

Analyse der Einsparpotenziale durch Smarthome und intelligente Heizungsregelungen

Matthias Kersken
Herbert Sinnesbichler
Hans Erhorn

*Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
zum 80. Geburtstag gewidmet*



Analyse der Einsparpotenziale durch Smarthome- und intelligente Heizungsregelungen

Intelligente Heizungsregler und Smarthome-Systeme können den Heizenergieverbrauch bzw. die Heizkosten, unter anderem durch eine Anpassung der Gebäudebeheizung an die An- bzw. Abwesenheit der Nutzer, reduzieren. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse von fünf unterschiedlichen Studien zusammengefasst, die am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP unter Verwendung von dynamischer Gebäudesimulation durchgeführt wurden. Diese Studien vergleichen die intelligenten Systeme mit einer konventionellen Regelung die der EnEV Referenztechnik entspricht. Die Auswertung des kombinierten Datensatzes erlaubt die Untersuchung der Einsparpotenziale getrennt für unterschiedliche Baualter, Gebäudetypen und Haushaltsgrößen. Die untersuchten Systeme zeigen typische mittlere Einsparpotenziale zwischen 8 und 19 % Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasser bzw. Energiekosteneinsparpotentiale zwischen 0,3 und 2,6 €/m²a). Parallel werden die durch die Systeme bewirkten Veränderungen im thermischen Raumkomfort bewertet und den Einsparpotenzialen gegenübergestellt. Hier zeigen sich große Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten. Einerseits gibt es Fälle die fast keine energetischen Potentiale aufweisen aber den thermischen Komfort reduzieren, andererseits geht in manchen Varianten eine Komfort-Verbesserung mit einer potentiellen Bedarfsreduktion einher.

Stichworte: Intelligente Heizungsregelung; Heizenergie; Einsparpotentiale; Endenergieeinsparung für Heizung; Smarthome; Raumregelung

1 Einleitung

1.1 Motivation

Sogenannte Smarthome-Systeme halten zunehmend Einzug in Privathaushalte. Sie bieten den Nutzern die Möglichkeit, diverse Aspekte ihres Wohngebäudes – mit dem Smartphone als Interface – von zu Hause aus oder von unterwegs zu steuern oder feste Zeitprofile beispielsweise für An- bzw. Abwesenheiten vorzugeben. Die häufig bereit gestellten Funktionalitäten umfassen die Sicherheits- bzw. Einbruchüberwachung eines Wohnobjekts, die Kontrolle der maximalen Raumluftfeuchte, das Schalten von Steckdosen sowie das Steuern von Rollläden und des Kunstlichts bzw. ermöglichen die Vorgabe von Lichtprogrammen. Einige Systeme wie beispielsweise tado [1], RWE Smarthome [2] oder alphaEOS [3] erlauben es zudem, das System zur bedarfsabhängigen Raumbeheizung zu verwenden. Häufig geschieht dies mit der Motivation, den Heiz-

Analysis of the energy saving potentials of smart home and intelligent heating controls

Saving potentials of intelligent heating controls

Intelligent heating controllers and smart home systems can reduce heating energy consumption and heating costs, among other things by adapting building heating to the presence / absence of the occupants. In this publication the results of five different studies, carried out at the Fraunhofer Institute for Building Physics IBP using dynamic building energy simulation, are summarized. These studies compare the intelligent systems with a control that corresponds to the EnEV reference technology. The evaluation of this combined data set allows the analysis of savings potentials separately for different years of construction, building types and family sizes. The systems examined show typical average saving potentials between 8 and 19% for the final energy for heating and domestic hot water and potential energy cost savings between 0,3 and 2,6 €/m²a). At the same time, the changes in thermal comfort caused by the systems are evaluated and compared with the potential savings. This shows a wide variation between the investigated cases. On the one hand, there are cases that show almost no potentials but reductions in the thermal comfort, on the other hand, in some variants an improvement in comfort is accompanied by a potential reduction in demand.

Keywords: Intelligent heating control; heating energy saving potentials; final energy reduction for heating; smarthome; roomwise temperature control

energieverbrauch und damit die Heizkosten zu senken. An dieser Stelle ist die Abgrenzung zu den intelligenten Heizungsregelungen klassischer Heiztechnikhersteller, wie sie z. B. von Vaillant oder Bosch angeboten werden, nicht mehr klar definiert, da diese Systeme ebenfalls zunehmend häufiger internet- bzw. smartphone-fähig sind. Unabhängig davon, zu welcher dieser beiden „ursprünglichen“ Gerätekategorien ein System gehört: Die heizungsbezogenen Funktionalitäten zielen in der Regel darauf ab, das Gebäude bzw. dessen einzelne Räume nur dann zu beheizen, wenn sie genutzt werden. Ein vorzeitiges Aufheizen soll sicherstellen, dass die genutzten Räume bei Nutzungsbeginn eine komfortable Temperatur aufweisen. Die erforderlichen wohnungs- bzw. raumweisen Nutzungsprofile werden den Systemen entweder manuell von den Anwendern in Form von Zeitprofilen vorgegeben oder anhand ihres aktuellen Aufenthaltsorts bzw. ihrer Smartphones automatisch ermittelt (Geofencing). Über die Potenziale derartiger

Systeme existieren viele unterschiedliche Angaben. Bereits in [4] kommen Gertis und Hauser in einer systemunabhängigen Potenzialstudie für nutzungsangepasste Raumsolltemperaturen auf Heizwärmeeinsparungen von 3–25 Prozent; sogar 50 Prozent sind möglich, wenn die benachbarte Geschosswohnung stationär beheizt wird. Mailach und Oschatz [5] schätzen in einer ebenfalls nicht systemspezifischen Studie bei einer Kombination aus selbstadaptierender Heizkurve, Wetterprognose, Zeitoptimierung der Trinkwarmwasser-Zirkulation, hydraulischem Abgleich, Verbrauchsvisualisierung und Präsenzkontrolle Einsparungen von 8–15 Prozent, bezogen auf die Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasser. Die europäischen Richtlinien zur Energiekennzeichnung von Heizanlagen [6], [7] setzten eine maximale Effizienzsteigerung von 5 Prozent an.

Diese Veröffentlichung fasst fünf am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP erstellte Studien zusammen, welche die Einsparpotenziale für konkrete Systeme abschätzen. Hierbei werden sowohl Systeme untersucht, welche die gesamte Wohneinheit zentral regeln, als auch Systeme mit einer raumweisen Nutzung. Ziel ist es, eine Übersicht über die Potenziale derartiger, real existierender Systeme zu erstellen und neben einer energetischen und ökonomischen Bewertung auch deren Auswirkungen auf das thermische Raumklima aufzuzeigen.

1.2 Technische Hintergründe

Prinzipiell kann die Nutzungsanpassung der Beheizung auf der Ebene einer Wohneinheit (Einfamilienhaus oder Wohnung) oder auf Raumebene erfolgen. Um in der Lage zu sein, eine derartige intermittierende Beheizung umzusetzen, benötigt jede intelligente Heizungsregelung Informationen, wann die jeweilige Wohneinheit bzw. der einzelne Raum von einem oder mehreren Bewohnern genutzt werden. Hieraus wird ein Temperaturprofil aus den Nutzungsphasen mit höherer Raumsolltemperatur und Absenckphasen ohne Nutzung mit reduzierten Raumsolltemperaturen erstellt. Da die Wärmeübertragungskapazität der installierten Heizkörper begrenzt ist, benötigen die Räume am Ende einer Absenckphase eine gewisse Zeit, bis die neue Raum-Solltemperatur tatsächlich erreicht ist. Diese Aufheizzeit ist für jede Wohneinheit unterschiedlich, da sie vom Heizwärmebedarf, der thermischen Gebäudemasse und der Auslegung bzw. der Leistung der tatsächlich installierten Heizkörper abhängt. Sie kann entweder anhand eigener Erfahrungswerte vom Anwender festgelegt und als vorzeitiger Beginn in das Nutzungsprofil eingegeben werden. Oder sie wird automatisch festgelegt, da das System eine selbstlernende Komponente beinhaltet, die eine eigenständige Festlegung der notwendigen Aufheizzeiten erlaubt.

Ein aktueller Ansatz zur automatischen Ermittlung der Anwesenheitszeiten verwendet die Position der Smartphone-Nutzer, um ihre Bewegungsrichtung bzw. Entfernung zur Wohnung zu bestimmen und so einen wahrscheinlichen Ankunftszeitpunkt zu ermitteln. Somit lassen sich die Heizzeiten theoretisch den tagesweisen Anwesenheitsschwankungen individueller anpassen und die Absenckzeiten maximieren. Im Rahmen dieser Potenzialstudie sollen diese unterschiedlichen Systemansätze zur Präsenzbestimmung nicht evaluiert werden. Es wird vereinfachend

davon ausgegangen, dass das dem System zur Verfügung stehende Anwesenheitsprofil der tatsächlichen Nutzung entspricht. Dies bedeutet, dass bei Systemen mit Geofencing weder der Mehrbedarf durch zu frühes Aufheizen, noch Bedarfsreduktionen durch erkanntes späteres Ankommen oder Fehler in der Präsenzdetektion beachtet werden. Ebenso werden keine Nutzungsabweichungen von fest vorgegebenen Zeitprofilen einbezogen.

Intelligente Heizungsregelungen können an zwei unterschiedlichen Stellen in das Heizsystem eingreifen. Die eine Möglichkeit ist, mit dem Wärmeerzeuger (z. B. dem Gaskessel) selbst zu interagieren. Bei diesem zentralen Regelungstyp erfolgt die Erfassung der Raumlufttemperatur in einem repräsentativen Führungsraum, z. B. dem Wohnzimmer. Sobald dieser Führungsraum seine Solltemperatur erreicht hat, wird der Wärmeerzeuger deaktiviert. Das Abschalten der Wärmeerzeugung, die Optimierung und ggf. die Reduktion der Vorlauftemperatur des Heizsystems verringern zusätzlich zum Raumwärmebedarf auch die Erzeugungs-, Verteil- und Übergabeverluste. Diese Variante setzt allerdings voraus, dass der Wärmeerzeuger ausschließlich der betrachteten Wohneinheit zugeordnet ist. Im Fall eines Einfamilienhauses oder einer Geschosswohnung mit Etagenheizung ist dies in der Regel möglich; in einem Geschosswohnungsbau mit Zentralheizung müssten alle Wohneinheiten mit demselben System ausgerüstet sein. In solchen Fällen fällt die Wahl aufgrund der individuellen Entscheidung der Bewohner häufig auf ein System, das durch Austausch des Heizkörperthermostats die Wärmeabgabe an die einzelnen Räume bedarfsabhängig optimiert. Der Wärmeerzeuger betreibt in diesen Fällen oft ohne Berücksichtigung des Wärmebedarfs der Räume permanent betrieben. Alle Systeme mit raumweiser Heizungsregelung müssen zwingend auch auf die einzelnen Heizkörperthermostate zugreifen können. Zentral geregelte Systeme mit eigenem Wärmeerzeuger können zur weiteren Reduzierung der Heizzeiten auch zusätzlich mit raumweisen intelligenten Heizkörperreglern ausgestattet werden.

1.3 Referenz

Bei der Angabe von Veränderungen bzw. Einsparungen ist das Grundniveau von entscheidender Bedeutung. Je weniger energiesparende Funktionalitäten die Vergleichsregelung (Referenz) besitzt, desto höher sind ihr Energiebedarf und damit auch die erzielbaren Einsparungen der untersuchten Systeme. In allen fünf verwendeten Studien sind die Referenzgebäude bau- und anlagentechnisch identisch mit den Smarthome-Gebäuden, sodass die Funktionalitäten der Regelung die einzige Unterscheidung darstellen. Die Regelung der Referenzgebäude entspricht in allen hier betrachteten Studien den Vorgaben der EnEV-Referenztechnik für Wohngebäude [8]. Dies bedeutet, dass die Heizkörper aller Räume thermomechanische Heizkörperventile haben, die auf eine feste Temperatur eingestellt sind. Eine Nachtabsenkung von 23 bis 6 Uhr wird, je nach Situation, entweder über eine Abschaltung des Wärmeerzeugers oder eine Absenkung der witterungsgeführten Vorlauftemperatur realisiert. Bei allen Referenz- und Smarthome-Systemen beträgt die maximale Reduktion der Solltemperatur während der Absenckzeiten 4 K.

1.4 Randbedingungen

Dieser Untersuchung liegen fünf Einzeluntersuchungen aus den Jahren 2011, 2013, 2014 und 2018 zu Grunde. Alle diese Studien beziehen sich auf Wohneinheiten mit Heizkörpern und Gas-Brennwert-Geräten. Fußbodenheizungen oder Wärmepumpensysteme werden nicht bewertet.

1.4.1 Trinkwarmwasser

Nicht alle durchgeführten Studien enthalten Betrachtungen zum Energiebedarf zur Bereitung von Trinkwarmwasser (TWW); oder sie verwenden hierfür unterschiedliche Ansätze. Zwar werden im Rahmen dieser Untersuchung lediglich Funktionalitäten zur Heizenergieeinsparung betrachtet, allerdings sollen die erreichbaren, relativen Einsparungen [Prozent] inkl. des Bedarfs für Trinkwarmwasser angegeben werden. Damit ist der direkte Bezug auf individuelle Gas- bzw. Heizkostenabrechnungen einfacher, da diese in der Regel Heizung und TWW zusammen beinhalten. Um alle Studien ohne Beeinflussung der unterschiedlichen TWW-Ansätze auf Endenergieniveau vergleichen zu können, wird der TWW-Bedarf bei allen Studien vereinheitlicht. Ausgangspunkt ist, dass lediglich die Anzahl der Bewohner einen Einfluss auf den TWW-Bedarf hat, nicht aber die Größe der Wohneinheit. Zur Quantifizierung des TWW-Nutzenergiebedarfs wird auf die Zapfprofile nach DIN EN 13203-2 [9] zurückgegriffen. Hierbei wird angenommen, dass für 1–2 Personenhaushalte das Zapfprofil S und für 3–4-köpfige Familien das Profil M repräsentativ ist. In Abhängigkeit von der Größe der in der Studie betrachteten Wohneinheit entspricht dies einem TWW-Nutzenergiebedarf zwischen 5,5 und 9,5 kWh/(m²a) für die Single- und Paarnutzung bzw. 15,2 bis 26,4 kWh/(m²a) für die Familien-Belegungen. Als Vergleich sei erwähnt, dass DIN V 18599-10:2016-10 [10] für Wohngebäude je nach Wohnungsgröße einen Bedarf zwischen 8,5 und 16,5 kWh/(m²a) ansetzt.

1.4.2 Erzeugungs-, Verteil- und Übergabeverluste

Manche der analysierten Studien betrachten den Heizenergiebedarf lediglich auf Nutzenergie-Niveau. Dies bedeutet, dass die Erzeugungs-, Verteil- und Übergabeverluste, die nicht unmittelbar zur Deckung des Wärmebedarfs der Räume beitragen, nicht enthalten sind. Diese nur teilweise zur Deckung des Heizbedarfs nutzbaren Energieanteile sind allerdings in der Endenergie enthalten. Die Endenergie entspricht der Energiemenge, die zum (thermischen) Betrieb eines Gebäudes bereitgestellt werden muss. Somit ist bei den Studien, die keine Endenergie enthalten, die Nutzenergie auf Endenergieniveau umzurechnen. Für die Umrechnung werden Literaturkennwerte [11] für die jeweiligen Aufwandszahlen und Verluste entsprechend Tabelle 1 angesetzt. Arbeitsgrundlage ist, dass bei Bestandsobjekten das Baualter im Zeitraum von 1960 bis 1969 liegt und Neubauten nach 1999 errichtet sind.

Bei allen betrachteten Systemen handelt es sich um Gas-Brennwertgeräte, die sowohl die Heizwärme als auch TWW direkt ohne Einbeziehung eines Speichers bereitstellen. Folglich müssen keine Speicherverluste berücksichtigt werden. Veränderungen in der elektrischen Hilfsenergie,

Tabelle 1. Zusammenstellung der zugrunde gelegten Anlagen-Aufwandszahlen für Wärmeerzeuger und spezifischen Verteil- und Übergabeverluste für Heizung und Trinkwarmwasser für den Neubaufall und Bestandsobjekte nach [11].
Table 1. Compilation of the applied boiler efficiencies and specific distribution, control and emission losses for heating and domestic hot water for new and existing buildings according to [11].

Baualter	Neubau	Bestand	Einheit
Trinkwarmwasser			
Erzeugung	1,13	1,24	[-]
Speicherung	–	–	[-]
Verteilung	9,9	56,2	[kWh/(m ² a)]
Raumwärme			
Erzeugung	0,99	1,11	[-]
Speicherung	–	–	[-]
Verteilung	9,3	75,1	[kWh/(m ² a)]
Übergabe	3,3	3,3	[kWh/(m ² a)]

wie der elektrische Energiebedarf der Smarthome Systeme oder veränderte Pumpenlaufzeiten, unterliegen im Rahmen dieser Untersuchung keiner Bewertung.

1.4.3 Randbedingungen und Funktionsumfang der Systeme

Alle untersuchten Smarthome-Systeme passen die Heizzeiten an die Anwesenheitszeiten der Bewohner an. Manche Systeme werden durch zusätzliche Funktionalitäten ergänzt, um weitere Einsparpotenziale zu erschließen. Dies sind Fensterkontakte zur Deaktivierung der Heizkörper bei Fensterlüftung, automatische Rollladensteuerung zur Verringerung der nächtlichen Transmissionsverluste durch Fenster (im Winter automatisches Schließen der Rollläden bei Dunkelheit) und die Einbindung eines Wettervorhersagedienstes. Zur Anpassung der Heizzeiten an das Nutzungsverhalten benötigen die Systeme das Anwesenheitsprofil der Nutzer in der Wohnung. Für Systeme mit Einzelraumregelung, bei denen sogar einzelne Räume abgesenkt werden können, sind Anwesenheitsprofile raumweise erforderlich. Die hier betrachteten Studien unterscheiden nicht, ob diese Profile vom Nutzer eingegeben oder über die Position der Smartphones ermittelt werden. Den Systemen werden feste Nutzungsprofile vorgegeben. Diese gründen teilweise auf praxisbasierten Annahmen der Autoren oder auf sehr umfangreichen Nutzerbefragungen (Kompass Time Use Survey [12]). Im Rahmen dieser Erhebung werden die Tätigkeiten einer statistisch signifikanten Anzahl von Personen mit Hilfe von selbst geführten Protokollbüchern dokumentiert. Einzelnen Tätigkeiten können spezifische Räume bzw. Abwesenheitszeiten zugeordnet werden. Beide Methoden zeigen, dass die Nutzungszeiten eines größeren Haushalts wie einer Familie mit ein oder zwei Kindern länger sind als bei einer Single- oder Paarnutzung einer Wohneinheit. Ein derartiges abgeleitetes raumweise aufgelöstes Nutzungsprofil ist in Bild 1 beispielhaft für eine Familie mit zwei Kindern dargestellt.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die erzielbaren Einsparungen und die Veränderung des thermischen Nutzerkomforts ist die Länge der Aufheizzeit, in der die Wohneinheit

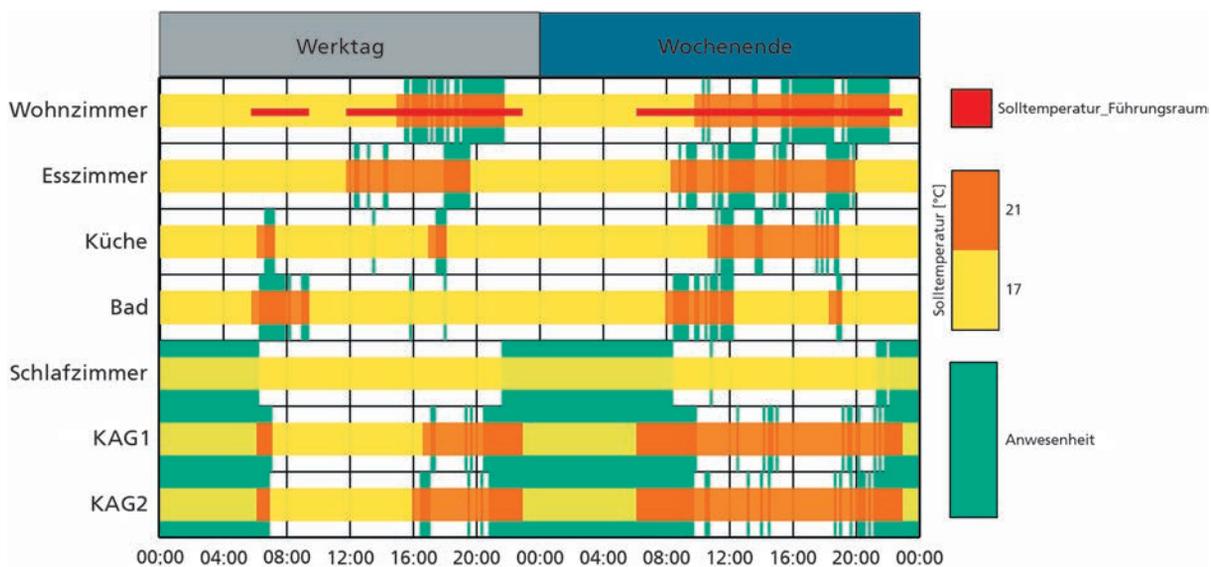


Bild 1. Aus statistischen Nutzerdaten abgeleitete raumweise Anwesenheits- und Solltemperaturprofile zur Bewertung der energetischen Einsparpotenziale von Smarthome-Systemen.

Fig. 1. Presence and set temperature profiles derived from statistical user data for evaluating the energy saving potentials of Smarthome systems.

bereits erwärmt wird, bevor die geplante Nutzung beginnt. Die notwendige Aufheizzeit hängt von der thermischen Masse des Gebäudes bzw. der einzelnen Räume und der Leistungsfähigkeit der installierten Heizkörper ab. Wird ein zu langer Zeitraum für die Aufheizzeit festgelegt, ist der Raum unnötig lange warm und die resultierenden zusätzlichen Wärmeverluste reduzieren die Einsparpotenziale. Zu kurz festgelegte Aufheizzeiten vergrößern zwar mögliche Einsparungen, allerdings weist der Raum bei Nutzungs- bzw. Anwesenheitsbeginn noch nicht die optimale Temperatur auf. Die Festlegung der Aufheizzeiten erfolgt bei den betrachteten Studien entweder durch eine entspre-

chende Heizkörperauslegung nach DIN EN 12832, Beiblatt 2 [13] oder durch empirische Festlegung.

Alle Studien finden auf der Grundlage von unterschiedlichen mitteleuropäischen Klimarandbedingungen statt. Es werden die Testreferenzjahre (2004) [14] von Potsdam und München sowie Datensätze der Meteonorm-Software [15] von Zürich und Genf verwendet. Untersucht werden sowohl Einfamilienhäuser (EFH) mit einer Wohnfläche von 140 m² [16] als auch Geschosswohnungen (GW) mit Wohnflächen von 67,3 m² und 82,8 m². Dies sind typische Größen für Ein- und Mehrfamilienhäuser in Deutschland. Die energetischen Standards bzw. die

Tabelle 2. Zusammenfassung der Randbedingungen und Funktionalitäten in den betrachteten Studien.

Tabel 2. Summarized boundary conditions and considered functionalities of the studies under investigation.

Parameter	Studie				
	1	2	3	4	5
Klima	München	München	Genf/Zürich	Potsdam	Potsdam
Aufheizzeit	1 h	1 h	1 h	0,5 h	0,5 h
Heizflächenauslegung	46–94 %	112–286 %	112–286 %	163–197 %	163–166 %
Nutzung Wettervorhersage	–	X	X	–	–
Nutzung Rollladensteuerung	X	–	–	–	–
Abschaltung bei Fensterlüftung	X	–	–	–	–
Zentrale Führungsraumregelung/ Einzelraumregelung	ER	beide	Z	ER	ER
Einfamilienhaus/ Geschosswohnung	EFH	beide	beide	beide	EFH
Neubaufall/ Unsanierter	beide				
Optimierung Vorlauf- temperatur oder Leistung Wärmeerzeuger	–	–	–	X	X
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Neubau	–	–	–	X	X
EnEV-Anforderungs- niveau	2009	2009	2009	2016	2016
Baualter unsanierter Altbau	1975	1965	1965	1965	1965

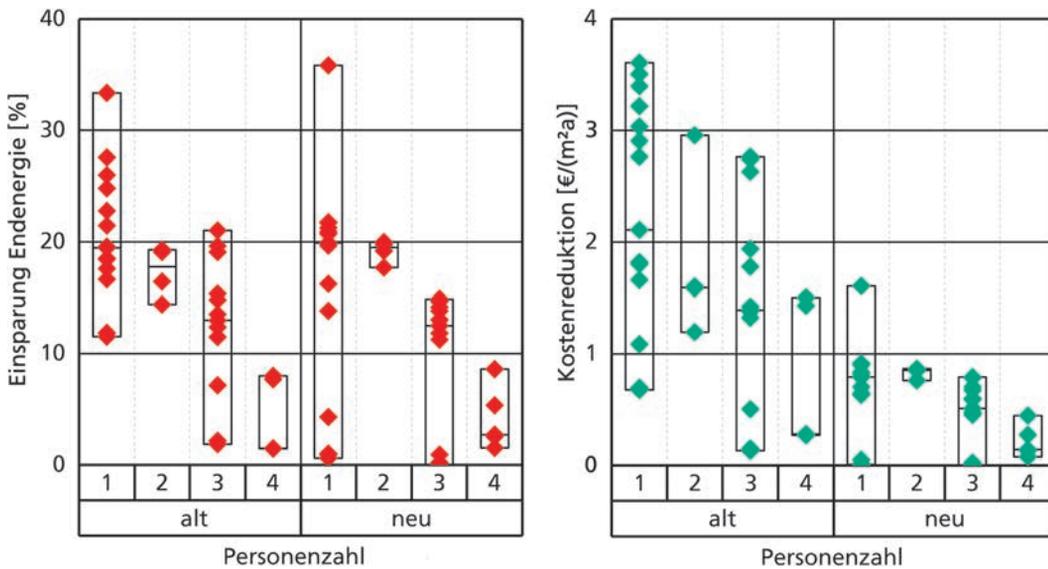


Bild 2. Prozentuale Einsparpotenziale beim Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (links) und flächenbezogenes, jährliches Energiekostenreduktionspotenzial (rechts) in Abhängigkeit vom Baualter und der Haushaltsgröße. Fig. 2. Relative potential savings in final energy consumption for heating and domestic hot water (left) and area-related, annual energy cost reduction potentials (right) depending on the construction's age and household size.

U-Werte der thermischen Hüllfläche der Neubauten entsprechen zum Untersuchungszeitpunkt den aktuellen EnEV-Versionen 2009 und 2014 inklusive den verschärften Anforderungen ab 2016. Für die unsanierten Altbauten wird ein Baualter zwischen 1965 und 1975 angenommen, da ein Großteil des deutschen Wohngebäudebestands in diesem Zeitraum errichtet wurde [17]. Für die Bauteile werden für das Baualter typische U-Werte angesetzt und entsprechende Konstruktionen abgeleitet. Tabelle 2 stellt die unterschiedlichen wesentlichen Randbedingungen der betrachteten Studien einander gegenüber.

2 Ergebnisse

2.1 Einsparpotenzial

Bild 2 stellt die erreichbaren Einsparungen in Abhängigkeit von Baualter und der Haushaltsgröße dar. Die farbige dargestellten Punkte entsprechen jeweils dem Ergebnis einer Variante einer der in Tabelle 2 dargestellten Studien. Die Mittellinie der den Ergebnisbereich umfassenden schwarzen Umrahmung entspricht dem Median. Bild 2 zeigt links, dass bei der relativen Endenergieerduktion für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW) das Baualter praktisch keinen Einfluss ausübt und die prozentualen Einsparungen bei kleinen Haushalten am größten sind. Dies ist darin begründet, dass bei kleinen Haushalten tendenziell öfter aller Bewohner außer Haus sind. Somit kann die Temperatur in der Wohneinheit häufiger bzw. länger abgesenkt werden. Hierdurch reduziert sich die Durchschnittstemperatur in der Wohneinheit und mit ihr die Wärmeverluste. Im Umkehrschluss ist eine Familie mit Kind(ern) häufiger anwesend und benötigt entsprechend eine über längere Zeit beheizte Wohnfläche. Die erreichbaren Einsparpotenziale liegen hier zwischen 0 und 36 Prozent. Die Nutzung durch Familien mit zwei Kindern zeigt hinsichtlich der Reduktionspotenziale eine Spanne zwischen 1 und 9 Prozent, während die Single-Nutzung (37,2% der Haushalte in Deutschland [17]) Einsparungen zwischen

1 bis 36 Prozent erreicht. Es sei darauf hingewiesen, dass die höchsten hier gezeigten Einsparpotenziale durch eine Kombination mehrerer Funktionalitäten (Einzelraumregelung, Rollladeneinbindung und Heizungsabschaltung bei Fensterlüftung) zu Stande kommen. Bei der rechts dargestellten flächenbezogenen Energiekostenreduktionen ist der Einfluss der Haushaltsgröße ebenfalls erkennbar, allerdings zeigt sich hier auch anhand von Bild 2 ein deutlicher Einfluss des Baualters. Dies ist im höheren absoluten Heizenergiebedarf des Altbaus gegenüber dem des Neubaus begründet. Aus einer gleich hohen relativen Reduktion folgt bei einem höheren absoluten Niveau eine höhere absolute Reduktion hinsichtlich der Nutzenergie, der Endenergie, der CO₂-Emissionen und der Energiekosten. Beim Neubau liegen die maximalen jährlichen Kostenreduktionen in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße zwischen 0,5 und 1,6 €/m²a), während bei unsanierten Altbauten Reduktionspotenziale zwischen 1,5 und 3,6 €/m²a) ermittelt wurden. Diesen Kostenreduktionen liegt die Annahme eines Gaspreises von 6,1 ct/kWh zu Grunde.

Bild 3 gibt die Einsparpotenziale in Abhängigkeit vom Baualter und von der Regelungsarchitektur (zentraler Führungsraum Z / Einzelraumregelung ER) wieder. Hieraus lässt sich ableiten, dass die zentrale Führungsraumregelung – von jeweils einer Ausnahme abgesehen – die höheren Einsparpotenziale erschließt. Die einzelnen Ausnahmen bei der Einzelraumregelung entstehen durch die zusätzliche Nutzung von Rollläden und Heizungsabschaltungen. Die höheren Potenziale bei Führungsraumssystemen kommen dadurch zu Stande, dass bei diesen Systemen der Wärmeerzeuger deaktiviert wird, sobald der Führungsraum seine Solltemperatur erreicht hat – unabhängig davon, ob die restlichen Räume vollständig erwärmt sind. Dies führt zu einer geringeren mittleren Innentemperatur und entsprechend geringeren Wärmeverlusten, allerdings ergeben sich hierdurch höhere Einschränkungen bezüglich des thermischen Nutzerkomforts. Bei Einzelraumssystemen kann in der Regel jeder einzelne Raum Wärme anfordern.

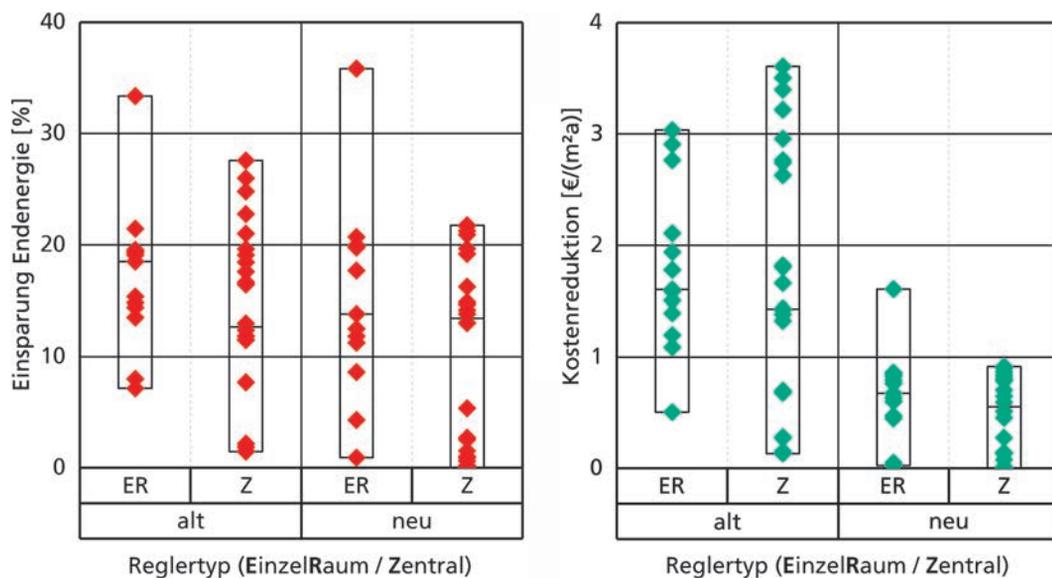


Bild 3. Prozentuale Einsparpotenziale beim Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (links) und flächenbezogenes, jährliches Energiekostenreduktionspotenzial (rechts) in Abhängigkeit vom Baualter und vom Reglertyp (zentraler Führungsraum oder Einzelraumregelung).

Fig. 3. Relative potential savings in final energy consumption for heating and domestic hot water (left) and area-related, annual energy cost reduction potentials (right) depending on the construction's age and the controller type (pilot room or individual room wise control).

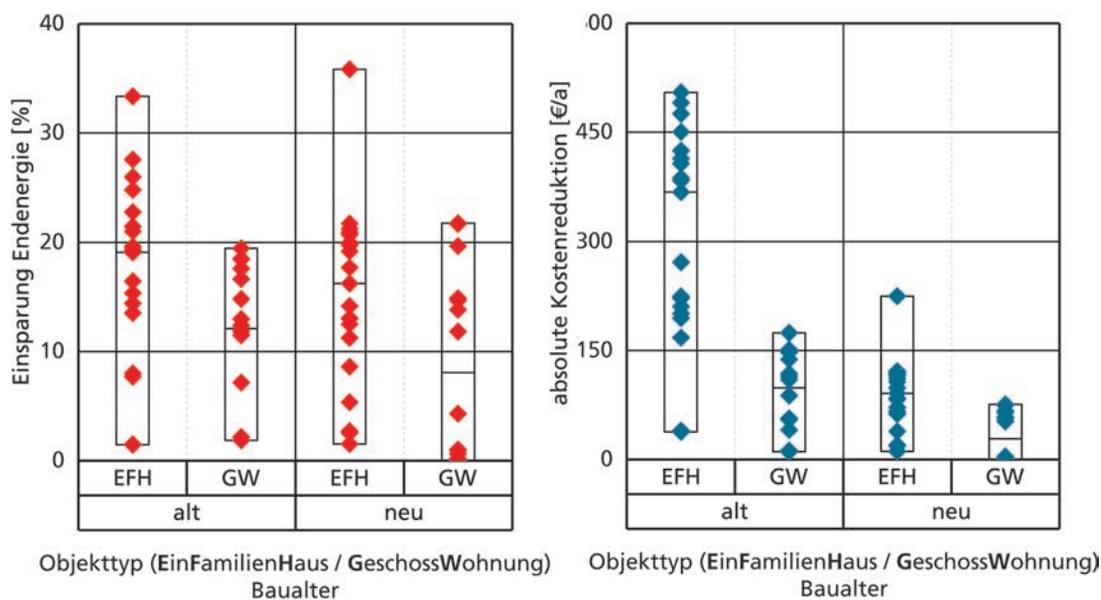


Bild 4. Prozentuale Einsparpotenziale beim Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (links) und absolutes, jährliches Energiekostenreduktionspotenzial (rechts) in Abhängigkeit vom Baualter und der Art der Wohneinheit.

Fig. 4. Relative potential savings in final energy consumption for heating and domestic hot water (left) and absolute annual energy cost reduction potentials (right) depending on the construction's age and the type of the residential unit.

Dies ist für das thermische Raumklima förderlich, reduziert allerdings die Einsparpotenziale.

In Bild 4 sind die relativen Einsparpotenziale und die absoluten jährlichen Kostenreduktionspotenziale in Abhängigkeit vom Baualter und der Art der Wohneinheit veranschaulicht. Bereits bei den links dargestellten relativen Einsparungen ist zu sehen, dass die Potenziale beim Einfamilienhaus (EFH) größer sind als bei einer Geschosswohnung (GW). Grund dafür ist, dass bei Geschosswohnungen die wärmetauschende Hüllfläche verhältnismäßig klein ist. Dadurch sinken die Raumlufttemperaturen in Absenkezei-

ten langsamer, sodass die mittleren Raumlufttemperaturen etwas höher und die Einsparpotenziale etwas geringer bleiben. Bei den rechts in Bild 4 dargestellten absoluten Potenzialen verstärkt sich der Unterschied zwischen EFH und GW wegen der größeren Wohnfläche des EFHs noch weiter. Da in allen betrachteten Studien dem EFH und der GW jeweils nahezu identische Wohnflächen zugeordnet sind, kann bei der hier gewählten Kategorisierung der Flächenbezug entfallen und absolute Potentiale zur Kostenreduktion angegeben werden. Dies soll die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine konkrete Wohnsituation erleich-

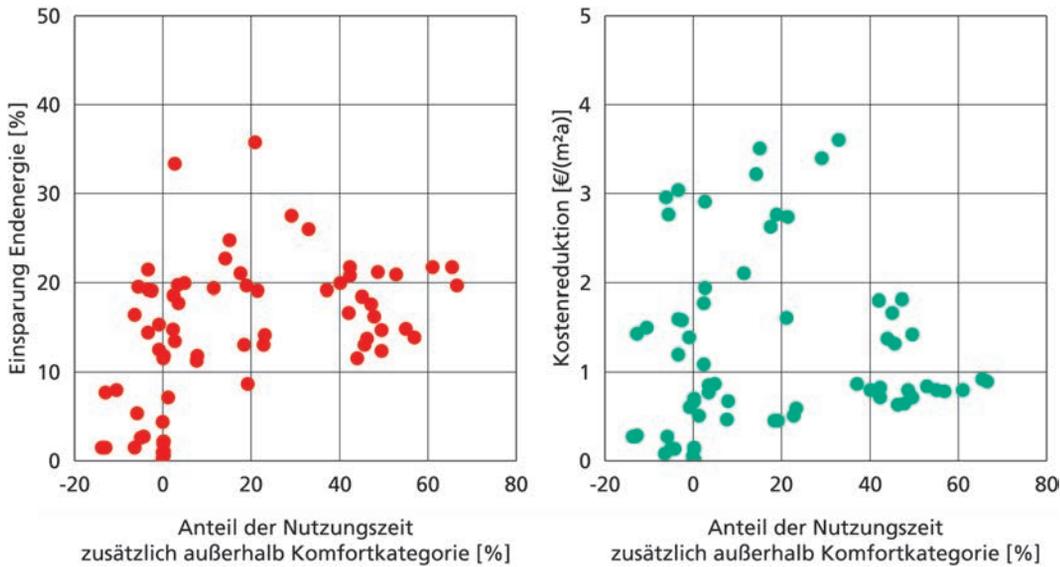


Bild 5. Prozentuale Erhöhung des Anteils der Nutzungszeiten außerhalb der zulässigen Komfortkategorie bezogen auf die Referenzregelung. Die negativen Werte auf den linken Seiten der X-Achsen entsprechen somit einer Verbesserung des thermischen Raumklimas. Links dargestellt in Abhängigkeit von der prozentualen Endenergieeinsparung, rechts vom spezifischen Energiekostenreduktionspotenzial.

Fig. 5. Relative increase in the proportion of occupied times outside the permissible comfort category in relation to the reference control. The negative values on the left sides of the X-axes represent an improved thermal comfort. On the left the change in comfort depends on the relative final energy saving potentials, on the right it depends on the specific energy cost reduction potentials.

tern und ermöglicht die einfache Abschätzung gegenüber den erforderlichen Investitionskosten, die üblicherweise auch wohnungsweise anfallen. Die geringsten Einsparpotenziale mit maximal 76 € pro Jahr zeigt hier die NeubaugW mit ihrem geringen spezifischen Wärmebedarf und der kleineren Wohnfläche, während beim unsanierten EFH mit seinem hohen Bedarf und der größeren Flächen bis zu 505 € pro Jahr eingespart werden können.

2.2 Thermischer Komfort

Wenn die Raumlufttemperaturen in einer Wohneinheit abgesenkt bzw. stärker abgesenkt werden als bei der jeweiligen Referenz, kann es dazu kommen, dass, je nach Heizkörperkapazität und gewählter Aufheizzeit, der jeweilige Raum bei Nutzungsbeginn seine Solltemperatur noch nicht vollständig erreicht hat. Zeitweise unkomfortable tiefe Raumlufttemperaturen während der Nutzung sind die Konsequenz. Zur Bewertung des thermischen Raumklimas wird das Predicted Mean Vote (PMV) [18] berechnet. Der PMV schätzt auf einer Skala von -3 bis +3 ab, ob ein durchschnittlicher Nutzer – unter Berücksichtigung von Aktivität und Kleidung – das thermische Raumklima als neutral (0), zu warm (+) oder als zu kalt (-) empfindet. Dieser Indikator wird dahingehend ausgewertet, wie häufig die Räume der Wohneinheit in den entsprechenden Komfort-Kategorien liegen (akzeptabel/nicht-akzeptabel). Diese Gesamtbewertung der thermischen Bedingungen des Innenraumklimas erfolgt auf Basis der empfohlenen Bewertung nach DIN EN 15251 [19]. Der prozentuale Anteil der Zeit, in welcher der PMV-Index innerhalb Kategorien I, II oder III liegt, wird berechnet und über alle bewerteten Räume zusammengefasst. Kategorie I beschreibt ein hohes Maß an Erwartungen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Be-

dürfnissen aufhalten. Kategorie II ist der geforderte Standard im Bereich von Neubausituationen. Beide Kategorien können für die betrachteten Gebäude somit als optimal angesehen werden. Kategorie III beschreibt ein annehmbares, moderates Maß an Erwartungen und ist nur für Bestandsgebäude als Mindestanforderung empfohlen. Werte außerhalb dieser Maßvorgaben (Kategorie IV) sollten nur für einen begrenzten Teil des Jahres vorhanden sein und sind hier kritisch zu bewerten. Sowohl die Wohneinheit mit intelligentem Regler als auch die Referenz liegen nur einen gewissen Anteil der Nutzungszeit innerhalb der akzeptablen Komfort-Kategorien.

Zur Bewertung möglicher Komforteinschränkungen wird berechnet, wie weniger häufig die Raumtemperaturen bei den Wohnungen mit Smarthome-Systemen innerhalb der akzeptablen Kategorien sind als bei der jeweiligen Referenzvariante. In Bild 5 ist diese Differenz in Abhängigkeit von den erreichbaren Einsparpotenzialen dargestellt. Hier lässt sich erkennen, dass einige Varianten von Smarthome-Systemen ein höheres Komfortniveau aufweisen (negative Differenz) und parallel Einsparpotenziale realisieren. Dies liegt daran, dass bei der Referenz ein fester Zeitraum für die Nachtabsenkung/-abschaltung definiert ist. Dieser feste Heizbeginn um 6:00 Uhr ist für die Nutzungs- bzw. Aufheizzeiten einiger Szenarien zu spät. Zeitadaptive Smarthome-Systeme bieten hier Komfortvorteile, da sie in der Lage sind individuelle Aufstehzeiten besser zu berücksichtigen. Generell zeigt sich, dass es Systeme gibt, die ohne nennenswerte Komfortreduktionen Einsparpotenziale von bis zu 20 Prozent bzw. 3 €/m²a erschließen können, ggf. auch 30 Prozent, wenn zusätzliche Funktionalitäten (wie Rollladensteuerung, etc.) eingebunden werden. Die größten Kostenreduktionspotenziale von bis zu 3,6 €/m²a werden mit mittleren Komfortreduktionen bei 30 Prozent zusätzlicher Nutzungszeit erreicht.

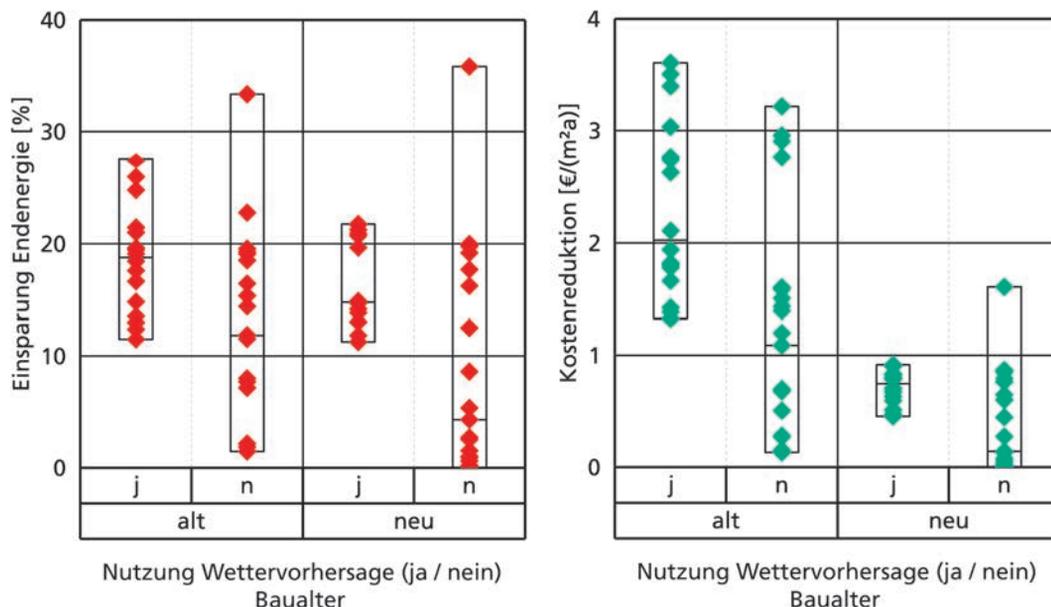


Bild 6. Prozentuale Einsparpotenziale beim Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (links) und spezifisches Energiekostenreduktionspotenzial (rechts), in Abhängigkeit vom Baualter und der Einbindung einer Wettervorhersage in das System.

Fig. 6. Relative potential savings in final energy consumption for heating and domestic hot water (left) and area-related, annual energy cost reduction potentials (right), depending on the construction's age and whether or not a weather forecast is integrated into the system.

Allerdings zeigt sich ebenso, dass manche Regler-Wohneinheit-Kombinationen zwar hohe Komfortreduktionen um bis zu 70 Prozent, aber nur geringe Einsparpotenziale (10 Prozent bzw. 1 €/m²a) erschließen. Generell ist festzuhalten, dass der Gesamtnutzen intelligenter Heizungsregelsysteme sehr stark von der Nutzung der Wohneinheit, von der Heizkörpergröße und dem Baustandard abhängt.

Die Fragestellung der instationären Bewertung der Behaglichkeit, vor allem dann, wenn der Nutzer den Wohnraum aus einem kalten winterlichen Außenklima kommend betritt, ist allerdings wissenschaftlich noch nicht geklärt. Eine aktuelle Studie lässt vermuten, dass hier vom Nutzer bis zu einer Stunde lang eine niedrigere Raumlufttemperatur eher akzeptiert wird als über einen längeren Zeitraum [20]. Dies könnte darauf hinweisen, dass die alleinige Betrachtung des PMV den thermischen Komfort für dieses Szenario zu streng in Hinblick auf eine potenzielle Unterkühlung bewertet.

2.3 Bewertung einzelner Funktionalitäten

In Bild 6 sind die Einsparpotenziale, getrennt nach Baualter, unter zusätzlicher Berücksichtigung von einer Wettervorhersage in der intelligenten Regelung dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass der Bereich der Einsparpotenziale tendenziell etwas höher ausfällt als bei Systemen ohne Wettervorhersage. Die einzelnen Varianten, bei denen sich ohne Wettervorhersage höhere Potenziale zeigen, integrieren sowohl eine automatische Rollladensteuerung als auch eine Abschaltung bei Fensterlüftung.

Zur Modellierung der Wettervorhersage werden die Daten eines kommerziellen Vorhersagedienstes mit der realen Witterung verglichen und ein statistisches Modell der typischen Vorhersageabweichungen ermittelt (Bild 7, links). Diese Abweichungscharakteristik wird zur Simula-

tion einer Wettervorhersage auf den verwendeten Klimadatensatz aufgeprägt. So können die real auftretenden Abweichungen zwischen Vorhersage und Realität in den Studien berücksichtigt werden. Diese realen und nachgebildeten Abweichungen bei der Wettervorhersage sind in Bild 7 beispielhaft für die solare Globalstrahlung dargestellt. Die links aus Bild 7 resultierende bzw. rechts zu Grunde liegende mathematische Modellfunktion entspricht Gleichung (1). Die zufällige Komponente des Vorhersagefehlers wurde unter Verwendung eines Zufallszahlengenerators mit der Charakteristik des Standard-Prognosefehlers realisiert.

$$e_{I_{\text{glob, err}}} = A - B \cdot C \frac{I_{\text{glob, mess}}}{I_{\text{glob, mess}}} \quad (1)$$

- $e_{I_{\text{glob, err}}}$: Modellierter relativer Fehler der Globalstrahlungsvorhersage [%]
 $I_{\text{glob, mess}}$: Gemessene Globalstrahlung des zugrunde gelegten Datensatzes [W/m²]
 A; B; C: Regressionskoeffizienten:
 A = 0,2481 [%]
 B = 2,9276 [%]
 C = 0,9851 [-]

In Bild 8 sind die Einsparpotenziale, getrennt nach Baualter, für die zusätzliche Nutzung einer automatischen Rollladensteuerung und einer Heizungsabschaltung bei Fensterlüftung dargestellt. Hier werden in der Heizperiode alle Rollläden der jeweiligen Wohneinheit geschlossen, wenn in den vergangenen 10 Minuten keine Solarstrahlung vorgelegen hat. Wie auch bei der Nutzung einer Wettervorhersage kann man eine Tendenz erkennen, nach der die Integration der oben genannten beiden Funktionalitäten zu im Mittel höheren Einsparpotenzialen führt.

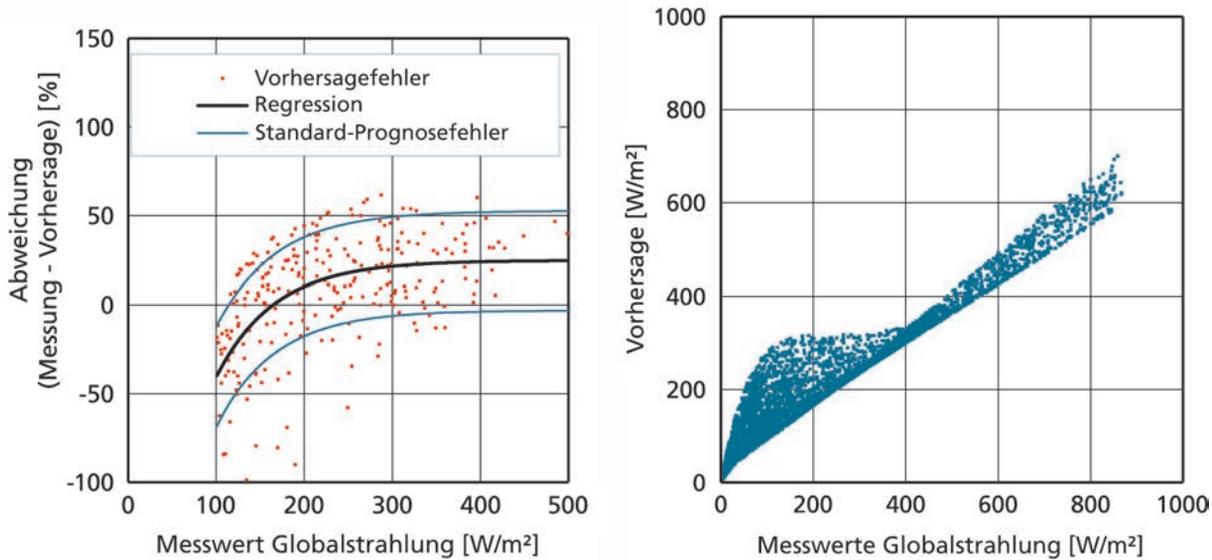


Bild 7. Messung und Vorhersage der Globalstrahlungsdaten:
 Links: Darstellung des relativen Fehlers zwischen gemessener und vorhergesagter Globalstrahlung (rote Punkte), aufgetragen gegen die gemessene Globalstrahlung auf der Abszisse. Es sind nur Wertepaare oberhalb einer gemessenen Globalstrahlungsintensität von 100 W/m² dargestellt. Die mittlere schwarze Linie entspricht der exponentiellen Regression dieser Datenmenge nach Gleichung (1), die blauen Linien ihrem Prognosefehler.
 Rechts: Vergleich der mit Gleichung (1) nachgebildeten Wettervorhersage mit den realen Messwerten.

Fig. 7. Measurement and prediction of global solar radiation data:
 Left: Representation of the relative deviation between measured and predicted global radiation values (red points), plotted against the measured global radiation on the abscissa. Only data with a measured global radiation above an intensity of 100 W/m² are shown. The middle black line corresponds to the exponential regression function developed from these data according to equation (1), the blue lines indicate the function's forecast error.
 Right: Comparison of the weather forecast simulated with equation (1) with the measured values.

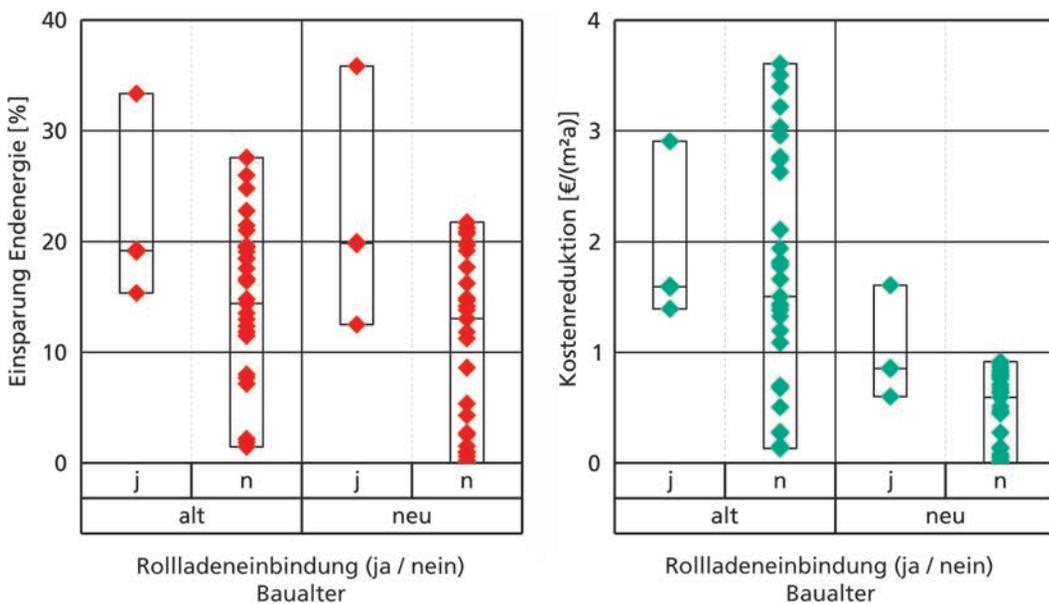


Bild 8. Prozentuale Einsparpotenziale beim Endenergiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser (links) und spezifisches Energiekostenreduktionspotenzial (rechts) in Abhängigkeit vom Baualter und Einbindung von automatisch gesteuerten Rollläden und einer Heizungsabschaltung bei Fensterlüftung in ein Smarthome-System.
 Fig. 8. Relative potential savings in final energy consumption for heating and domestic hot water (left) and area-related, annual energy cost reduction potentials (right) depending on the construction's age and whether automatically controlled roller shutters and a heating switch-off for window ventilation are integrated into the smart home system or not.

3 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden fünf vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP durchgeführte Untersuchungen

zu möglichen Einsparpotenzialen durch intelligente Heizungsregelungen und entsprechenden Smarthome-Systemen anonymisiert ausgewertet. Diese Studien untersuchen die erschließbaren Potenziale bezüglich der Endenergie-

einsparung für Heizung und Trinkwarmwasser für Einfamilienhäuser und Geschosswohnungen, für Neubauten, unsanierte Bestandsbauten und für unterschiedliche Haushaltsgößen am Beispiel einer Radiatorheizung und einem Gasbrennwertkessel. Einige der betrachteten Systeme verfügen zusätzlich über Einbindungen von Wettervorhersagen, automatischen Rollladensteuerungen oder Heizkörperabschaltungen bei Fensterlüftung.

Die Bewertung des thermischen Raumklimas zeigt, dass es Systeme gibt, die diese Einsparungen mit nur geringen Einschränkungen beim thermischen Komfort erreichen können, teilweise treten sogar leichte Verbesserungen des thermischen Komforts durch die Adaption des Endes der Nachtabsenkung auf. Andererseits zeigen sich bei manchen Varianten kaum Einsparpotenziale und trotzdem deutliche Verschlechterungen des thermischen Raumklimas. Generell ist die Auslegung der Heizkörper hier von großer Bedeutung, da das häufige Absenken und Wiederaufheizen – teilweise auch einzelner Räume – zeitweise größere Wärmeabgaben an die Räume erfordert. Hieraus folgt, dass ein derartiger instationärer Heizbetrieb für Wohneinheiten mit eher klein ausgelegten Heizkörpern nicht ohne Einschränkungen empfohlen werden kann.

Die untersuchten Systeme zeigen typische mittlere Einsparpotenziale zwischen 8 und 19% Endenergie für Heizung und Trinkwarmwasser bzw. Energiekosteneinsparpotenziale zwischen 0,3 und 2,6 €/m²a. Im Einzelfall erzielbare höhere Einsparungen hängen stark von der Anzahl bzw. den Anwesenheitszeiten der Personen im Haushalt und der energetischen Qualität und der Größe der Wohneinheit ab. Weitere Einsparpotenziale können durch die Kombinationen mehrerer zusätzlicher Funktionalitäten wie der Nutzung einer Wettervorhersage, automatischer Rollladensteuerung und Heizungsabschaltung bei Fensterlüftung erschlossen werden.

Eine zentrale Schwierigkeit bei der Bewertung derartiger Systeme ist der stark eingeschränkte Wissensstand bezüglich der Komfortbewertung unter instationären Bedingungen. Hier sind weitere Forschungsarbeiten nötig, um zuverlässigere Aussagen in Hinblick auf die Komfortwartungen der Nutzer treffen zu können.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Kersken, M., Sinnesbichler, H.: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP: Simulationsstudie zum Energieeinsparpotential einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose. IBP-Mitteilung 527: 2013
- [2] RWE AG: RWE Energiekaufhaus – SmartHome. URL <https://www.rwe.de/web/cms/de/1165170/privatkunden/technik/rwe-smarthome/>. Stand 03.07.2018
- [3] alphaEOS AG: alphaEOS | Ein Zuhause, das mitdenkt. URL <http://www.alphaeos.com/>. Stand 03.07.2018
- [4] Gertis, K., Hauser, G.: Energieeinsparung durch instationäres Heizen in Wohnungen. In: HLH (1975), vol. 26, p. 177ff.
- [5] Mailach, B., Oschatz, B.: Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden: Kurzstudie Energieeinsparungen Digitale Heizung. 2017
- [6] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 811/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013.
- [7] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission vom 2. August 2013.
- [8] EnEV – Energieeinsparverordnung – Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Stand der Zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013 (BGBl. I S. 3951).
- [9] DIN EN 13203-2:2015-08: Gasbeheizte Geräte für die sanitäre Warmwasserbereitung für den Hausgebrauch – Teil 2: Bewertung des Energieverbrauchs; Deutsche Fassung EN 13203-2:2015.
- [10] DIN V 18599:2016-10: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1 bis Teil 10.
- [11] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, 7. April 2015.
- [12] Statistisches Bundesamt; Statistisches Bundesamt: Kompass Zeitbudgeterhebung (ZBE) 2001/02 ~ Compass 2001/02 Time Use Survey (TUS): Veröffentlichungen und Links einschl. Datensätze und Forschungseinrichtungen / Links and Prints incl. Data Files and Research Facilities
- [13] DIN EN 12832 Beiblatt 1:2008-07:Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Nationaler Anhang NA.
- [14] Christoffer, J., Deutschländer, T., Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Offenbach: Deutsche Wetterdienst (DWD), 2004.
- [15] Meteotest AG: Meteororm. URL <http://www.meteororm.com>. Stand 2014
- [16] Sinnesbichler, H., Heusler, I.: Zwillingsforschung in der Bauphysik. In: HLH (2015),.
- [17] Bayerisches Landesamt für Statistik: Zensusdatenbank Zensus 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder: Gebäude nach Baujahr (Mikrozensus-Klassen) für Bayern (Bundesland). URL https://ergebnisse.zensus2011.de/#dynTable:statUnit=GEBAEUDE;absRel=ANZAHL;ags=09;agsAxis=X;yAxis=BAUJAHR_MZ. Stand 28.06.2016
- [18] DIN EN ISO 7730:2006-05: Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005).
- [19] DIN EN 15251:2012-12: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik;Deutsche Fassung EN 15251:2007.
- [20] Seifert, J., Oschatz, P., Buchheim, A. et al.: TU Dresden / ITG: Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephyologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme. 2016

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Matthias Kersken, matthias.kersken@ibp.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler, herbert.sinnesbichler@ibp.fraunhofer.de
 Dipl.-Ing. Hans Erhorn, hans.erhorn@ibp-extern.fraunhofer.de

Alle:

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
 Fraunhoferstraße 10
 83626 Valley/Oberlindern



Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Stuttgart

Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

Holzkirchen

Postfach 11 52 – 83601 Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

www.ibp.fraunhofer.de