

# INSTATIONÄRE ENERGIEBEDARFS- UND ANGEBOTSSIMULATION EINES STADTQUARTIERS MIT EINBEZIEHUNG DES NUTZERVERHALTENS

M. Lindauer<sup>1</sup>, I. Nemeth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zentrum für nachhaltiges Bauen, TU München, München, Germany

## KURZFASSUNG

Diese Arbeit beschreibt die Erweiterungen eines bestehenden Berechnungsmodells, mit dem die Abbildung des heutigen und zukünftigen Energiebedarfs von Gebäudegruppen nun instationär vorgenommen werden kann. Durch die Erweiterung des Modells soll das instationäre Verhalten von Gebäuden und deren Anlagentechnik sowie das Nutzerverhalten detaillierter abbildbar werden. Damit können Auswirkungen von Sanierungen in der Zukunft standort-bezogen quantifiziert und das Zusammenspiel von mehreren Gebäuden detailliert untersucht werden.

Beispielhaft wird das erweiterte Berechnungsmodell auf einen Gebäudebestand von 24 Gebäuden angewandt. Es werden 3 Szenarien untersucht, die den Einfluss des Nutzerverhaltens auf die instationäre Simulation dieses Gebäudebestandes darstellen. Das Ergebnis verdeutlicht die gravierenden Auswirkungen variablen Nutzerverhaltens, das insbesondere beim Einsatz von erneuerbaren Energieerzeugern wie Photovoltaik berücksichtigt werden muss.

## ABSTRACT

This paper describes the extension of an existing calculation model, which allows instationary quantification of the effects of the present and future energy demand of building groups. With the extension it will be possible to calculate the instationary behavior of buildings, their technical systems and the user behavior in detail. Thereby local effects of refurbishments can be quantified and the interdependencies of multiple buildings can be evaluated.

As an example this model is applied to a building stock which consists of 24 buildings. 3 scenarios are simulated to demonstrate the influence of the user behavior on the instationary simulation of this building stock. The result points out the tremendous effect of the user behavior which has to be considered thoroughly with the use of renewable energy sources like photovoltaics.

## EINLEITUNG

Die Umgestaltung unseres Energiesystems hin zu emissionsarmen und leistungsfähigen Strukturen erfordert ein zielgerichtetes Vorgehen. Eine wesentliche Grundlage für den Entwurf von Umgestaltungsstrategien bilden Szenarien über die Entwicklung von Energienachfrage und Energieangebot, deren Detaillierungsgrad in der Modellierung durch die zu betrachtende Maßstabebene bestimmt wird. Während in [Nemeth 2011] und [Nemeth et al, 2012] mithilfe jährlicher Bilanzierung die Energieeffizienzpotenziale der energetischen Gebäudesanierung von 3,5 Mio dargestellt werden konnten, bietet die darin angewandte Berechnungsmethodik des Heizperiodenbilanzverfahrens keine ausreichende Berücksichtigung spezifischer Einflüsse in der Betrachtung einzelner Systemausschnitte mit deutlich kleineren Gebäudegruppen. Um die standortspezifischen Einflussfaktoren auf Gewinne und Verluste der Bilanzierung detaillierter berücksichtigen zu können, wird in [Nemeth et al, 2013] die Bilanzierung des Energiebedarfs eines städtischen Quartiers mit ca. 1.000 Wohn- und Nichtwohngebäuden auf Basis des Monatsbilanzverfahrens durchgeführt. Als Motor für die Stadtentwicklung gedacht, wurden Grenzen und Möglichkeiten der Entwicklung von Energienachfrage und Angebot untersucht und die Auswirkungen der spezifischen Gegebenheiten darin weiter quantifiziert [ZNB, 2012].

Die Beurteilung des Zusammenspiels zwischen Gebäudehülle, Gebäudetechnik, Nutzer und Energieangebot als Grundlage für die Ableitung standortspezifischer Maßnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz erfordert in der zuvor geschilderten Modellierung jedoch einen weiteren Detaillierungsschritt. Bedingt durch das Ziel, mit der Abstimmung der Einflussgrößen die Energieeffizienz und die Einbindung der erneuerbaren Energien zu untersuchen und zu optimieren, umfasst dieser einer höhere zeitliche Auflösung sowie die Einbindung instationärer Berechnungsverfahren. Hierfür muss eine sorgfältige Abwägung zwischen den für die Simulation zu berücksichtigenden Daten und

Parametern und den zu erzielenden Genauigkeiten in der Modellierung gefunden werden. Durch die nur begrenzt zur Verfügung stehenden Daten über die zu beurteilenden Gebäudebestände wird durch eine erhöhte Genauigkeit nicht notwendigerweise eine bessere Aussagekraft der Modellierung erreicht, sofern diese sich nicht auf die wesentlichen Parameter beschränkt und um eine sinnvolle Vorannahme der Nebenparameter angereichert wird. Das vorliegende Paper beschreibt die Implementierung weiterer Detaillierungen in das Berechnungsmodell EMmi (EnergieModellierung multiskalar), die einerseits den Einsatz von Solarthermie, PV und Wärmepumpen zur Deckung des Energiebedarfs berücksichtigen und andererseits das durch veränderte Lebens- und Arbeitsweisen veränderte Nutzerverhalten abbildbar machen.

## METHODIK

Das Berechnungsmodell zur Abbildung des langfristigen energetischen Verhaltens von Gebäuden ist in MATLAB implementiert und nutzt EnergyPlus als Simulationsprogramm im Hintergrund, um das instationäre Verhalten der Gebäude zu berechnen.

### **Abbildung der Gebäudehülle**

Die Abbildung der Gebäude in EnergyPlus erfolgt auf der Grundlage allgemeiner und spezifischer Charakteristika. Als allgemeine Charakteristika werden Informationen zu den verschiedenen Baualtersklassen z.B. aus der deutschen Gebäudetypologie [Loga et al 2005] und der TABULA-Gebäudetypologie [Loga et al 2012] entnommen. Die spezifischen Charakteristika hingegen werden über parametrisierte Informationen zu den konkreten Gegebenheiten der betrachteten Gebäudegruppe abgebildet

Als zentrale Parameter dienen statistische Daten und Geo-Informations-Daten (GIS):

- Baualtersklasse
- Wohnfläche
- Anzahl der Wohneinheiten
- Gebäudeorientierung
- Dachform
- Anbausituation der Gebäude

Aus den GIS-Daten werden Wahrscheinlichkeitsverteilungen berechnet, welche den Anteil unterschiedlicher Orientierungen, Dachformen und Anbausituationen in der betrachteten Gebäudegruppe repräsentieren. Diese Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden anschließend mit den statistischen Daten zu Baualtersklasse, Wohnfläche und Wohneinheiten zusammengeführt.

Die Parametrisierung besteht in Anpassungen an den Bauteilflächen gemäß dem Flächenschätzverfahren [Loga et al 2005]. Das Flächenschätzverfahren berechnet in Abhängigkeit von beheizter Fläche, Anbausituation, Beheizung des Dach- und Kellergeschosses, Anzahl der Geschosse und weiteren Parametern Bauteilflächen für Außenwand-, Fenster-, Dach- und Bodenflächen. Hieraus wird eine für EnergyPlus nutzbare Gebäudegeometrie erzeugt. Eine Herausforderung hierbei ist die Erzeugung sinnvoller Gebäudegeometrien aus den Ergebnissen des Flächenschätzverfahrens, derzeit wird von einer quadratischen Grundfläche der Gebäude ausgegangen. Komplexere Geometrien sollen zukünftig über die Nutzung der Gebäudegrundrisse aus GIS ermittelt werden.

Über die Information der Baualtersklasse werden aus der TABULA-Gebäudetypologie typische Bauteilaufbauten ausgewählt, welche die thermische Qualität der Gebäudehülle definieren.

Die Gebäudemodelle sind als 1-Zonen-Modelle ausgeführt, da keine genaueren Informationen über die Nutzung der einzelnen Räume vorliegen und eine weitere Detaillierung im Wohngebäudebereich keinen Zugewinn an Informationen liefert.

### **Abbildung der Anlagentechnik**

Für die im Gebäude eingesetzte Anlagentechnik können unterschiedliche Varianten definiert werden. Derzeit sind die beiden folgenden Anlagentypen vordefiniert:

- Gas-Boiler mit Brennwerttechnik
- Fernwärmeübergabestation

Diese Anlagen sind vereinfacht abgebildet, die Wirkungsgrade der Anlagen wurden an [Loga et al 2002] angelehnt. Leitungsverluste werden bisher nicht berücksichtigt. Im weiteren Verlauf sollen sie über die in [Loga et al 2002] beschriebene Methodik, mit der eine Abschätzung der Leitungslängen erfolgen kann, detaillierter abgebildet werden.

In jedem Gebäude kann eine PV-Anlage, deren Größe und damit Leistung abhängig von der Dachfläche ist, eingebracht werden. Die Orientierung der PV-Anlage wird aus der Orientierung des Gebäudes übernommen. Es wird davon ausgegangen, dass von der PV-Anlage erzeugter Strom lokal verwendet wird, bevor er ins Netz eingespeist wird.

### **Sanierungen im Lebenszyklus der Gebäude**

Die Methodik für die Bestimmung von Sanierungen an den Gebäudehüllen orientiert sich an [Nemeth 2011]. Für die Anforderungen an die Verbesserung des Wärmeschutzes bei Sanierungen sind zwei prinzipiell unterschiedliche Vorgehensweisen möglich:

a) Angaben aus den vergangenen Energieeinspar- und Wärmeschutzverordnungen und Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Vorgaben an die Qualität (U-Wert) des sanierten Bauteils. Hieraus werden entsprechende zusätzliche Schichten für die Bauteile erzeugt.

b) Verwendung von Sanierungsvarianten aus der TABULA-Gebäudetypologie [Loga et al 2012]. Diese Varianten definieren für jedes vorhandene Bauteil, welches energetisch verbesserungsfähig ist, mögliche Verbesserungen, beispielsweise durch Aufbringung einer Innen- oder Außendämmung oder durch Austausch der vorhandenen Fenster gegen neue Fenster. Die Maßnahmen werden im Vorfeld analog zu den Angaben in TABULA im Programm hinterlegt.

Mit der Abbildung der Gebäudehüllen-Sanierungen in der Lebensdauer eines Gebäudes ergeben sich zu verschiedenen Zeitpunkten (Versagenszeitpunkte von Bauteilen) unterschiedliche Wärmeschutzqualitäten für ein Gebäude. Diese individuell für jedes Gebäude ermittelten Veränderungen erfordern jeweils einen Simulationslauf in EnergyPlus. Das Vorgehen hierfür wird im Abschnitt „Berechnungsmethodik“ beschrieben.

Analog zu den Versagenszeitpunkten für Bauteile werden auch für die Anlagentechnik Versagenszeitpunkte ermittelt. Versagt eine Anlage, so kann entweder eine Anlage mit dem gleichen Energieträger, aber ggf. erhöhter Effizienz, zum Einsatz kommen. Alternativ kann ein Wechsel zu einem anderen Energieträger erfolgen. Die Wahrscheinlichkeiten für solche Wechsel können als Parameter festgelegt werden.

### Abbildung der Stromnachfrage

Der akkumulierte jährliche Strombedarf der Haushalte wird über die beheizte Fläche berechnet, indem eine durchschnittliche elektrische Leistung von 5 W/m<sup>2</sup> genutzt wird. Damit soll der Vergleich mit den in stationären Rechenverfahren vorgegebenen konstanten Werten für die interne Last zu ermöglicht werden.

Um hieraus einen stündlich aufgelösten Strombedarf abzuleiten, wurde das Haushalts-Standardlastprofil H0 des BDEW verwendet. Dieses wird um den Strombedarf für die Heizungsanlagentechnik bereinigt, um bei einem Wechsel der Anlagentechnik die Veränderungen am Stromlastprofil berechnen zu können.

### Nutzerverhalten

Für die Berücksichtigung des Nutzerverhaltens werden die entsprechenden Zeitpläne angepasst, die beispielsweise die Raumsolltemperatur und die durch Anwesenheit gegebenen internen Gewinne bestimmen, oder die Luftwechselrate bei

Fensterlüftung. Im Kapitel „Simulationsergebnisse“ werden hierfür beispielhafte Szenarien dargestellt.

Der Trinkwarmwasserbedarf wird aktuell nicht mit berücksichtigt, dies wird in der nächsten Entwicklungsstufe durch den Einsatz von Zapfprofilen implementiert.

### Berechnungsmethodik

Das Schema der Berechnungsmethodik ist in Abbildung 1 dargestellt. Für jeden Sanierungsstand jedes Gebäudes muss ein Simulationslauf in EnergyPlus durchgeführt werden, um den stündlich aufgelösten Heiz- und Endenergiebedarf ermitteln zu können. Hierfür wird, ausgehend vom jeweiligen Gebäudetyp und den Parametern über die vorhandenen Bauteilflächen und die Anlagentechnik, ein Input Definition File (IDF) für EnergyPlus erzeugt, welches anschließend per Kommandozeilenbefehl mit EnergyPlus unter Einbeziehung der Klimarandbedingungen berechnet wird. Die Ausgaben der Simulation werden in einer Textdatei gespeichert und werden daraus wieder in das MATLAB-Programm eingelesen und in die Datenbank gespeichert.

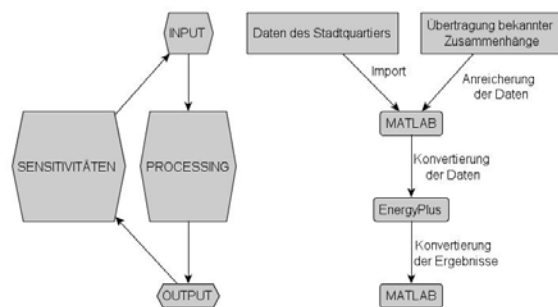


Abbildung 1: Berechnungsmethodik

Ein Simulationslauf in EnergyPlus benötigt ca. 12 Sekunden Rechenzeit (auf einem Kern eines Intel® Xeon® X5650 @ 2,67 GHz).

Um die Anzahl der notwendigen Simulationsläufe und damit die Rechenzeit insgesamt zu reduzieren wurde eine Anbindung an eine MySQL-Datenbank implementiert. In der Datenbank werden zu jedem Gebäude die Ergebnisse des stündlichen Energiebedarf-Verlaufs und ggf. des lokalen Energieerzeugungs-Verlaufs abgespeichert. Für alle Gebäude mit gleicher Wohnfläche, gleichem Sanierungsstand und gleicher Anlagentechnik steht dann ein Ergebnis-Datensatz zur Verfügung. Werden die Ergebnisse für ein einmal berechnetes Gebäude erneut benötigt, so können diese aus der Datenbank abgefragt werden. Eine solche Abfrage benötigt etwa 0,15 Sekunden, damit ergibt sich eine Beschleunigung der Rechenzeit um den Faktor 80 gegenüber einer erneuten Berechnung in EnergyPlus.

## SIMULATIONSERGEBNISSE

### Datenbasis

Im folgenden werden die Simulationsergebnisse einer Beispielrechnung zu einem Stadtquartier vorgestellt. Die Eingangsdaten beinhalten Informationen über die Baualtersklasse, die Wohnfläche und die Anzahl der vorhandenen Wohneinheiten in einem Gebäudeblock. Die Gebäudeblöcke umfassen dabei zwischen 1 und 37 Wohngebäude und zwischen 4 und 388 Wohneinheiten. Außerdem stehen die Aufstandsflächen und Höhen der Gebäude in einem GIS-Format zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Daten werden, wie in [Nemeth et al 2013] beschrieben, die Anbausituationen und Orientierungen der Gebäude ermittelt.

Über die eingesetzten Heizungsanlagen in dem Stadtquartier liegen keine detaillierten Informationen vor. Es wurden daher statistische Daten zum gesamten Stadtgebiet verwendet und aufgrund der hohen Durchdringung des Gebietes mit Fernwärmeleitungen eine im Vergleich zum gesamten Stadtquartier erhöhte Fernwärmenutzung angenommen.

Zusätzliche Informationen über die Haushaltsgrößenverteilung wurden für die 5 Teilgebiete des Stadtquartiers zur Verfügung gestellt.

Für die klimatischen Randbedingungen wurde ein in Meteonorm 6.1 erzeugter Klimadatensatz für Nürnberg verwendet.

### Szenario 0 (Ausgangslage)

Im Folgenden wird eine Simulation für einen Gebäudeblock des Quartiers mit 24 Wohngebäuden, 183 Wohneinheiten und einer Wohnfläche von 10.160 m<sup>2</sup> durchgeführt.

Die energetische Qualität der Gebäudehülle wird ausgehend von der TABULA Gebäudetypologie bestimmt.

Die Sanierungszeitpunkte der Gebäudehülle werden durch die Parameter in Tabelle 1 für die Normalverteilung festgelegt.

Tabelle 1: Parameter für Normalverteilung der Sanierungszeitpunkte

	WAND	DACH	FENSTER
Mittelwert	40 Jahre	50 Jahre	25 Jahre
Std.Abw.	10 Jahre	10 Jahre	5 Jahre

Tabelle 2: U-Wert-Anforderungen der Sanierungsmaßnahmen

	WAND	DACH	FENSTER
2013 bis 2015	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)	1,3 W/(m <sup>2</sup> K)
Ab 2016	0,18 W/(m <sup>2</sup> K)	0,18 W/(m <sup>2</sup> K)	1,0 W/(m <sup>2</sup> K)

Die Anforderungen an die U-Werte bei Sanierungsmaßnahmen orientieren sich an der EnEV 2014 und werden in Tabelle 2 dargestellt.

Aus den genannten Parametern wird ein Sanierungsszenario errechnet, welches für die weiteren Untersuchungen des Nutzerverhaltens verwendet wird.

Für die Modellierung der Ausgangslage kommen die folgenden Heizungsanlagentechniken zum Einsatz:

- Gas-Brennwertkessel
- Fernwärmeübergabestation

Die Eingrenzung auf diese beiden Systeme ist durch die laut statistischen Daten hauptsächlich eingesetzten Heizungsanlagen in Nürnberg gegeben. Andere Heizungssysteme werden auf Grund unzureichender Datengrundlage derzeit nicht für das Gebiet modelliert.

Die Deckungsanteile der beiden Energieträger verteilen sich wie folgt auf die Gebäude:

- Gas: 4601 m<sup>2</sup> der Wohnfläche in 12 Gebäuden mit zusammen 91 Wohneinheiten
- Fernwärme: 5559 m<sup>2</sup> der Wohnfläche in 12 Gebäuden mit zusammen 92 Wohneinheiten

Im Ausgangsszenario wird das Nutzerverhalten als konstant angenommen, d.h. es wird von einer konstanten Soll-Innenraumtemperatur von 21 °C ausgegangen, die Infiltrationsrate ist auf 0,6 1/h festgesetzt, die internen Gewinne sind konstant mit 5 W/m<sup>2</sup> angesetzt.

Der hieraus resultierende Heiz- und Endenergiebedarf im Verlauf des berechneten Zeitraums von 1980 bis 2020 ist unter Berücksichtigung der Sanierungen in Abbildung 1 dargestellt. Der stündlich aufgelöste Heizwärmebedarf ist in Abbildung 2 dargestellt.

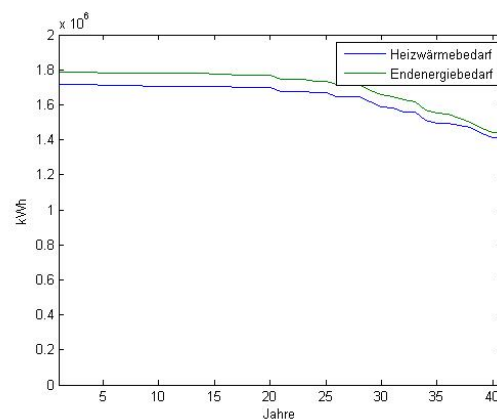


Abbildung 2: Heiz- und Endenergiebedarf zwischen 1980 und 2020 (Szenario 0)

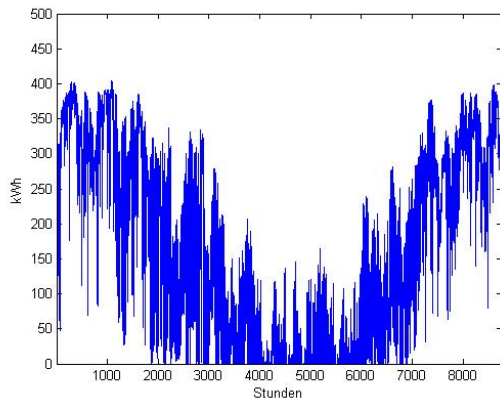


Abbildung 3: stündlich aufgelöster Heizenergiebedarf in 2020 (Szenario 0)

### Szenario 1

In diesem Szenario wird eine Nachtabsenkung der Soll-Innenraumtemperatur auf 18 °C in der Zeit von 22 Uhr bis 5 Uhr untersucht. Der sich ergebende Heizwärmebedarf in diesem Szenario ist in Abbildung 3 dargestellt.

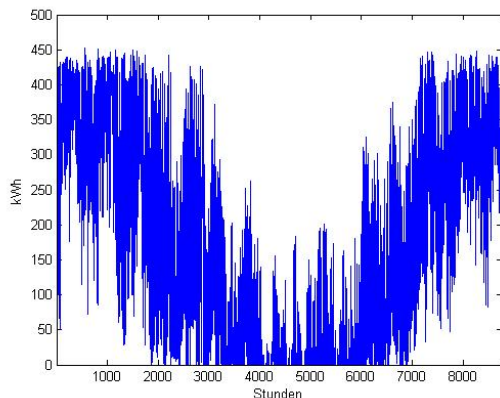


Abbildung 4: stündlich aufgelöster Heizenergiebedarf in 2020 (Szenario 1)

Im Ergebnis reduziert sich der Heizwärmebedarf für das Jahr 2020 von 1,41 GWh in Szenario 0 auf 1,30 GWh in Szenario 1 (Reduktion um 8 %), dabei erhöht sich aber die maximal benötigte Leistung auf Grund der Aufheizspitzen um 10 % (summiert für alle Gebäude maximal 452 kW statt 404 kW ohne Nachtabsenkung).

### Szenario 2

In diesem Szenario wird neben der Nachtabsenkung zusätzlich die interne Last variiert. Hierfür wird das Standardlastprofil für Haushalte verwendet. Dieses wird so skaliert, dass in Summe über das Jahr gerechnet  $5 \text{ W/m}^2 \cdot 8760 \text{ h} = 43,8 \text{ kWh/m}^2$  interne Last simuliert werden. Am Heizenergiebedarf ergeben sich durch das detailliertere Lastprofil nur minimale Veränderungen, da sich die Zeitpunkte der

internen Gewinne verändern, sie aber in der Summe gleich bleiben.

Beim Strombedarf ergeben sich zwei vollkommen unterschiedliche Verläufe für die Szenarien 1 und 2:

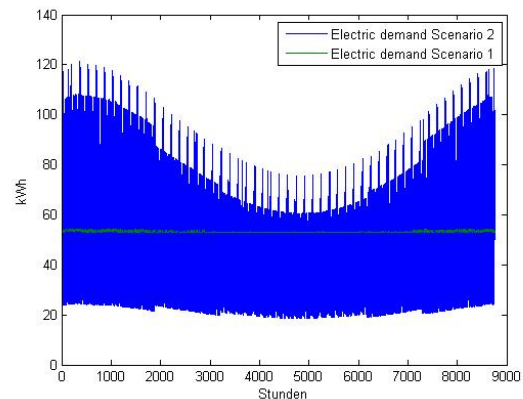


Abbildung 5: stündlich aufgelöster Strombedarf im Vergleich zwischen Szenario 1 und 2

Der Strombedarf für Szenario 1 ist annähernd konstant, die leichten Variationen ergeben sich aus der Berücksichtigung des Strombedarfs für die Heizungsanlage, ohne deren Berücksichtigung wäre die Kurve konstant. Im Gegensatz dazu stellt Szenario 2 einen eher der Realität entsprechenden Strombedarf dar, da hier auch Lastspitzen abgebildet sind, die insbesondere für die realitätsnahe Betrachtung des Einsatzes von PV-Stromerzeugung (siehe Szenario 3) eine wichtige Rolle spielen. Bei Einsatz beispielsweise einer Wärmepumpe würden sich massive Änderungen am Strombedarf ergeben, die zukünftig mit Hilfe des Modells bestimmt werden sollen.

### Szenario 3

In Szenario 3 wird aufbauend auf Szenario 1 und 2 das Potential zur Einbindung der erneuerbaren Energien durch Photovoltaik-Anlagen ermittelt. Hierfür wird davon ausgegangen, dass 40 % der Dachflächen aller Gebäude mit PV-Kollektoren belegt sind.

Wenn das konstante Stromnachfrageverhalten von Szenario 1 mit PV-Stromerzeugung kombiniert wird, so ergeben sich im Jahr 2020 62 MWh Stromeinspeisung. Verwendet man statt der detaillierten Nachfrage das Standardlastprofil H0 für Haushalte des BDEW, so ergibt sich eine Einspeisung von 54 MWh. Die Abweichung von 14 % ist alleine auf die unterschiedliche Berücksichtigung des Nutzerverhaltens zurückzuführen. Gleichzeitig ergibt sich als Summenwert für den Strombezug aus dem Netz in Szenario 1 ein um 2 % höherer Wert als in Szenario 2, d.h. die Eigenstromnutzung ist in Szenario 1 wesentlich geringer.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass das Nutzerverhalten einen massiven Einfluss darauf hat,

wie der durch PV erzeugte Strom im Gebäude genutzt wird. Für andere Techniken zur Einbindung regenerativer Energieerzeugung (Wärmepumpen, Solarthermie, BHKW/KWK, Windenergie) muss also die Detaillierung sowohl bei der Anlagentechnik selbst, als auch auf der Nutzerverhaltensseite massiv vorangetrieben werden.

## DISKUSSION

Mit der Erhöhung der zeitlichen Auflösung steigt die Kopplungsmöglichkeit an detailliert steuerbare Techniken und Modelle der Energiebereitstellung sowie die Anpassungsmöglichkeit der aufzuprägenden Lastgänge, die bisher durch stark verallgemeinerte Lastprofile abgebildet wurden. Dies ermöglicht die Einbindung der erneuerbaren Energien mit hoher zeitlicher Auflösung, die Abbildung der zukünftigen Veränderungen durch Sanierungen und die Berücksichtigung der weiter fortschreitenden Verknüpfungen des Wärme- und Strommarktes. In der Abbildung der Energienachfrage können die Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf die Energienachfrage entsprechend den sich wandelnden Lebensmodellen berücksichtigt werden und hierdurch Einsparpotenziale aufgezeigt werden. In Verbindung mit unterschiedlichen Szenarien für das Sanierungsverhalten von Gebäuden können damit Varianten der zukünftigen Energiebedarfsentwicklung eines Stadtteils sowie Wege zu einer effizienten und emissionsarmen Energieerzeugung aufgezeigt werden.

## AUSBLICK

Für die zukünftige Weiterentwicklung des Modells ist vor allem die Verfügbarkeit von detaillierten Daten zur energetischen Qualität von entscheidender Bedeutung. Die derzeit vorhandenen statistischen Daten müssen mit GIS-Daten verschnitten werden, damit sich die Geometrie der Gebäude genauer abbilden lässt. Als Datenmodell bietet sich hierfür CityGML mit seinen Erweiterungen für energetische Betrachtungen an, wobei durch das Vorhandensein eines Datenmodells noch nicht das Vorhandensein entsprechender Daten gegeben ist. Weiter ist es wünschenswert, genauere Angaben zu den eingesetzten Heizungssystemen zu erhalten, hierfür könnte sich eine Kooperation mit dem Verband der Kaminkehrer als zielführend erweisen.

Eine zukünftig zu lösende Aufgabe für die Untersuchung von Sanierungsszenarien ist die Abbildung von Wärmepumpen in dem Modell. Derzeit gibt es hierfür in EnergyPlus kein Objekt, welches eine Luft-Wasser-Wärmepumpe realistisch abbilden kann. Wenn solch ein Wärmepumpenmodell vorhanden wäre, so könnten die Wechselwirkungen zwischen dem Strom- und Wärmebedarf unter

Berücksichtigung des Nutzerverhaltens genauer untersucht werden.

Das Nutzerverhalten, insbesondere den Warmwasser- und Strombedarf betreffend, soll zukünftig durch den Einsatz entsprechender Berechnungsmodelle und Lastprofile weiter verfeinert werden.

Dann wird es beispielsweise auch möglich sein, Auswirkungen von Energiemanagement-Systemen, welche automatisiert Lastverschiebungen von Haushaltsgeräten vornehmen, quantifizierbar zu machen und szenarische Untersuchungen für das Potential solcher Systeme durchzuführen.

Ein übergeordnetes Thema, welches zukünftig bei der Modellentwicklung verstärkt Berücksichtigung finden muss, ist die qualitative und quantitative Einschätzung der Fehler, die bei der Wahl der Parameter auftreten. Hierfür werden im weiteren Verlauf der Forschungstätigkeit Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Haupteinflussgrößen zu identifizieren und die sich daraus ergebenden Fehler abzuschätzen. Erkenntnisse, wie sie in [Burhenne 2013] und [Burhenne et al 2013] erarbeitet wurden, werden dabei auf Gebäudegruppen übertragen und ermöglichen es, die Unsicherheiten der Ergebnisse des Berechnungsmodell „EmMi“ angegeben zu können.

## ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem hier vorgestellten Berechnungsmodell „EmMi“ ist es möglich, die Wechselwirkungen zwischen Sanierungen der Gebäudehüllen, den Änderungen der Heizungsanlagentechniken und dem Einsatz von erneuerbaren Energieerzeugungssystemen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzerverhalten aufzuzeigen. Hierfür wurde ein vorhandenes Modell, welches den Energiebedarf stationär berechnet, um eine Schnittstelle zu EnergyPlus für instationäre Energiebedarfssimulation erweitert.

Die notwendigen Parameter für die Simulation orientieren sich an den zur Verfügung stehenden statistischen Daten einerseits, und andererseits an durch Studien ermittelte Werte.

Beispielhaft wurden vier Szenarien dargestellt, welche die Auswirkungen des Nutzerverhaltens und Wechselwirkungen zwischen Nutzerverhalten und Anlagentechnik beispielhaft abbilden.

Bei der weiteren Entwicklung des Modells „EmMi“ müssen die Unsicherheiten, die sich durch die Abschätzung für die Parameter bei der Simulationsrechnung ergeben, quantifiziert werden. Erst dann lässt sich die Aussagekraft der Ergebnisse stichhaltig darlegen.

## LITERATUR

- Burhenne S. 2013: Monte Carlo Based Uncertainty and Sensitivity Analysis for Building Performance Simulation, Karlsruher Institut für Technologie, 2013
- Burhenne S., Tsvetkova O., Jacob D., Henze G., Wagner A. 2013: Uncertainty quantification for combined building performance and cost-benefit analyses, *Building and Environment* 62, pp. 143-154, 2013
- Diefenbach N., Loga T., Born R., Grosklos M., Herbert C. 2002: Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2002
- Loga T., Diefenbach N., Knissel J., Born R. 2005.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2005
- Loga T., Diefenbach N. 2005: Deutsche Gebäudetypologie, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2005
- Loga T., Diefenbach N., Stein B. et al 2012: Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Main Results of the TABULA project, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2012
- Nemeth I. 2011: Methodenentwicklung zur Bestimmung von Potenzialen der Energieeffizienzsteigerung im Haushalts- und GHD-Sektor. Dissertation an der Technischen Universität München. München, 2011.
- Nemeth I., Lindauer M. 2012: Adaptation of a stochastic simulation model for long-term investigation of the development of the energy demand in larger building stocks. In: *Proceedings of the International Workshop: Intelligent Computing in Engineering 2012 TU München*. ISBN 978-3-00-038455-4
- Nemeth I., Lindauer M., Ahlhaus P. 2013: Geo-Referenced Modeling of an Urban Quarter for the Assessment of Refurbishment Potentials and Energy Supply Strategies. In: *Proceedings to the Sustainable Building Conference - SB13, Munich*, pp. 293-301, 2013
- ZNB, 2012: Stadtlabor Nürnberger Weststadt, Zentrum für nachhaltiges Bauen, TU München, 2012

BauSIM 2014 (Aachen, Deutschland) – Fünfte lokale IBPSA-Germany/Austria Konferenz

Ich (wir), der Autor (die Autoren) des beigefügten Artikels, habe(n) die Übertragung des Copyrights und den Haftungsausschluss gelesen und stimme(n) diesen hiermit zu.

(1) Der Autor (die Autoren) versichert (versichern), dass vorliegender Artikel noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht worden ist. Es wird ferner versichert, dass der Artikel, sobald dieser zur Veröffentlichung angenommen wurde, nicht vor seiner Präsentation bei der BauSIM 2014 an anderer Stelle veröffentlicht wird.

(2) Falls der Artikel angenommen wird, räumt (räumen) der Autor (die Autoren) IBPSA automatisch ein nichtexklusives, lizenzfreies, unbefristetes, weltweites, unwiderrufliches, unterlizensierbares und übertragbares Recht ein den Artikel (in unmodifizierter Fassung) in jeder Art und Weise (einschließlich aber nicht nur ausschließlich der Einbindung in den gedruckten und elektronisch, etwa via WWW veröffentlichten BauSIM 2014 Tagungsband und der Einbindung in weitere Zusammenstellungen von Beiträgen) zu veröffentlichen. Mit "nichtexklusivem" Recht ist nicht gemeint, dass der Autor (die Autoren) eingeschränkt wird (werden) das Material weiterhin zu verwenden, sondern dass für diesen Artikel keine exklusiven Rechte an Dritte vergeben werden können.

(3) Der Autor (die Autoren) bestätigt (bestätigen), dass er (sie) die Erlaubnis besitzt (besitzen) das unter (2) genannte Recht zu übertragen, d.h., dass die Veröffentlichung durch IBPSA oder dessen Ermächtigte zu keiner Verletzung bestehender Copyrights oder anderer Restriktionen führen wird.

(4) Der Autor (die Autoren) erkennt (erkennen) an, dass die Akzeptanz des Artikels keine Billigung oder Einverständnis der dargestellten Inhalte seitens IBPSA impliziert. IBPSA übernimmt unter keinen Umständen Verantwortung oder Haftung für Schäden, die aus Informationen oder der Nutzbarmachung von Informationen entstehen, die im entsprechende Artikel dargeboten sind.

*Abbildung 2 Autoren werden via Internet gebeten, diese Bedingungen beim Einreichen zu akzeptieren.*