

Wohnungslüftung mit kombinierten Systemen

Harald Krause
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Wohnungslüftung mit kombinierten Systemen

Markus Wirnsberger, Dominik Aimer, Harald Krause
Technische Hochschule Rosenheim

1. Einleitung

Die DIN 1946 Teil 6: «Lüftung von Wohnungen» wurde 2019 novelliert [2]. Konnte nach der bisherigen Norm für eine Nutzungseinheit nur eine Art von Lüftungssystem verwendet werden, ist in der Neuauflage nun auch die Überlagerung unterschiedlicher Lüftungssysteme in einer Nutzungseinheit zulässig. Bisher stehen hierfür allerdings keine Auslegungsgrundlagen zur Verfügung. Die Lüftungssysteme können nach Norm ausgelegt werden, jedoch werden hierbei die Wechselwirkungen zwischen den Systemen nicht berücksichtigt.

Solche Auslegungsgrundlagen wurden im Forschungsprojekt AirCosim [1] erarbeitet. Da die Effektivität und die Akzeptanz von Wohnungslüftungssystemen von vielen Faktoren abhängig sind, wurden neben den lüftungstechnischen Leistungskriterien, wie Luftqualität und Lüftungswärmeverluste, auch noch weitere Aspekte betrachtet. Für die Bewertung der Lüftungskonzepte wurde sowohl eine Analyse der Gesamtkosten für einen Zeitraum von 30 Jahren als auch eine Bewertung der thermischen Behaglichkeit durchgeführt. In einer Nutzerakzeptanzstudie wurden die Akzeptanz der Nutzer von unterschiedlichen Lüftungssystemen, als auch das allgemein verfügbare Wissen über Wohnungslüftung ermittelt.

Für die Untersuchung der Lüftungseigenschaften und der Wechselwirkungen der unterschiedlichen Lüftungssysteme untereinander wurden sowohl ein Multizonen-, als auch ein zonales Simulationsmodell mithilfe von Messergebnissen validiert. Diese Messungen wurden in der Forschungswohnung an der Technischen Hochschule Rosenheim durchgeführt. Mit den Simulationsmodellen wurde mit einer Jahressimulation das Verhalten der Lüftungssysteme für drei verschiedene Grundrisse ermittelt und mit zuvor festgelegten Kriterien das Lüftungsverhalten bzgl. Luftqualität und Energieeffizienz bewertet. Es konnten so Dimensionierungsempfehlungen für überlagerte Lüftungskonzepte erarbeitet werden. Zusätzlich wurden die in Deutschland üblicherweise verwendeten Lüftungskonzepte anhand von weiteren Kriterien bewertet.

1.1. Lüftungssysteme nach DIN 1946-6

Lüftungssysteme für Wohnungen dienen zur Sicherstellung des Feuchteschutzes, aber auch zur Gewährleistung einer guten Luftqualität für die Bewohner. Im Hinblick auf den Feuchteschutz soll verhindert werden, dass durch einen zu geringen Luftaustausch, die Luftfeuchte im Gebäude kritische Werte überschreitet und so zur Beeinträchtigung der Gesundheit von Bewohnern und zu Schäden an Gebäuden führen kann. Ein zu geringer Luftwechsel kann unterschiedliche Ursachen haben. Grundsätzlich werden Gebäude jedoch immer dichter gebaut, um den unkontrollierten Luftaustausch zwischen Gebäude und Umgebung zu verringern und Feuchteschäden in Bauteilen zu vermeiden. Um Feuchteschäden zu verhindern, muss deshalb ein nutzerunabhängiger Mindestluftwechsel gewährleistet sein. Wird dieser Mindestluftwechsel nicht durch Infiltrationsvolumenströme abgedeckt, muss der Luftwechsel über eine lüftungstechnische Maßnahme sichergestellt werden. Die Dimensionierung der Maßnahme erfolgt nach DIN 1946-6:2019 [2]. In der DIN 1946-6:2019 [2] werden verschiedene Typen von Lüftungssystemen aufgeführt (Abbildung 1). Es wird zwischen zwei Hauptgruppen «Freie Lüftung» und «Ventilatorgestützte Lüftung» unterschieden. Diese werden wiederum in Untergruppen unterteilt. Bei der ventilatorgestützten Lüftung wird zwischen den folgenden Typen «Abluftsystem», «Zuluftsystem» und «Zu-/Abluftsystem» differenziert.

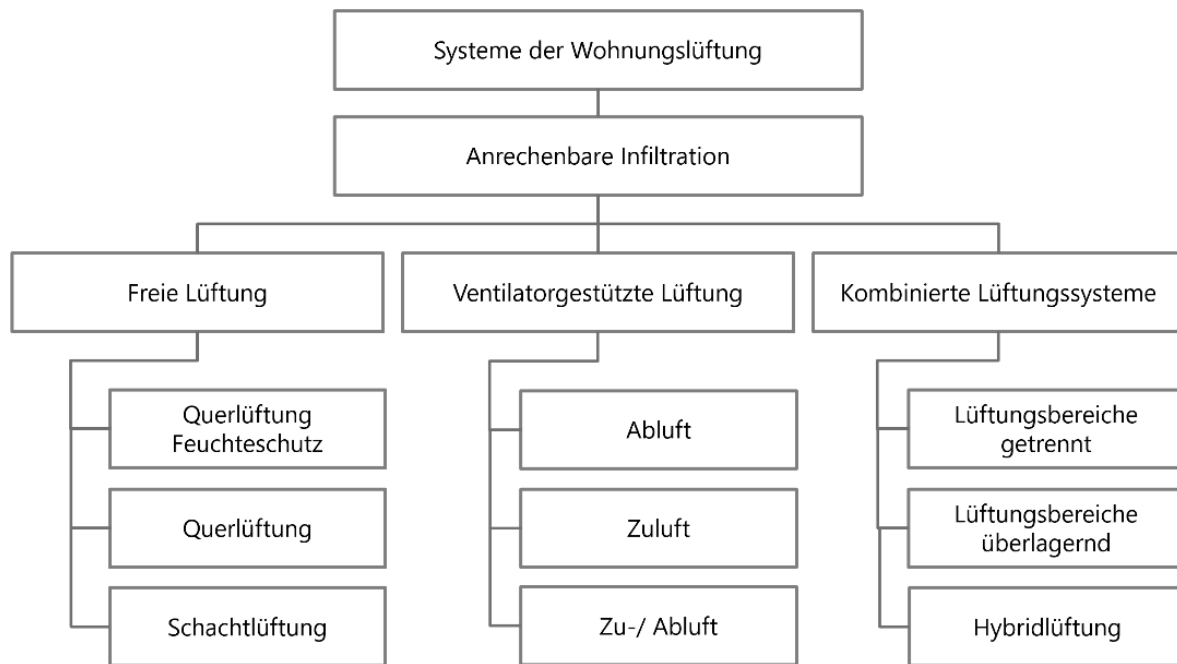


Abbildung 1: Systeme der Wohnungslüftung nach DIN1946-6:2019 [1] (eigene Darstellung)

Nach aktueller Norm können nun auch mehrerer Lüftungssysteme innerhalb einer Wohneinheit kombiniert werden. Dies bietet neue Möglichkeiten bei der Be- und Entlüftung von Räumen. Bspw. können Einzelraumlüftungsgeräte (Zu- und Abluftsystem) in den Aufenthaltsräumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer) mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Bad, Küche) kombiniert werden. Bisher stehen noch keine Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für Planer und Bauherren für kombinierte Lüftungssysteme zur Verfügung.

Eine korrekte Dimensionierung der Luftvolumenströme und somit der Anlagenbestandteile hat einen entscheidenden Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten von Wohnungslüftungsanlagen. Um die Akzeptanz und somit die Verbreitung von Wohnungslüftungsanlagen zu fördern, ist es von Interesse, diese Kosten möglichst gering zu halten.

2. Untersuchungen im Projekt

2.1. Wohnungsgrundrisse

Um allgemeine Schlussfolgerungen treffen und die Ergebnisse auf in Deutschland übliche Wohnsituation im mehrgeschossigen Wohnbau übertragen zu können, wurde jeweils ein Grundriss für einen Ein-, Zwei-, und einen Drei-Personen-Haushalt gewählt. Die Grundrisse für den Ein- und den Drei-Personen-Haushalt entsprechen den in der DIN 1946-6:2019 Beiblatt 1 [3] für die Beispielrechnungen verwendeten Grundrisse. Für den Zwei-Personen-Haushalt wurde der Grundriss der Forschungswohnung der Technischen Hochschule Rosenheim verwendet. Die Grundrisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

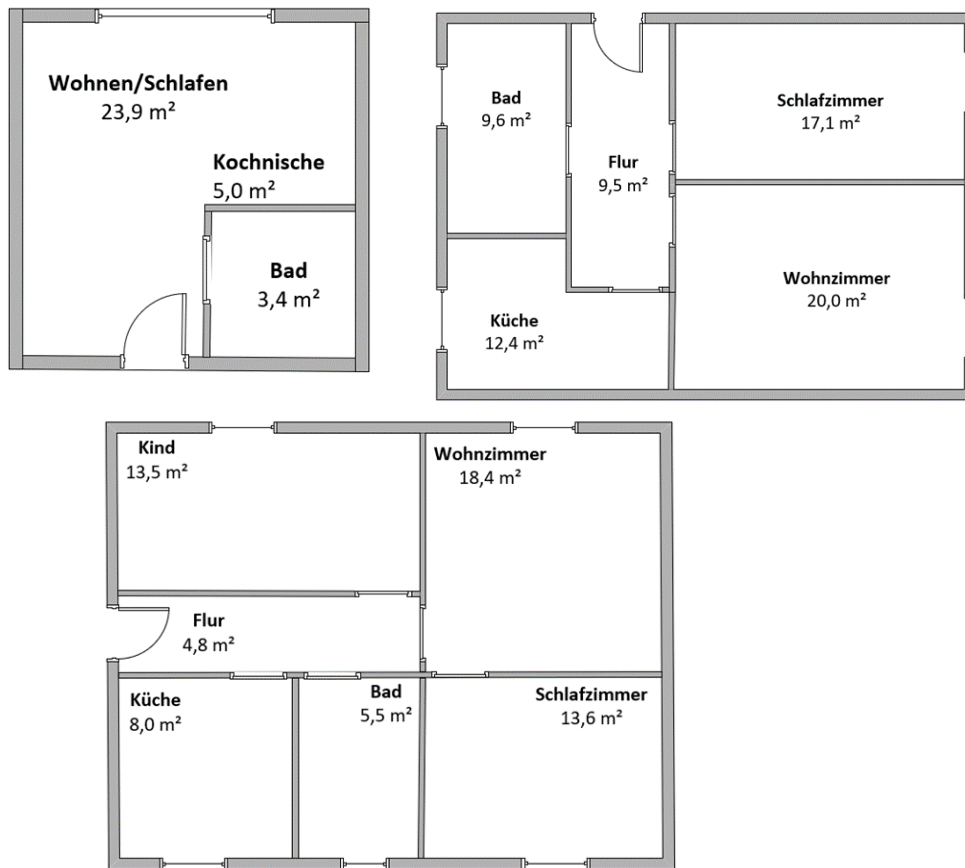


Abbildung 2: Untersuchte Wohnungsgrundrisse (nicht maßstabsgetreu). Rechts oben ist die Forschungswohnung an der TH Rosenheim dargestellt.

2.2. Untersuchte Systeme

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Lüftungseigenschaften unterschiedlicher Wohnungslüftungssysteme untersucht. In der DIN 1946-6:2019 [2] ist festgelegt, dass die Volumenströme für die Belüftung von innenliegenden Bädern und Toilettenräumen ohne Fenster nach DIN 18017-3:2020 [4] auszulegen sind. Diese Auslegung kann auch für entsprechende Küchen angewandt werden. Das Studentenapartment ist von den verwendeten Grundrissen der einzige mit innenliegendem Bad. Deshalb wurde für das Studentenapartment eine Fallunterscheidung zwischen Auslegung mit Berücksichtigung und ohne Berücksichtigung der DIN 18017-3:2020 [4] vorgenommen. Es ist hier anzumerken, dass bei der Zwei- und Drei-Zimmer-Wohnung die Volumenströme bei Auslegung nach DIN 18017-3:2020 [4] (bei konstantem Betrieb und DIN 1946-6:2019 [2]) identisch sind. Daher wurde hier auf eine Fallunterscheidung verzichtet.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der im Projekt untersuchten Lüftungssysteme. Die Volumenströme wurden nach DIN 1946-6:2019 [2], bzw. nach DIN 18017-3:2020 [4], ausgelegt. Eine detaillierte Erklärung sowie die Auslegung der Systeme findet man im Forschungsbericht [1].

Tabelle 1: Untersuchte Lüftungssysteme

	Bezeichnung Lüftungssystem	Kombination von
1	Zentrales Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung	Keine
2	Zentrales Lüftungssystem mit WRG und aktiven Überströmern	Semi-Zentrales-Lüftungsgerät + Aktive Überströmer
3	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte	Keine
4	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN1946-6)	Rekuperative ERLG + Abluftventilatoren
5a	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN1946-6)	Regenerative ERLG + Abluftventilatoren
5b	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Abluftventilatoren in den Ablufträumen (Betrieb nach DIN18017-3)	Regenerative ERLG + Abluftventilatoren
6	Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in den Zulufräumen, Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte in den Ablufträumen	Regenerative ERLG + Rekuperative ERLG
7	Abluftanlage nach DIN1946-6	Keine
8a	Abluftanlage nach DIN18017-3 in Bad und Küche (Reduzierter Betrieb)	Keine
8b	Abluftanlage nach DIN18017-3 in Bad und Küche (Anwesenheitsgeführt)	Keine
9	Rekuperative Einzelraumlüftungsgeräte (Auslegung reduzierter Betrieb) + idealisierte Fensterlüftung	Dezentrale Lüftungsgeräte + Freie Lüftung

Regenerative ERLG: Einzelraumlüftungsgeräte mit regenerativen Wärmespeichern (Pendellüfter)

Rekuperative ERLG: Einzelraumlüftungsgeräte mit Luft-Luft Wärmeübertrager

Aktive Überströmer: Ventilator betriebener Überströmer zwischen zwei Räumen, z.B. Schlafzimmer und Flur

Exemplarisch ist das System 1, welches als Referenzsystem für alle mit Wärmerückgewinnung dient, in der Umsetzung für die Zwei-Zimmer-Wohnung in dargestellt.

In Tabelle 2 findet man die dazugehörigen Volumenströme.

Tabelle 2: Ermittlung der raumweisen Volumenströme für Nennlüftung nach DIN 1946-6:2019 [1] für das Lüftungssystem: zentrales Lüftungssystem

		Volumenstrom in m ³ /h			
		Studentena. mit DIN 18017-3	Studentena. ohne DIN 18017-3	Zwei-Zimmer- Wohnung	Drei-Zimmer- Wohnung
Ab- luft	Bad	40	27,5	40	40
	Küche	27,5	27,5	40	40
Zuluft	Schlafzimmer	67,5	55	40	28,5
	Wohnzimmer	-	-	40	28,5
	Kinderzimmer	-	-	-	23

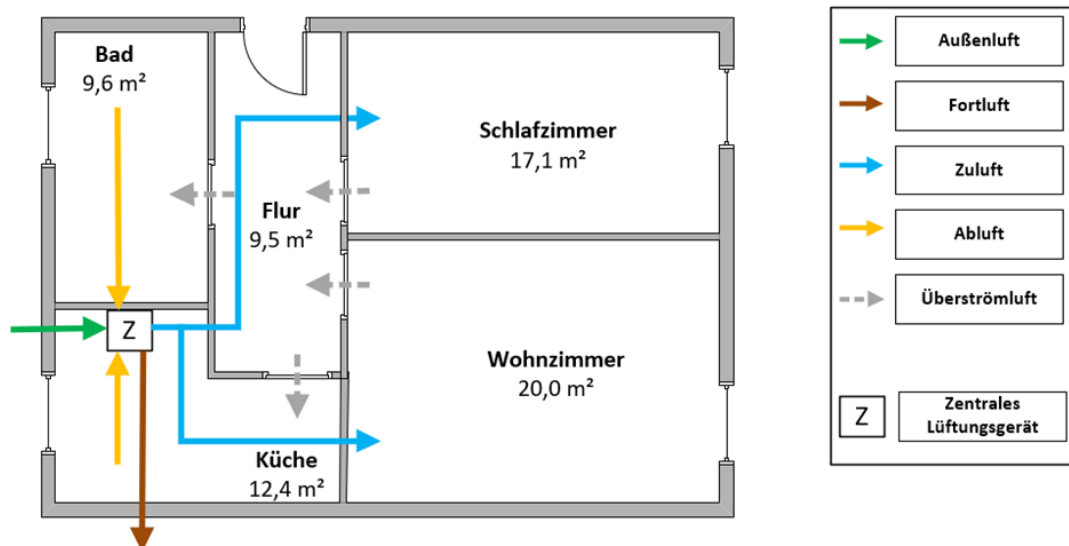


Abbildung 3: Grundriss Zwei-Zimmer-Wohnung, Schematische Darstellung zentrales Lüftungssystem

2.3. Durchgeführte Untersuchungen

Es wurden sowohl messtechnische als auch Untersuchungen mittels Simulationen durchgeführt. Das vom Fraunhofer IBP entwickelte Indoor Environment Simulation Suite (IESS), welches auf einem zonalen Simulationsmodell, dem VELOCITY Propagating ZONal-Modell (VEPZO Modell), basiert [5] wurde anhand von Messergebnissen in der Forschungswohnung validiert. Dazu wird auf den Forschungsbericht verwiesen [5].

Ganzjahressimulationen wurden mit CONTAM [6] durchgeführt. Das Modell hierzu wurde vorab anhand der Messungen validiert.

In der Forschungswohnung wurden für die jeweiligen Lüftungssysteme folgende Messungen durchgeführt:

- Ermittlung der raumweisen und lokalen Luftwechselraten unter stationären Bedingungen mit dem Indikatorgasverfahren nach DIN EN ISO 12569.
- Simulation von realen Nutzungsprofilen durch Einbringen von Feuchte und CO₂ nach definierten Tagesprofilen.
- Messungen zur thermischen Behaglichkeit in einzelnen Räumen. Dazu wurde die Außenluft mittels vorgesetzter Klimaschalen auf bis zu -10°C konditioniert.

Die Messungen wurden jeweils mit konstanten Volumenströmen durchgeführt. Eine bedarfsgeführte Lüftung auf Basis der Luftqualität wurde in den Jahressimulationen zum Teil berücksichtigt.

3. Ergebnisse

3.1. Bewertungsgrößen

Alle Systeme wurden nach verschiedenen Kriterien bewertet, um einen praxisgerechten Vergleich zu ermöglichen. Das sind im Einzelnen:

- Raumweise Feuchteüberstunden über 50% r.F.
- Raumweise CO₂-Über(ppm)stunden über 1000ppm zur Bewertung der Luftqualität¹.

¹

$$E_{\text{CO}_2 > 1000} = \int (C_{\text{CO}_2 > 1000}(t) - 1000) dt$$

$E_{\text{CO}_2 > 1000}$
 $C_{\text{CO}_2 > 1000}(t)$
 t

CO₂-Über(ppm)stunden
 CO₂-Konzentration im Raum über 1000 ppm
 Zeit

in ppm*h
 in ppm
 in h

- Lüftungswärmeverluste: vereinfachend wurde für alle Systeme mit Wärmerückgewinnung der gleiche Wärmebereitstellungsgrad angesetzt
- Elektrischer Energiebedarf: Jahreswerte wurden anhand der Herstellerspezifikationen ermittelt
- Effizienz des Lüftungssystems: Dabei wurden Luftqualität, Raumluftfeuchte und Energieeffizienz relativ zum Referenzsystem bewertet
- Thermische Behaglichkeit: PMV, PPD und DR wurden nach ISO 7730 [7] messtechnisch ermittelt.
- Vergleiche der Wirtschaftlichkeit mit Annuitätenmethode nach VDI 2067 [8]

3.2. Ergebnisse

Exemplarisch werden die Ergebnisse der Varianten für die Zwei-Zimmer-Wohnung in Abbildung 4 dargestellt und diskutiert. Als Referenzsystem wird wie bereits erwähnt eine wohnungszentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (im Folgenden als System 1 bezeichnet) verwendet.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgezählten Systemen wurden noch Varianten zu den Systemen mit angepassten Volumenströmen aufgenommen.

System 2 – Aktive Überströmer

Der Volumenstrom der aktiven Überströmer wurde äquivalent eines Lüftungssystems ausgelegt, bei dem die Zuluft Außenluftqualität entspricht. Da die aktiven Überströmer jedoch keine Außenluft, sondern Mischluft fördern sind die CO₂-Über(ppm)stunden entsprechend hoch. Um dem entgegenzuwirken wurde der Volumenstrom der aktiven Überströmer um 30 % erhöht. Hierdurch verringern sich die CO₂-Über(ppm)stunden von 203 % auf 111 % über den des zentralen Lüftungssystems. Auch die Feuchteüberstunden sinken von 14 % auf 9 % über den Feuchteüberstunden von System 1. Die elektrische Leistungsaufnahme erhöht sich dabei nur gering.

Eine Erhöhung des Volumenstroms der aktiven Überströmer erhöht die Luftqualität. Gleichzeitig ist die zusätzlich Stromaufnahme gering. Eine Erhöhung ist daher empfehlenswert. Weitere Ergebnisse zu diesem System findet man unter [9].

System 3 – Einzelraumlüftungsgerät

Die Luftqualität (bewertet anhand CO₂-Über(ppm)stunden und Feuchteüberstunden) ist ohne Anpassung besser als bei dem zentralen Lüftungssystem (geringere CO₂-Über(ppm)stunden und Feuchteüberstunden). Durch eine Reduktion des Volumenstroms der Einzelraumlüftungsgeräte um 10% entsprechen die CO₂-Über(ppm)stunden denen des zentralen Lüftungsgeräts, die Feuchteüberstunden sind immer noch 11% geringer. Jedoch konnten die Lüftungswärmeverluste um 20% gesenkt werden. Diese sind dann um 72% höher als beim zentralen Lüftungsgerät. Die annuitätischen Kosten sind um 38% geringer als beim System 1. Bei einer Reduktion des Volumenstroms um 20% oder mehr wird die Luftqualität schlechter als beim zentralen System.

Eine Reduktion des Volumenstroms um 10% ist ohne Verschlechterung der Luftqualität (im Vergleich zum zentralen Lüftungssystem) möglich, jedoch sinken hierdurch die Lüftungswärmeverluste sowie die annuitätischen Ausgaben. Eine Reduktion um 10% gegenüber den Normwerten kann daher empfohlen werden.

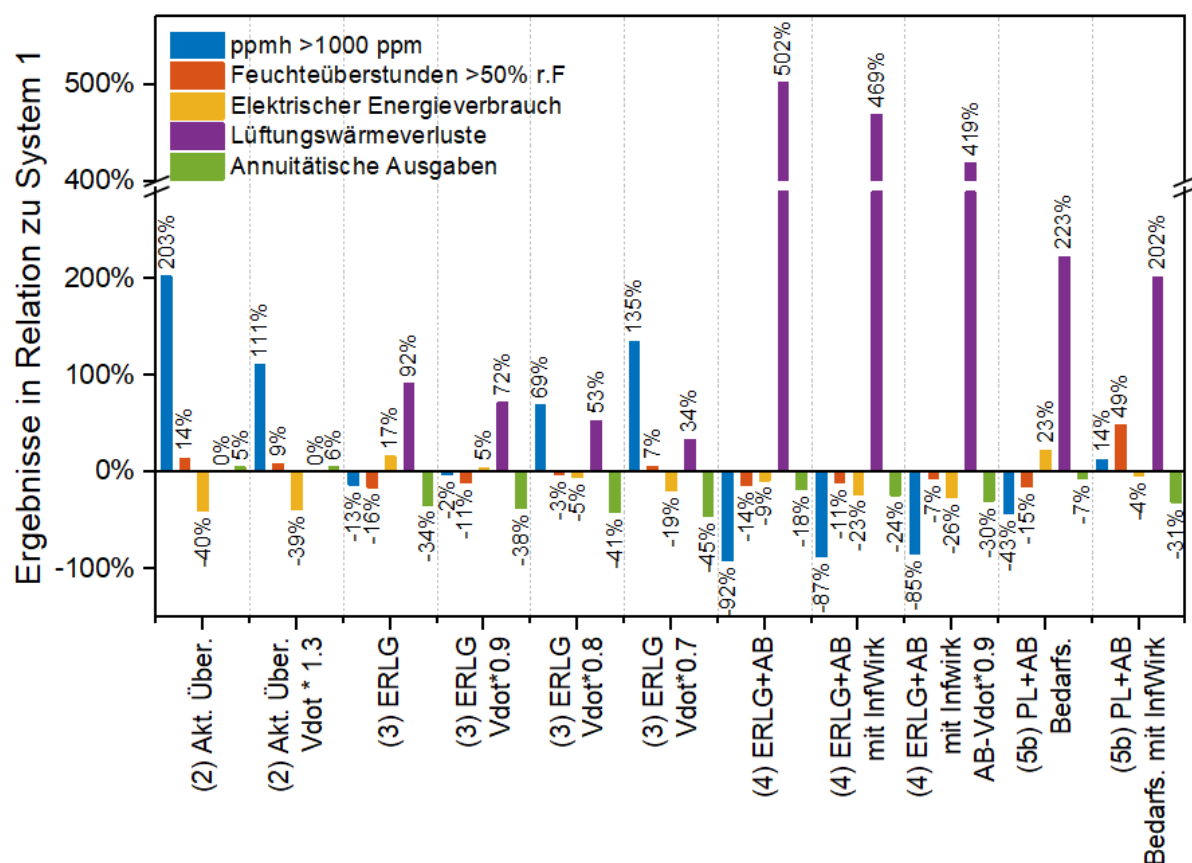


Abbildung 4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Varianten für die Zwei-Zimmer-Wohnung

System 4 – Einzelraumlüftungsgeräte in Kombination mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen

Ohne die Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms ist die Luftqualität bei System 4 besser als bei System 1. Die Lüftungswärmeverluste sind ohne Anpassung 502% höher als beim zentralen Lüftungssystem. Durch Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms und der Reduktion des Volumenstroms der Abluftventilatoren um 10% sinken die Lüftungswärmeverluste auf 419% über denen von System 1. Die CO₂-Über(ppm)stunden liegen dann noch bei unter 85% des zentralen Lüftungssystems. Die Feuchteüberstunden haben zugenommen auf 7% weniger als beim Referenzsystem.

System 5b – Regenerative Einzelraumlüftungsgeräte in Kombination mit Abluftventilatoren in den Ablufträumen, Bedarfsführung nach DIN18017-3

System 5b erreicht eine bessere Luftqualität als das Referenzsystem. Aufgrund der fehlenden Wärmerückgewinnung im Bad sind die Lüftungswärmeverluste höher. Bei der Anpassung wurde nun der wirksame Infiltrationsvolumenstrom bei der Auslegung der Einzelraumlüftungsgeräte berücksichtigt. Hierdurch verschlechtert sich die Luftqualität. Die CO₂-Über(ppm)stunden steigen dann von zunächst 43% unter dem zentralen Lüftungssystem auf über 14% an. Die Feuchteüberstunden liegen vor der Anpassung 15% unter, nach der Anpassung 49% über dem Wert des Referenzsystems. Die Lüftungswärmeverluste sinken von zunächst 223%, auf 202% über dem des zentralen Lüftungssystems. Durch die Reduktion der Volumenströme sinken auch die annuitätischen Ausgaben von 7% auf unter 31% der Werte von System 1.

Durch die Anrechnung des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms verschlechtert sich die Luftqualität, insbesondere die Feuchteüberstunden liegen nach der Anpassung über denen des zentralen Lüftungssystems. Deswegen erscheint eine Anrechnung hier nicht sinnvoll. Bei System 5b handelt es sich um ein bedarfsgeführtes Lüftungssystem, bei dem die Luftqualität letztendlich von den eingestellten Regelparametern und Grenzwerten abhängt. Ein Rückschluss auf die allgemeine Sinnhaftigkeit der Anrechenbarkeit des wirksamen Infiltrationsvolumenstroms sollte daher nicht erfolgen.

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Im vorliegenden Projekt wurden die Grundlagen für die Untersuchung und Bewertung von Wohnungslüftungssystemen auf Basis experimenteller Daten geschaffen. Die Bewertung der Luftqualität mit Hilfe von CO₂-über-(ppm)-Stunden erweist sich als sinnvolles Werkzeug, um insbesondere eine Bewertung von bedarfsgeführten Systemen (smart ventilation) zu ermöglichen. Dies soll in zum Teil internationalen Folgeprojekten weiterentwickelt werden.

Es zeigte sich, dass eine vergleichende Bewertung unter Berücksichtigung aller Bewertungsgrößen schwierig und nicht vollständig schlüssig durchzuführen ist. Dies liegt unter anderem an der aus Bauherrensicht nicht eindeutig festzulegenden Gewichtung der Bewertungsgrößen zueinander. Grundsätzlich lassen sich mit allen Systemen gute Raumluftqualitäten erreichen, jedoch zum Teil mit deutlichen Verlusten bei der Energieeffizienz.

Es konnten dennoch Ergebnisse zu Anpassungen der Auslegungsvolumenströme nach DIN 1946-6 abgeleitet werden. Dies soll in die weitere Normungsarbeit einfließen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine hier nicht erwähnte Probandenstudie zur Wohnungslüftung durchgeführt. Ergebnisse hierzu findet man im Abschlussbericht [1].

Projektbeteiligte und Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung für die Förderung im Rahmen der Förderlinie Zukunft Bau und dem Projektbetreuer Andreas Windisch für dessen Unterstützung.

Bei unserem Projektpartner Fraunhofer IBP, namentlich Rafael Gramm, Sarah Heiler, Sumee Park bedanken wir uns für die gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt unseren Partnern aus den beteiligten Unternehmen für die Mitarbeit und die finanzielle Unterstützung:

CG Elementum AG: Ruediger Buchheim (bis 02.2020), Steffen Guhlemann (ab 02.2020)

Maico GmbH: Dipl.-Ing. (FH) Achim Grunschel

VELUX Deutschland GmbH: Daniel Pauk, M.Eng.

-
- [1] Markus Wirnsberger, Dominik Aimer, Harald Krause, Sarah Weiner, Sumee Park: Untersuchung kosten-günstiger Lüftungslösungen für den mehrgeschossigen Wohnungsbau hinsichtlich Energieeffizienz, Lüftungseffektivität und Nutzerkomfort in gekoppelten Labor- und Simulationsumgebungen, Abschlussbericht 2021, ZukunftBau, SWD-10.08.18.7-18.24
 - [2] DIN 1946-6:2019-12, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung, 2019, Beuth Verlag Berlin
 - [3] DIN 1946-6 Beiblatt 1:2012-09, Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung – Beiblatt 1: Beispielberechnungen für ausgewählte Lüftungssysteme, 2012, Beuth Verlag Berlin
 - [4] DIN 18017-3:2020-05, Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster – Teil 3: Lüftung mit Ventilatoren, 2020, Beuth Verlag Berlin
 - [5] Pathak, A., Norrefeldt, V. u. Grün, G.: Modelling of Radiative Heat Transfer in Modelica with a Mobile Solar Radiation Model and a View Factor Model. Proceedings of the 9th International MODELICA Conference, September 3-5, 2012, Munich, Germany. Linköping Electronic Conference Proceedings. Linköping University Electronic Press 2012, S. 271–278
 - [6] CONTAM User Guide and Program Documentation Version 3.2, Dols, W. S. u. Polidoro, B. J., 2015
 - [7] 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); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005
 - [8] VDI 2067 Blatt 1:2012-09. Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung
 - [9] Strobl, T., Wirnsberger, M. u. Krause, H.: Einfache Lüftungssysteme für Wohngebäude – Untersuchungen in einer Forschungswohnung. International Passivehouse Conference 2018. München: PHI Darmstadt 2018, S. 8