



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
Fakultät Maschinenwesen
Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung
Bereich Technische Gebäudeausrüstung

Kurzbericht

Bewertung von dezentralen, raumweisen Lüftungsgeräten für Wohngebäude sowie Bestimmung von Aufwandszahlen für die Wärmeübergabe im Raum infolge Sanierungsmaßnahmen

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des
Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.

(Aktenkennzeichen Z6 - 5.4. - 01.18 / II 13 - 800101 - 18)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Thomas Ender

Dr.-Ing. Ralf Gritzki

Dr.-Ing. Thomas Hartmann

Projektleiter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter

März 2004

Aufgabenstellung

Im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen fehlen dem Hauseigentümer bisher im Allgemeinen nähere Informationen zur Effektivität und damit zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen anlagentechnischen Möglichkeiten zur Energieeinsparung. Die avisierte DIN 4701-12 soll hierzu entsprechende Aufwandszahlen enthalten, da sich die bekannten Werte aus DIN V 4701-10 auf den Neubau beziehen und nicht oder nur eingeschränkt verwerten lassen.

Bauliche Sanierungsmaßnahmen wie zum Beispiel Fensteraustausch gehen oft mit einer deutlichen Verringerung der Luftdurchlässigkeit der Baukonstruktion und folgerichtig mit einem erhöhten Schimmelpilzrisiko einher. Insbesondere bei Sanierungsmaßnahmen und punktuellen Nachrüstungen wird zunehmend über den Einsatz von dezentralen, raumweisen Lüftungsgeräten nachgedacht. Das Forschungsvorhaben liefert praxisnahe Ergebnisse und diskutiert deren Einordnung im Rahmen der DIN 4701-12.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden in einem zweiten Teil die notwendigen Aufwandszahlen für die so genannte „Wärmeübergabe im Raum“ rechnerisch ermittelt. Gegenüber Neubauten resultieren die Unterschiede z.B. aus den größeren Raumhöhen, den massereicheren Heizkörpern oder der vielfach offenen Rohrverlegung im Raum.

Durchführung

Das Forschungsvorhaben basiert auf gekoppelten Simulationsverfahren. Im Sinne einer Parameterstudie ist damit eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Gebäude-Anlage-Nutzer bei gezielter Variation einzelner Randbedingungen möglich. So lassen sich beispielsweise Effekte der Bauphysik, der Gebäudedurchströmung, der Anlagentechnik und des Nutzerverhaltens unter der Prämisse der Realitätsnähe berücksichtigen.

Die Berechnungen zur Energiebilanz und zur Raumluftqualität (Lüftungsgeräte und Wärmeübergabe im Raum) erfolgen mit dem Programm TRNSYS. Am Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung der Technischen Universität Dresden kommt eine umfassend erweiterte Programmversion auf Basis der kommerziellen Version 14.2 zum Einsatz. Um spezielle Probleme im Zusammenhang mit dem Einsatz von Lüftungsgeräten behandeln zu können, ist ein neues thermodynamisches Simulationsmodell mit deutlich erweiterten Algorithmen (z. B. Berechnung des Kondensatmassestroms) entwickelt worden.

Das den Untersuchungen zur Lüftungseffektivität und thermischen Behaglichkeit zugrunde liegende, voll gekoppelte Simulationsmodell wurde in Zusammenarbeit verschiedener Institute der TU Dresden und der Universität Göttingen entwickelt. Im Einzelnen besteht es aus dem Strömungssimulationscode ParallelINS und dem thermischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS. Es ist parallelisiert einsetzbar und ermöglicht die instationäre Berechnung turbulenter nichtisothermer inkompressibler Raumluftrömungen mit sehr hoher Realitätsnähe. Eine sehr ausführliche Dokumentation des gesamten Programmsystems findet sich in den Arbeiten von Gritzki.

Die untersuchten Varianten orientieren sich an typischen Verhältnissen, im Bericht sind detaillierte Angaben zu den modellierten Gebäudeeigenschaften, Anlagenkonstellationen und Nutzungsprofilen enthalten.

Ergebnisse – Dezentrale Lüftungsgeräte

Der jahresmittlere Außenluftwechsel bzw. -luftvolumenstrom und der Heizwärme- bzw. Primärenergiebedarf werden bei Einsatz von dezentralen Lüftungsgeräten maßgeblich durch den Ausstattungsgrad der Wohnung (Anzahl der Geräte) und die Geräteeigenschaften (Betriebsweise, Wärmerückgewinnung) bestimmt. Gegenüber Fensterlüftung wird der Außenluftwechsel bei vergleichbaren Lüftungsgewohnheiten drastisch erhöht, die Auswirkungen auf den Energiebedarf fallen wegen des größeren Bilanzrahmens und der Wärmerückgewinnung deutlich geringer aus (Tabelle 1).

Ein maßgeblicher Unterschied zwischen zentralen und dezentralen Lüftungssystemen ergibt sich hinsichtlich der Luftströmung zwischen einzelnen Räumen einer Wohnung. Bei zentralen Zu-/Abluftanlagen werden die Strömungsverhältnisse (insbesondere die Strömungsrichtung) in der Wohnung durch den Winddruck an der Fassade nur marginal beeinflusst.

Bei dezentralen Lüftungsgeräten nach dem Rekuperatorprinzip (Abbildung 1) erfolgt die Lüftung raumweise, windbedingte Druckdifferenzen an der Gebäudefassade wirken sich unmittelbar auf die Strömungsverhältnisse in der Wohnung aus. Andere Verhältnisse stellen sich in der Wohnung ein, wenn Lüftungsgeräte paarweise nach dem Regeneratorprinzip (mit zyklischer Strömungsumkehr) eingesetzt werden. Konzeptbedingt gelangt dabei belastete Raumluf abwechselnd in die angeschlossenen (Aufenthalts-)Räume. Auf eine direkte Einbindung von Feuchträumen in dieses Lüftungskonzept sollte verzichtet werden.

	Energiekennwerte für Wohnung im Mehrfamilienhaus											
	Fenster-lüften			Zu-/Abl.-Anlage ¹⁾	Lüftungsgeräte in Schlafräumen				Lüftungsgeräte in allen Räumen			
	Niedrig	Mittel	Hoch	konstant	Abschaltung	Absenkung	Konstant I	Konstant II	Abschaltung	Absenkung	Konstant I	Konstant II
Jahresmittlerer Außenluft-Volumenstrom in m³/h bzw. in %												
Wohnung	13 25	52 100	92 177	100 192%	56 108%	77 148%	59 113%	91 175%	127 244%	166 319%	119 229%	199 383%
Jahresheizwärmebedarf in kWh/m²a bzw. in %												
WRG 80%	46,0 71	65,0 100	83,5 128	53,8 83%	50,2 77%	51,6 79%	49,9 77%	52,9 81%	54,3 84%	57,0 88%	52,7 81%	60,0 92%
WRG 60%				62,0 95%	53,5 82%	56,9 88%	53,8 83%	60,1 92%	65,2 100%	72,1 111%	62,1 96%	78,2 120%
Jahresprimärenergiebedarf in kWh/m²a bzw. in %												
WRG 80% $P_{\text{spez}} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$	87,0 76	114,7 100	141,4 123	104,8 91%	96,7 84%	100,6 88%	96,8 84%	104,3 91%	109,5 95%	117,3 102%	106,6 93%	124,6 109%
WRG 60% $P_{\text{spez}} = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$				123,2 107%	105,2 92%	113,8 99%	106,5 93%	122,1 106%	135,9 118%	153,6 134%	130,2 114%	168,3 147%
¹⁾ ... spezifische Leistungsaufnahme bei zentraler Zu-/Abluftanlage: $P_{\text{spez}} = 0,25 / 0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$												

Tabelle 1: Energiekennwerte im MFH (RB: teilsaniert, $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$, Lüftungsverhalten „Niedrig“ in allen Räumen mit mechanischer Lüftung, 4-Personen-Haushalt)

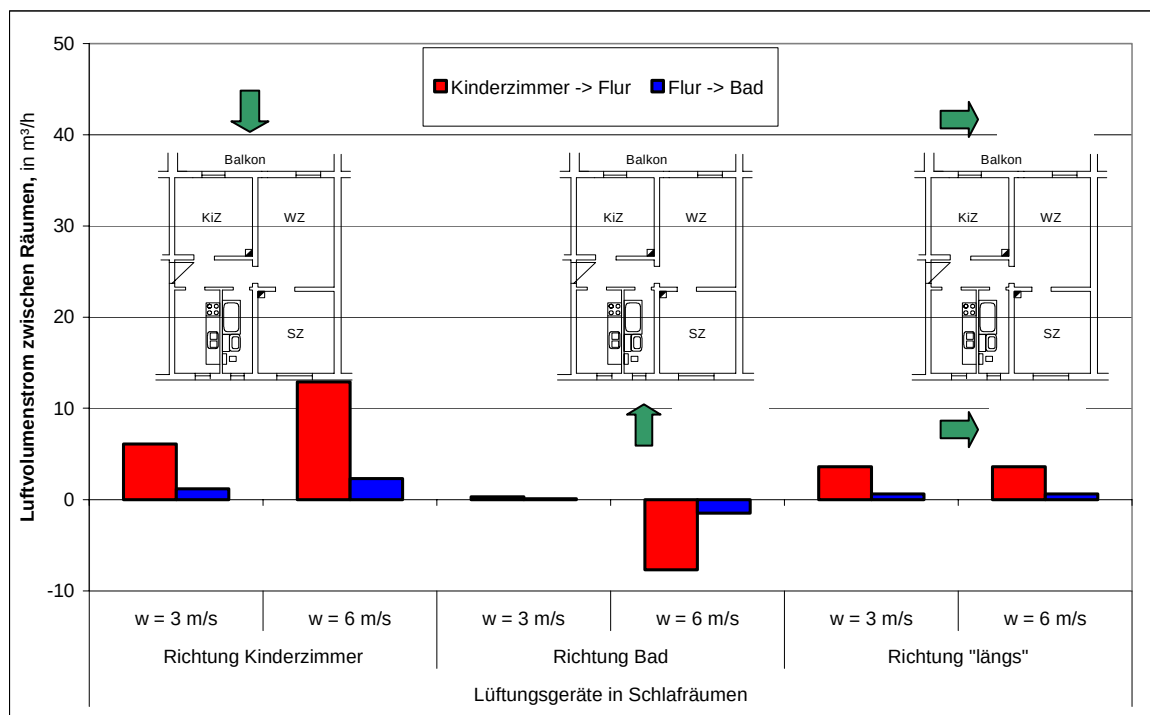


Abbildung 1: Luft-Volumenströme zwischen Räumen bei dezentralen Lüftungsgeräten
(RB: stationäre Verhältnisse mit $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$, $\Theta_a = 5^\circ\text{C}$, $\Theta_i = \text{Soll-Tag}$, Fenster geschlossen)

Das Schimmelpilzrisiko kann durch den Einsatz ventilatorgestützter Lüftungstechnik (zentrale Zu-/Abluftanlage oder Lüftungsgeräte) gegenüber freier Lüftung entscheidend vermindert werden. Selbst bei ungünstigen Randbedingungen (Geräte nur in Schlafräumen im Abschaltbetrieb, „Niedriges“ Fensterlüften) wird die tägliche Überschreitung der schimmelpilzkritischen Luftfeuchte maßgeblich reduziert. Dies gilt wegen der Luftströmungen und des Wasserdampfpartialdruckgefälles zwischen den Räumen auch für Räume ohne Lüftungsgerät, das „Restrisiko“ für Schimmelpilzbildung hängt allerdings stark von den jeweiligen Lastverhältnissen ab.

Ventilatorgestützte Lüftungstechnik wirkt sich auch aus Sicht der CO₂-Konzentration positiv auf die Raumluftqualität aus. Für alle untersuchten Varianten wird in Räumen mit Lüftungstechnik eine akzeptable Raumluftqualität erreicht und die DIN-Empfehlung weitgehend eingehalten. Abstriche sind dabei lediglich bei dauerhaft abgesenktem Betrieb der Lüftungsgeräte zu machen, insbesondere wenn sich in diesen Räumen über längere Zeiträume mehr als eine Person aufhält. Bei Teilausstattung bleibt die CO₂-Konzentration in Räumen ohne Lüftungsgeräte vergleichsweise hoch, der Lüftungssituation in diesen Räumen ist entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen.

Wird für dezentrale Lüftungsgeräte die Lüftungseffektivität untersucht, ist neben dem Gerätevolumenstrom und der Effizienz der Wärmerückgewinnung die Ausblasrichtung der Zuluft entscheidend. Die folgenden Abbildungen zeigen, dass bei ungünstiger Konstellation (vertikale Ausblasung nach oben) deutliche Kurzschluss-Erscheinungen im Bereich des dezentralen Lüftungsgerätes auftreten. Gegenüber günstiger konstruierten Geräten (z. B. Ausblasrichtung horizontal oder nach unten) hat das einen Abfall der Lüftungseffektivität um etwa 30% zur Folge. Ein negativer Nebeneffekt der Kurzschluss-Strömung ist das Absinken der Zulufttemperatur (im Beispiel um etwa zwei Kelvin).

Im Hinblick auf die Einhaltung der üblichen (globalen) Behaglichkeitskriterien liegen alle untersuchten Konfigurationen innerhalb der zulässigen Grenzwerte. Die Zugbelästigung (draft risk) als partikuläres Behaglichkeitskriterium wird durch die Anlagenparameter, wie Luftvolumenstrom und Wärmerückgewinnung, beeinflusst. Unter kritischen Randbedingungen lässt sich lediglich eine leichte Erhöhung der Zugbelästigung im Fußbodenbereich feststellen. Diese liegt jedoch stets außerhalb der Aufenthaltszone, der Grenzwert (DR > 15%) wird nur im Bereich der Außenwand überschritten.

Eine Diskussion der thermischen Behaglichkeit sollte stets im Zusammenhang mit der Lüftungseffektivität erfolgen, um nicht fälschlicherweise Lösungen zu favorisieren, deren hohe thermische Behaglichkeit aus der geringen Lüftungseffektivität resultiert.

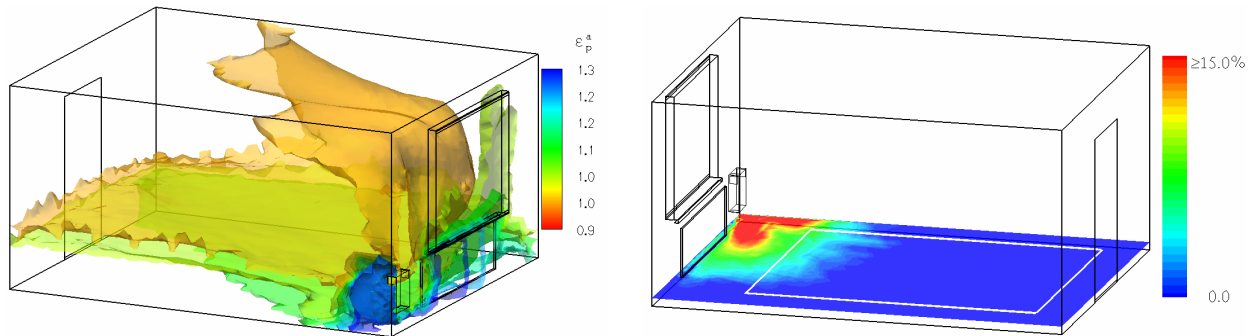


Abbildung 2: Dezentrales Lüftungsgerät ($n=0,5h^{-1}$, $\eta_{WRG}=60\%$), Ausblasrichtung horizontal - Wand
 links: Lokaler Luftaustauschindex (blau signalisiert Frischluft)
 rechts: Zugbelastung in 10 cm Höhe (rot signalisiert kritischen Bereich)

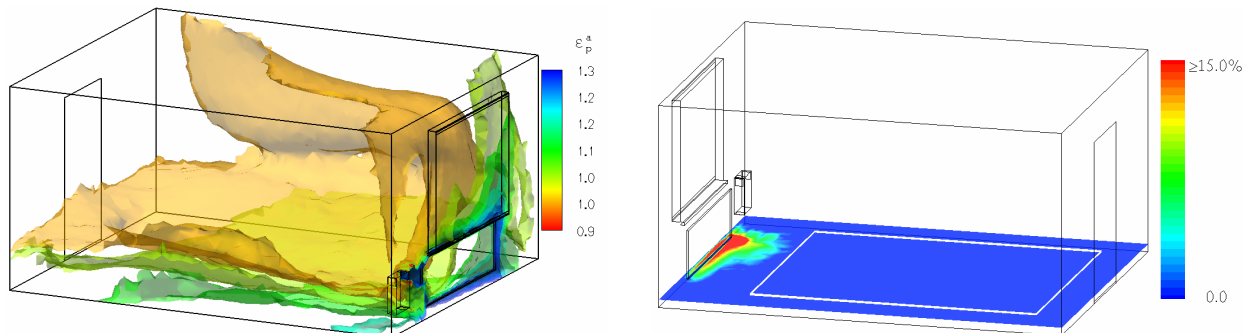


Abbildung 3: Dezentrales Lüftungsgerät ($n=0,5h^{-1}$, $\eta_{WRG}=60\%$), Ausblasrichtung horizontal - Heizkörper
 links: Lokaler Luftaustauschindex (blau signalisiert Frischluft)
 rechts: Zugbelastung in 10 cm Höhe (rot signalisiert kritischen Bereich)

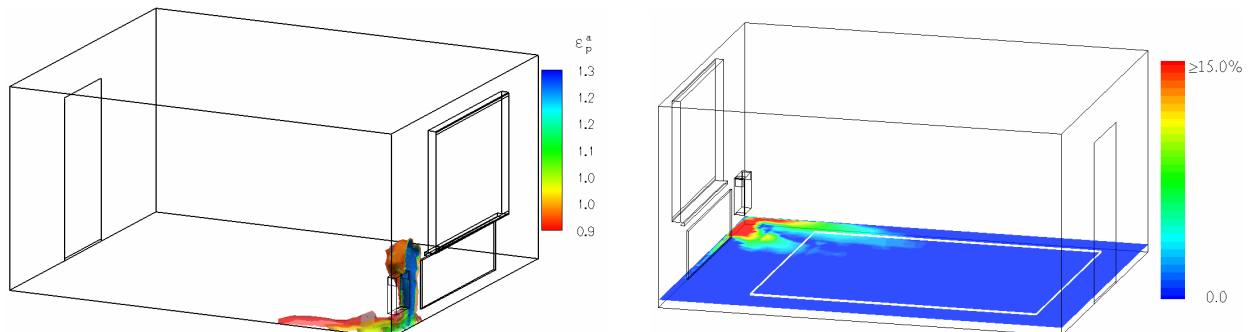


Abbildung 4: Dezentrales Lüftungsgerät ($n=0,5h^{-1}$, $\eta_{WRG}=60\%$), Ausblasrichtung vertikal - oben
 links: Lokaler Luftaustauschindex (blau signalisiert Frischluft)
 rechts: Zugbelastung in 10 cm Höhe (rot signalisiert kritischen Bereich)

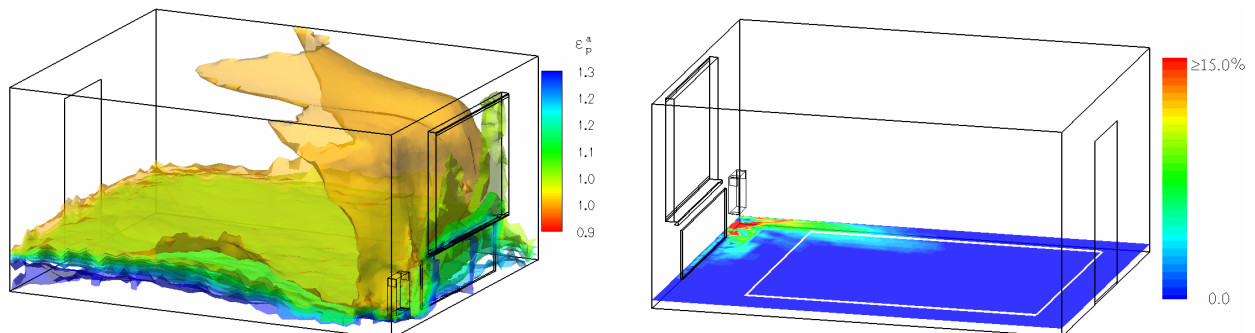


Abbildung 5: Dezentrales Lüftungsgerät ($n=0,5h^{-1}$, $\eta_{WRG}=60\%$), Ausblasrichtung vertikal - unten
 links: Lokaler Luftaustauschindex (blau signalisiert Frischluft)
 rechts: Zugbelastung in 10 cm Höhe (rot signalisiert kritischen Bereich)

Weitere Aspekte wie Kondensatanfall, Geräuschemission, Zugänglichkeit für Wartung und Instandhaltung und Fassadengestaltung können für die Akzeptanz dezentraler Lüftungsgeräte maßgeblich sein und sind entsprechend bei Konstruktion, Planung und Montage zu beachten.

Für die Bilanzierung dezentraler Lüftungsgeräte im Rahmen der DIN V 4701-10 ist die eindeutige Definition der gelüfteten Nutzfläche $A_{N,L}$, des Anlagenluftwechsel n_A und des Wärmebereitstellungsgrades η_{WRG} erforderlich. Der Berechnungsalgorithmus nach DIN V 4701-10 ist prinzipiell auch für die Bewertung des Einsatzes von dezentralen Lüftungsgeräten bei Sanierungsmaßnahmen geeignet (Kennwerte nach Tabelle 2).

Deckung des Heizwärmebedarfs	Primärenergieaufwand
Erzeugung: - <i>Algorithmus nach DIN V 4701-10</i> - <i>Hinweise siehe Abschlussbericht</i>	Erzeugung: - <i>Algorithmus nach DIN V 4701-10</i> $e_{L,g,WRG} = 0$
Verteilung: $q_{L,d,WE} = 0$	Hilfsenergie Verteilung: $q_{L,d,HE} = 0$
Übergabe: $q_{L,ce,WE} = 0$	Hilfsenergie Übergabe: $q_{L,ce,HE} = 0$

Tabelle 2: Berücksichtigung dezentraler Lüftungsgeräte bei Sanierungsmaßnahmen (Vorschläge)

Ergebnisse – Wärmeübergabe im Raum

Die Aufwandszahl (als Verhältnis von Aufwand und Bedarf) ist eine relative Größe, sie steigt mit Verbesserung des Wärmeschutzes (Abbildung 6). Daher ist die Aufwandszahl unter bestimmten Bedingungen nicht die optimale Darstellungsform zur Bewertung des Energiebedarfs, da die absoluten Werte (Differenz zwischen Aufwand und Bedarf) eine entgegen gesetzte Tendenz aufweisen (Tabelle 3). Eine deutlich bessere Alternative gibt es allerdings nicht.

Die theoretische Bedarfsberechnung basiert auf einem so genannten idealen Heizsystem. Bei der Bestimmung des Aufwands wird dagegen eine reale Pumpen-Warmwasserheizung berücksichtigt.

Die in DIN V 4701-10 und VDI 2067-20 für den Neubau enthaltenen Aufwandszahlen lassen sich für die Bewertung von Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand nicht oder nur bedingt verwerten, da z.B. keine Berücksichtigung massereicher bzw. überdimensionierter Heizkörper, hoher Systemtemperaturen oder schlechter Raumtemperaturregelung erfolgt.

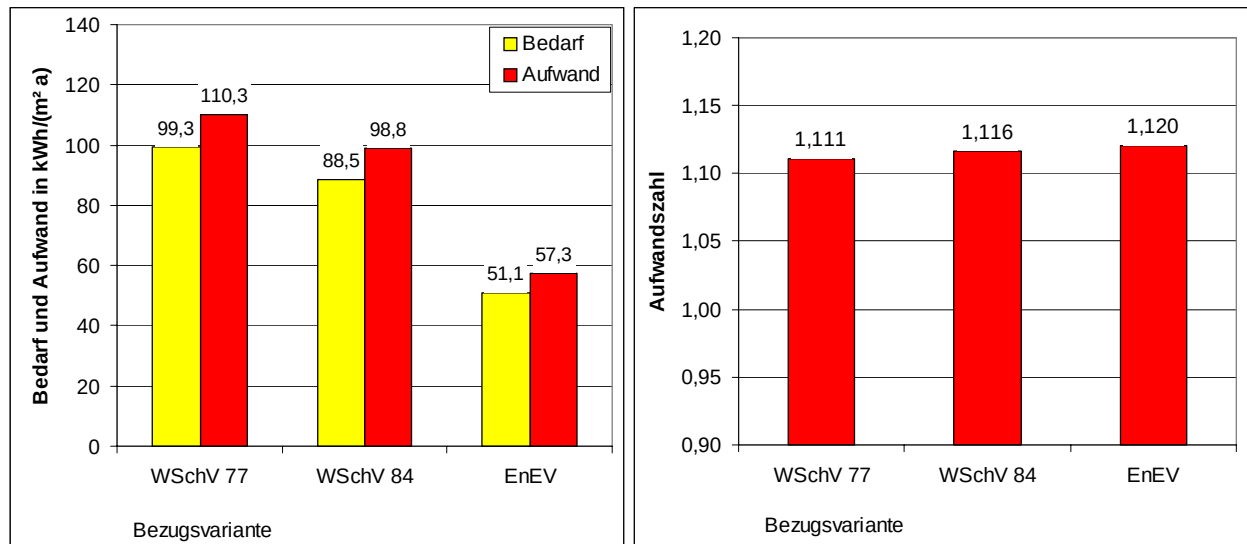


Abbildung 6: Bedarf, Aufwand und die daraus ermittelte Aufwandszahl (ausgewähltes Beispiel)

	Aufwandszahl	Differenz zwischen Aufwand und Bedarf
WSchV 77	1,108	11,0 kWh/m²a
WSchV 84	1,116	10,3 kWh/m²a
EnEV	1,120	6,1 kWh/m²a

Tabelle 3: Aufwandszahl und Differenz Aufwand - Bedarf in Abhängigkeit vom Wärmeschutz

In Gebäuden mit Heizkörpern ergeben sich hinsichtlich der bautechnischen Einflussgrößen (betrachtet werden u. a. Wärmeschutzniveau, Bauschwere, Gebäudeorientierung, Fensterflächenanteil und Luftwechsel) analoge Abhängigkeiten wie im Neubau. Eine gesonderte Berücksichtigung im Zuge der avisierten DIN 4701-12 ist deshalb nicht erforderlich.

Anlagenseitig liegen für die Parameter Heizkörpertyp und Heizkörper-Verkleidung keine Aufwandszahlen vor. Die Heizkörpermasse weist nur untergeordnete Bedeutung auf. Die grundsätzliche Abhängigkeit von der Überdimensionierung, der Raumtemperaturregelung, der Betriebsweise und der Anordnung im Raum ist mit dem Neubau vergleichbar und wird mit Bezug auf DIN V 4701-10 nicht gesondert angeführt.

Nicht vernachlässigbar sind die Einflussgrößen Systemtemperatur und Rohrleitungswärmeabgabe (WSchV77: Abbildung 7, EnEV: Abbildung 8). In Anbetracht einer möglichst einfachen Darstellungsweise wird die Form eines Zuschlages für die vorhandenen Aufwandszahlen empfohlen (Tabelle 4).

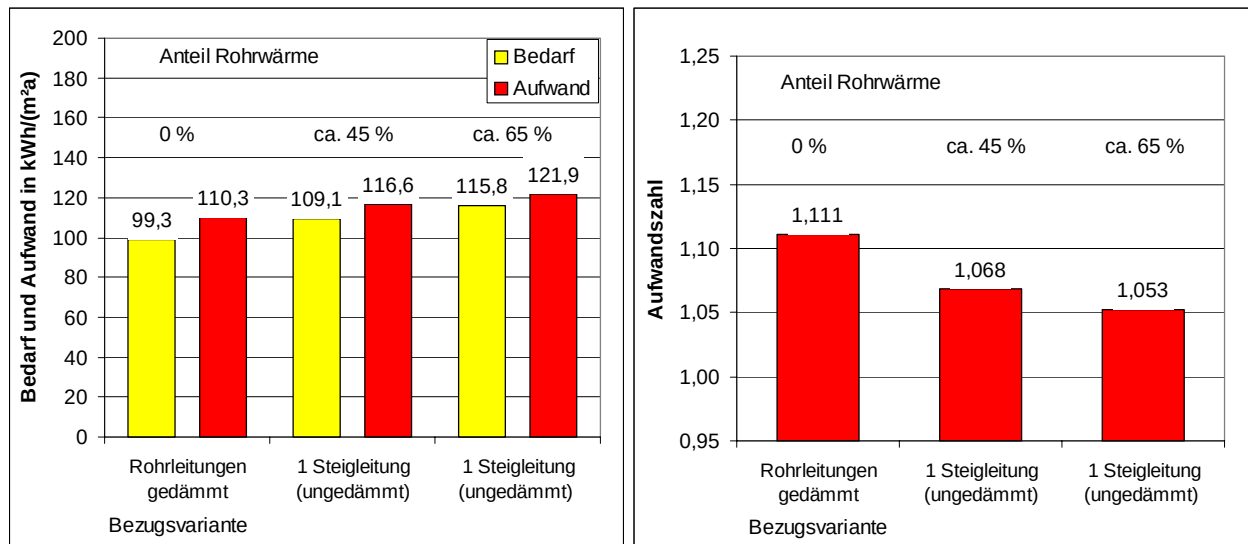


Abbildung 7: Bedarf, Aufwand und Aufwandszahl in Abhängigkeit von der Rohrwärmeabgabe
Raum nach WSchV 77

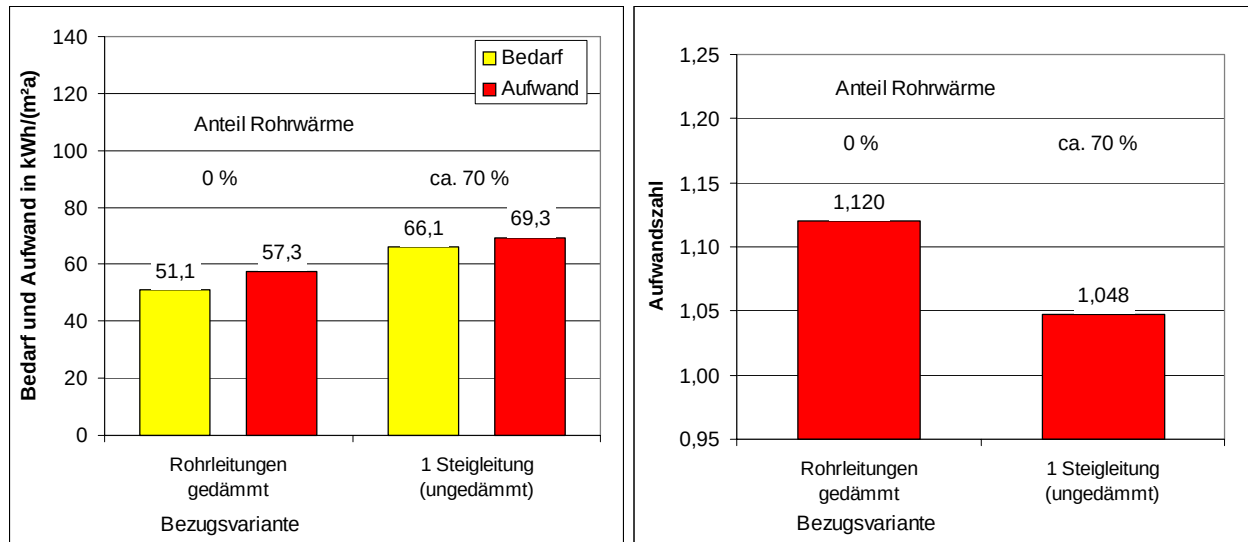


Abbildung 8: Bedarf, Aufwand und Aufwandszahl in Abhängigkeit von der Rohrwärmeabgabe
Raum nach EnEV

Kriterium	Zuschlag	spez. Verlust $q_{H,ce}$
Auslegungstemperatur 90°C / 70 °C	+ 0,02	+3,0 kWh/m²a
Ungedämmte Rohrleitung im Raum ≥ 1 m	- 0,04	-6,0 kWh/m²a

Tabelle 4: Zuschläge für Aufwandszahlen bei freien Heizflächen

Im Gebäudebestand hat die Fußbodenheizung, insbesondere aus praktischen Gründen (z.B. Platzbedarf und Statik), aber auch wegen der thermischen Behaglichkeit (z.B. Strahlungsasymmetrie und Zugluftrisiko), eine eher untergeordnete Bedeutung. Trotzdem sind Aussagen zu den Aufwandszahlen erforderlich. Nach neueren Berechnungen von Seifert gilt grundsätzlich, dass unter Einbeziehung sämtlicher relevanter Einflussgrößen Heizkörper und Fußbodenheizung etwa die gleichen Werte für den Heizenergiebedarf aufweisen. Damit werden die Festlegungen in DIN V 4701-10 bestätigt und sollten im Bestand ebenfalls Anwendung finden.