

Verbundprojekt Energie Optimiertes Bauen (EnOB)  
Thematischer Verbund LowEx

## Potential und Einsatzgrenzen der Bauteilaktivierung im Wohnungsbau

Förderkennzeichen 0327413A

Autoren: Univ.-Prof. Dr. Ing, Gerhard Hausladen,  
Prof. Dipl.-Ing. Martin Ehlers,  
Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Zeisberger,  
Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und  
Haustechnik

Ansprechpartner PTJ: Dipl.-Ing. Jürgen Gehrman, Dipl.-Ing. Rolf Stricker

### 42. Ausgabe, Juli 2010



# Potenzial und Einsatzgrenzen der Bauteilaktivierung im Wohnungsbau

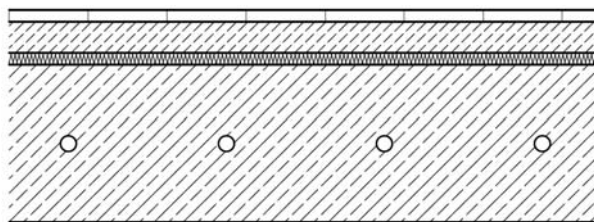
(Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie,  
Förderkennzeichen: 0327413A).

Univ.-Prof. Dr. Ing. Gerhard Hausladen, Email: hausladen@lrz.tum.de  
Prof. Dipl.-Ing. Martin Ehlers, Email: martin.ehlers@hm.edu  
Dipl.-Ing.(FH) Jürgen Zeisberger, Email: juergen.zeisberger@lrz.tum.de  
Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik  
Arcisstrasse 21, 80333 München

## 1 Einleitung

Gebäude sind langlebige Wirtschaftsgüter, die in der Regel für eine Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren errichtet werden. Vorrausschauend geplante Architektur wird zukünftig nachhaltiges Bauen intensivieren und Gebäude entstehen lassen, die in ihrer Nutzung flexibel sind und geringe Energieverbräuche für Heizen und Kühlen aufweisen. Da sich die Gebäudedämmstandards bis heute sehr verbessert haben, besteht die Möglichkeit die relativ geringe Heizlast eines Raumes über den thermisch aktivierten Deckenanteil als Bauteilaktivierung mit äußerst niedrigen Betriebstemperaturen abdecken zu können.

Im Folgenden wird als thermisch aktivierter Körper eine Boden-/Deckenkonstruktionen mit mittig einbetonierten, wasserführenden Rohrleitungen betrachtet und in der weiteren Abhandlung mit dem Begriff Bauteilaktivierung bezeichnet.



**Abbildung 1: Schnitt Bauteilaktivierung**

Abbildung 2 und 3 zeigen die Entwicklung und den Trend im Hinblick auf die sich einstellenden Primärenergiekennwerte bedingt durch eine Verbesserung im Bereich des Gebäudedämmstandards und Anlagentechnik.

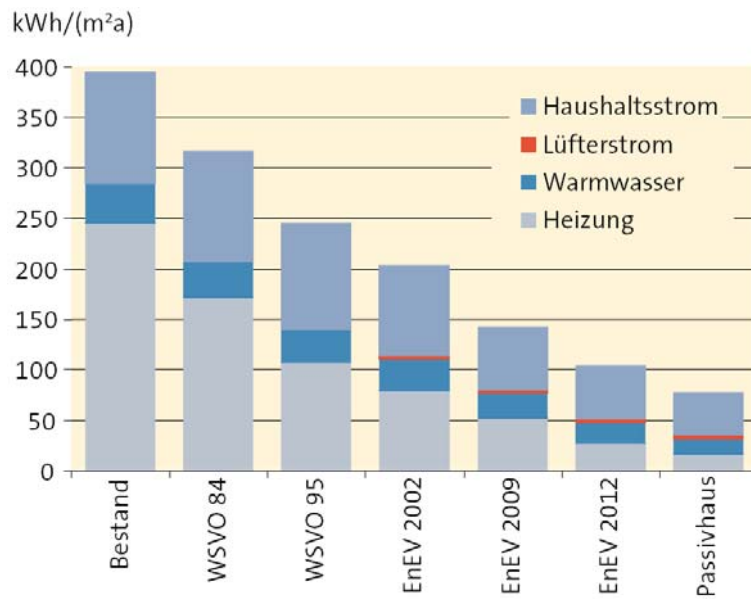


Abbildung 2: Entwicklung der Gebäudeenergiestandards [Schulze Darup 2009]

	WSVO [kWh/(m²a)]	EnEV 2002 [kWh/(m²a)]	EnEV 2009* [kWh/(m²a)]	EnEV 2012** [kWh/(m²a)]	Passivhaus [kWh/(m²a)]
Wände	0,4–0,6	0,25–0,5	0,24	0,15–0,22	< 0,16
Dach	0,3–0,5	0,20–0,4	0,20	0,10–0,20	< 0,16
Grund	0,4–0,5	0,25–0,4	0,30	0,15–0,25	< 0,16
Fenster	1,3–1,8	1,3–1,6	1,0	0,8–1,0	< 0,80
Lüftung	1	1, (2/3)	2, (3)	3	3

Lüftung: freie Lüftung (1), ventilatorgestützte Abluftanlage (2), Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (3)  
 \* Kennwerte des Referenzgebäudes gemäß EnEV 2009  
 \*\* hochgerechnete Werte auf Basis der Annahme von 30% Reduktion

Abbildung 3: Spektrum der U-Werte verschiedener energetischer Gebäudestandards und Entwicklung der Lüftungsstandards [Schulze Darup 2009]

## 2 Potenzial

Die Bauteilaktivierung bietet im Vergleich zu allen anderen Heizsystemen das niedrigste Temperaturniveau, durch größere aktivierte Heizflächenanteile im Raum.

Tabelle 1: Typische Systemauslegungstemperaturen

Heizsystem	Systemauslegungstemperaturen
Heizkörper	75 / 55 °C bis 60 / 40 °C
Fußbodenheizung	40 / 30 °C bis 35 / 30 °C
Bauteilaktivierung	30 / 28 °C bis 28 / 25 °C

Dabei ergeben sich je nach Wärmeerzeugungssystem unterschiedliche energetische Einsparpotenziale:

- **Geothermie**

Die geothermale Wärmeleistung steht im direkten Zusammenhang zur Netzurücklauftemperatur, da die Schüttung und Thermalwassertemperatur konstant sind.

Beispiel München Riem:

Schüttung: ~ 75 l/s

Temperatur: ~ 93 °C

Leistung bei Temperaturdifferenz (93/60 °C): ~10,1 MW

Leistung bei Temperaturdifferenz (93/40 °C): ~16,3 MW

Leistung bei Temperaturdifferenz (93/30 °C): ~19,3 MW

Es ist zu erkennen, dass bei den systemtypischen Betriebstemperaturen der Bauteilaktivierung fast die doppelte Anschlussleistung zur Verfügung steht.

- **Fernwärmerücklaufauskühlung**

Die Fernwärmerücklaufauskühlung kann über zwei Schaltungsvarianten erfolgen:

- Konstante Anschlussleistung und variabler Massentrom (Anlagensanierung)
- Erweiterte Anschlussleistung und konstanter Massentrom (Erweiterung durch Gebäude mit Bauteilaktivierung)

Die weitere Betrachtung bezieht sich auf die Variante mit erweiterter Anschlussleistung durch ein bauteilaktiviertes Gebäude. Die Prozessdaten gelten für ein Heizkraftwerk mit Entnahme-Gegendruck-Turbine mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 100 °C.

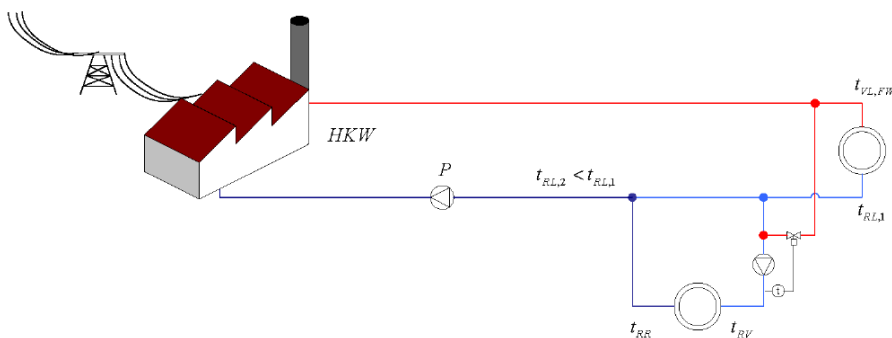
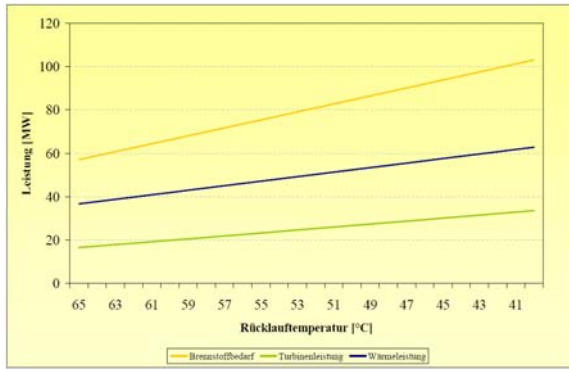
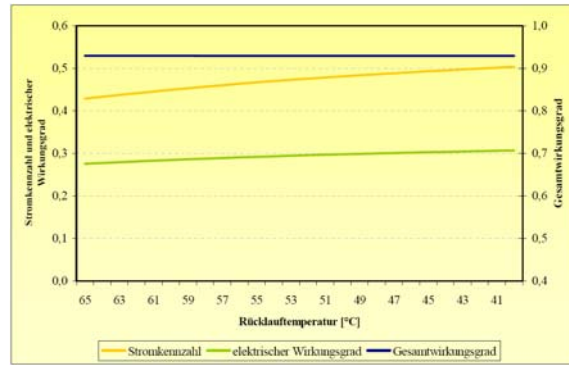


Abbildung 4: Grundlegendes Schaltprinzip einer Rücklaufauskühlung [Wirths 2008]



**Abbildung 5: Brennstoffbedarf, Turbinenleistung und Wärmeleistung in Abhängigkeit der Fernwärmerücklauftemperatur [Dittmann, Rhein 2008]**



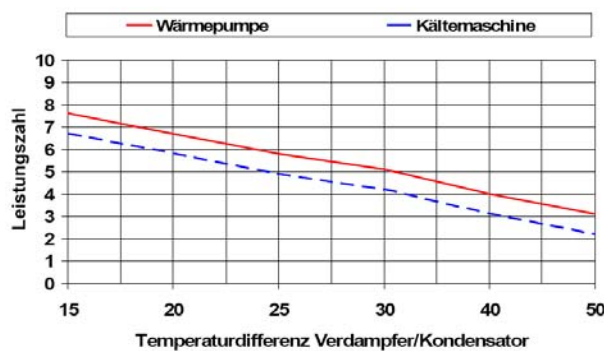
**Abbildung 6: Stromkennzahl, elektrischer Wirkungsgrad und Gesamtwirkungsgrad in Abhängigkeit der Fernwärmerücklauftemperatur [Dittmann, Rhein 2008]**

Durch die Fernwärmerücklaufteperaturauskühlung fällt der Gegendruck in der Anlage und die Turbine erzielt eine höhere Elektroenergieausbeute. Da der Brennstoffbedarf durch die zusätzlichen Anlussteilnehmer ansteigt, kommt es zu einer höheren Stromauskoppelung bei gleichem Gesamtwirkungsgrad.

Durch die Rücklaufabkühlung kommt es zusätzlich zu einer Verringerung der Wärmeverluste im Fernwärmeverteilnetz.

- **Wärmepumpentechnologie**

Der COP (*coefficient of performance*) einer Wärmepumpe ist umso höher, je niedriger die Vorlauftemperatur ist. Als erste Abschätzung kann festgehalten werden, dass jedes Kelvin an Temperaturhub einen erhöhten elektrischen Leistungsmehrbedarf von ca. 3,5 % bedeutet.



**Abbildung 7: COP-Wert in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem [Schenk 2008]**

Bei einer mittleren Grundwassertemperatur von 10 °C ergeben sich für die unterschiedlichen Systemtemperaturen folgende COP-Werte:

- Niedertemperatur Heizkörper (Vorlauftemperatur: 55 °C): COP-Wert ~ 3,5
- Fußbodenheizung (Vorlauftemperatur: 35 °C): COP-Wert ~ 5,8
- Bauteilaktivierung (Vorlauftemperatur: 30 °C): COP-Wert ~ 6,7

Im direkten Vergleich zwischen Fußbodenheizung und Bauteilaktivierung ergibt sich bei den vorgenannten Werten noch eine Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme von ~ 16 %.

- **Brennwerttechnik**

Der Ausnutzungsgrad der im Brennstoff enthaltenen latenten Energie steigt mit abnehmender Rücklauftemperatur. Damit die im Brennstoff enthaltene latente Wärmeenergie genutzt werden kann, muss bei Erdgas H eine Kondensationstemperatur von ca. 57 °C bzw. bei Heizöl EL eine Temperatur von 47 °C unterschritten werden. Bei einer Abkühlung die über der Kondensationstemperatur liegt, findet nur eine Nutzung der sensiblen Wärmeenergie statt.

Der Zusammenhang zwischen Kesselwirkungsgrad, Rauchgastemperatur, Luftüberschusszahl und Brennstoffart ist in nachfolgendem Diagramm dargestellt.

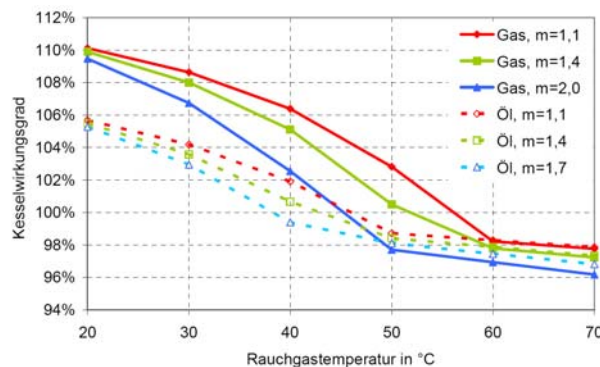


Abbildung 8: Berechneter Kesselwirkungsgrad der Rauchgastemperatur und Brennstoff [Huhn 2007]

Die Rücklauftemperaturdifferenz von ca. 5 K zwischen Fußbodenheizung und Bauteilaktivierung bewirkt im Fall der Brennwertnutzung eine Wirkungsgradsteigerung von ~1 %.

- **Solarenergienutzung**

Je niedriger die Anforderung an die benötigte Vorlauftemperatur ist, desto effektiver kann eine thermische Solarenergienutzung für die Raumheizung genutzt werden. Die in einer Heizperiode anfallende solare Wärmeenergie kann bei systemtypischen Bauteilaktivierungstemperaturen größtenteils direkt oder als Vorwärmung in Kombination mit einem herkömmlichen Wärmeerzeuger genutzt werden. Der solare Nutzungsgrad hängt dabei im wesentlichen von dem Temperaturniveau im Anlagensystem bzw. Pufferspeicher ab. D.h. für die Bauteilaktivierung kann schon ab einer Temperatur im Solarkollektor von ~30 °C eine solare Nutzung z.B. im Auslegungsfall von -16°C erfolgen.

- **In Kombination mit Trinkwassererwärmung**

Für Trinkwassererwärmungs- und Verteilungsanlagen besteht aus trinkwasserhygienischen Gründen (Legionellen) nach DVGW-Arbeitsblatt W 551 die Anforderung einer Zirkulationsleitung bei Großanlagen. Die zugelassene Temperaturspreizung zwischen Trinkwarm- und Zirkulationswasser darf max. 5 K betragen. Bedingt durch die geringe Temperaturspreizung treten bei der Nachheizung des Trinkwarmwassers hohe Rücklauftemperaturen auf, die für den Betrieb der Bauteilaktivierung weiter verwendet werden können. Dies gilt gleichermaßen für Trinkwassererwärmer im Speicher- und Durchflusssystem.

### Gegenüberstellung: Bauteilaktivierung / Fußbodenheizung:

Die nachfolgende Tabelle weist charakteristische Unterschiede zwischen den System Bauteilaktivierung und Fußbodenheizung aus.

	Bauteilaktivierung	Fußbodenheizung
Verfügbare aktivierte Fläche:	größer	kleiner
Erforderliche Vorlauftemperatur:	geringer	höher
Einsatz Umweltwärme:	höher	geringer
Flexibilität / Möblierung:	günstig	ungünstig
Bauablauf / Vorfertigung:	möglich	nicht möglich
Boden- / Deckenaufbau:	geringer	höher
Monoenergetischer Einsatz:	bedingt möglich	möglich
Erzeugereffizienz:	sehr hoch	hoch
Installationskosten:	günstig	hoch

**Abbildung 9: Vergleich von Bauteilaktivierungs- und Fußbodenheizsystemen**

Wegen den unterschiedlichen Raumtemperaturempfehlungen nach DIN EN 12831 ist ein monoenergetischer Einsatz bedingt möglich.

## 3 Einsatzgrenzen

In modernen Büro- und Verwaltungsbauten hat sich heutzutage die Bauteilaktivierung bereits etabliert. Im Vergleich zum mehrgeschossigen Wohnungsbau bestehen im Gegensatz zu Büro-/ Verwaltungsbauten andere Anforderungseigenschaften in Bezug auf Heizen und Kühlen.

	Büro- Verwaltungsgebäude	Wohngebäude
Fensterflächenanteil:	hoch	klein (< 30 %)
Interne Lasten: (Personen, Beleuchtung, Geräte)	hoch	gering
Anforderung an Kühlung:	ja	nein
Anforderung an Trittschall:	bedingt	gegeben
Raumtemperatur:	konstant	unterschiedlich
Nutzungsverhalten:	statisch	dynamisch
Speichermasse:	mittel	hoch

**Abbildung 10: Vergleich Büro- Verwaltungsgebäude und mehrgeschossiges Wohngebäude**

Wegen der konkreten Anforderung an das Trittschallverbesserungsmaß nach DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" wurden drei Boden-/Deckenkonstruktionen untersucht, die sich lediglich in deren ausgewählten Trittschalldämmmaterial unterscheiden.

Die untersuchten Trittschalldämmmaterialien sind:

- Vakuumisolationspanele mit Vlies (*VIP*)
  - Individuelle Einzelraumtemperaturregung möglich bei geringer Dämmstärke
  - Kostenintensiv und höherer Verlegeaufwand
- Konventioneller Aufbau mit Steinwolle (*Konv*)
  - Kostengünstig und einfache Verlegung
  - Individuelle Einzelraumregelung nur bedingt möglich
- Eisenwollmatte (EWM) – Aufgrund mangelnder Langzeiterfahrungen bzgl. Setzungs- und Kriechvermögen wurde das Material nicht weiter untersucht. Eine weiterführende Untersuchung sollte experimentell in einem Demogebäude erfolgen.

### Wärmestromkatalog für monoenergetischen Einsatz

Für eine erste Abschätzung der spezifischen Heiz- und Kühlleistungen wurde ein Wärmestromkatalog mit der Software ANSYS/CLASSIC entwickelt. Die Auslegung der Bauteilaktivierung erfolgt in Abhängigkeit des Verlegeabstands, der Betriebstemperaturen, angrenzenden Raumtemperaturen und für unterschiedliche Boden- /Deckenkonstruktionen. Der Raum mit der höchsten spezifischen Heizlast nach DIN EN 12831 bestimmt die maximale Vorlauftemperatur. Diese sollte bei größtmöglichstem Verlegeabstand so niedrig wie möglich sein, um die energetischen Vorteile des Systems bestmöglich ausnutzen zu können. Darüber hinaus wird der Selbstregelleffekt des Systems deutlich positiviert.

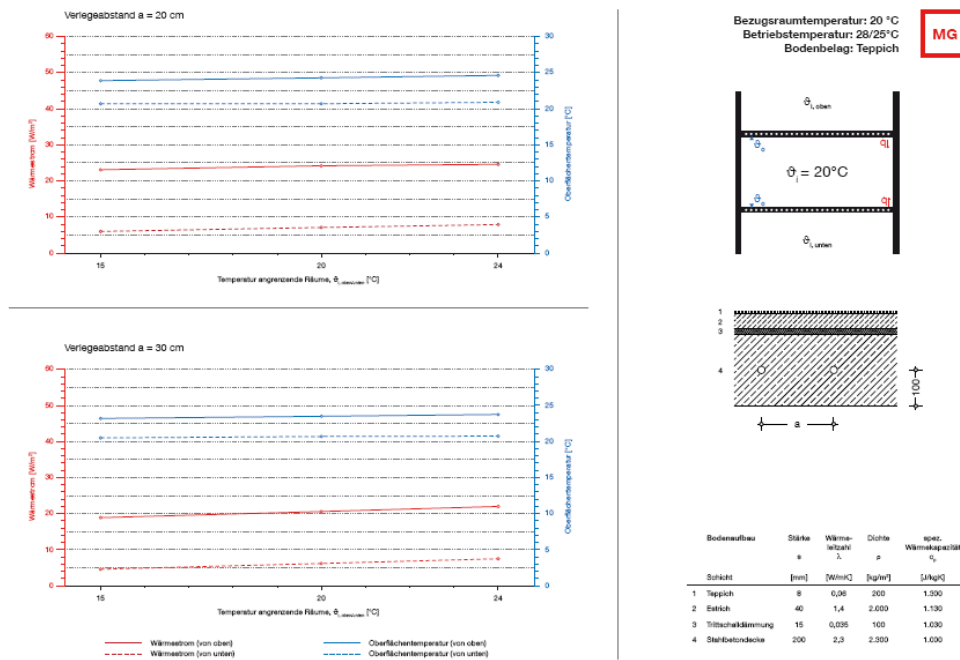


Abbildung 11: Auszug Wärmestromkatalog

Abweichende thermische Boden- /Deckenkonstruktionen können mittels eines MS-Excel-Rechners ausgelegt werden.

### Zusatzheizsysteme für bivalenten Einsatz

Die Untersuchungen erfolgten mit der Software ANSYS/CFX, da thermische und strömungstechnische Problemstellungen zu lösen waren. Aus energetischen Gründen ist es sinnvoller, temporär genutzte Räume mit "hohen" Temperaturen (z.B. Bad 24 °C) nur auf 20 °C zu beheizen und über ein Zusatzsystem den Temperaturhub auf 24 °C sicher zu stellen, um den empfohlenen Raumtemperaturen nach DIN EN 12831 gerecht zu werden.

Wasserführende Systeme angekoppelt an Heizkreise der Bauteilaktivierung (energetisch gut aber sehr träges Aufheizverhalten; nur mit Zeitschaltuhr)

- Dünnbett-Fußbodenheizung
- Wasserführende Deckenstrahlplatte in Kombination mit Fußbodenheizung
- Wandheizungssysteme

Elektrische Zusatzheizungen (primärenergetisch schlecht; aber schnelle Aufheizung möglich)

- Heizlüfter
- Infrarot-Heizstrahler
- Elektrische Wandfliesenheizung
- Bad-Heizkörper mit Heizpatrone

## 4 Energetischer Vergleich

Der Raum im Zwischengeschoss (ZG) mit 18,05 m<sup>2</sup>, einer Raumhöhe von 2,45 m und einem Luftwechsel von 0,5 1/h wurde auf 20 °C beheizt. Diese Beheizung erfolgte mittels einer elektrisch betriebenen Sole-Wärmepumpe und mit folgenden Heizflächen und Betriebstemperaturen:

**Tabelle 2: Für energetischen Vergleich angesetzte Systemtemperaturen**

Bauteilaktivierung	Fußbodenheizung	Heizkörper
28 / 25 °C	40 / 30 °C	60 / 40 °C

Als Testreferenzjahr wurde der Wetterdatensatz TRY13, eine Heizperiode und der Gebäudedämmstandard nach EnEV 2009 zu Grunde gelegt.

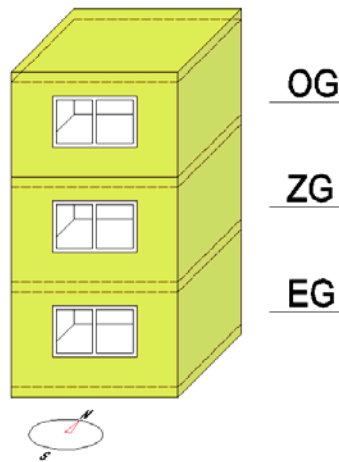


Abbildung 12: Simulationsmodell

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationsstudie mit IDA/ICE im 1-Stundenschritt können dem nachfolgenden Diagramm entnommen werden.

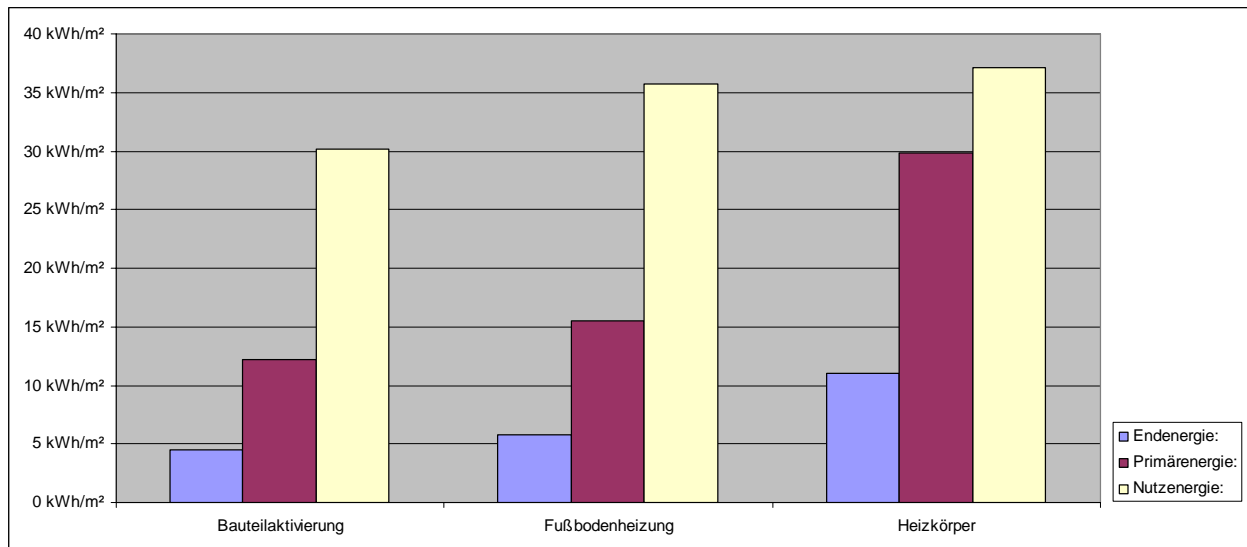


Abbildung 13: Energetischer Vergleich zwischen Bauteilaktivierung, Fußbodenheizung und Heizkörper

## 5 Fazit:

Der Systemeinsatz der Bauteilaktivierung wurde im Rahmen einer theoretischen Voruntersuchung analysiert und stellt nach den gegenwärtig vorliegenden Ergebnissen ein nutzbares Potenzial dar.

Aus Sicht der unterschiedlichen Benutzerprofile muss jedoch der Systemscheidung höchstwahrscheinlich eine gewisse Akzeptanz, ähnlich wie beim Passivhaus, eingeräumt werden.

Der endgültige Abschlussbericht wird derzeit erstellt.

## 6 Quellenverzeichnis:

- [Dittmann, Rhein 2008] ***Einfluss von Vor- und Rücklauftemperatur auf die Wirtschaftlichkeit von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung***, Vortrag Giessener Fernwärmekolloquium 11/2008, TU-Dresden Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik
- [Huhn 2007] ***Beitrag zur thermodynamischen Analyse und Bewertung von Wasserwärmespeichern in Energieumwandlungsketten***, Dissertation TU-Dresden, 2007
- [Schenk 2008] ***Wärmepumpentechnologie SS 2008***, Vorlesungsskript Hochschule München
- [Schulze Darup 2009] ***Energieeffiziente Wohngebäude***, B. Schulze Darup, Bine Informationsdienst, 3. Auflage 2009
- [Wirths 2008] ***Einfluss der Netzurücklauftemperatur auf die Effizienz von Fernwärmesystemen***, Vortrag Dresdner Fernwärmekolloquium 09/2008, Vattenfall Europe Berlin AG & Co. KG Syringenplatz 29, 10407 Berlin