

MÖGLICHE VEREINFACHUNGEN BEI DER ENERGETISCHEN SIMULATION VON WOHNGEBÄUDEN IN TRNSYS 17

Álvaro de Andrés¹ und Xenia Schäfer

¹Institut für GebäudeEnergetik, Universität Stuttgart.
Pfaffenwaldring 35, 70569 Stuttgart. Deutschland

alvaro.deandres@ige.uni-stuttgart.de

KURZFASSUNG

Aufgrund des großen Aufwandes und der langen Simulationszeiten ist es beinahe unmöglich, vollständige Gebäude im Detail abzubilden. Dieser Forschungsbericht beschäftigt sich mit der Frage, wie eine energetische Simulation eines Wohngebäudes vereinfacht werden kann, ohne dass die Genauigkeit darunter leiden muss.

Ein typisches deutsches Mehrfamilienhaus wird mit verschiedenen Varianten im Simulationsprogramm TRNSYS 17 simuliert und die Ergebnisse mit einem Referenzfall verglichen. Im Referenzfall werden alle einzelnen Räume des Gebäudes abgebildet.

ABSTRACT

It is almost impossible to simulate a complete building in detail, due to the great effort and the long simulation time required for this purpose. This paper considers how to simplify the simulation of an apartment building without affecting the accuracy of the results.

A typical German apartment building is simulated in TRNSYS 17 using different simplification methods. The results from each one are compared with a reference case in which every single room represents a separated thermal zone.

EINLEITUNG

In dieser Arbeit werden anhand eines Gebäudes mehrere Simulationen durchgeführt, um eine optimale Variante des Gebäudeaufbaus zu definieren. Die Aufgabe besteht darin, eine möglichst einfache und zeitsparende Simulationsvariante zu entwickeln, die genaue und schnelle Ergebnisse liefert.

Mit Hilfe des Programms TRNSYS 17 wird der jährliche Heizwärmeenergiebedarf (ideale Heizung) eines typischen Mehrfamilienhauses in verschiedenen Varianten berechnet. Die Ergebnisse werden mit einem Referenzfall, der ein im Detail abgebildetes Gebäude mit allen einzelnen Räumen darstellt, verglichen.

Beim Aufbau eines vereinfachten Gebäudemodells werden die Innenbauteile teilweise zuerst weggelassen. Aber um den Einfluss der Wärmekapazität dieser Innenbauteile nicht unberücksichtigt zu lassen, werden diesbezüglich drei Strategien untersucht:

- Innere Wärmekapazität als Summe aus der Wärmekapazität der Luft und der Innenbauteile
- Abbildung der Innenbauteile als innere Wände
- Die Verwendung des Standard-Types 59 (Lumped Capacitance Model) in TRNSYS Studio

Eine weitere Variante stellt die Simulation eines einzelnen Stockwerks dar. Es wird angenommen, dass die oben- und untenliegenden Geschosse jederzeit identische Temperaturen haben. Das sogenannte „repräsentative“ Geschoss bildet theoretisch den durchschnittlichen Energiebedarf des Gebäudes ab.

Da die Abbildung eines hinterlüfteten Daches in TRNSYS 17 Probleme aufweist, wird dessen Aufbau anhand von verschiedenen Dachkonstruktionen getestet. Die Schwierigkeit liegt daran, dass TRNSYS 17 die dynamischen Eigenschaften der Luftschicht zwischen der Dämmung und der Dacheindeckung nicht genau nachbilden kann. Dieses Problem lässt sich durch alternative Annahmen zum Dachaufbau umgehen.

REFERENZFALL

Das Simulationsmodell ist ein in den 60-er Jahren erbautes freistehendes Mehrfamilienhaus mit einem hinterlüfteten Satteldach. Das Gebäude ist komplett unterkellert und hat drei Geschosse mit insgesamt sechs Wohneinheiten. Die gesamte Wohnfläche beträgt ca. 377 m² (siehe Abbildung 1). Auf jedem Geschoss befinden sich zwei Wohnungen mit jeweils einem Zwei-Personen-Haushalt: eine nach Westen gerichtete 2-Zimmerwohnung, und eine nach Osten gerichtete 3-Zimmerwohnung. Der Grundriss des Simulationsgebäudes wird in Abbildung 2 gezeigt.



Abbildung 1: Ansicht des Referenzmodells

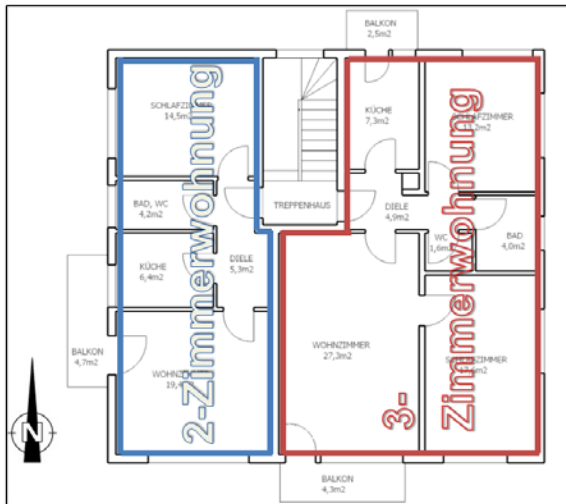


Abbildung 2: Grundriss des Referenzmodells

Alle drei Geschosse sind identisch aufgebaut und haben eine lichte Raumhöhe von 2,60 m. Das Treppenhaus sowie der Keller und das Dachgeschoss bilden die unbeheizten Zonen. In diesem Referenzfall werden alle einzelnen Räume der sechs Wohnungen detailliert abgebildet. Jeder Raum wird zu einer eigenen Zone.

Der Heizwärmeenergiebedarf des Modells beträgt 137,9 kWh/m²a. Diese Variante wird als Referenzfall festgelegt und mit den anderen verglichen.

SIMULATIONSVEREINFACHUNG

Es gibt hauptsächlich zwei Methoden, die Simulation eines vielzonen Gebäudes zu vereinfachen. Bei der ersten handelt es sich um die Simulation eines einzigen ‚repräsentativen‘ Raumes bzw. Geschosses. Es wird behauptet, dass der Energieverbrauch dieser Zone dem Mittelwert des Gebäudes entspricht. Die zweite Methode fasst mehrere Räume zusammen und betrachtet sie als eine einzelne Zone. Anschließend werden beide Varianten einzeln erklärt.

1. Zusammenfassung von Räumen

Räume mit den gleichen thermischen Anforderungen werden addiert und als eine einzelne Zone betrachtet. Da alle Räume in den Wohnungen ähnliche Solltem-

peraturen aufweisen, wird nur zwischen den beheizten und unbeheizten Zonen differenziert. Die Anzahl der Zonen bei den Simulationsvarianten bezieht sich stets auf die beheizten Zonen. Die drei unbeheizten Zonen bleiben unverändert. Bei der Zusammenfassung von Räumen werden zuerst Innenbauteile, wie z. B. Innenwände und Zwischendecken, vernachlässigt. Die Wärmespeicherkapazität dieser Elemente spielt im thermischen Verhalten des Gebäudes eine wichtige Rolle und kann daher nicht einfach ignoriert werden. Anschließend werden drei Methoden untersucht, um die Wärmekapazität dieser Innenbauteile abzubilden.

Wärmekapazität zur Luft addieren

TRNSYS 17 berücksichtigt nur die Wärmekapazität der Luft in jeder Zone. Es ist aber möglich, diesen Wert manuell zu ändern. Die Wärmekapazität der Innenbauteile und der Möblierung wird vorgerechnet und zur Kapazität der Luft addiert.

Mit dieser Methode lässt sich kein Strahlungswärmeaustausch zwischen den Innenbauteilen und den Umschließungsflächen berücksichtigen.

Vier Varianten mit verschiedenen Vereinfachungsgraden werden untersucht:

- 16-Zonen-Modell: Im EG werden alle 12 Räume detailliert abgebildet. Die beiden Obergeschosse bestehen jeweils aus zwei Zonen bzw. Wohnungen
- 6-Zonen-Modell: Jede Wohnung entspricht einer Zone
- 3-Zonen-Modell: Jedes Geschoss bildet jeweils eine Zone ab
- 1-Zonen-Modell: Alle Räume werden zu einer einzigen Zone zusammengefasst

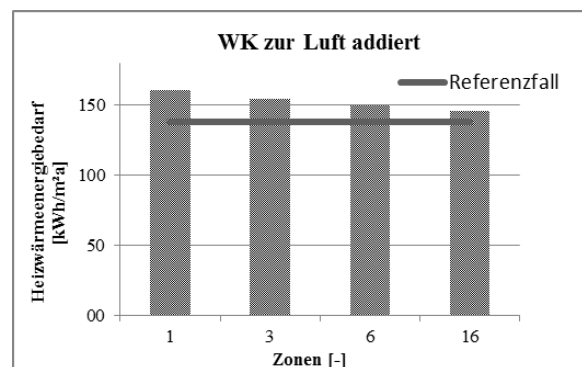


Abbildung 3: Wärmekapazität zur Luft addiert

Innere Wände

Die ‚Internal Walls‘ in TRNSYS 17 sind Bauteile, die ohne Orientierung frei in einem Raum stehen.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass der Strahlungswärmeaustausch zwischen den Innenbauteilen und den Umschließungsflächen berücksichtigt wird.

Da die Möblierung keine bestimmte Bauteildicke besitzt und ihre Oberfläche nur schwer zu bestimmen ist, werden die Möbel nicht als innere Bauteile in TRNBuild definiert. Aus diesem Grund wird die Wärmekapazität der Möbel zur Kapazität der Luft addiert.

Die vier simulierten Varianten stellen die gleichen Simulationsmodelle wie im Abschnitt „Wärmekapazität zur Luft addieren“ dar.

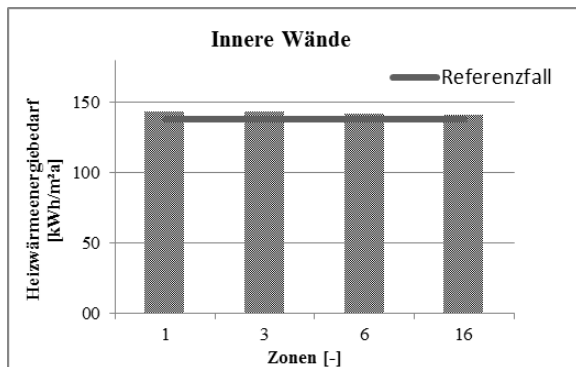


Abbildung 4: Wärmekapazität als Innere Wände

Externe Wärmekapazität

Type 59 („Lumped Capacitance Model“) in TRNSYS Simulation Studio stellt das dynamische thermische Verhalten eines Körpers dar. Unter der Angabe von spezifischer Wärmekapazität, Volumen, Bauteiloberfläche, Rohdichte, Temperatur und Wärmeübergangskoeffizienten lassen sich die Randbedingungen der Innenbauteile definieren.

Die Raumtemperatur des Gebäudes wird als Input für Type 59 festgelegt. Der daraus resultierende Wärmefluss wird als innere Last des Gebäudes betrachtet.

Diese Strategie wird nur für ein 1-Zonen-Modell untersucht. Der Heizwärmeenergiebedarf des Modells beträgt 132,2 kWh/m²a und liegt 4,1 % unter dem Referenzwert.

2. Repräsentatives Geschoss

Es wird anhand eines einzelnen Geschosses überprüft, ob dessen Jahresheizwärmeenergiebedarf dem Mittelwert des Gebäudes entspricht. Dafür wird ein Geschoss ausgesucht, das für alle Geschosse repräsentativ ist. Dieses Geschoss wird detailliert mit allen Räumen aufgebaut. Jeder einzelne Raum entspricht einer eigenen Zone.

Bei Decke und Boden wird die Annahme getroffen, dass die Temperatur der benachbarten Umgebung stets identisch ist mit der des Innenraumes. Dies verhindert jeglichen Wärmeaustausch dieses Geschosses nach oben und unten.

Da alle Innenbauteile in diesem Modell nachgebildet sind, wird nur die Wärmekapazität der Luft und Möbel berücksichtigt und beide Werte addiert.

Der Heizwärmeenergiebedarf des Modells beträgt 108,2 kWh/m²a und liegt 21,5 % unter dem Referenzwert.

DACHSIMULATION

Die realistische Abbildung eines hinterlüfteten Daches in TRNBuild ist nicht möglich, da die konvektive Bewegung der Luft zwischen der Dachpappe und der Dacheindeckung nicht betrachtet werden kann.

Daher werden verschiedene Dachaufbauten und Annahmen getestet. Anschließend wird der Einfluss auf den Jahresenergiebedarf überprüft. Es handelt sich dabei um ein hinterlüftetes Steildach mit 38° Neigung, dessen First in Ost-West Richtung liegt. Der Aufbau des Daches wird in Abbildung 5 gezeigt. Es werden insgesamt fünf verschiedene Dachvarianten untersucht. Ziel ist es, eine optimale und möglichst einfache Dachkonstruktion für das Simulationsmodell zu finden.

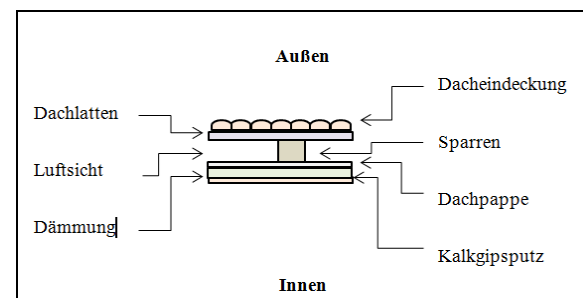


Abbildung 5: Aufbau des Daches

Um den inhomogenen Dachaufbau in TRNBuild darstellen zu können, müssen zwei verschiedene Dachbauteile definiert werden. Das Holz der Dachsparren wird dabei als ein ganzes Stück betrachtet. Dieses beträgt 21,8 % des Gesamtflächenanteils. Der andere Bauteil ohne Holz entspricht den restlichen 78,2 % der Dachoberfläche.

Variante 1

Zuerst wird das Dach mit den gleichen Schichten wie in der Realität aufgebaut. Es wurde schon erwähnt, dass es unmöglich ist, in TRNBuild die Bewegung der Luftschicht zu simulieren. Deshalb wird diese durch eine unbewegliche Luftschicht ersetzt.

Variante 2

Da die unbewegliche Luftschicht der Variante 1 einen zu großen Dämmungseffekt verursachen könnte, wird sie komplett vernachlässigt. Die Dacheindeckung steht im direkten Kontakt mit der Dachpappe bzw. den Dachsparren.

Variante 3

Die übliche Simulationsvariante eines hinterlüfteten Daches ist der Verzicht auf die Dacheindeckung. Daher stehen die Dachpappe bzw. die Dachsparren im direkten Kontakt mit der Außenluft. Ebenfalls werden die U-Werte für Dächer aus der Fachliteratur nach dieser Konstruktionsart berechnet (Böhmer et al., 2010).

Variante 4

Bei dieser Variante wird auch auf die Dacheindeckung verzichtet. Durch die fehlenden Dachziegel wird die Dachoberfläche direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Um die direkte Sonneneinstrahlung auf die Dachpappe zu vermeiden, werden beim Gebäudeaufbau beide geneigten Dachflächen nach Norden orientiert. Die Fensterflächen behalten dabei ihre tatsächliche Orientierung.

Variante 5

Die direkte solare Einstrahlung auf die Dachpappe lässt sich verhindern, ohne dabei die Orientierung ändern zu müssen, indem die direkte Strahlung auf eine bestimmte Oberfläche ausgeschaltet wird. Damit wird die direkte Strahlung im Süden des Daches vernachlässigt.

Abbildung 6 zeigt den jährlichen Heizwärmeenergiebedarf der fünf Dachaufbauvarianten.

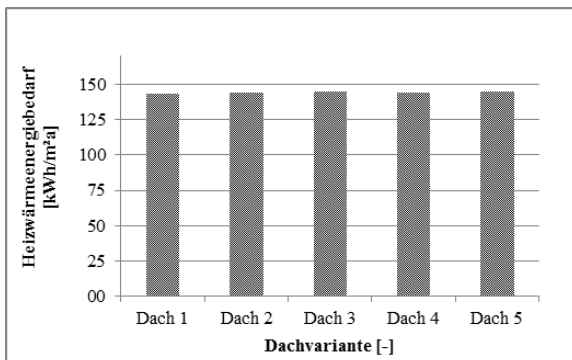


Abbildung 6: Jahresheizwärmebedarf mit verschiedenen Dachaufbauten

ERGEBNISSE

Simulationsvereinfachung

Abbildung 7 zeigt die prozentuelle Abweichung des jährlichen Heizwärmeenergiebedarfs aller untersuchten Varianten vom detaillierten Referenzfall.

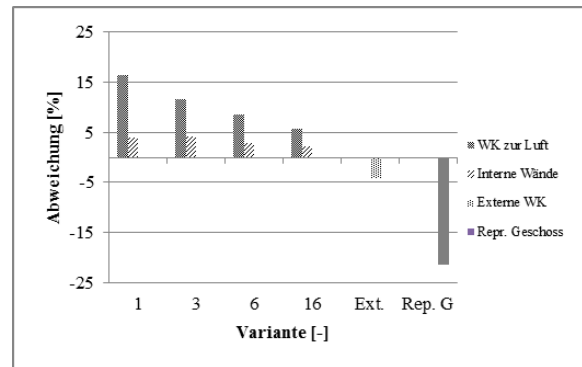


Abbildung 7: Abweichung der simulierten Varianten vom Referenzfall

Die Methoden der inneren Wände und der externen Wärmekapazität weisen die kleinsten Abweichungen auf. Da es bekannt ist, dass diese letzte Variante kein Strahlungswärmeaustausch berücksichtigt, wird die Methode der inneren Wände bevorzugt.

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen den zeitlichen Aufwand der verschiedenen Simulationsvarianten mit der Methode der inneren Wände.

Unter Berücksichtigung, dass die Abweichungen von allen Vereinfachungsgraden bei dieser Methode unter 4 % liegen und dass der Zeitaufwand exponentiell mit der Zunahme an Zonen steigt, ergibt sich das 1-Zonen Modell als die beste Variante.

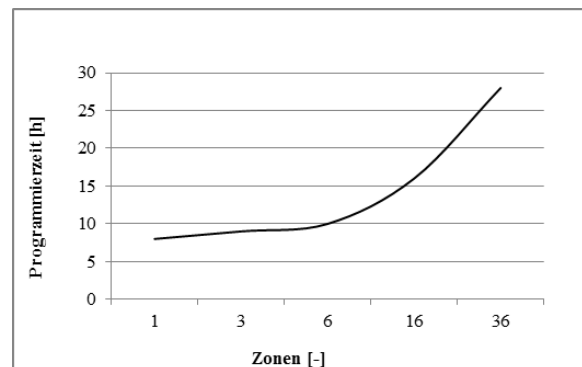


Abbildung 8: Programmierzzeit je nach Vereinfachungsgrad

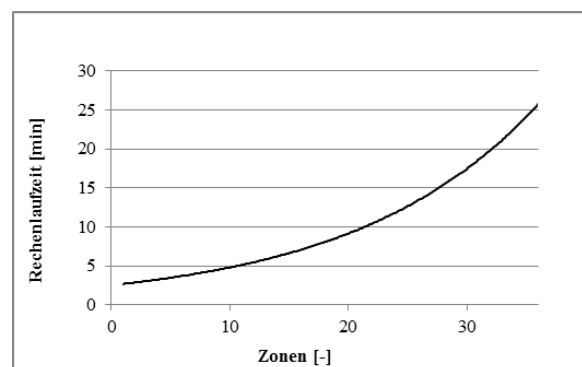


Abbildung 9: Rechenlaufzeit je nach Vereinfachungsgrad

Die Variante des repräsentativen Geschosses liefert das schlechteste Ergebnis. Der Grund dafür ist der erhebliche Einfluss der unbeheizten Zonen Keller und Dach auf den beheizten Wohnraum. Bei einem solchen Referenzgebäude mit nur drei Geschossen ist dieser Einfluss kritisch. Mit zunehmender Geschosszahl nimmt der Einfluss der unbeheizten Zonen auf die beheizten Räume ab.

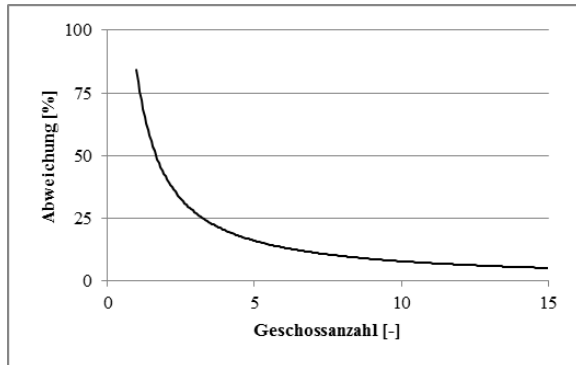


Abbildung 10: Einfluss der Geschossanzahl auf den Jahresheizwärmebedarf

Die Abbildung 10 zeigt, dass erst ab über 15 Geschosse der Mittelwert des Jahresheizenergiebedarfs des Gebäudes dem Wert des repräsentativen Geschosses entspricht (Abweichung unter 5 %). Da die üblichen Mehrfamilienhäuser in Deutschland nur selten diese Geschosszahl überschreiten, scheint diese Strategie nur eine begrenzte Anwendung zu haben.

Dachsimulation

Alle untersuchten Varianten weisen eine Abweichung von unter 1 % des Mittelwertes auf. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass alle Dachkonstruktionen kaum Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes haben. Da in der Literatur üblicherweise die U-Werte für Dachkonstruktionen ohne Dacheindeckung und Luftschicht zu finden sind, wäre die einfachste und empfohlene Dachvariante dann die Nummer 3.

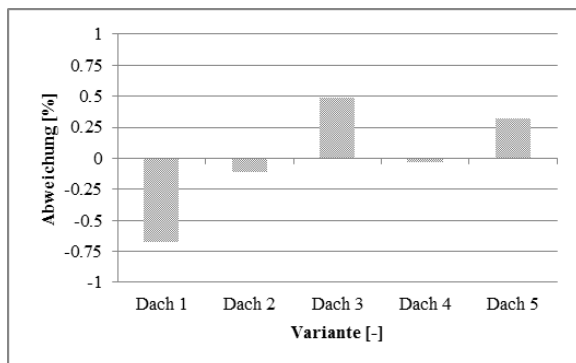


Abbildung 11: Abweichung vom Mittelwert der Dachvarianten

ZUSAMMENFASSUNG

Ein typisches deutsches dreigeschossiges Mehrfamilienhaus wurde mit verschiedenen Varianten in TRNSYS 17 simuliert. Die Ergebnisse wurden mit einem Referenzfall, in dem alle einzelnen Räume des Gebäudes abgebildet wurden, verglichen.

Bei einem vereinfachten Aufbau des Gebäudes wurden die Innenbauteile zunächst nicht abgebildet. Der Einfluss der Wärmekapazität der Innenbauteile muss aber trotzdem berücksichtigt werden. Die Abbildung der Innenbauteile als innere Wände liefert die besten Ergebnisse. Die Abweichung des Jahresheizenergiebedarfs aller vereinfachten Simulationsmodelle zum Referenzfall liegt unter 4 %.

Um ein hinterlüftetes Dach in TRNSYS 17 abzubilden, wurden verschiedene Varianten getestet. Alle fünf untersuchten Varianten lieferten fast identische Ergebnisse. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass man beim Dachaufbau auf die Dacheindeckung verzichten kann. Die Annahme besteht darin, dass die Dachdämmung bzw. Dachpappe im direkten Kontakt mit der Außenluft steht.

LITERATUR

Böhmer, H., Fanslau-Görlitz, D., Zedler, J., 2010. U-Werte alter Bauteile: Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung, Institut für Bauforschung e. V. Hannover.