

Grundtemperierung eines Altbaus

Thermische Aktivierung der Gebäudehülle

Innerhalb des Forschungsprojekts »EffTecSo-modIn« werden modulare Instandsetzungsverfahren erforscht, die effiziente Technologien sozial verträglich realisierbar machen sollen, einfach betrieben werden können und Primärenergie einsparen. Teil des Forschungsprojekts ist die in diesem Beitrag vorgestellte Untersuchung. Dabei wird die Außenhülle des Altbaus mit dicken Außenwänden thermisch aktiviert. Als wichtiger Untersuchungspunkt erweist sich die Energiemengenmessung.

Zur Erreichung der klimapolitischen Ziele bezüglich der CO₂-Emissionen wird in Deutschland ein besonderes Augenmerk auf den Gebäudebestand und dessen energieeffizienzsteigernde Modernisierung gerichtet. Dazu wird im Rahmen des Forschungsprojekts »EffTecSo-modIn« an modularen Instandsetzungsverfahren geforscht, welche effiziente Technologien sozial verträglich realisierbar machen sollen, »einfach« betrieben werden können und Primärenergie einsparen.

Bei dem Vorhabenprojekt wird die Umsetzbarkeit und die Effizienz einer thermischen Aktivierung der Außenhülle in Gebäuden mit dicken Außenwänden (>38 cm) untersucht, welche vermehrt in den Jahren um 1900 bis ca. 1934 errichtet wurden. Gerade bei Bestandsgebäuden mit erhaltenswürdiger Fassade ist es schwierig, den Primärenergiebedarf zu senken. Das liegt zum einen daran, dass ein Wärmedämmverbundsystem auf der Fassade oft nicht möglich ist, da sich das sehr nachteilig auf das Erscheinungsbild auswirken würde und oft auch aus Gründen des Denkmalschutzes nicht gestattet ist. Zum anderen sind erneuerbare Energien hier oft schwer zu integrieren. Wärmepumpen beispielsweise sollten für eine möglichst effiziente Betriebsweise dem Wärmeübergabesystem geringe Vorlauftemperaturen liefern und sind damit beim Einsatz klassischer Heizkörper ungeeignet. Es bleibt dann bei solchen Gebäuden oft nur der Austausch der Fenster mit energiesparender Mehrfachverglasung. Die dichteren Fenster können allerdings auch bewirken, dass nicht abgeführter Wasserdampf an den kalten Wandflächen kondensiert, wenn der Taupunkt unterschritten wird.

In dem Projekt werden unterschiedliche Ausführungsvariationen, Methoden und Verfahren entwickelt und evaluiert.

Dazu werden Strömungssimulationen durchgeführt, welche die Wärmeabgabe der Außenwand genauer untersuchen, und energetische Gebäudesimulationen, die das gesamte Jahr und das gesamte Gebäude betrachten. Der Forschungsgegenstand ist ein Wohnquartier der Postbaugenossenschaft München und Oberbayern eG. Abb. 1 zeigt die Außenfassade des untersuchten Gebäudekomplexes.

Für die durchzuführenden Messungen wurde ein Real-labor in dem Wohngebäudekomplex eingerichtet. Dazu wurde das System in einem Raum einer Versuchswohnung umgesetzt (Abb. 2), wodurch die tatsächlichen Endenergieeinsparungen gemessen und Auswirkungen auf die Behaglichkeit beurteilt werden können. Die Messwerte werden mit einem konventionell beheizten Raum verglichen.

Die bauphysikalische Realisierbarkeit und die soziale Verträglichkeit sind weitere wichtige Untersuchungspunkte. Bei einer Modernisierung nach dem Konzept einer Außenwandtemperierung werden die Wohnungen einzeln präpariert. Dazu werden die Außenwände geschlitzt, Heizleitungen mit entsprechenden Vorrichtungen verlegt und anschließend nach Dichtheitsprüfung wieder verputzt. Der Bauschutt wird über eine Schuttrutsche durch das Fenster entsorgt. Auf Lötverbindungen in der Wand wird verzichtet, weshalb Kunststoffrohre verwendet werden. Eine Dämmschicht direkt hinter den Leitungen soll den zusätzlichen Wärmestrom in Richtung der Außenluft reduzieren. Die Zuleitungen werden bei einer kompletten Modernisierung der Wohnung im Fußboden integriert. Wenn der Fußboden erhalten bleibt, werden die Zuleitungen im Fußleistenbereich untergebracht.

Motivation der Idee sind unter anderem die immer stärker variierenden Nutzerprofile innerhalb eines Wohngebäudes, welche mit dem demografischen Wandel einhergehen. Längere Abwesenheiten eines Bewohners, und damit ein Auskühlen der Wohnung, kann zu Schäden im Gebäude sowie zu einem erhöhten Heizaufwand und damit auch zu höheren Heizkosten bei anderen Mietern führen, welche die Transmissionswärmeverluste zu den Nachbarwohnungen ausgleichen müssen. Somit spielt die soziale Komponente dieses Heizsystems ebenfalls eine Rolle, da die Außenwandaktivierung eine Grundtemperierung des gesamten Gebäudes ermöglichen soll.

KERNAUSSAGEN

- Anpassung des Heizsystems in Altbauten an sich ändernde Klimaverhältnisse
- Gebäudehülle wirkt als Wärmeübergabesystem auf niedrigem Temperaturniveau
- Steigerung der Kompatibilität von Altbauten mit erneuerbaren Energien



Abb. 1: Außenfassade Gebäudekomplex

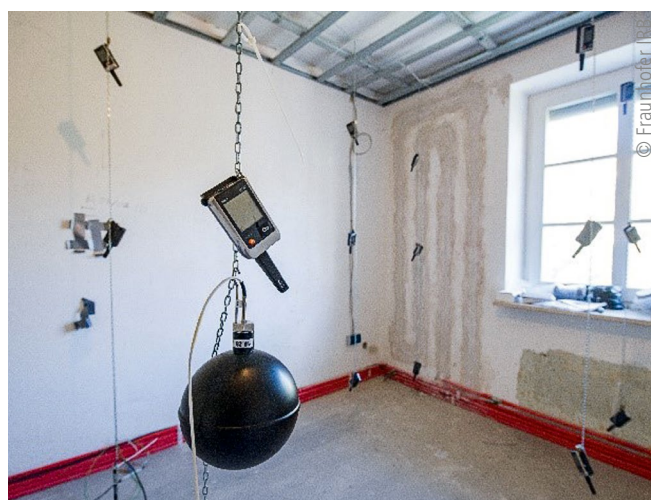


Abb. 2: Versuchsraum des Reallabors

Exkurs demografischer Wandel

Im zweiten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts setzt sich der weltweite demografische Wandel fort. Je nach Ausmaß der Nettozuwanderung würde die Bevölkerungszahl in Deutschland bis 2060 deutlich zurückgehen. Die Prognose setzt eine geringere Geburtenziffer von 1,4 Kindern pro Frau, eine erhöhte durchschnittliche Lebenserwartung bis 2060 (auf 84,8 Jahre bei Männern und 88,8 Jahre bei Frauen) und eine langfristige Nettozuwanderung von 100 000 (geringere Zuwanderung) bzw. 200 000 (höhere Zuwanderung) voraus. Treten die Annahmen ein, schrumpft die Bevölkerungszahl je nach Ausmaß der Nettozuwanderung bei schwächerer Zuwanderung auf rund 67,6 Millionen und bei stärkerer Zuwanderung auf rund 73,1 Millionen Menschen. Das würde einen Rückgang um 14 bzw. 8 Millionen Menschen gegenüber der Bevölkerungszahl des Jahres 2014 mit 81,2 Millionen bedeuten. Die Geburtenrate, Sterblichkeitsrate sowie die Wanderungstrends sind unter anderen Faktoren jene, die signifikante Veränderungen in der Altersstruktur der Bevölkerung verursachen, und sind somit entscheidend für die zukünftige Bevölkerungsentwicklung. Heute sind besonders die immer geringer werdenden Zahlen jüngerer Altersgruppen und die stark besetzten »Babyboomer«-Generationen (Geburtsjahrgänge Ende der 1950er- bis Beginn der 1970er-Jahre) auffällig. In den nächsten Jahrzehnten wird sich der Trend fortsetzen und der Alterungsprozess der Bevölkerung wird sich in Deutschland verstärken. Die Bevölkerung sortiert sich auch innerhalb Deutschlands um. In einigen Regionen und Städten wächst die Zahl der Einwohner, in anderen sinkt sie. So lässt sich ein »verändertes Wanderungsmuster« feststellen, welches als »Schwarmverhalten« bezeichnet wird und soll durch ein Maß beschrieben werden, dessen Kern eine Kohortenanalyse ist. Die kumulierte Kohortenwachstumsrate stellt somit einen

Entwicklungswert dar, welcher aussagt, wie hoch die Veränderung der Einwohnerzahl an einem definierten Ort, in einer definierten Altersklasse nach einer Bezugsgröße von fünf Jahren, ist. Ein hohes Kohortenwachstum kann sich aus unterschiedlichen Wanderungsarten zusammensetzen.

Die im August 2017 veröffentlichte Folgestudie von Empirica zeigt in Bezug auf die Schwarmstädte, dass vor allem die Abwanderung junger Menschen bereichsübergreifend eine Herausforderung darstellt. Weiterhin übersteigt die Anzahl der Geburten die Anzahl der Sterbefälle. In der Konsequenz vereinsamen Landregionen und die vorhandene Kultur stirbt aus. Demgegenüber stehen Schwarmstädte, die Schwierigkeiten haben, die wachstumsbedingten Auswirkungen zu kompensieren. Vorhandene Auswirkungen, wie steigende Mieten durch Wohnungsknappheit oder die Frage nach verfügbaren Grundstücken für erforderlichen Wohnungsbau, sind die direkte Folge der Überfüllung der Städte.

Klimaerwärmung

Die aktuellen langfristigen Wetterprognosen, wie die Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdiensts (DWD), zeigen auf, dass die Sommer wärmer und die Winter milder werden. Somit rücken Kühlkonzepte immer weiter in den Vordergrund und ein angemessenes »Downsizing« der Heizungsanlage ist vertretbar. Bei der Energiebereitstellung mittels einer Wärmepumpe ist auch die Kühlung der Gebäudehülle im Sommer realisierbar.

Abb. 3 zeigt die deutliche Anhebung der Jahresdauerlinie des TRY 2045 um etwa 2,6K im Vergleich zum TRY 2015, wodurch sich die durchschnittliche Anzahl von Stunden reduziert, in denen die Lufttemperatur unter -5°C liegt. Von den 8760 Stunden eines Jahres fällt die Temperatur für rund 174 Stunden unter -5°C (DWD 2017). Für das prognostizierte TRY 2045, welches als Referenz für den Zeitraum 2030 bis 2060 gilt, sind es sogar nur 36 Stunden. Das Vorhabenprojekt setzt genau an diesem Punkt an. Mit der Temperierung der Außenwand kann ein Wohnhaus zu 98 Prozent (Tendenz steigend) der Jahresstunden bei niedrigen Vorlauftemperaturen mit Wärme versorgt werden und in den kälteren Stunden eine zusätzliche Heizung unterstützen.

Tab. 1: Wanderungsarten

Ausbildungswanderung	10 bis < 20 Jahre
Berufsanfängerwanderung	20 bis < 30 Jahre
Settlementwanderung	30 bis < 40 Jahre
Mittelalterwanderung	40 bis < 50 Jahre
Altenwanderung	50 bis < 70 Jahre

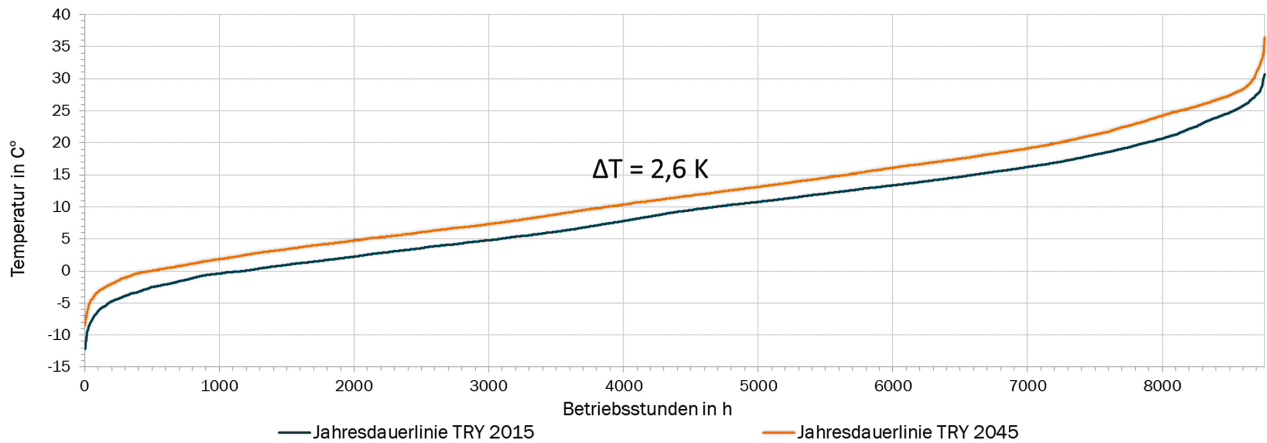


Abb. 3: Jahresdauerlinien der Testreferenzjahre (TRY)

Die Grundtemperierung soll eine einheitliche Mindesttemperatur der Außenhülle gewährleisten. Dadurch wird der Strahlungsanteil zur Deckung des menschlichen Wärmebedarfs im Raum erhöht und die Raumlufttemperatur kann gesenkt werden, wodurch folglich auch der Endenergiebedarf gesenkt werden soll. Die Außenluft berührenden Bauteile weisen in der Regel die geringsten Oberflächentemperaturen auf (Außenwand, Fenster). Die Temperierung der Außenwand hat dadurch einen merkbaren Einfluss auf die Behaglichkeit, vor allem in den Randzonen. Die Behaglichkeit wird mittels Messungen und Testpersonen in der Versuchswohnung beurteilt. Abb. 4 zeigt die Simulation der Außenwand mit den integrierten Heizleitungen.

Durch die Grundtemperierung über die Gebäudehülle wird die bauliche Substanz, unabhängig vom Lüftungsverhalten des Mieters, geschützt. Die höheren Oberflächentemperaturen auf der Innenseite der Außenwände bieten dem Wasserdampf keine Möglichkeit zur Kondensation (Taupunktunterschreitungen an der Wand bleiben aus). Ob zusätzliches Heizen, tatsächlich notwendig ist, um die individuelle thermische Behaglichkeit der einzelnen Mieter zu gewährleisten, sollen die Messungen in der Versuchswohnung zeigen.

Thermografie-Untersuchungen

Thermografie-Aufnahmen sollen die Wärmeverteilung in der Außenwand, sowohl von außen als auch von innen, zeigen. In Abb. 5 ist die erhöhte Oberflächentemperatur im Brüstungsbereich des linken oberen Fensters und die erhöhte Oberflächentemperatur um das rechte obere Fenster auffällig (der Bereich der integrierten Heizleitungen). Die Transmissionswärmeverluste eines Raums mit einem klassisch an der Außenwand montierten Heizkörper scheinen höher zu sein als angenommen.

Ursache dafür ist der hohe Temperaturgradient im Brüstungsbereich, in welchem der Heizkörper montiert ist. Bei einer standardisierten Berechnung der Heizlast wird von einer homogenen Raumlufttemperatur von 20 °C ausgegangen. Die Realität zeigt jedoch eine weitaus höhere Oberflächentemperatur an der Innenseite der Außenwand hinter dem Heizkörper, was lokal zu hohen Transmissionswärmeverlusten führt. Die Temperatur der innenseitigen Oberfläche der Außenwand außerhalb des Heizkörperbereichs zeigt hingegen eine sehr geringe Temperatur (Abb. 6).

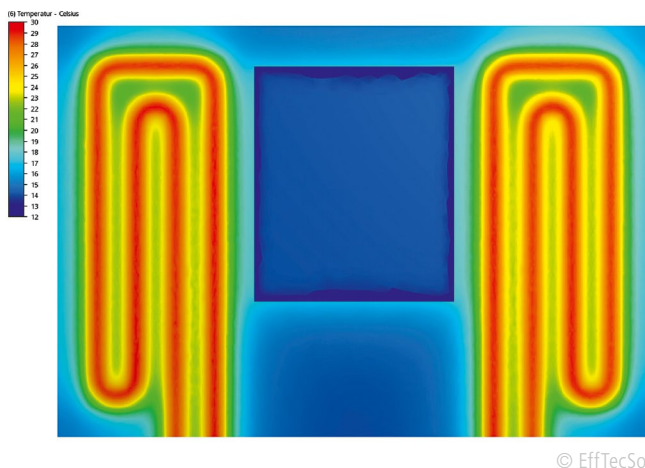


Abb. 4: Simulation der Außenwand (links), Thermografie der Außenwand (rechts)

Messungen

Bx1	Max	10,8 °C
	Min	10,0 °C
	Average	10,3 °C
Bx2	Max	11,1 °C
	Min	9,9 °C
	Average	10,4 °C
Bx3	Max	10,0 °C
	Min	9,3 °C
	Average	9,6 °C
Bx4	Max	10,1 °C
	Min	9,3 °C
	Average	9,7 °C
Sp1		10,6 °C
Sp2		10,1 °C
Parameter		
Emissionsgrad		0,95

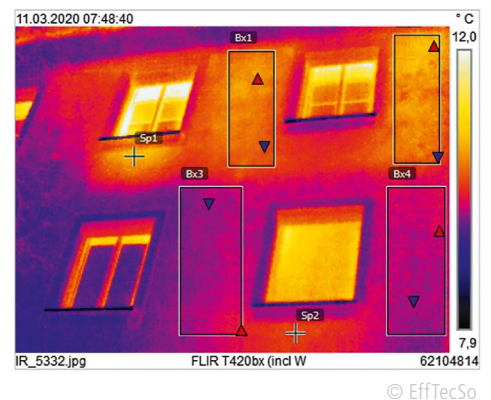


Abb. 5: Thermografie-Aufnahme Außenfassade

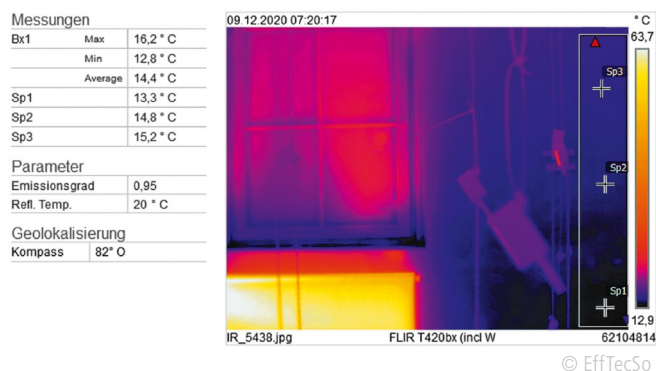


Abb. 6: Thermografie Außenwand (Heizkörper)



Abb. 7: Thermografie Außenwand (Heizleitungen)

Temperaturmessungen und Energiemengenerfassung

Die Verläufe einiger Oberflächentempersensoren im Dezember 2020 sind in Abb. 9 dargestellt. Die Messpunkte, mit denen die Temperaturverteilung an definierten Stellen mit Messwerten konkretisiert werden sollen, sind in Tab. 2 definiert und anhand der Skizze (Abb. 8) zu erkennen:

Tab. 2: Positionen Oberflächentempersensoren

M04/01	Wohnzimmer (Außenwandtemperierung), Innenseite Außenwand zwischen zwei Heizleitungen
M04/02	Wohnzimmer (Außenwandtemperierung), Innenseite Außenwand auf Heizleitung
M04/03	Wohnzimmer (Außenwandtemperierung), Innenwand zur Nachbarwohnung
M04/04	Schlafzimmer (Heizkörper), Innenseite Außenwand mittig

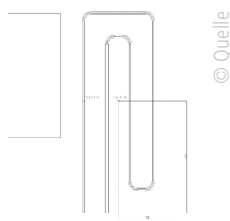


Abb. 8: Skizze Wandsensoren Wohnzimmer

Der Messpunkt an der Außenwand im Wohnzimmer M04/02, unter welchem eine Heizleitung verläuft, zeigt mit etwa 26 °C die höchsten Temperaturen. Zwischen zwei Heizleitungen (M04/01) beträgt die Temperatur an der raumseitigen Oberfläche im Messzeitraum 20 °C bis 21 °C. Am Messpunkt an der Innenwand zur Nachbarwohnung liegt die Temperatur leicht über 19 °C. Die Temperaturen am Messpunkt an der Außenwand im Schlafzimmer liegen unterhalb von 17 °C.

Abb. 10 zeigt die Raumlufttemperaturverläufe eines Ausschnitts der Heizperiode 2019/20. Die durchschnittliche Raumtemperatur liegt im März im Wohnzimmer bei 20,36 °C und die durchschnittliche Raumtemperatur im Schlafzimmer, dem Raum mit konventionellem Heizkörper, bei 21,39 °C. Es liegt also in etwa eine Temperaturdifferenz von 1 K vor, wodurch Wärme durch die Zwischenwand in den Nachbarraum transmittiert wird. Die Abbildung zeigt außerdem den Einfluss der Inbetriebnahme der thermischen Außenwandaktivierung. Am 6. März 2020 erfolgte eine Korrektur in der Regelung, sodass das System mit einer außenlufttemperaturgeführten Vorlauftemperatur betrieben wird, davor betrug die Vorlauftemperatur konstant ca. 20 °C, was in dem Verlauf der Vorlauftemperaturen zu sehen ist (Abb. 11). Ab dem 6. März 2020 gleichen sich die Temperaturen der beiden Räume an. Ehe die Außenwand komplett durchwärmt ist, und somit Auswirkungen auf die

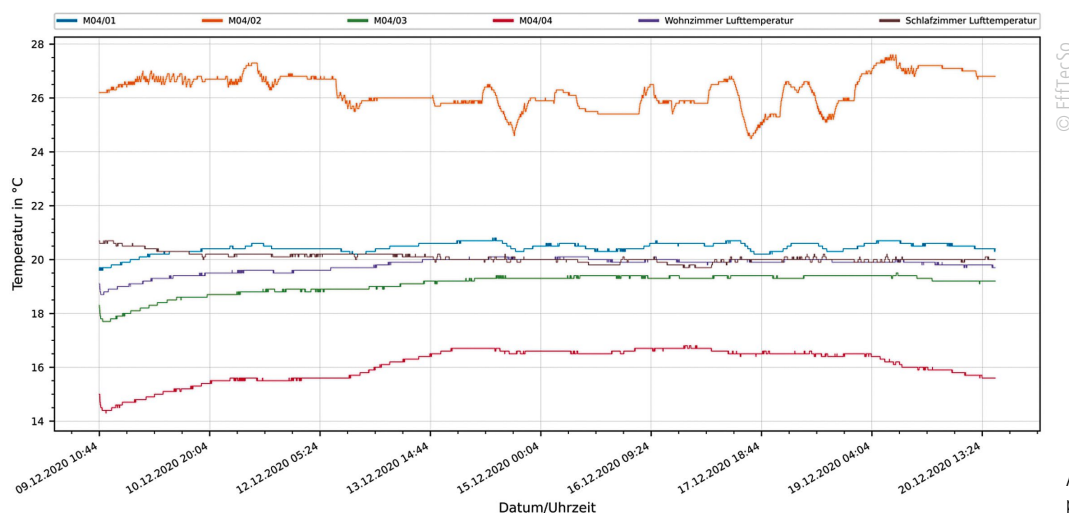
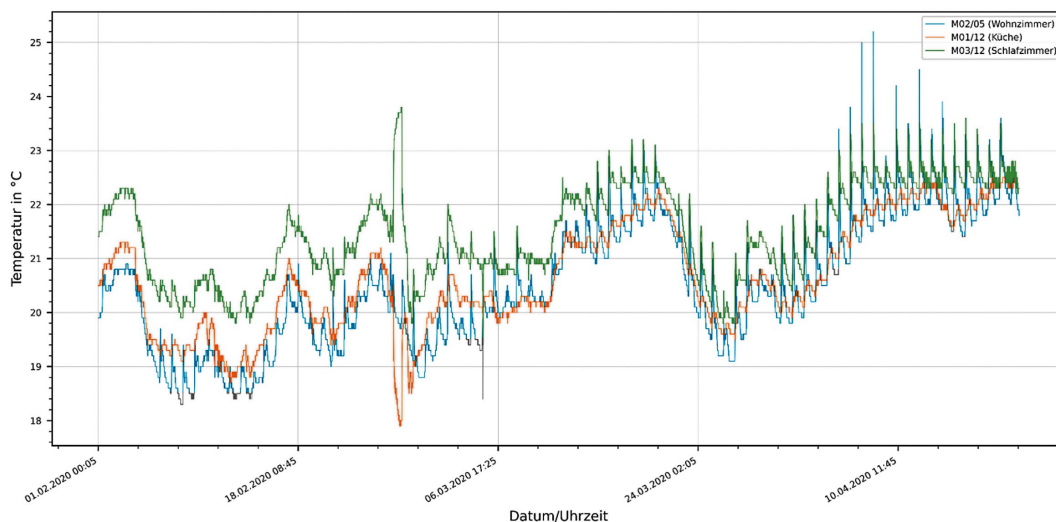


Abb. 9: Wandoberflächentemperaturen mit Lufttemperaturen



© EffTecSo

Abb. 10: Temperaturverläufe der Räume (raummittige Datenlogger)

Tab. 3: Ergebnistabelle Energiemengen im Monat März

		Wohnzimmer					Schlafzimmer		
		Zeitraum 06.03.2020 bis 31.03.2020	Gesamter Monat Hochrechnung	Gesamter Monat März	Gesamter Monat März	Gesamter Monat März	Zeitraum 06.03.2020 bis 31.03.2020	Gesamter Monat März	Gesamter Monat Hochrechnung
Wärmemenge	Einheit	Niedertemperatur (Wohnzimmer)	Niedertemperatur (Wohnzimmer)	Berechnete Wärmeabgabe der Rohre im Wohnzimmer	Theoretischer Energiebedarf basierend auf den Temperaturen	Niedertemperatur mit Wärmeabgabe der Rohre	Hochtemperatur (Schlafzimmer)	Theoretischer Energiebedarf basierend auf den Temperaturen	Hochtemperatur (Schlafzimmer)
Energiemenge	kWh	115,78	138,05	222,66	240,86	360,71	307,40	191,4	366,51
flächenspezifisch	kWh/m²	6,01	7,17	11,56	12,5	18,73	22,94	14,3	27,35

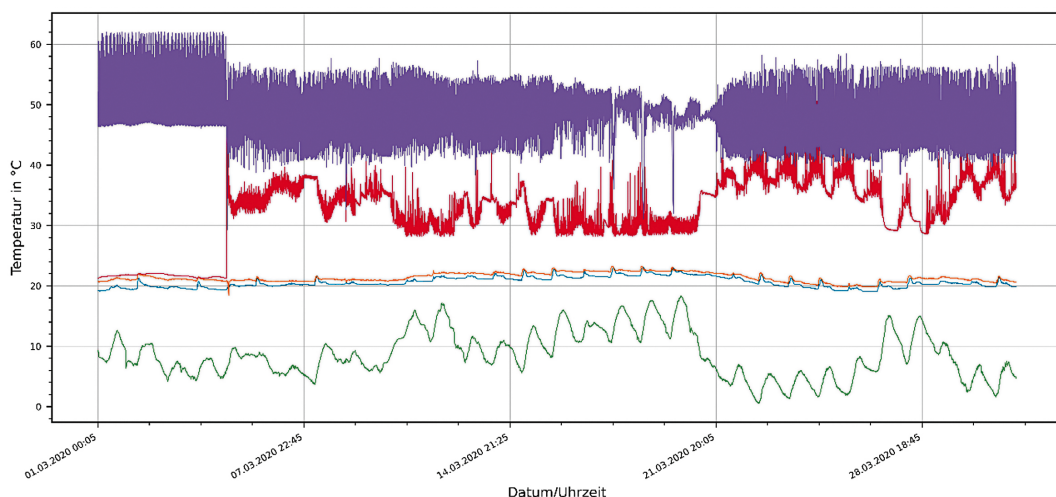
Raumlufthtemperatur hat, vergehen jedoch einige Tage, was die Trägheit des Heizsystems verdeutlicht.

Um den Energiebedarf zu ermitteln, werden die Vor- und Rücklauftemperaturen der beiden Heizkreise (Hoch- und Niedertemperatur) erfasst, dessen Verlauf im März Abb. 11 zeigt. Ebenfalls sind die Verläufe der Raumlufthtemperaturen der beiden Referenzräume und die Außenlufttemperatur dargestellt. Die Vorlauftemperatur des Niedertemperaturkreises für die thermische Außenwandaktivierung ist Außenlufttemperatur geführt, was die Verläufe verdeutlichen.

Für die Leistungs- und Energiemengenberechnung werden zusätzlich die Volumenströme erfasst. Abb. 12 zeigt die Leistungsverläufe der beiden Heizsysteme und die dazugehörige theoretische Heizlast zu den entsprechenden Temperaturverhältnissen als Referenz. Festzustellen ist, dass die Kurve der gemessenen Leistung der Außenwandaktivierung (blaue

Linie) unterhalb der theoretischen Heizlast (orange Linie) des Raums verläuft. Die Kurve der gemessenen Leistung des konventionellen Heizkörpers mit hohen Vorlauftemperaturen liegt über der theoretischen Heizlast. In der Zeit zwischen dem 12.03.2020 und dem 22.03.2020 bewirkte ein fehlerhafter Volumenstromsensor fehlende Messwerte zur Berechnung der Leistung. Für die Berechnung der theoretischen Heizlast bei entsprechenden Temperaturverhältnissen wird für die Außenwand ein U-Wert von $1,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und für die zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausgetauschten Fenster ein U-Wert von $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen.

Tab. 3 fasst die Ergebnisse zur Energiemengenberechnung zusammen. Da die Vor- und Rücklaufleitungen des Heizkörpers durch das Wohnzimmer führen, wird die Wärmeabgabe der Rohre berücksichtigt, welche nach EN ISO 12241 berechnet wurde. Dazu wurden die Vor- und Rücklauf-



© EffTecSo

Abb. 11: Verlauf Vorlauftemperaturen, Raumlufthtemperatur, Außenlufttemperatur

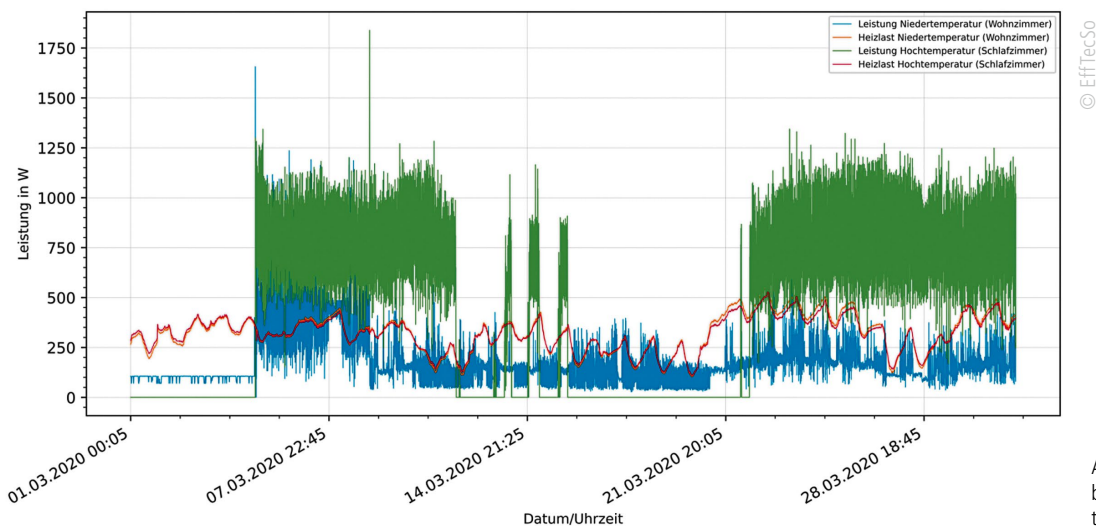


Abb. 12: Leistungslinien der beiden Heizsysteme und die theoretische Heizlast

temperaturen zeitlich gemittelt und dadurch ein konstanter Wärmestrom berechnet und angenommen.

Für den Monat März 2020 ergibt sich ein flächenspezifischer Energiebedarf von 18,73 kWh/m² bei der thermischen Aktivierung und 27,35 kWh/m² beim klassischen Heizkörper (Tab. 3). Diese hohe Diskrepanz hat vermutlich mehrere Ursachen: die Temperaturdifferenz der beiden Räume, die Undichtigkeit des alten Fensters mit zum Zeitpunkt der Messung ausgestemmtem Fensterbrett und die Wärmegewinne durch die Zuleitungen.

Fazit

Die thermografischen Untersuchungen zeigen, dass die Transmissionswärmeverluste eines Raums mit einem klassisch an der Außenwand montierten Heizkörper höher zu sein scheinen als angenommen. Jedoch ist auch eine mit Thermografie-Aufnahmen deutlich sichtbare Erhöhung der Fassadenaußentemperatur im Bereich der thermischen Aktivierung festzustellen, was einen erhöhten Transmissionswärmeverlust suggeriert. Daher ist ein wichtiger Untersuchungspunkt die Energiemengenmessung.

Durch die Temperierung der Außenwand lässt sich ein behagliches Raumklima realisieren. Bisherige Ergebnisse zeigen bei der Außenwandaktivierung einen geringeren Energiebedarf als beim konventionell beheizten Raum mit Heizkörper. Die im Versuchsraum mit thermischer Außenwandaktivierung benötigte flächenspezifische Energiemenge lag etwa 25 Prozent unter der im konventionell beheizten Raum benötigten Energiemenge. Auch die Temperaturwerte liegen im behaglichen Bereich.

Eine laufende soziologische Untersuchung des Vorhabens soll verdeutlichen, ob und wie ein solches System umgesetzt werden kann. Dabei werden Fragen zu den Bedürfnissen eines Mieters eruiert, wie beispielsweise die Möglichkeit zur Einflussnahme auf die Raumtemperatur. Da das Bohren in die Außenwand entfällt und Möbel, die große Flächen der Außenwand bedecken, ungeeignet sind, wird auch die Akzeptanz zu Möblierungseinschränkungen untersucht und aktuell ausgewertet.

Die Wände werden mit einer geringen Vorlauftemperatur beheizt, was für die Energieversorgung den Einsatz von Wärmepumpen und dadurch die Nutzung von Umwelt-

wärme begünstigt, beziehungsweise effizient realisieren lässt. Durch die thermische Aktivierung der Gebäudehülle könnte also ein System geschaffen werden, das ein modulares Instandsetzungsverfahren erlaubt, die Einbindung regenerativer Energieversorgung im Altbaubestand stärkt und die Behaglichkeit erhöht.

Bei einer thermisch aktivierten Gebäudehülle ergibt sich im Winter bei der Auslegungstemperatur eine Grundtemperierung der Raumluft von 17°C bis 20°C. Unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Außentemperaturen, kann in den Übergangszeiten und an den meisten Wintertagen bei Außentemperaturen von über -5°C die Heizlast durch die thermisch aktivierte Hülle gedeckt werden. Weiterführende Feldversuche sind in der Heizperiode 2021/2022 vorgesehen, um weitere Werte zu Endenergieverbräuchen zu erhalten.

Danksagung

Die Autorin bedankt sich für die Mitarbeit bei Klaus Probst, Angelika Lückert, Ruben Makris und Ömer Bircan.

DIE AUTORIN



Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek

2000 wurde Katja Biek an die Beuth Hochschule für Technik Berlin berufen und lehrt Heizungs- und Sanitärtechnik sowie Facility Management und Projektmanagement für Facility Manager. Sie ist Geschäftsführerin des 2009 gegründeten Instituts für Planung und Beratung BAnTec (Ausgründung aus einem FuE-Projekt). 1993 gründete sie das in Berlin ansässige »Büro Biek«.

Beuth Hochschule für Technik Berlin
Fachbereich IV – Architektur und Gebäudetechnik
Luxemburger Str. 9
13353 Berlin
biek@beuth-hochschule.de