

Ursachen für Rebound-Effekte bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden –

Welche Rolle spielt der Nutzer?

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



KOSMA

Michael Grafe, IWU Darmstadt
Bauphysiktag 2019 in Weimar, 26. September 2019

Aktuelle energetische Fragestellung und Begriffseinordnung

- BMBF gefördertes Forschungsvorhaben KOSMA zum Nutzerverhalten mit Fokus auf Heizen
Komponenten der Entstehung und Stabilität von Rebound-Effekten und Maßnahmen für deren Eindämmung;
kosma-projekt.de
- Rebound-Effekt: relative Abweichung zwischen gemessener Endenergieverbrauchsreduktion $\Delta Q_{E,V}$
und berechneter Endenergiebedarfsreduktion $\Delta Q_{E,B}$

Beispiel

$$R = 1 - \frac{80 - 200}{50 - 300} = 1 - (-120/-250) = 52\%$$

- im Vergleich zwischen Zustand vor (0) und nach (1) Modernisierung oft $R > 0\%$
- typisch sind $Q_{E,V0} < Q_{E,B0}$ und $Q_{E,V1} > Q_{E,B1}$
- Kritik: Trotz vielfältiger Wechselwirkungen wird der Rebound-Effekt als “Verhaltensänderung”
allein dem Nutzer zugeschrieben.

Berechneter Energiebedarf vs. gemessener Energieverbrauch

Ursachen für Abweichungen und ingenieurmäßige Anpassung

Berechneter Energiebedarf (nach EnEV)	Anpassung des Bedarfs zum Abgleich mit dem Verbrauch	Gemessener Energieverbrauch – Einflussgrößen
standardisiert	selten	<u>Lokales Klima im Verbrauchszeitraum</u>
standardisiert	selten	<ul style="list-style-type: none"> • Solarstrahlung • Außentemperatur
standardisiert	nein	<u>Verschattung</u>
klassifiziert	nein	<ul style="list-style-type: none"> • Topografie und Bäume • Nachbarbebauung
wirklichkeitsnah	nein	Nutzer und Gebäude
standardisiert	nein	<u>Dämmstandard / Gebäudehülle</u> (auch zur Nachbarbebauung)
klassifiziert	nein	<ul style="list-style-type: none"> • Bauteilkennwerte (Dämmung, Wärmeschutzverglasung) • umgebende Temperaturen
klassifiziert	nein	<u>Effizienz der Wärmeversorgung</u>
klassifiziert	nein	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeerzeugung (Kessel, Fernwärme) • Verteilung (Ausdehnung, Dämmung, Einfluss nach Mod. ↑) • Betrieb (Zeiten, Temperaturen)
standardisiert	ja	<u>Nutzerverhalten</u>
standardisiert	ja	<ul style="list-style-type: none"> • Heizen (Raumtemperatur) • Lüften (Luftwechsel) • Verschatten
standardisiert	selten	
unberücksichtigt	nein	<u>Wechselseitige Einflüsse der Wohnungen / Nutzer innerhalb des Gebäudes und mit Nachbargebäuden</u>

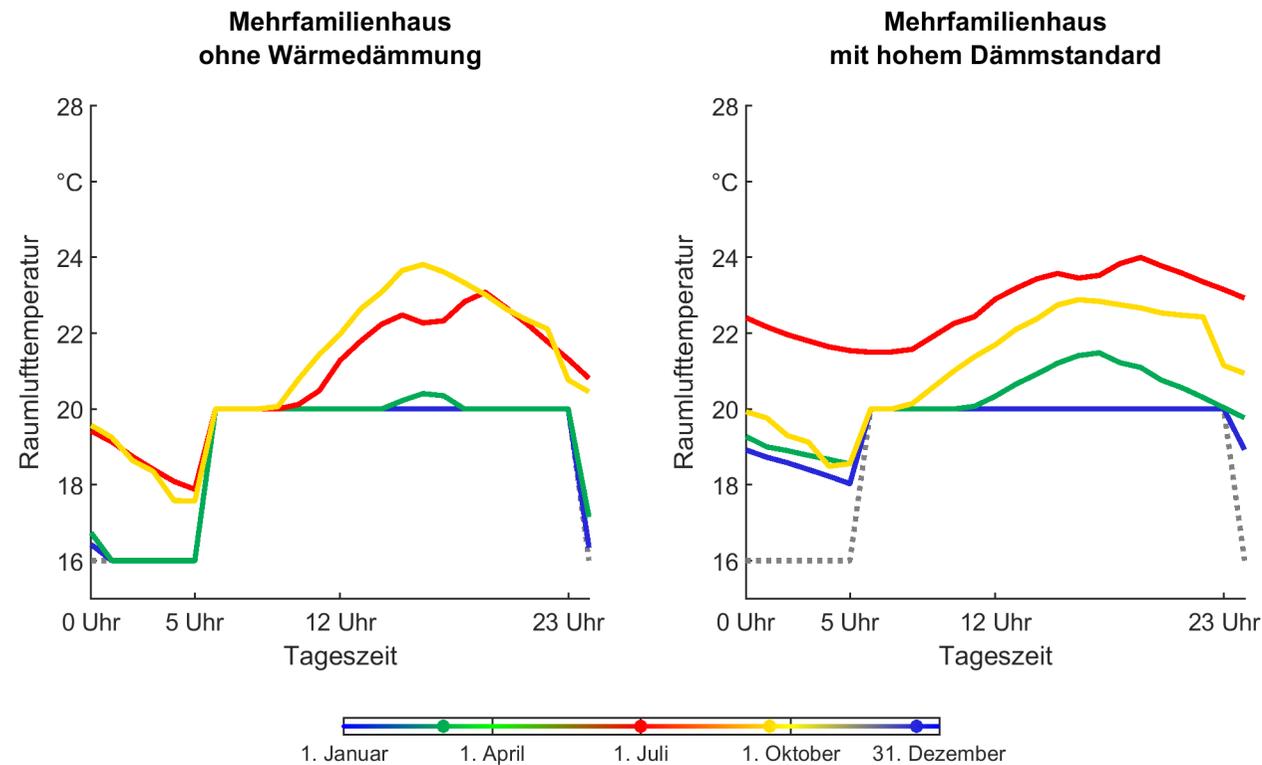
Randbedingungen und Annahmen

- untersuchtes Beispielgebäude unterscheidet sich vor/nach Modernisierung lediglich hinsichtlich Wärmedämmung mit $H'_{T,0} = 1,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ (ungedämmt) und $H'_{T,1} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (etwa KfW-Effizienzhaus 40)
- Alle weitere Randbedingungen und Annahmen gleich
 - Synthetisches Gebäude, 3 Vollgeschosse, 504 m² Wohnfläche, 12% Fensterflächenanteil
 - Innere Gewinne 2 W/m², Heizverteilsystem 5 W/m², Warmwasser unberücksichtigt
 - Dachboden und Keller unbeheizt, Luftwechselrate konstant, Klimadaten Görlitz 2014
 - Anlagenbetrieb identisch (mittlere Raumlufthtemperatur 19°C, fallabhängig Tag- bzw. Nachtabsenkung)

Berechnungsverfahren und Berechnungsfälle

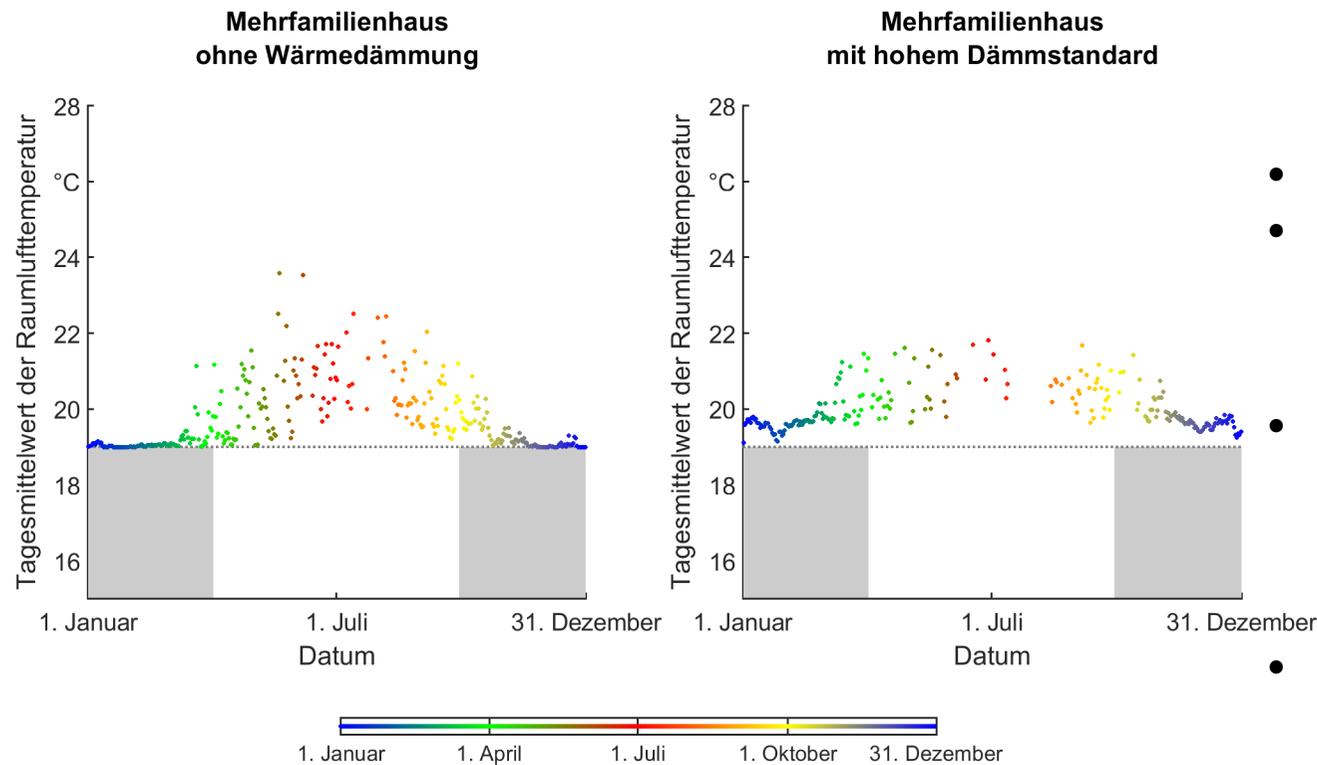
- quasistationäres Stundenverfahren nach DIN EN ISO 13790, Einzonenmodell
- Variation der Luftwechselrate und des täglichen Verlaufs der Raumlufthtemperatur

Basisfall – Raumluft- und Raumluft Solltemperatur für Typtage



- Mittlere Raumluft-solltemperatur 19 °C; tagsüber 20 °C und nachts (6 Stunden) 16 °C
- Luftwechselrate 0,5 1/h
- Modernisiertes Gebäude kühlt langsamer aus, bei Nachtabsenkung nachts also wärmer
- nach Modernisierung tagsüber öfter durch solare Gewinne wärmer als Raum-Solltemperatur, dann kein Heizbetrieb

Basisfall – Tagesmittelwerte der Raumluft- und der Raumluftsoltemperatur



- Mittlere Raumluftsoltemperatur 19 °C; tagsüber 20 °C und nachts (6 Stunden) 16 °C
- Luftwechselrate 0,5 1/h
- Modernisiertes Gebäude kühlt langsamer aus, bei Nachtabsenkung nachts also wärmer
- nach Modernisierung tagsüber öfter durch solare Gewinne wärmer als Raum-Solltemperatur, dann kein Heizbetrieb
- 185 Tage Heizperiode für Vergleich gesetzt, praktisch vor und nach Mod. länger.

Im Basisfall nimmt die mittlere Raumtemperatur in der Heizperiode (185 Tage) allein durch den verbesserten Dämmstandard – und damit nutzerunabhängig – von 19,1 °C auf 19,9 °C zu.

Vergleich der Berechnungsfälle – Tagesmittelwerte der Raumlufttemperatur

Mittlere Raumluft Solltemperatur 19 °C	Mittlere Raumlufttemperatur über eine Heizperiode von 185 d			
	Luftwechsel 0,2 1/h		Luftwechsel 0,5 1/h	
	vor Mod.	nach Mod.	vor Mod.	nach Mod.
ganztags 19 °C	19,1 °C	19,7 °C	19,0 °C	19,3 °C
tagsüber 20 °C, 6 h Nachtabsenkung auf 16 °C	19,2 °C	20,4 °C	19,1 °C	19,9 °C
morgens und abends 23 °C, je 8 h Tag- und Nachtabsenkung auf 17 °C	19,5 °C	22,4 °C	19,4 °C	21,5 °C

- Ohne Nachtabsenkung steigt die mittlere Raumlufttemperatur nur geringfügig an.
- Tag- und Nachtabsenkung gilt im ungedämmten Gebäudebestand als sparsames Nutzerverhalten. Hierfür ergeben sich nach Modernisierung deutlich höhere mittlere Raumlufttemperaturen.
- Ein reduzierter Luftwechsel führt erwartungsgemäß in allen Varianten zu einem weiteren Anstieg der mittleren Raumlufttemperatur.

-
- idealtypische Betrachtung eines Einzelbeispiels (Heizungsregelung, Klima, Geometrie etc. konstant)
 - nach Modernisierung bei unverändertem Nutzerverhalten für das Beispiel-Mehrfamilienhaus bis zu 3 K höhere mittlere Raumlufthtemperaturen
 - in der Energieberatung Raumlufthtemperature als abhängig vom Dämmstandard und vom Luftwechsel betrachten
 - Zusammenwirken von Gebäudehülle-Nutzer-Anlagentechnik bei der Betrachtung von Rebound-Effekten aufnehmen

Vielen Dank für Ihre geschätzte
Aufmerksamkeit!