

# Entwicklung eines Model Generators für private Haushalte auf Basis der IWU-Gebäudetypologie als Grundlage für EnergyPlus Gebäudesimulationen

Christian Eller

*Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, Franziska-Braun-Straße 7  
64287 Darmstadt, Germany  
E-Mail: eller@iib.tu-darmstadt.de*

**Abstract** Durch die europaweite Einführung der Smart-Meter Zähler, ist es möglich individuelle Energieverbrauchsdaten automatisiert messen zu können. Somit stehen in Zukunft detaillierte Energieverbräuche im privaten Haushalt zur Verfügung, die verwendet werden können, um individuelle Energiesimulationen im Gebäudebestand durchführen zu können.

In diesem Zusammenhang beschreibt dieses Paper die Entwicklung einer Software, die es ermöglicht simulationsfähige Modelle von Einfamilienhäusern zu erstellen, um reale Simulationen über Energie- und Heizverbräuche zu tätigen. Die OpenStudio C#-API wurde verwendet, um ein Modell mit Konstruktionen, verschiedenen Räumen, Bewohnern, Heizanlage, elektronischen Geräten und Lichtern zu generieren.

Die Eingabe des Nutzers konnte durch eine große Datenbank auf die Information des Gebäudetyps und Baujahr reduziert werden. Die Kompatibilität mit EnergyPlus wurde hergestellt und die Ergebnisse in OpenStudio veranschaulicht und verglichen. So konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, mit der Verwendung der IWU-Gebäudetypologie, einen Generator zu erzeugen, der simulationsfähige Modelle entwickelt, welche aussagekräftige Ergebnisse liefern. Dazu sind vom Nutzer keine Fachkenntnisse in Bezug auf Baukonstruktion, energetische Berechnungen, Softwareprogrammierung oder der Simulationssoftware EnergyPlus notwendig.

*Keywords:* Smart-Meter, EnergyPlus, OpenStudio, Energiesimulation

## Einleitung

Am 1. Juli 2011 beschloss der Bundestag den Atomausstieg Deutschlands und ermöglichte damit die Energiewende. Diese Wende hat Einfluss auf die Energiegewinnung und deren Verbrauch. Der größte Anteil des Energieverbrauchs entfällt auf das Heizen im Gebäudebestand (BMWi, 2014). Deshalb ist es nötig eine Strategie zu entwickeln, um die Energieeffizienz im Gebäudebestand und Neubau zu steigern. Das „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ beschreibt die Energiewende als einen erheblichen Umbau der Elektrizitätsversorgung und die Veränderung in der Verbrauchsmessungen (BMWi, 2005).

Dabei ist die Rede von sogenannten Smart-Meter Zählern. Die Nutzung der daraus gewonnenen Daten ist allerdings erst am Anfang der Entwicklung. Die Frage ist, welcher Mehrwert sich durch die Auswertung der Daten für die angesprochenen Parteien und für die Umwelt generieren lassen. Es geht um die Kombination der Verbrauchsdaten mit den Haushalts-Kenndaten, um damit anhand von Modellen, Aufschlüsse über Strom- und Wärmeverbrauch von Gebäuden zu erhalten. Dadurch sollen Potenziale zur Verbesserung und Sanierung im Gebäudebestand leicht erkennbar gemacht und aufgedeckt werden.

## **Ziel**

Ziel dieses Generators ist es, eine einfache, umfassende und realitätsnahe Modellierung eines Einfamilienhauses zu erstellen, welche anhand von gemessenen Smart-Meter Energieverbräuchen den Energiehaushalt des Gebäudes ermitteln kann. Dabei soll das Modell auf den Grundlagen der Daten der Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt (=IWU) (IWU, 2005) basieren und mit der Simulationssoftware EnergyPlus kompatibel sein. Grundsätzlich sollen durch den Nutzer nur wenige Angaben über das abzubildende Gebäude eingegeben werden, um auch Laien die Nutzung des Tools ermöglichen zu können und ein simulationsfähiges und realitätsnahes Modell zu generieren.

Die Entwicklung dieses Softwaretools, die Bereitstellung der nötigen Daten, sowie die Auswertung der Simulationsergebnisse ist der Inhalt der weiteren Arbeit.

## **Grundlagen**

### ***IWU-Gebäudetypologie***

Als 1993 das IWU durch die Bundesregierung den Auftrag erhielt Energieeinsparpotentiale durch Wärmeschutzmaßnahmen für den deutschen Gebäudebestand zu bestimmen, erstellte diese eine Gebäudetypologie (IWU, 2005). Diese enthält verschiedene Bauklassen aller Jahrzehnte seit 1900, die Daten über die Wärmeleitfähigkeit der angewendeten Konstruktionen, durchschnittlichen Fenster-, Grundriss- und Bauteilflächen und Beheizungsgrad des Kellers und Daches. Somit ermöglicht die Gebäudetypologie neben der Entwicklung von Heizwertberechnung, Energieeinsparpotenzialen und Szenarien, den schnellen Zugriff auf typische Flächen und Wärmeleitfähigkeiten des Gebäudes. Es existiert dadurch eine belastbare Datengrundlage für verschiedene Gebäudestrukturen.

### ***EnergyPlus***

EnergyPlus ist eine Software zur energetischen Simulationen ganzheitlicher Bauwerke. Sie betrachtet Wärme-, Kühl-, Licht-, Wassersysteme und prozessbasierte Belastungen eines Gebäudes. Die Software ermöglicht nach (NREL, 2014) zahlreiche Funktionalitäten:

- **Integrierte, parallele Analysen** von unterschiedlichen Thermalen Zonen und Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik in Räumen unterschiedlicher Eigenschaften und Bedingungen.

- **Berechnung der Wärmebilanz**, welche von Strahlungs- und Konvektionswärme der Oberflächentemperaturen, sowie thermischen Behaglichkeit und Kondensation abhängt.
- **Einstellung frei definierbare Zeitschritte einzelner Komponenten**, um eine hohe Präzision und dynamische Prozesse in der Wechselwirkung von unterschiedlichen Zonen und der Umwelt zu erreichen.
- **Kombinierte Wärme- und Stoffaustauschmodellierung**, welches eine Simulation von Luftbewegung auch zwischen den Zonen ermöglicht.
- **Erweiterte Fenstermodellierung**, die es ermöglicht Jalousien und unterschiedliche Verglasungsaufbauten zu erstellen und somit die Schicht für Schicht absorbierte Solarenergie zu ermitteln.
- **Berechnung der Beleuchtungsstärke und Ablendung**.
- **Komponentenbasierte Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK engl. HVAC)**, die sowohl Standard- und neuartige Systemkonfigurationen unterstützt.
- Auswahl aus einer **großen Anzahl an HLKs und Lichtanlagen** mit Erweiterungsmöglichkeit.
- **Funktionales Interface**, um Importe und Exporte zu anderen Engines zu ermöglichen.
- **Ergebniszusammenfassung**, detaillierte und Nutzer definierte Ausgabe der Resultate über die einzelnen Zeitabschnitte.

EnergyPlus bietet die Möglichkeit über das Dateiformat Input Data File (=IDF) Daten einzulesen oder auszugeben. Die Simulationsergebnisse werden über SQL, CSV und HTML Softwareübergreifend ausgegeben, damit sie leicht visualisiert werden können. Diese Formate sind hilfreich, da EnergyPlus keine eigene User Interface besitzt, um Nutzereingaben einzuarbeiten oder Ergebnisse zu veranschaulichen.

### **OpenStudio**

Die fehlende visuelle Oberfläche von EnergyPlus bietet OpenStudio. Die Software wurde als Open Source Projekt vom National Renewable Energy Laboratory (=NREL) entwickelt. Sie verbindet EnergyPlus mit der Lichtanalysesoftware „Radiance“. OpenStudio beinhaltet nicht nur die Möglichkeit EnergyPlus fähige IDF-Dateien zu erstellen, sondern auch in einem Results-Viewer und Parametric Analysis Tool die Ergebnisse zu veranschaulichen und zu analysieren. Die Software wurde dafür entwickelt, Gebäude des öffentlichen Raumes wie z.B. Schulen und Krankenhäuser auf ihren energetischen Verbrauch und daraus resultierenden Kosten zu analysieren. OpenStudio enthält eine Graphische Oberfläche, kann aber auch über seine C#- oder Ruby-API und als SketchUp Plug-In genutzt werden. Die Geometrien können mit Hilfe des CAD-Programms SketchUp hinzugefügt werden. Durch diese Entwicklung kann EnergyPlus benutzerfreundlich genutzt werden.

Ein OpenStudio-Model besteht aus zahlreichen Komponenten, die in verschiedenen Detaillierungsstufen angegeben werden können. Hierfür bietet die Abbildung 1 eine Übersicht. Wichtig für eine funktionierende Simulation sind die Generierung von Räumen, sogenannten Spaces, Errichtung von thermalen Zonen, sowie das Heiz- und Kühlsystem und die Wetterdaten.

OpenStudio folgt einem hierarchischen Aufbau [siehe Abbildung 1]. So besteht das Modell aus einem oder mehreren Construction Sets, welche eine Sammlung aller Konstruktionen wie

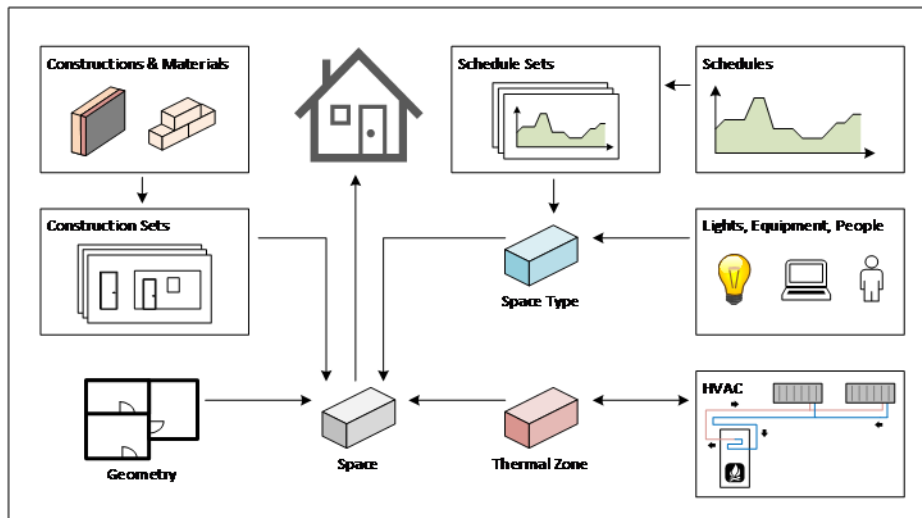


Abb. 1: Vereinfachte Übersicht der OpenStudio Modellentwicklung (Irmler und Eller, 2016)

Wand, Decke, Türen, Fenster etc. beinhaltet. Dies kann dem Gebäude oder nur einem Teil, wie dem Stockwerk hinterlegt werden. Dadurch kann durch einen einfachen Austausch des Sets die vollständige Bauweise des Gebäudes oder eines Stockwerks geändert werden. Die Konstruktion setzt sich aus unterschiedlichen Schichten zusammen, die als Materialien hinterlegt werden. Diese Sets werden dem Space, einem Raum, hinzugefügt, welcher mit Hilfe der Geometrien das Gebäude abbildet. Ein Space spiegelt eine thermische Zone wieder, welche mit Heiz-, und Kühlkomponenten wie Heizkörpern, einem Heizkühl- und Lüftungssystem hinzugefügt werden kann. Das Heizkühl- und Lüftungssystem besteht aus einzelnen als Kreislauf verknüpften Komponenten wie Heizboiler, Heizpumpe und Rohrleitungen. Durch die Verknüpfung mit den Spaces stehen diese der energetischen Berechnung zur Verfügung. Die Einflüsse auf den Space werden durch die außen und innen liegenden Bedingungen beschrieben. Dies sind unter anderem die Wetterbedingungen, aber auch durch die Nutzer und Verbraucher im Gebäude. Genauer sind das elektronische Verbraucher, wie Licht und Geräte, aber auch Personen, die sich über den Tag darin aufhalten. Alle Verbraucher werden über ihre Anzahl, einem Grundverbrauch und Graphen, die das zeitliche Vorhandensein oder die Höhe des Verbrauchs beschreiben definiert. Diese Zeitabläufe werden als Schedules dem Modell zur Verfügung gestellt und in sogenannten Schedule Sets ähnlich der Construction Sets vereint.

### ***Vorhandene Lösungsansätze***

Die Building Science Group versucht aktuell eine webbasierte Applikation namens „Virtual Pulse“ zu erstellen, welche es ermöglichen soll Modelle in OpenStudio zu generieren und diese durch EnergyPlus zu simulieren (building Science Group, 2016). Die Ergebnisse sollen aufbereitet dem Nutzer im Browser angezeigt und zum Download zur Verfügung stehen. Allerdings beschränkt sich die Modellentwicklung auf Gebäude der Standardbibliothek von OpenStudio. Diese beinhaltet zum derzeitigen Stand keine privaten Haushalte sondern öffentliche Gebäude, weshalb dieses Tool für diese Problemstellung nicht genutzt werden kann.

Den Versuch private Haushalte abzubilden unternimmt auch (NREL, 2014) mit ihrer Software Building Energy Optimization (=BEopt). BEopt ist eine Software um Ein- und Mehrfamilien-

häuser durch EnergyPlus auf ihre laufenden Kosten simulieren zu können. Die Entwicklung der Geometrie erfolgt über gesetzte Standards und einfaches Platzieren von variablen Rechtecken. Fenster und Türen werden automatisch hinzugefügt. Ebenso findet eine reiche Vorauswahl an den Nutzungsinformationen statt. Der Standort des Gebäudes, die äußeren Umweltbedingungen und die verwendeten Heizanlagen und Betriebsrohstoffe werden von der Software festgelegt. Diese sind veränderlich, aber nur im Rahmen der vorliegenden Auswahlmöglichkeiten. Diese Auswahl beschränkt sich auf den amerikanischen und kanadischen Raum, wodurch die Abbildung europäischer Gebäude nicht möglich ist. Die Daten über Konstruktionen, deren Eigenschaften, und Nutzungszeiträume im Alltag stammen vom Building America Housing Simulation Protocol, welches vom Office of Energy Efficiency & Renewable Energy erstellt worden ist. Das definierte Gebäude wird durch EnergyPlus simuliert und die Ergebnisse der Kosten angezeigt. Ziel der Software ist es, die geringsten Nutzungskosten verschiedener Gebäudestrukturen zu zeigen und diese Struktur zu optimieren. Eine energetische Analyse ist nicht vorgesehen und die Einflussnahme auf das Modell sehr beschränkt. Deshalb ist es sinnvoll einen eigenen Generator zu entwickeln.

## Konzept

Einer der entscheidenden Hauptanforderungen an die Software ist es, keinerlei Voraussetzung in Fachkenntnisse an den Nutzer zu fordern und die Nutzerfreundlichkeit durch geringe Eingaben sicher zu stellen. Eine realitätsnahe Modellierung erfordert wiederum eine Vielzahl an Angaben und der nötigen Fachkenntnisse in den unterschiedlichsten Bereichen eines Gebäudes. Um diese Divergenz aufzulösen, ist die Idee viele Daten in einer Datenbank verfügbar zu machen und im Hintergrund zu nutzen. Diese Daten werden durch unterschiedliche Fachquellen wie unter anderem dem statistischen Bundesamts und dem Bauteilkatalog des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen gewonnen [siehe Abbildung 2].

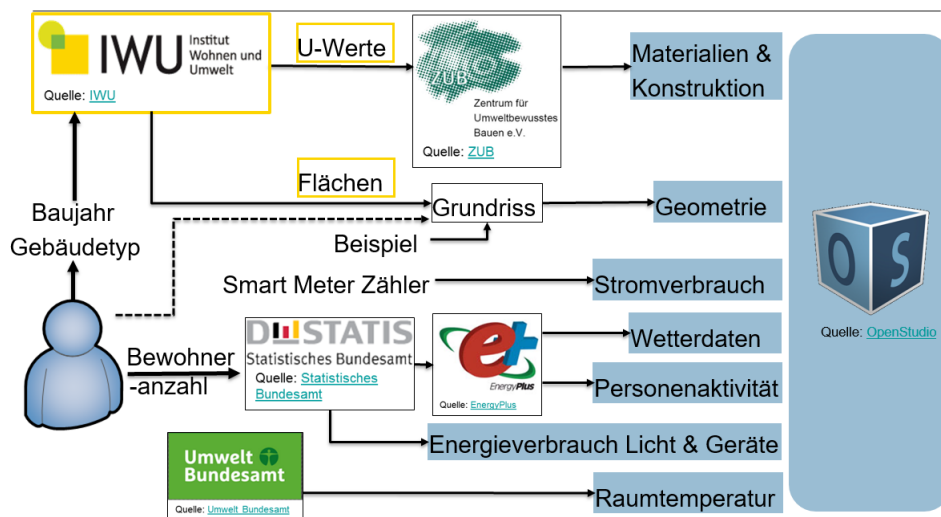


Abb. 2: Konzept zur Minimierung der Nutzereingaben durch Nutzung von Datensätzen

Die vorliegende Konstruktionsstruktur der Gebäude aus der IWU soll in eine Datenbank übertragen werden. Ebenso sollen Daten über elektronische Lastfälle einzelner Haushalte, elektronische Verbräuche und Zeitpläne über den Aufenthalt von Bewohnern in die Datenbank

## Entwicklung eines Model Generators für private Haushalte auf Basis der IWU-Gebäudetypologie als Grundlage für EnergyPlus Gebäudesimulationen

eingepflegt werden. Durch diese Datenbank sollen alle Daten zur Laufzeit vorhanden sein. Zusätzlich mit den Eingaben des Nutzers über eine Graphical User Interface (=GUI), die entweder nur die Informationen über Baujahr und Gebäudeklasse abfragt, oder in einer Erweiterung detaillierte Informationen einfordert, wird das Gebäudemodell mit Geometrie, Konstruktionen, Heizungssystem und Nutzungsart individuell erstellt.

Außerdem soll durch das Softwaretool die erweiterte Möglichkeit gegeben sein, einzelne Verbraucher, wie elektronische Endgeräte und Personen des Haushaltes hinzuzufügen. Das Modell soll durch OpenStudio simuliert und dem Nutzer die Ergebnisse visuell angezeigt und im Hintergrund abgespeichert werden [siehe Abbildung 3].

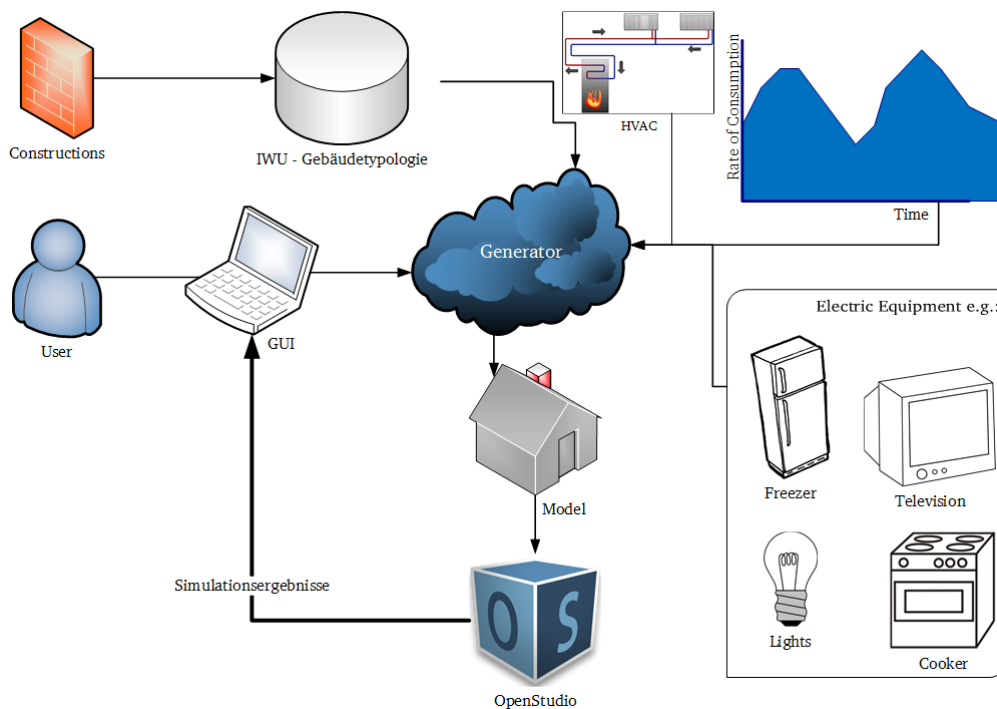


Abb. 3: Konzept zur Generierung des Softwaretools

## Umsetzung

Die Umsetzung erfolgte über die Erstellung einer Datenbank [siehe Abbildung 4] und der Entwicklung einer eigenen Software. Diese Software besitzt eine GUI für die Abfrage der Nutzereingaben und Ausgabe des Entwicklungsfortschritts und Ergebnisse [siehe Abbildung 6]. Außerdem wurde in die Software eine Schnittstelle zur Datenbank und eine Schnittstelle zur OpenStudio C#-API implementiert, um Daten abfragen und in veränderter Form übertragen zu können. Da die API von OpenStudio in C# geschrieben worden ist, wurde die Software in C# umgesetzt.

Zuerst wurden die Informationen der Gebäudetypologie (IWU, 2005) mit Hilfe des Bauteilkatalogs erweitert, um Konstruktionen und Materialien für die jeweiligen Kennwerte der Gebäudetypologie zu erhalten. Anschließend wurden diese Informationen in die Datenbank

übertragen. Diese beinhaltet wie Abbildung 4 zeigt, die Eigenschaften unterschiedlicher Materialien und deren Zusammensetzung zu Konstruktionen, wie auch die Zusammenstellung zu Construction Sets. Daneben enthält die Gebäudetypologie die Informationen der Flächen, welche mit den Construction Sets verknüpft und hinterlegt werden. Neben diesem großen Datensatz beinhaltet die Datenbank die Informationen über Zeitabläufe und genutzten Zeiten unterschiedlicher Aktivitäten. Die Zeitabläufe für den Stromverbrauch sollen durch die Smart-Meter Zähler erstellt werden. Da diese zum Zeitpunkt der Ausarbeitung nicht zur Verfügung standen, wurden die Daten der Kreiswerke Main-Kinzig verwendet und als Rohdaten eingepflegt. Diese Rohdaten werden mit Hilfe der Nutzereingaben individuell angepasst. Durch diese Rohdaten existieren viertelstündliche Verbrauchswerte, wodurch genaue Aussagen über die verschiedenen Jahreszeiten getroffen werden können. Für den absoluten Verbrauch stehen die Daten des Stromsparspiegels des BMWi zur Verfügung (Berlin, 2016) und wurden zusätzlich in die Datenbank aufgenommen.

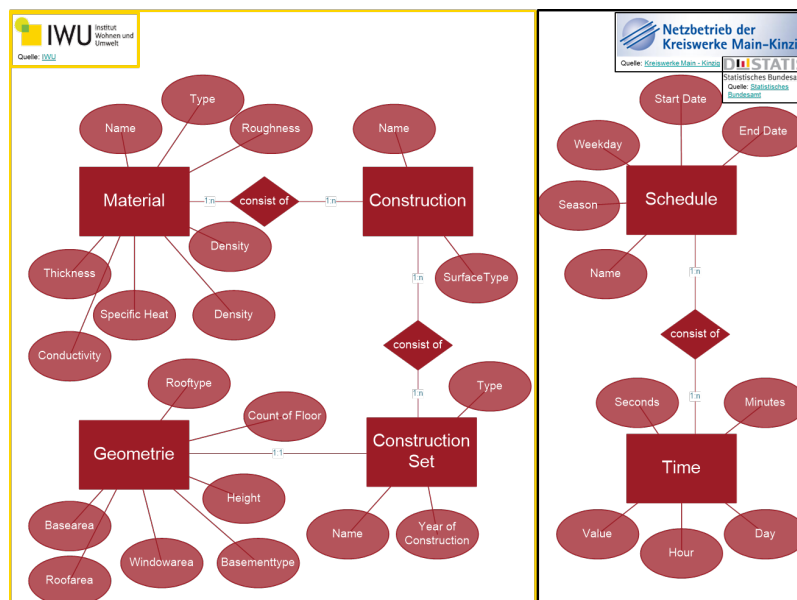


Abb. 4: Datenbank der Software

Für die Abbildung des Nutzungsverhaltens werden Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet. Dieses erstellt in regelmäßigen Abständen eine Statistik über die Verwendung von Zeit für unterschiedliche Tätigkeiten verschiedener Personen- oder Altersgruppen (Statistisches Bundesamt, 2013). Diese Daten enthalten absolut Werte und wurden der Datenbank hinzugefügt und mit Hilfe der Stromverbrauchskurven zu Zeitverläufen konstruiert. Es wird angenommen, dass Aktivitäten wie Hausarbeit, Fernsehen und Computerspielen mit dem Stromverbrauch korrelieren, dagegen aber Schlafen, Hausaufgaben machen, etc. nicht zusammenhängen. Der Einfluss dieser Abläufe wurde untersucht und wird in der Analyse beschrieben. Durch diese Eingaben steht dem Generator, um die Prototypen der Modelle zu generieren, eine große Datenmenge zur Verfügung.

Als nächstes wurde die GUI [siehe Abbildung 6] entwickelt, um die Nutzereingaben abzufragen. Hierbei unterscheidet der Generator über eine einfache und eine erweiterte Eingabe. In erster Form werden nur das Baujahr und die Anzahl der Bewohner abgefragt. Anhand dieser Informationen wird das Construction Set aus der Datenbank gewählt und dem Benutzer

die einfache Geometrie des Außengrundrisses angezeigt. Er hat nun die Möglichkeit diese zu ändern, da die Fläche über das Verhältnis 1:3 in Breite und Länge vereinfacht berechnet wurde. Danach kann die Erstellung des Modells gestartet werden. In der erweiterten Eingabe hat der Nutzer zusätzlich die Möglichkeit die Fensterflächen abhängig der Himmelsrichtung, die Ausrichtung des Gebäudes zum Norden, das Heizmaterial, den Beheizungsgrad von Keller und Dach, die Anzahl der Bewohner aufgeteilt in Altersgruppen, den individuellen Stromverbrauch und die Eintragung von elektronischen Geräten einzupflegen. Dabei sieht der Nutzer vorerst die Standardauswahl, welche bei der einfachen Eingabe genutzt wird. Dies sind die Fensterflächen und Beheizungsgrad für Keller und Dach aus der Datenbank. Es wird angenommen, dass die Ausrichtung auf 30 Grad, als Heizmaterial Gas ist und die Personen sich aus mindestens einem Erwachsenen ergibt. Der Stromverbrauch ergibt sich aus der Anzahl der Bewohner und der Datengrundlage des statistischen Bundesamts (Berlin, 2016). Danach wird das Modell erstellt und kann simuliert werden.

Bei der Generierung des Modells werden zunächst die Fläche konstruiert, zu Räumen verknüpft und mit den Konstruktionen aus der Datenbank über die Schnittstelle zur OpenStudio C#-API hinzugefügt. Das Erzeugen der Räume wurde vereinfacht, indem dafür die Annahme über Raumverhältnisse abhängig der vorher ermittelten Länge und Breite festgelegt wurde [siehe Abbildung 5].

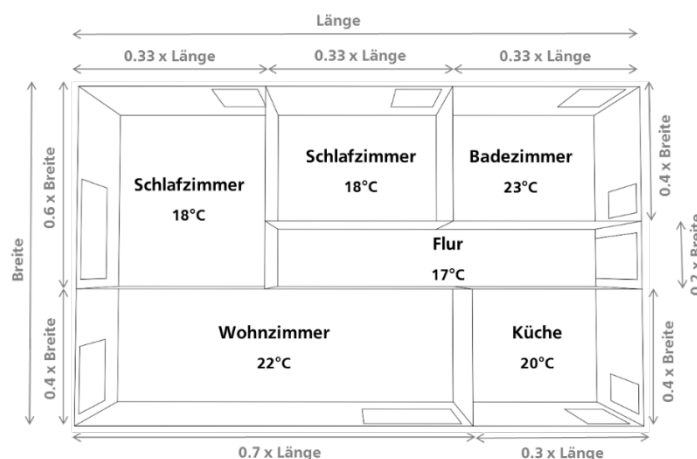


Abb. 5: Grundriss für Standard Einfamilienhaus

Nachdem dieser Grundriss für die Anzahl der Stockwerke, welche auch in der Gebäudetypologie (IWU, 2005) enthalten ist, erzeugt worden ist, werden die Fensterflächen an den jeweiligen Wandseiten gleichmäßig platziert. Dabei hilft ein selbst entwickelter Algorithmus, der die Fenster nur platziert, wenn die Fläche ausreicht, und der versucht eine gleichmäßige Aufteilung über alle Wände und Stockwerke zu gewährleisten. Bei mangelnder Fläche, wird der Nutzer darauf hingewiesen.

Sobald die Geometrie vorhanden ist, werden die einzelnen Räume im Heizkreislauf zusammengeschlossen und über die OpenStudio C#-API in das Modell hinzugefügt, wodurch eine nachträgliche Bearbeitung in OpenStudio möglich ist.

Zu guter Letzt werden die Zeitverläufe aus der Datenbank mit der Anzahl der Personen zusammengesetzt und hinzugefügt und die Personen sowie Geräte als Verbraucher hinzugefügt. Für den Fall das keine manuelle Eingabe über die erweiterte GUI getroffen wurde, werden in

die Küche ein Herd, ein Geschirrspüler und Kühlschrank hinterlegt. In das Wohnzimmer wird ein Fernseher und ein Computer hinzugefügt, das Badezimmer enthält eine Waschmaschine und jeder Raum wird mit zwei Lichtern ausgestattet. Der Nutzer wird über die erfolgreiche Modellgenerierung informiert und hat nun die Wahl, das Modell in OpenStudio zu öffnen und somit zu bearbeiten und/oder es direkt zu simulieren. Im zweiten Fall wird über die Schnittstelle zur OpenStudio C#-API die nötigen EnergyPlus Dateien erstellt und über OpenStudio simuliert.

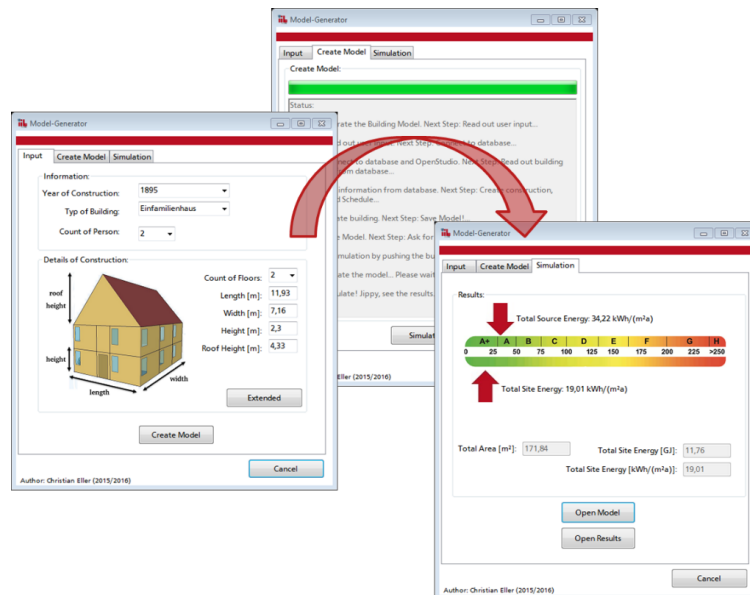


Abb. 6: GUI des Generators

Ein Fortschrittsbalken der GUI zeigt den Fortlauf der Simulation an. Anschließend werden die Ergebnisse der Simulation im Anbetracht des End- und Primärenergieverbrauchs dem Nutzer in der EnEV-Skala (=Energieeinsparverordnung) visuell dargestellt (Tuschinski, 2016) [siehe Abbildung 6]. Für eine detaillierte Einsicht in die Ergebnisse, können die Resultate von EnergyPlus angezeigt werden. Da EnergyPlus mit den Primärenergiefaktoren des amerikanischen Raums rechnet, wurde eine weitere Textdatei generiert, die die Berechnung mit den aktuellen Primärenergiefaktoren der EnEV anzeigt.

Als Ergebnis existiert nach der Nutzung des Generators die OpenStudio Datei des Modells, die Textdatei mit den aufbereiteten Ergebnissen, die IDF-Datei des Modells und die Ergebnisdatei der Simulation.

## Analyse

Um den Generator validieren zu können, wurden für jedes Jahrzehnt ein Modell erstellt. All diese Modelle werden von drei Personen bewohnt. Zum Vergleich wurden die Jahresendenergieverbräuche in  $kWh/m^2a$  aus BMWi (2014) entnommen. Den Vergleich der Simulationsergebnisse der Endenergieverbräuche zeigt Abbildung 7. Es ist deutlich erkennbar, dass die Simulationsergebnisse bis 1978 den Endenergieverbräuchen der BMWi (2014) entsprechen. Die Abweichung beträgt hier nur 4 %. Es kann von einem realitätsnahen Modell gesprochen

*Entwicklung eines Model Generators für private Haushalte auf Basis der IWU-Gebäudetypologie als Grundlage für EnergyPlus Gebäudesimulationen*

werden. Ab dem Jahr 1980 liegen die entwickelten Modelle in ihrem Verbrauch deutlich unter dem Verbrauch der BMWi (2014). Die Abweichung beträgt 42 %. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Konstruktion aufgrund der eingesetzten Dämmung in diesem Zeitraum immer weniger Einfluss auf den Heizverbräuche besitzt. Der Einfluss von inneren Faktoren wie dem Trinkwasserkreislauf steigt. Allerdings wurde den Modellen dieser, aufgrund der fehlenden statistisch belegbaren Informationen, ohne Daten hinzugefügt und ist somit bei der Simulation vernachlässigt worden. Dennoch zeigt sich, dass die Ergebnisse einer gewünschten Prognose entsprechen und das die Ergebnisse des BMWi (2014) reproduziert und repräsentiert werden können.

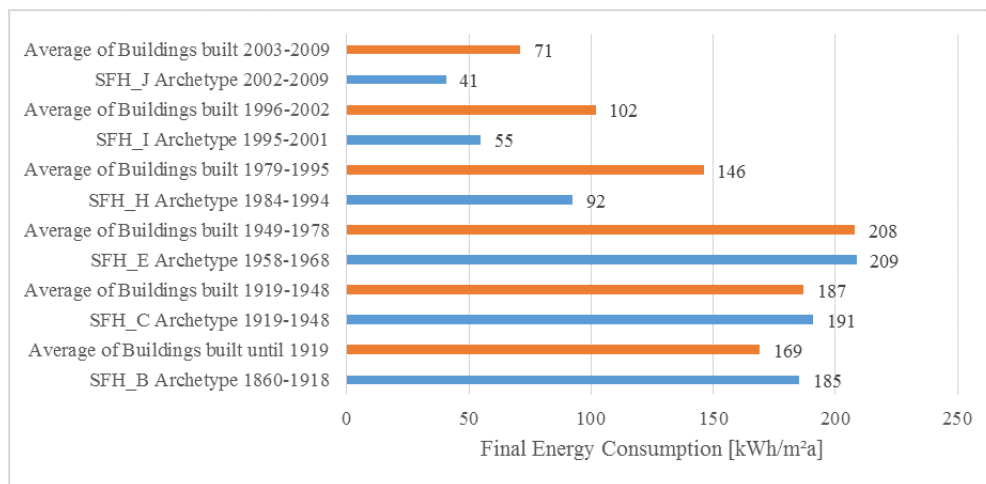


Abb. 7: Vergleich Endenergieverbrauch ermittelt durch BMWi (2014) (orange) und den entwickelten Prototypen der verschiedenen Jahrzehnte (blau) (Irmler und Eller, 2016)

Das Modell ermöglicht nun eine detaillierte Einsicht in alle Zonen und Räume, wodurch die Auswirkungen der Verbraucher und Umwelteinflüsse möglich ist. Je nach Jahreszeit ergeben sich somit andere Verlaufskurven. Diese können visualisiert werden.

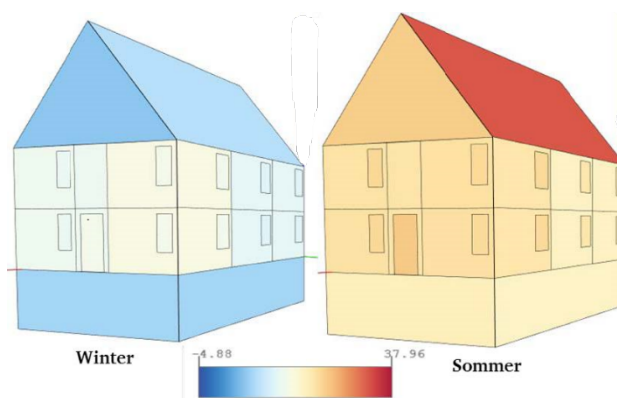


Abb. 8: Modellanzeige mit Anzeige der inneren Oberflächentemperatur im Winter und Sommer

Abbildung 8 zeigt die innere Oberflächentemperatur der einzelnen Spaces des gesamten generierten Modells im Vergleich von Winter und Sommer. Dabei ist deutlich erkennbar, dass das Kellergeschoss ohne Beheizung im Erdreich im Winter kalt und im Sommer leicht erwärmt

ist, da Sonneneinstrahlung nur indirekt Einfluss hat. Die Sonneneinstrahlung macht sich im Dachraum besonders bemerkbar und unterschiedliche Konstruktionen, wie Fenster und Türen unterscheiden sich eindeutig in ihrem Wärmestatus von den Wänden. Den Einfluss der technischen Geräte die sich hier hauptsächlich in den markierten Räumen befinden, zeichnet sich durch eine durchschnittlich höhere Raumtemperatur aus. Es wurde zur Validierung eine unterschiedliche Anzahl und Kombination von Verbrauchern hinzugefügt. Dadurch ergab sich, dass elektronische Geräte einen höheren, die Personen dagegen einen sehr geringen Einfluss haben. Diese Einflüsse entsprechen der Realität und sind nachweisbar, weshalb von einem realitätsnahen Modell gesprochen werden kann.

## **Fazit**

Mit Hilfe von OpenStudio und dessen C#-API konnte dieser Generator entwickelt werden, der anhand der IWU-Gebäudetypologie Konstruktionen und Materialien für EnergyPlus aufbereitet und in eine vordefinierte Geometrie einarbeitet. Diese Geometrie konnte für EnergyPlus lesbar entwickelt und mit den nötigen Eigenschaften sowie Verknüpfungen zueinander ergänzt werden. Des Weiteren hat der entwickelte Generator die Möglichkeit, Menschen und ihr statistisches Verhalten in einer Gebäudehülle abzubilden, sowie Verbraucher wie elektronische Geräte mit einem realistischen Nutzungszeitplan zu integrieren, damit diese in die Simulation einbezogen werden können. Dabei wurde der Einfluss dieser Verbraucher untersucht und festgestellt, dass die elektronischen Geräte für die Energieverbräuche eine große Rolle, die Menschen hingegen, aufgrund ihrer geringen Anzahl im Wohngebäude und ihrem Nutzungsverhalten eine sehr kleine Rolle spielen.

Die Analyse der Simulationsergebnisse unterschiedlicher Modelle aller IWU-Konstruktionen zeigt, dass die Modellierung in dieser Form vollständig funktioniert und gute Resultate zurückgibt. Allerdings sind die Ergebnisse sehr von den Geometrien der Modelle, sowie der Anzahl der Geräte und zusätzlicher Verbraucher abhängig, wodurch von einem realen Modell noch nicht gesprochen werden kann. Dennoch kann man davon ausgehen, dass es erfolgreich war einen Generator zu entwickeln, der mit den Daten der IWU-Gebäudetypologie, realitätsnahe Modelle erstellen kann, welche durch OpenStudio und EnergyPlus betrachtet und simuliert werden können.

## **Ausblick**

Mit dem entwickelten Generator ist es nun möglich, ein realitätsnahes Modell zu erstellen. Dennoch wäre es sinnvoll das Modell zu erweitern. Mit der Anpassung der elektronischen Verbräuche an die Messungen der Smart-Meter Zähler wird auch dieser Generator die Möglichkeit besitzen individuellere Gebäudenutzungen ins Modell einzuarbeiten und dieses somit direkt zu individualisieren.

Eine Erweiterung zur Einarbeitung der Grundrisse unterschiedlicher Gebäudearten wäre der nächste Schritt der Individualisierung dieses Generators und würde den Weg einer schnellen, einfachen und individuellen Simulation eines jedes Wohngebäudes in Deutschland wieder um einen weiteren Schritt verkürzen.

Des Weiteren wäre es nun interessant den Generator mit zum Beispiel Measures-Makros für OpenStudio- zu erweitern, damit kleine Veränderungen und deren Auswirkungen auf das Modell durchgeführt und untersucht werden können. So könnte zum Beispiel bei Sanierungen

## *Entwicklung eines Model Generators für private Haushalte auf Basis der IWU-Gebäudetypologie als Grundlage für EnergyPlus Gebäudesimulationen*

der Konstruktionstyp Fenster vor dem effektiven Einbau auf dessen Auswirkung getestet und durchgerechnet werden.

### **Literatur**

- Berlin, I. (2016). *Stromspiegel für Deutschland*. <http://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel-2016-web.pdf>.
- BMWi (2005). *Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/PDF/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-digitalisierung-der-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- BMWi (2014). *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/sanierungsbedarf-im-gebaeudebestand,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- building Science Group (2016). *Virtual PULSE*. <http://virtualpulse.buildsci.us/#/>.
- Building Technologies Office (2016). *Building Technologies Office: EnergyPlus Energy Simulation Software*. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- Irmeler, R. und Eller, C. (2016). *A Next Generation Platform for Building Energy Modeling Based on Smart Metering Data, Point Cloud Scans, GIS and Building Typology*. In Krakau.
- IWU (2005). „Gebäudetypologie Deutschland“. In:
- NREL (2014). *BEopt*. <https://beopt.nrel.gov/downloadBEopt2>.
- Statistisches Bundesamt (2013). *Zeitverwendungserhebung Deutschland*. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitbudgeterhebung/Zeitverwendung5639102139004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitbudgeterhebung/Zeitverwendung5639102139004.pdf?__blob=publicationFile).
- Tuschinski, M. (2016). *EnEV ab 2016: Erhöhter Neubau-Standard für Wohn- und Nichtwohngebäude*. [https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitbudgeterhebung/Zeitverwendung5639102139004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/EinkommenKonsumLebensbedingungen/Zeitbudgeterhebung/Zeitverwendung5639102139004.pdf?__blob=publicationFile).

CC BY 3.0 DE - Namensnennung 3.0 Deutschland