nichteinhaltung der angestrebten Behaglichkeit führen.
- wenn eine Wiederverwendung der Simulationsmodelle für weitere Aufgabenstellungen erfolgt, so dass sich der hohe Aufwand in der Modellerstellung lohnt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Szenarien nach Anwendungszweck

SZENARIO	AUSZUWERTENDE KRITERIEN	VARIABLE GRÖSSEN
I Architektenentwurf (ARC bis LP2)	Summe aller Zonenlasten	Ausrichtung, Kubatur, Fensteranteil und -lage, Bauschwere;
II Gebäude als Verbraucher (ARC LP3)	Heiz- und Kühllast in den einzelnen Räumen Summe aller Zonenlasten	„Rutschung“ der Nutzungszonen innerhalb Gebäude Rückmeldung bzgl. Bauphysik (z.B. Sommerlicher Wärmeschutz, Schichtaufbau) Verschattungsanforderungen Nutzungsanforderungen
III Variantenstudie Anlagentechnik (TGA LP2)	Sekundär- und Primärenergiebedarf (oder sonstige KPI) des Gebäudes oder spezieller Anlagenteile (z.B. RLT, TWB)	Anlagentechnik
IV Leistungsmäßig begrenzte Anlagentechnik (TGA LP3, ARC LP3)	Einzelne Zonen: Behaglichkeit Einhaltung der Nutzungsanforderungen Sommerlicher Wärmeschutz	Verteilung des Mangels
Va Raumübergabeanlage Detailbetrachtung nur RLT (TGA LP3, EnEV-Nachweis)	Einzelne Zonen: Behaglichkeit Einhaltung der Nutzungsanforderungen Summe aller Zonenlasten	Zulufttemperaturen Auslegung der Zonenheizelemente
Vb Raumübergabeanlage Detailbetrachtung auch wasserseitig (TGA LP3)	Einzelne Zonen: Behaglichkeit Einhaltung der Nutzungsanforderungen	Vorlauftemperaturen (konstant/geregelt)
VI Erzeugungsanlage Detailbetrachtung (TGA LP3)	Sekundär- und Primärenergiebedarf (oder sonstige KPI) des Gebäudes	Vorlauftemperaturen (konstant/geregelt)

Neben den klassischen Anforderungen an ein Bauwerk kann der Bauherr eine Zertifizierung des Gebäudes anstreben, dadurch ergeben sich erhöhte Planungsanforderungen, welchen häufig mit dem Einsatz von Simulationsmethoden im Planungsprozess begegnet wird. Im Kontext der Gebäudeenergiesimulation sind vorrangig relevant:

- KfW: Nachweis Primärenergieverbrauch und Dämmung der Gebäudehülle,
- Nachhaltigkeitszertifizierungen wie z.B. DGNB und LEED: Bewertung von 37 Kriterien aus den Bereichen ökologische, ökonomische, funktionelle, technische Qualität, sowie Prozess- und Standortqualität, darunter: Einsatz passiver Systeme für die Gebäudekonditionierung, Lebenszykluskosten, thermischer Komfort, Qualität der Gebäudehülle etc.
- Passivhausstandard: Nachweis von Primärenergieverbrauch, Energiekennwerten für Heizen und Kühlen, sowie Luftdichtheit. Der formale Nachweis ist allerdings nur mit dem Passivhausplanungspaket möglich.

Allen vorher beschriebenen Simulationen liegt in der Regel die Betrachtung des Gebäudesystems als Energieumwandlungskette zugrunde. Ausgehend von den Nutzungsanforderungen an das Gebäude und der Bauphysik erfolgt eine verlustbehaftete Energieumwandlung entlang der Kettenglieder

- Übergabe,
- Verteilung,
- Speicherung,
- Erzeugung.

Basierend auf dem Sekundärenergieverbrauch der Erzeugung werden anschließend verschiedene Key Performance Indikatoren (KPI) ermittelt: z.B. Primärenergieverbrauch, verbrauchsgebundene Kosten, CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### Verbesserungen im Planungsprozess

Ein durchgängig durch BIM und Simulation unterstützter Planungsprozess bietet den Vorteil einer effizienten und fehlerreduzierten Arbeitsweise mit verbesserter Planungsqualität. Für beide Aspekte sind zum Einsatz in der breiteren Masse noch organisatorische und technische Hürden zu überwinden. BIM-gestützte Prozessketten existieren bereits in der Planungspraxis, siehe zum Beispiel (Vogel & Schönemann, 2017). Diese sind jedoch weder vereinheitlicht, noch finden sie flächendeckend Einsatz. Insbesondere von Seiten der Architekturbüros wird eine eher geringe Nachfrage nach Simulationsinstrumenten beobachtet (Hausknecht & Liebich, 2016). Die Gebäudesimulation sollte allerdings, aufgrund der großen Menge benötigter und erzeugter Daten, nicht ohne BIM betrachtet werden.

Tabelle 2: Anforderung an die Modelle in den Szenarien

SZENARIO	NUTZUNG	BAUPHYSIK	ÜBERGABE	VERTEILUNG	SPEICHER & ERZEUGUNG
I	konstanter Ansatz über Flächenanteil nur Unterscheidung in beheizt/mäßig beheizt/unbeheizt	Geometrie mit grober Zonierung innen Wände schichtweise Fenster ggf. mit Sonnenschutz	ideal		
II	Raumweiser Ansatz mit Zeitplänen gemäß DIN V 18599-10	Wie I, aber detailliertere Zonierung innen	Ideal		
III	Datenkopplung Nutzung+Bauphysik		ideal		lastabhängig
IV	ggf. Anpassung Anforderungen	siehe II	ideal	Geregelt	mit Leistungsbegrenzung
Va	siehe II	siehe II	Raumübergabe wasserseitig ideal (temperaturunabhängig), aber Zulufttemperatur wird berücksichtigt.	Ideal	
Vb			Raumübergabe wasser- und luftseitig temperaturabhängig		
VI	siehe II	siehe II	Raumübergabe wasser- und luftseitig temperaturabhängig		temperaturabhängig

### ABLEITUNG VON SIMULATIONSSZENARIEN

Basierend auf den oben genannten Ausführungen ergeben sich verschiedene Fragestellungen an die Simulation und an die unterschiedliche Datenverfügbarkeit in den Planungsphasen. Daher gibt es nach Meinung der Autoren nicht *einen* Simulationsworkflow für *alle* Fälle, stattdessen sollten die unterschiedlichen Charakteristiken berücksichtigt werden. Insbesondere verlangen nicht konzipierte oder dimensionierte Gebäude- und Anlagenteile in den unterschiedlichen Planungsphasen Idealisierungsannahmen, die in einem späteren Planungsschritt unter Kenntnis der konkreten Systeme korrigiert werden. Dabei erfolgen Detailbetrachtungen für alle der aufgezählten Kettenglieder, die für zeitige Planungsphasen (LP1-LP3) in Szenarien geclustert werden können:

- I Architektenentwurf
- II Gebäude als Verbraucher
- III Variantenstudie Anlagentechnik
- IV Leistungsmäßig begrenzte Anlagentechnik, ggf. mit intelligenter Regelung der Unterversorgung
- V Detailbetrachtungen zur Raumübergabe (luftbasierte Systeme und/oder wasserbasierte Systeme)
- VI Detailbetrachtungen zur Erzeugungstechnik

Die konkreten Szenarien werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert. Ihre Zuordnung zu den Leistungsphasen und Akteuren zeigt Tabelle 1.

Im *Szenario I* sind vorrangig Fragestellungen der Architektur zu beantworten. Insbesondere ist dies im Kontext von Architekturwettbewerben interessant. Welcher Entwurf verursacht weniger (Primär-)Energieverbrauch? Eine derartige Simulation kann auch zur Entwurfsoptimierung genutzt werden: Der Einfluss von Fenstergrößen, Sonnenschutzeinrichtungen und verschiedenen Bauschweren kann damit bewertet werden. Eine Auswertung ist nur auf Gebäudeebene sinnvoll. Eine Abbildung der Anlagentechnik sowie eine detaillierte Betrachtung der Nutzungsanforderungen ist in der Regel nicht notwendig.

*Szenario II* dient der Optimierung des Architekturentwurfs. Die äußere Gebäudegeometrie steht zu diesem Zeitpunkt bereits weitgehend fest, jedoch kann die innere Aufteilung des Gebäudes Gegenstand von Optimierungen sein. Typischerweise werden in diesem Szenario die Auswirkungen unterschiedlicher Wandstärken, U-Werte und g-Werte sowie Verschattungsfaktoren untersucht. Kriterien dafür sind insbesondere der (Primär-)Energiebedarf des Gebäudes, sowie Lasten ausgewählter Zonen. Weiterhin können die Nutzungsanforderungen Gegenstand der Betrachtung sein – etwa inwiefern die Vorgabe gleitender Raumsolltemperaturen Energieeinsparungen ergibt. Dementsprechend sollte eine detaillierte Abbildung der inneren Lasten mit Zeitplänen erfolgen.

*Szenario III* dient der Konzeptfindung für die technische Gebäudeausrüstung. Eine gekoppelte Simulation von Nutzung und Bauphysik ist nicht notwendig, viel mehr können die Ergebnisse der *Szenarien I* oder *II* als Eingangsdaten dienen. Eine

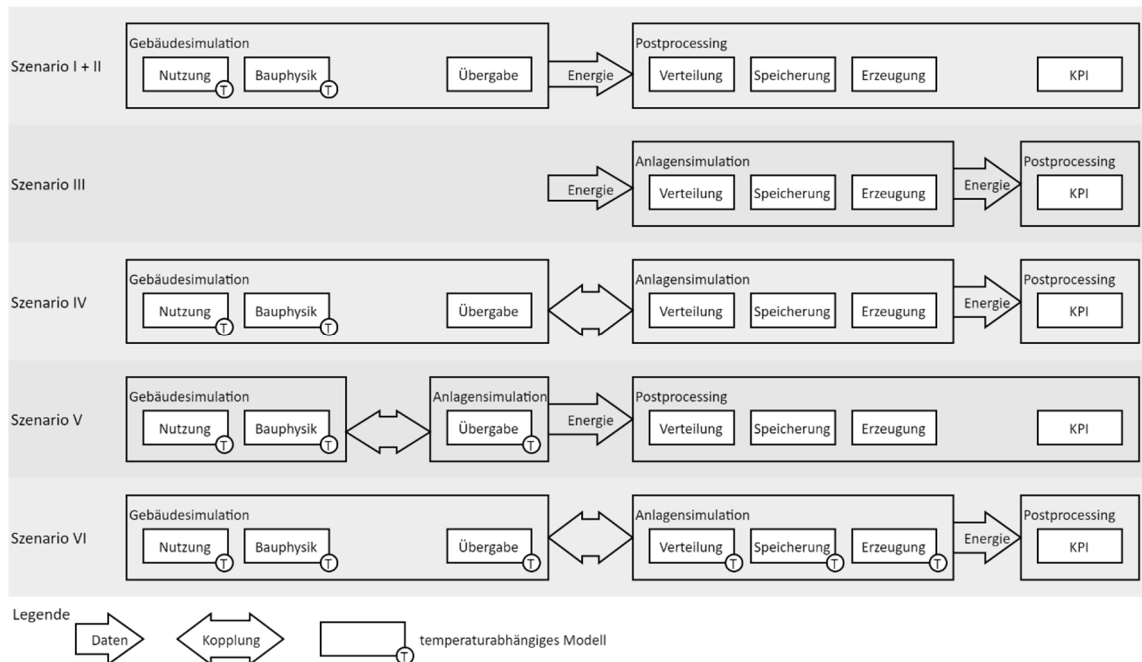


Abbildung 2: Kopplungsgrößen/Datenflüsse in den verschiedenen Szenarien

Datenübergabe in Form stündlicher Energiebedarfe ist ausreichend, um verschiedene Konzepte der Energieversorgung vergleichend untersuchen zu können. Die Erzeuger müssen lastabhängig modelliert werden, da abweichende Wirkungsgrade bei Teillastzuständen der entscheidende Vorteil einer Simulation in *Szenario III* im Vergleich zu einem statischen Variantenvergleich darstellen. Es erfolgt eine Auswertung auf Gebäudeebene, meist bezogen auf (Primär-)Energieverbrauch oder Kosten (Invest und Betrieb).

*Szenario IV* soll den Einfluss von leistungsbegrenzter Erzeugungstechnik untersuchen. Die Auswertung erfolgt dabei hinsichtlich der sich einstellenden Temperaturen (Über- und Untertemperaturgradstunden) in ausgewählten Zonen oder im Gesamtgebäude. Beispielhafte Fragestellung sind: Wieviel zu kalt wird es im Gebäude bei ausschließlicher Beheizung mit einer knapp dimensionierten Solarthermieanlage? Welche Komforteinbußen gibt es bei stromgeführten Betrieb eines KWK-Erzeugers? Wie stark überhitzt das Gebäude ohne maschinelle Kühlung? Die Erzeugermodelle müssen für dieses Szenario eine Leistungsbegrenzung vorsehen. Weiterhin muss das Verteilsystem derart modelliert werden, dass es eine geregelte Verteilung des Mangels ermöglicht. Denkbar sind neben gleichmäßiger Verteilung auch eine Abhängigkeit vom hydraulischen Widerstand oder eine Regelung nach „Raumpriorität“.

In den *Szenarien Va* und *Vb* soll der Einfluss unterschiedlicher Raumübergabesysteme untersucht werden. Dies ist typischerweise notwendig, wenn neben Heizungsanlagen auch Lüftungsanlagen geplant sind (*Szenario Va*). Während für Heizkörperanlagen eine idealisierte Modellierung wie

in den vorhergehenden Szenarien (d.h. die Annahme, dass die notwendige Leistung abgedeckt werden wird) keine große Abweichung zur späteren Realität im Gebäude darstellt, insbesondere da dies wesentliches Zielkriterium der Planung ist, ist dies für Lüftungsanlagen nicht gegeben. Reale Anlagen können weit vom Idealfall einer isothermen Frischluftzufuhr in die Räume entfernt sein, da aufgrund der voluminösen Anlagentechnik Zulufttemperaturen nur zonengruppenweise geregelt werden kann. Somit kann ein nennenswerter Lastein- oder -abtrag aufgrund der Lüftungsvolumenströme erfolgen. Dies macht die gleichzeitige Berechnung von Zonenheizung und Lüftungsanlage notwendig. Es erfolgt eine Auswertung hinsichtlich Heiz-(Kühl-)Last der statischen Heizung.

Sollen sehr träge Übergabesysteme (dies sind in der Regel bauteilintegrierte Systeme) zum Einsatz kommen (*Szenario Vb*), ist eine Detailuntersuchung ebenfalls angezeigt. Typische Fragestellungen sind hierbei nach den notwendigen Vorlauftemperaturen im Heiz- und Kühlfall bzw. nach der Auswirkung unterschiedlicher Regelungen derselben. Es erfolgt eine Auswertung hinsichtlich der sich einstellenden Temperaturen.

In den *Szenarien V* muss die Modellierung der Übergabeelemente daher temperaturbasiert erfolgen.

Insbesondere beim Einsatz erneuerbarer Energien für die Gebäudekonditionierung (*Szenario VI*) kommt es zu Systemtemperaturen, die bei klassischen Planungsansätzen keine Lösung ermöglichen. Temperaturbasierte Berechnungsansätze für Übergabe- und Erzeugungssystem werden in diesen Fällen nötig, beispielsweise um bewerten zu können, mit welcher Vorlauftemperatur eine Wärmepumpe betrieben werden sollte. Die Auswertung erfolgt dabei hinsichtlich KPI des Gesamtgebäudes.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorstehenden Ausführungen zeigen auf, dass unterschiedliche Anforderungen an die Modellierung der Kettenglieder eines Gebäudeplanungsprozesses sowohl für unterschiedliche Gebäudetypen und Versorgungskonzepte als auch für verschiedene Planungsstadien bestehen.

Die Szenarien sind charakterisiert durch die Art der Modellierung der Kettenglieder (siehe Abbildung 2 und Tabelle 2) sowie die Stelle und die Art der Simulatorkopplung. Aus den Beschreibungen ergibt sich, dass nicht in jedem Szenario eine Simulation der gesamten Energieumwandlungskette notwendig ist (*Szenarien I, II, V*), sondern dass viele Betrachtungen als analytische Nachbetrachtung erfolgen können. Dies gilt spätestens für die Ermittlung der KPI aus den Simulationsergebnissen. *Szenario III* kann mit sequentieller Simulation (aufbauend auf *Szenario I* oder *II*) ausreichend gut abgebildet werden. Lediglich die *Szenarien IV* bis *VI* erfordern eine echte Simulatorkopplung. Dabei ist teilweise die Kopplung von thermischen Leistungen ausreichend, teilweise ist die Kopplung basierend auf Temperaturen und Masse-/Volumenströmen notwendig.

Die Aufteilung in Gebäude- und Anlagensimulation, wie sie in Abbildung 2 dargestellt ist, folgt dem am Markt verfügbaren Werkzeugen. Die Kettenglieder Nutzung&Bauphysik sowie Verteilung&Speicherung&Erzeugung sind dabei immer innerhalb eines Simulationstools angesiedelt, man kann dies als „interne Kopplung“ bezeichnen.

## AUSBLICK

Basierend auf den erarbeiteten Szenarien können die am Markt verfügbaren Simulationsmodelle und -werkzeuge auf ihre Eignung überprüft werden. Bestehende Lücken sowohl bei den Simulationsmodellen wie auch bei den Kopplungswerkzeugen werden im Verbundprojekt *FMI4BIM* bearbeitet. Dabei wird auch die Lebensphase „Gebäudebetrieb“ mitgedacht, da für einige Simulationsmodelle eine sinnvolle Nachnutzung in dieser Phase absehbar ist.

Weiterhin wird eine Methodik erarbeitet, die aus der Planung ohnehin vorhandenen Informationen möglichst nahtlos für die Simulation nutzbar zu machen und die Simulationsergebnisse ebenso nahtlos den Planungsbeteiligten zur Verfügung zu stellen. Die zunehmende Nutzung der BIM-Methodik im Planungsprozess schafft dabei wichtige Voraussetzungen, dies effizient und damit kostengünstig zu tun.

## DANKSAGUNG

Die beschriebenen Untersuchungen wurden im Verbundprojekt *FMI4BIM* durchgeführt, das vom BMWI unter dem Förderkennzeichen 03ET1603A gefördert wird.

## LITERATURVERZEICHNIS

AHO e.V. (2019). *Leistungen Building Information Modeling - Die BIM-Methode im Planungsprozess der HOAI*. Reguvis.

buildingSMART International. (12. 03 2020). *BCF. BIM Collaboration Format*. <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>.

DIN 276. (12 2018). *Kosten im Bauwesen*.

DIN 4108-2. (2013). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*.

DIN V 18599. (2018). *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung*.

EEWärmeG. (2015). *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich*.

EnEV. (2016). *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden*.

Hausknecht, K., & Liebich, T. (2016). *BIM-Kompodium: Building Information Modeling als neue Planungsmethode*.

HOAI. (2013). *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure*.

ISO 16739. (2018). *Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement*.

van Treeck, C. e. (2017). *EnEff-BIM: Planung, Auslegung und Betriebsoptimierung von energieeffizienten Neu- und Bestandsbauten durch Modellierung und Simulation auf Basis von Bauwerkinformationsmodellen*. Abschlussbericht.

VDI 2078. (2015). *Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)*.

VDI 6026-1. (2008). *Dokumentation in der Technischen Gebäudeausrüstung - Blatt 1: Inhalte und Beschaffenheit von Planungs-, Ausführungs- und Revisionsunterlagen*.

Vogel, P., & Schünemann, C. (2017). *BIM im Planungsprozess der TGA*. GI 01/2017, 44-52.

Wetter, M., & van Treeck, C. (2017). *New generation computational tools for building and community energy systems*. EA EBC Annex 60. Final Report I.