



# bauiintern

# e%-Energieeffizienter Wohnungsbau

Nachuntersuchung und wissenschaftliche Begleitung der Pilotprojekte des Experimentellen Wohnungsbaus

Philipp Vohlidka  
Prof. Dr. Gaby Franger-Huhle  
Prof. Georg Sahner

Die Erprobung energetischer Optimierung im Wohnungsbau wurde mit dem Modellvorhaben "e%-Energieeffizienter Wohnungsbau" an sieben Standorten in Bayern seit Projektauslobung 2007 mit insgesamt 344 realisierten Wohneinheiten in acht Projekten durchgeführt. Gemeinsam mit Wohnbauunternehmen, Planern und Bewilligungsbehörden wurden unter Betreuung des Experimentellen Wohnungsbaus der Obersten Baubehörde Wohngebäude neu erbaut oder Bestandsgebäude modernisiert.

Ein Ziel des Modellvorhabens war es, mit der Unterschreitung um 40% von Transmissionswärmeverlusten und Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV 2009 markante Möglichkeiten zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im geförderten Wohnbausektor nachzuweisen.

## Interdisziplinäre wissenschaftliche Begleitung

Ein besonderer Ansatz des Projekts war, dass ein wissenschaftliches Team das Projekt von Beginn an auf drei Ebenen begleitete: Nicht nur Gebäudekonzept und Gebäudehülle (Hochschule Augsburg HSA), Gebäudetechnik und technische Adaptivität (Technische Universität München TUM) wurden untersucht, sondern von Beginn an standen die Bedürfnisse von Mieterinnen und Mietern und ihre Möglichkeiten im Umgang mit der neuen Technik im Blickfeld (Hochschule Coburg HSC).

Unabhängige Beratung, Auswertung und Beurteilung und daraus folgende Empfehlungen der wissenschaftlichen Begleitung ergaben sich aus der Beauftragung durch die Oberste Baubehörde, von der Teilnahme an den Wettbewerben über Beratungen in der Planungsphase bis zur Evaluierung der Gebäudeperformance. Dies beinhaltete u. a. Blower-



Übersicht aller realisierten e%-Projekte  
© Oberste Baubehörde

Door-Tests, Thermografieaufnahmen, die Auswertung und Analyse der Verbrauchsdaten sowie Bewohnerbefragungen in verschiedenen Phasen der Projekte.

## Energetischer Standard

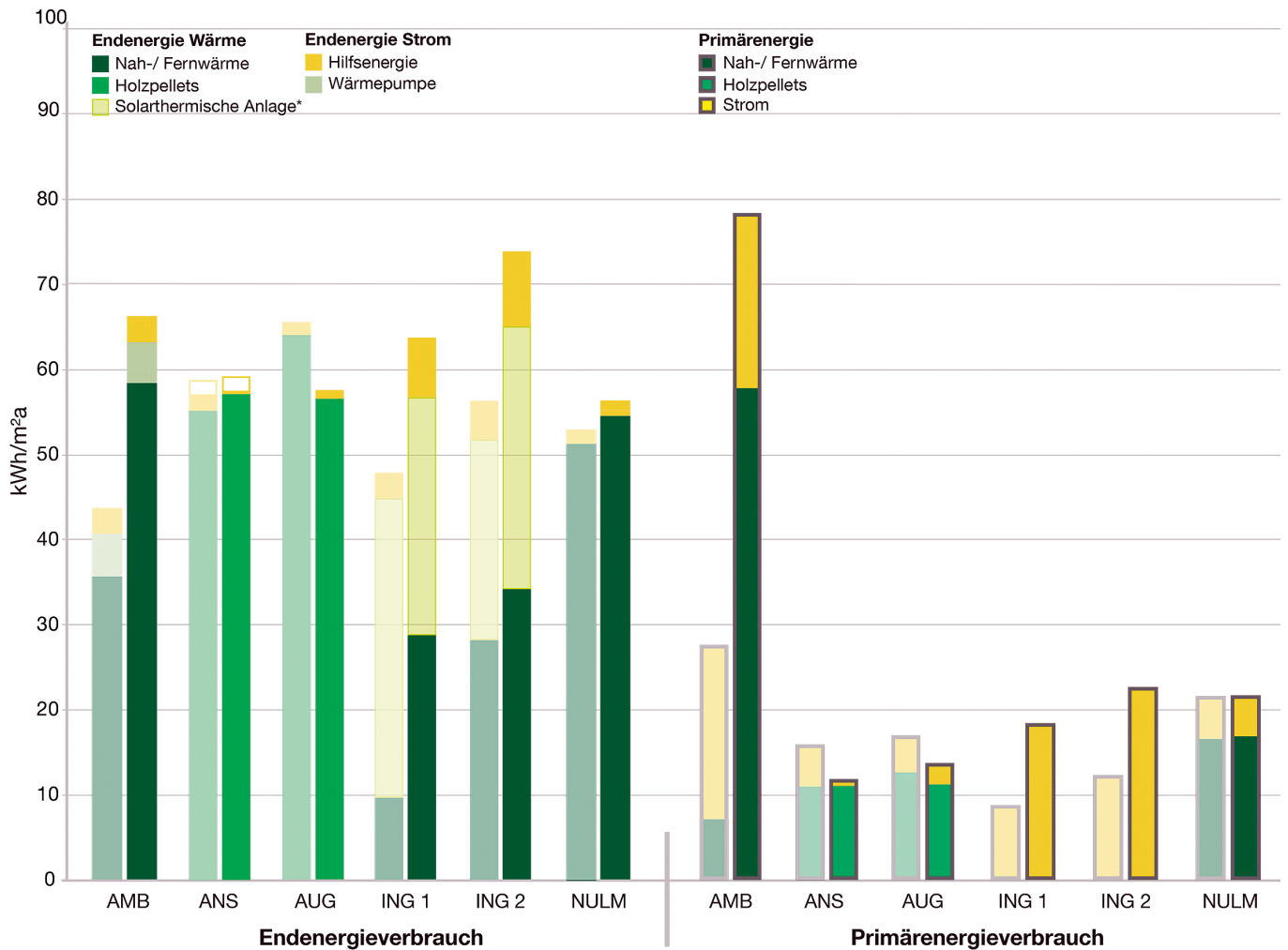
Alle Gebäude weisen durch den hohen energetischen Standard der Gebäudehülle in Kombination mit dem Einsatz von regenerativen Energien sehr gute Primärenergiebedarfswerte auf. Höchst interessant sind dementsprechend die Ergebnisse, ob die Gebäude in der Realität die ermittelten Bedarfswerte einhalten. Die Bedeutung der Luftdichtigkeit steigt mit dem energetischen Standard. Effiziente Lüftungsanlagen können nur in dichten Gebäuden betrieben werden, deren Außenhülle einen n<sub>50</sub>-Wert von kleiner 1,5 h<sup>-1</sup> aufweisen.

Bei den Holzbauten zeigte sich, dass ein erster Blower-Door-Test nach Fertigstellung der Luftdichtigkeitsebene unumgänglich ist. Wird diese Möglichkeit der Nachbesserung vor Fertigstellung des Gebäudes versäumt, sind ambitionierte Werte wie z. B. in Ansbach nicht erreichbar.

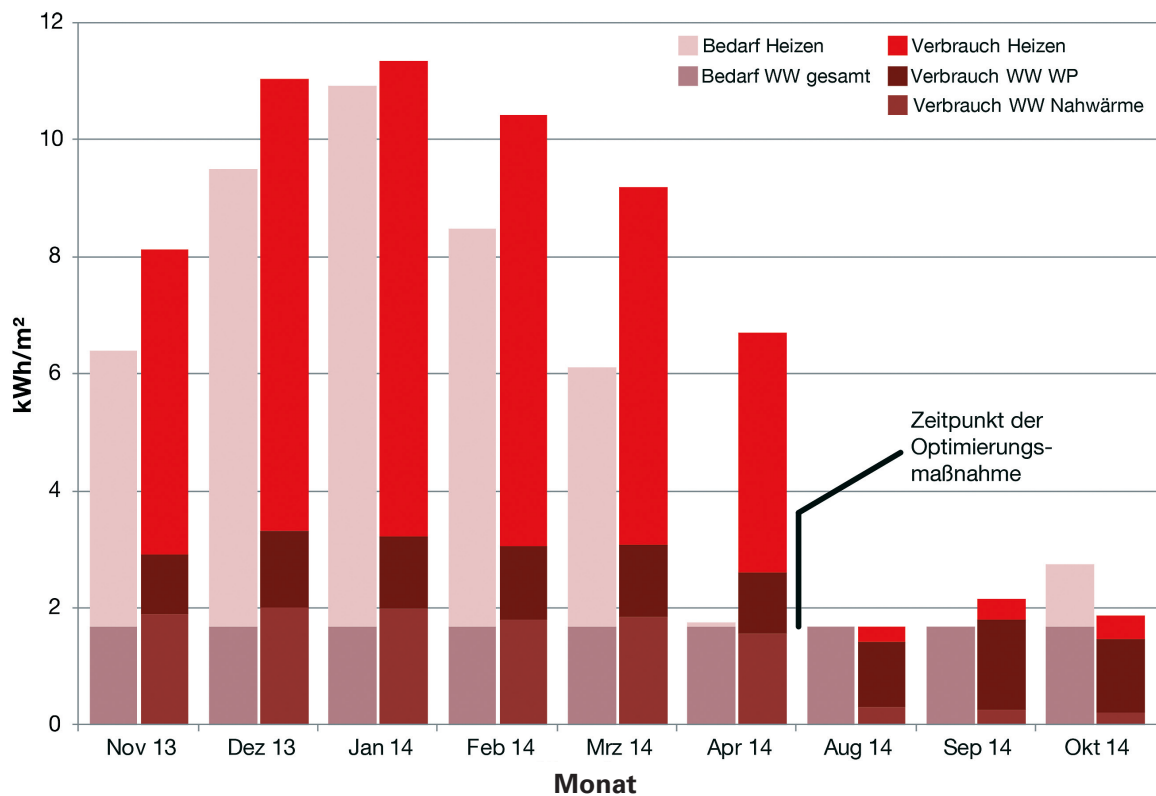
## Heizwärmeverbrauch

Endenergetisch betrachtet liegen die Wärmeverbräuche für Heizenergie und Warmwasser recht nah beisammen, in einem energetisch guten Rahmen zwischen 54,5 kWh/m<sup>2</sup>a in Neu-Ulm bis 65,1 kWh/m<sup>2</sup>a in Ingolstadt Bauteil 2. Im Vergleich der Bedarfs- und Verbrauchswerte fällt ein deutlicher Mehrverbrauch in Amberg auf. Durch ein nachträglich beauftragtes Monitoring der Anlagentechnik konnte die nicht optimal abgestimmte Trinkwasserbereitung justiert werden. Der zuerst doppelt so hoch wie errechnete Energieverbrauch wurde anschließend auf den üblichen Wert reduziert. Bei immer komplexer werdender Gebäudetechnik ist ein Anlagenmonitoring zur Optimierung und Fehlererkennung dringend zu empfehlen.

Ebenfalls in der unteren Grafik ersichtlich und symptomatisch für alle Projekte ist die deutliche Abweichung des Heizwärmeverbrauchs in den Übergangsmonaten. So liegt im Fall Amberg im April laut Berechnung gar kein Bedarf mehr vor, tatsächlich wurden aber witterungsbereingt noch über 4 kWh/m<sup>2</sup> Wärme verbraucht. Da dies bei allen



Vergleich und Gegenüberstellung von Bedarf (jeweils linker Balken) und Verbrauch von End- und Primärenergie, aufgeteilt nach Energieträgern ©TUM



Vergleich und Optimierung des monatlichen Wärmebedarfs und -verbrauchs in Amberg ©TUM



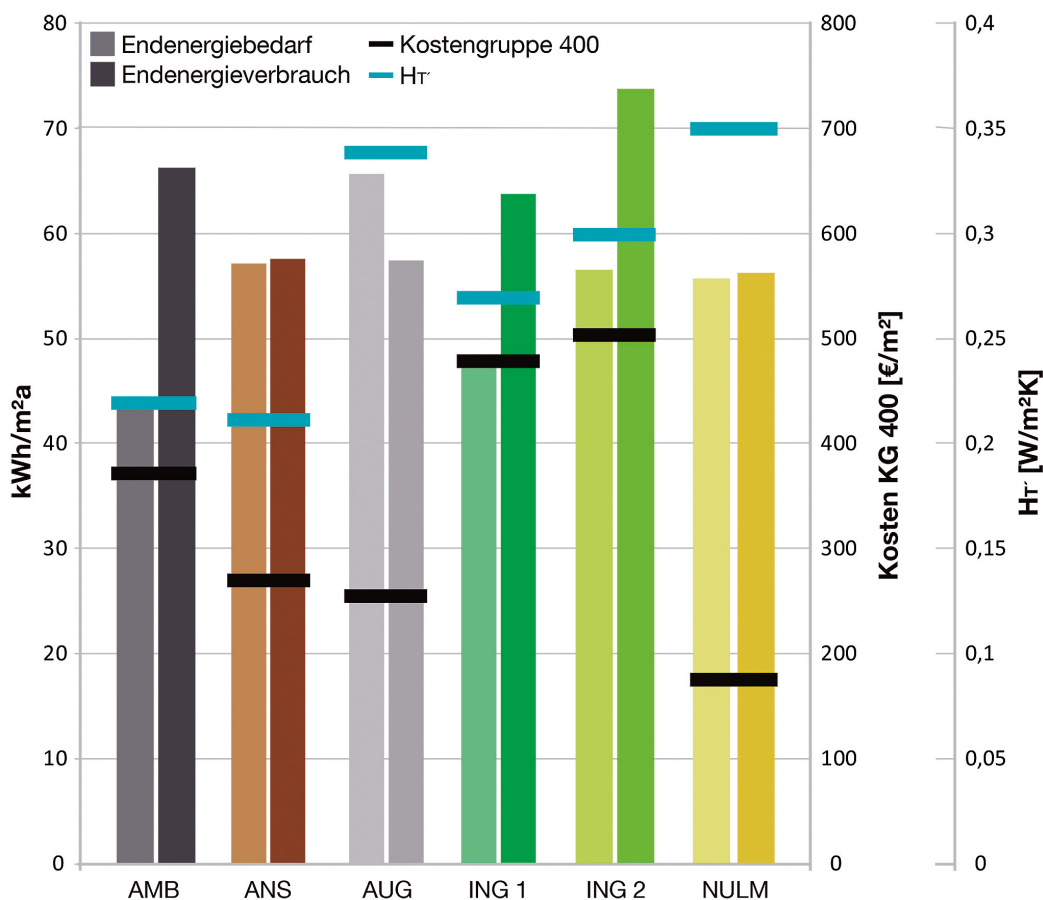
Projekten zu beobachten ist kann festgestellt werden, dass die Nutzer trotz der gut gedämmten Hüllflächen deutlich länger heizen als in den Berechnungsverfahren angenommen. Im Rahmen der Befragung der Haushalte gaben jedoch durchwegs alle Bewohner an, die Heizung in einem kürzeren Zeitraum als zuvor gewohnt zu benutzen. Die Daten zeigten allerdings auch, dass in den Wintermonaten tendenziell weniger verbraucht wird als berechnet. Eine weitere nutzungsbedingte Abweichung zeigen die gemessenen Innenraumtemperaturen: diese lagen mit

nimierung der Transmissionswärmeverluste durch einen hohen Dämmstandard und eine sehr kompakte Bauweise führte in den Projekten nicht immer zu einer Verminderung der Endenergieverbräuche. Die Transmissionswärmeverluste in Ansbach liegen mit  $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$  um 39 % unter den Werten von Neu-Ulm, die Endenergieverbräuche sind trotzdem vergleichbar.

Neben der Qualität der Gebäudehülle sind der Ausnutzungsgrad solarer Energiegewinne und die Speicherfähigkeit der Gebäude ein sensibler Parame-

Modernisierungsprojekten äußerte sich positiv zur Handhabung des Heizsystems und der erreichten thermischen Behaglichkeit, auch wenn der Umgang in Projekten mit Fußbodenheizung zunächst gewöhnungsbedürftig war.

Teilweise herrschte Unsicherheit über den richtigen Umgang mit Lüftungsanlagen, dennoch wurden diese überwiegend positiv bewertet. Hierbei war den Bewohnern eine gute Kommunikation mit den Wohnbaugesellschaften wichtig, insbesondere über die Handhabung und eventuelle



Vergleich der Transmissionswärmeverluste und der monetäre Einsatz Kostengruppe 400 zu Endenergiebedarf und Verbrauch © HSA

durchschnittlich  $21,2 \text{ °C}$  höher als in den Bedarfsrechnungen angenommen, was einen zusätzlichen Mehrverbrauch bedingt.

### Gebäudehülle und Entwurf

Die Analyse der Verbrauchsdaten ließ auch Rückschlüsse auf grundsätzliche Entwurfsentscheidungen zu. Eine Mi-

ter. Leichte bis mittelschweren Bauten in Ost-West-Orientierung sind zum Erreichen geringer Verbräuche auf höhere Dämmstandards angewiesen als massive südorientierte Bauten.

### Nutzerakzeptanz

Der Großteil der befragten Bewohner sowohl in den Neubau- als auch den

Umstellungen im Umgang mit Heizung und Lüftung.

### Endenergieverbrauch

Neben der Wärme addiert sich zur Endenergie der Stromverbrauch der Anlagentechnik wie Wärmeerzeuger, Lüftungsanlagen etc. Hier liegen die Stromverbräuche für Hilfsenergie

und Abluftanlagen maximal bei den errechneten Bedarfswerten. Wegen des in der Realität geringeren Hilfsenergieverbrauchs konnte in Ansbach die PV-Anlage den Stromverbrauch somit bis auf zwei Monate im Jahr komplett decken, was in einem jährlichen Stromverbrauch von lediglich 0,2 kWh/m<sup>2</sup>a resultiert.

Bei den beiden Projekten in Ingolstadt, die über eine mechanische Lüftungsanlage verfügen, fällt der Stromverbrauch mit ca. 20 kWh/m<sup>2</sup>a im Vergleich zum Bedarf fast doppelt so hoch aus und liegt somit auch weit über den Projekten, die lediglich eine Abluftanlage besitzen. Auch der Wärmeverbrauch liegt bei diesen Projekten um jeweils ca. 26 % über dem errechneten Bedarf.

Für den Mehrverbrauch können mehrere nicht identifizierbare Einflussfaktoren wie z. B. ein höherer Warmwasserverbrauch oder Lüftungswärmeverluste durch Fensterlüften verantwortlich sein. Messdaten der Innenraumtemperaturen sowie Befragungen der wissenschaftlichen Begleitung zeigten, dass in elf von zwölf Haushalten mit einer mechanischen Lüftungsanlage zusätzlich gelüftet wurde. Bauherren sollten sich deshalb bewusst sein, dass in der Realität Nutzereinflüsse den Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung stark beeinflussen können und die zu erzielende Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten geringer ausfallen kann als es das Berechnungsverfahren vorgibt.

Interessant ist, dass die Verbräuche der Projekte Ansbach, Augsburg und Neu-Ulm, die mit eher einfacher Technik (Pelletkessel bzw. Fernwärmeanschluss, reine Abluftanlage) ausgestattet sind, einerseits den Bedarfswerten entsprechen oder diese sogar unterschreiten, auf der anderen Seite auch die niedrigsten Wärmeverbräuche aufweisen.

### **Primärenergieverbrauch**

Primärenergetisch profitieren diese Projekte auch von den guten Faktoren der Fernwärme bzw. Pellets sowie dem niedrigen Stromverbrauch. In den beiden Bauteilen in Ingolstadt wird der Wärmeverbrauch über Solarthermie und Abwärme aus Industrieprozessen gedeckt und deshalb primärenergetisch nicht berechnet. Trotzdem weisen sie im Vergleich auf

Grund des hohen Stromverbrauchs nicht mehr den geringsten Primärenergieverbrauch auf.

In Amberg liegt die Ursache des fast dreifach höheren Primärenergieverbrauchs hauptsächlich an häufigen Ausfällen des Pelletkessels auf Grund eines technischen Defekts. Somit übernahm der als Redundanzsystem verbaute Gaskessel die energetisch ungünstigere Wärmebereitstellung. Da das defekte Teil am Kessel mittlerweile ausgetauscht wurde, kann in Zukunft auch hier ein guter Wert erwartet werden.

Insgesamt bestätigt sich, dass eine möglichst 100%ige Deckung der Wärme mit regenerativen Energien in Kombination mit einem niedrigen Anteil an stromverbrauchender Hilfsenergie sehr gute primärenergetische Ergebnisse erzielt, wie z. B. das Projekt Ansbach mit 12 kWh/m<sup>2</sup>a oder das Sanierungsprojekt Augsburg mit 13,9 kWh/m<sup>2</sup>a nachweisen.

### **Kostenoptimierung**

Nach der Projektauswertung der Kostengruppen 300 und 400 der DIN 276 erwiesen sich die Holzbauprojekte im Mittel um 350 € pro m<sup>2</sup> beheizte Gebäudenutzfläche teurer als die Massivbauten; die beiden Sanierungen unterschritten die entsprechenden mittleren Neubaukosten eines Massivbaus um 200 €. Im Zuge einer Sanierung sollte eine vorgeschaltete Wirtschaftlichkeitsuntersuchung klären, ob das Bestandsgebäude den Wert eines Ersatzrohbaus unterschreitet.

Desweiteren wurde die Relation des Einsatzes finanzieller Mittel in der technischen Gebäudeausstattung zu den Endenergieverbräuchen untersucht. Ein hoher monetärer Einsatz kann zu sparsamen Lösungen führen, der sich ab einem gewissen Punkt jedoch egalisiert. Überdurchschnittlich teure Lösungen können somit in hohen Verbräuchen resultieren. Bei schlanken technischen Konzepten wie in Neu-Ulm entsprechen die energetischen Verbräuche vorbildhaft den ursprünglichen Berechnungen.

Die Projekte des Modellvorhabens e% wurden bereits mehrfach ausgezeichnet, u. a. mit dem Europäischen Architekturpreis Energie + Architektur und dem Deutschen Holzbaupreis. Die Projekte des Modellvorhabens sind in der Fachpublikation "e% Energieeffizi-

enter Wohnungsbau" im Callwey Verlag München 2014 publiziert worden, ausführliche Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung werden in diesem Sommer erscheinen.

### **Autoren**

Dipl.-Ing. Philipp Vohlidka  
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen  
Prof. Thomas Auer  
Technische Universität München  
philipp.vohlidka@lrz.tum.de

Prof. Dr. Gaby Franger-Huhle  
Fakultät Soziale Arbeit und Gesundheit  
Hochschule Coburg  
gabriele.franger-huhle@hs-coburg.de

Prof. Dipl.-Ing. Georg Sahner  
Energie Effizienz Design E2D  
Hochschule Augsburg  
georg.sahner@hs-augsburg.de