

Schlussbericht

Bedarfsgeführtes Lüftungssystem

Thermische Behaglichkeit und Lüftungseffektivität von feuchtegeführten Zuluft- und Abluftelementen mit zentralem Abluftventilator und energetische Gegenüberstellung mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

Autoren:	Kevin Lausch, M.Sc. Alexander Neubauer, M.Sc. Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel
Anschrift:	Hermann-Rietschel-Institut Sekretariat HL 45 Marchstr. 4 10587 Berlin
Bearbeitungszeitraum:	August 2020 bis November 2020

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Nomenklatur.....	5
1 Einleitung	1
2 CFD-Simulation zur Lüftungseffektivität und zur thermischen Behaglichkeit	2
3 Energetische Betrachtung der feuchtegeführten Lüftung	6
3.1 Verwendete Randbedingungen.....	6
3.2 Ergebnisse der energetischen Bewertung.....	9
3.3 Darstellung des zeitlichen Verlaufs	14
3.4 Zusammenfassung der energetischen Bewertung	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Temperaturfeld auf verschiedenen Raumquerschnitten an der Zuluft einbringung und im Personenbereich, Randbedingungen: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ Zulufttemperatur, $2 \cdot 12\text{ m}^3/\text{h}$ Zuluftvolumenstrom	2
Abbildung 2: Feld des normierten Alters der Luft auf verschiedenen Querschnittsebenen im Aufenthaltsbereich, Normierung erfolgt mit dem Volumenmittelwert des Raums..	3
Abbildung 3: Boxplot für die Außentemperatur (links) und die absolute Feuchte (rechts) der verschiedenen Standorte.....	6
Abbildung 4: Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit.....	8
Abbildung 5: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit	8
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Funktion der Wärmerückgewinnung.....	9
Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Simulationsgrößen für einen charakteristischen Tag	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifikationen und ausgewählte Ergebnisse der Wohnzimmersimulationen	4
Tabelle 2: Spezifikationen und ausgewählte Ergebnisse der Schlafzimmersimulationen.....	5
Tabelle 3: Übersicht der klimatischen Randbedingungen der drei gewählten Standorte	6
Tabelle 4: Randbedingungen der verschiedenen Wohnungstypen.....	7
Tabelle 5: Auslegungsbedingungen der Wohnungen feuchtegeführte Lüftungsanlage.....	8
Tabelle 6: Druckverluste des zentralen Lüftungsgeräts und der sonstigen Komponenten für die verschiedenen Wohnungstypen.....	9
Tabelle 7: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Garmisch-Patenkirchen	10
Tabelle 8: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Garmisch-Patenkirchen	10
Tabelle 9: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Kassel	11
Tabelle 10: Volumenstromspezifischer thermischer Energiebedarf der Standorte Garmisch- Patenkirchen und Kassel.....	11
Tabelle 11: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Kassel	12
Tabelle 12: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Bremerhaven	12
Tabelle 13: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Bremerhaven	13
Tabelle 14: Zusammenfassende Systemgegenüberstellung für verschiedene Wohnungstypen und Standorte	13

Nomenklatur

Symbol / Indices / Abkürzung	Einheit	Bedeutung
CFD		computational fluid dynamics
G.-P.		Garmisch-Patenkirchen
KWL		Kontrollierte Wohnraumlüftung
TRY		Testreferenzjahr
WRG		Wärmerückgewinnung

1 Einleitung

In dem Forschungsprojekt „Bedarfsgeführtes Lüftungssystem“ wird ein feuchtgeführtes Lüftungssystem für eine Wohnungslüftung im Geschosswohnungsbau untersucht. In diesem System ist am Ende der Steigleitung, die sich über alle Geschosse bis über das Dach erstreckt, ein Zentralventilator installiert. Dieser stellt den Luftwechsel über die Wohnungseinheiten sicher. Die Regelung der verbrauchten Luft erfolgt über feuchtegeführte Abluftelemente in den Ablufträumen, wodurch die Lufterneuerung gewährleistet ist. Feuchtegeführte Zuluftelemente lassen in Abhängigkeit des tatsächlichen Bedarfs Frischluft nachströmen. Das feuchtegeführte Lüftungssystem wird bezüglich seiner Raumluchtströmung und des Energiebedarfs untersucht. Zur Bewertung der Raumluchtströmung wird die Raumlufttemperatur und das Alter der Luft für verschiedene Außentemperaturen mit Hilfe von CFD-Simulationen bestimmt. Für die Bewertung des thermischen und elektrischen Energiebedarfs wird eine Jahressimulation für verschiedene Wohnungstypen durchgeführt und mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung verglichen.

Ziel der Untersuchung ist die Bewertung der thermischen Behaglichkeit und des Energiebedarfs des feuchtegeführten Lüftungssystems.

2 CFD-Simulation zur Lüftungseffektivität und zur thermischen Behaglichkeit

CFD-Simulationen werden für jeweils ein generisches Schlaf- und Wohnzimmer mit einer bzw. zwei vereinfachten Personen im Raum durchgeführt. Unterschiedliche Außenbedingungen beeinflussen sowohl die Temperaturrandbedingungen der Grenzflächen als auch die in Abhängigkeit der Außentemperatur definierten Zuluftvolumenströme über die Wanddurchlässe. Die ebenfalls außentemperaturabhängige Wärmeleistung der Heizung sowie die Wärmeleistung von Personen und vorhandenen Elektrogeräten wird berücksichtigt. Als Kontrollgrößen dienen das normierte Alter der Luft (im Volumenmittelwert) und verschiedene Temperaturwerte (z.B. am Auslass, an den Personen). Für jeden Raum werden vier Fälle in einer großen Temperaturspannweite (-10 °C, 0 °C, 12 °C, 30 °C) implementiert. Die Spezifikationen und einzelne Simulationsergebnisse sind in den Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst. Insgesamt ergibt sich eine gute Übereinstimmung zwischen dem erwarteten mittleren Alter der Luft und dem Volumenmittelwert aus den Simulationen.

Abbildung 1 stellt das Temperaturfeld auf verschiedenen Querschnittsebenen im Raum dar, welche durch die Zuluftdurchlässe und die sitzende Person führen. Für den Fall einer Außentemperatur von 0 °C, eines Zuluftvolumenstroms von $2 \cdot 12 \text{ m}^3/\text{h}$, einer kombinierten Wärmeleistung von 804,54 W und einer Gesamtwärmeleistungsabgabe der Personen von ca. 240 W ergibt sich im personennahen Aufenthaltsbereich eine behagliche Umgebungstemperatur von 18 °C bis 23 °C. Außerdem dargestellt sind die Oberflächentemperaturfelder der benachbarten Wände und des Fensters, wobei jedoch zu beachten ist, dass alle Temperaturwerte außerhalb der Skala in Schwarz bzw. Blau vereinfacht sind. Es ist auffällig, dass die kalte Außenluft nur im sehr nahen Wanddurchlass- bzw. Fensterbereich Einfluss auf die Raumtemperatur nimmt und dort schnell zu Boden sinkt. Diese große Temperaturdifferenz ist im Personenbereich nicht mehr wahrzunehmen.

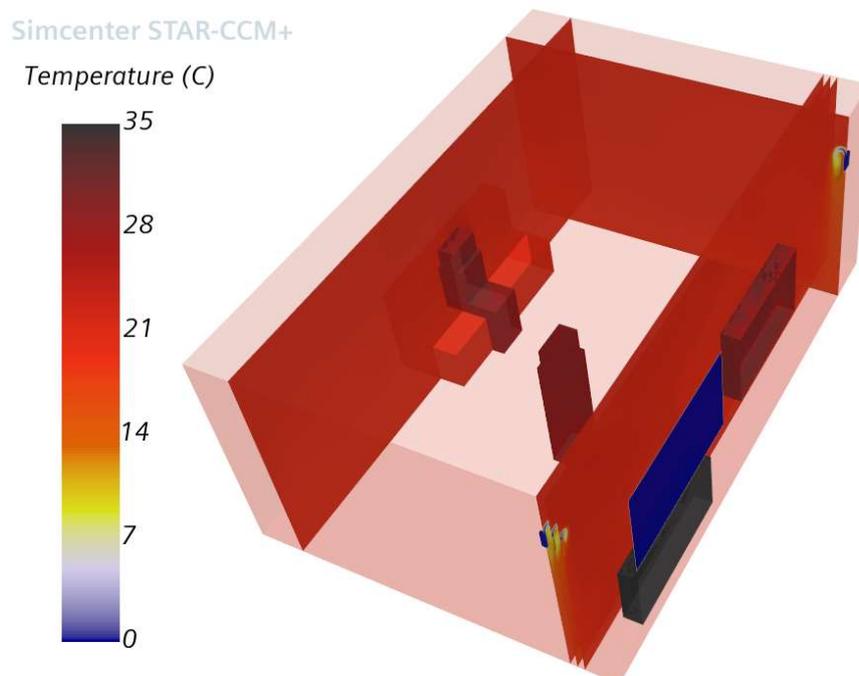


Abbildung 1: Temperaturfeld auf verschiedenen Raumquerschnitten an der Zuluft einbringung und im Personenbereich, Randbedingungen: 0 °C Zulufttemperatur, $2 \cdot 12 \text{ m}^3/\text{h}$ Zuluftvolumenstrom

Das Alter der Luft stellt eine Bezugsgröße für die Lüftungseffektivität und gibt Aufschluss über die durchschnittliche Verweilzeit der Luft in einem Raum. Durch die Raumgröße und die vorgegebene Lüftungstechnik bzw. deren Volumenströme ist das (räumliche) mittlere Alter der Luft vorbestimmt. Lokal können sich jedoch deutliche Unterschiede ergeben. Für den Aufenthaltsbereich in einem Wohnzimmer ist eine gleichmäßige Verteilung des Alters der Luft wünschenswert. Das bedeutet im Besonderen, dass sich die Zuluft möglichst wenig in Rezirkulationsgebieten oder Kurzschlussströmungen zum Auslass hin bewegt.

In Abbildung 2 ist dargestellt, dass das mit dem räumlichen Mittelwert normierte Alter der Luft in allen dargestellten Ebenen sehr homogen bei einem Wert um 1 liegt. Die Werte zeigen damit, dass die Personen in den dargestellten, lokalen Bereichen sehr ähnliche Bedingungen im Sinne der Lufterneuerung vorfinden.

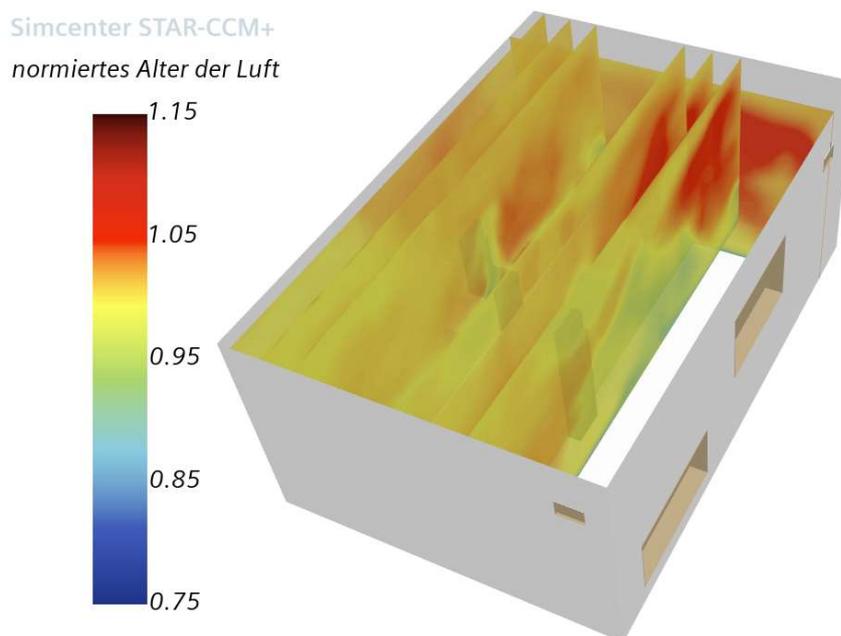


Abbildung 2: Feld des normierten Alters der Luft auf verschiedenen Querschnittsebenen im Aufenthaltsbereich, Normierung erfolgt mit dem Volumenmittelwert des Raums

Tabelle 1: Spezifikationen und ausgewählte Ergebnisse der Wohnzimmersimulationen

Fall WZ, \dot{V} Zuluft		$2 \cdot 8 \text{ m}^3/\text{h}$	$2 \cdot 12 \text{ m}^3/\text{h}$	$2 \cdot 16 \text{ m}^3/\text{h}$	$2 \cdot 20 \text{ m}^3/\text{h}$
Außentemperatur		-10 °C	0 °C	12 °C	30 °C
\dot{V} Zuluft, Messwert	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	0,004	0,006	0,008	0,01
	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	0,004	0,006	0,008	0,01
Raumvolumen	m^3	58,1			
erwartetes mittleres Alter der Luft	s	13064,95	8709,96	6532,47	5225,98
Volumenmittel Alter der Luft	s	12172,35	8579,02	6467,60	5975,15
Wärme Person, stehend	W	142,8			
Wärme Person, sitzend	W	96,9			
Vorgabe Wandtemperatur	°C	20			25
Wärme Fernseher	W	150			
Wärme Heizung	W	1200	654,54	0	
Vorgabe Fenstertemperatur (vereinfacht)	°C	-10	0	12	30

Tabelle 2: Spezifikationen und ausgewählte Ergebnisse der Schlafzimmersimulationen

Fall SZ, \dot{V} Zuluft		$8 \text{ m}^3/\text{h}$	$12 \text{ m}^3/\text{h}$	$16 \text{ m}^3/\text{h}$	$20 \text{ m}^3/\text{h}$
Außentemperatur		-10 °C	0 °C	12 °C	30 °C
\dot{V} Zuluft, Messwert	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	0,002̄	0,003̄	0,004̄	0,005̄
\dot{V} Zuluft, Zielwert	$\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	0,002̄	0,003̄	0,004̄	0,005̄
Raumvolumen	m^3	36,3			
erwartetes mittleres Alter der Luft	s	16350,28	10900,19	8175,14	6540,11
Volumenmittel Alter der Luft	s	15479,30	10820,39	7953,44	6732,06
Wärme Person, liegend	W	66,75			
Vorgabe Wandtemperatur	°C	20			25
Wärme Heizung	W	1200	654,54	0	
Vorgabe Fenstertemperatur (vereinfacht)	°C	-10	0	12	30

3 Energetische Betrachtung der feuchtegeführten Lüftung

Für die energetische Betrachtung der feuchtegeführten Lüftungsanlage werden Jahressimulation durchgeführt. In den Jahressimulationen werden standortabhängige klimatische Bedingungen und wohnungsspezifische Feuchtelastprofile verwendet. Die energetischen Ergebnisse werden mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung (KWL) mit Wärmerückgewinnung (WRG) verglichen, sodass der Jahresenergiebedarf in Relation gesetzt werden kann.

3.1 Verwendete Randbedingungen

Die energetische Betrachtung wird für drei verschiedene klimatische Randbedingungen in Deutschland (kaltes, mäßiges, warmes Klima) und drei Wohnungstypen (1-, 3-, und 4-Zimmer-Wohnung) durchgeführt.

3.1.1 Klimatische Randbedingungen

Zur Ermittlung des Energiebedarfs werden die klimatischen Randbedingungen durch Testreferenzjahre (TRY) vorgegeben. Als kaltes Klima wird der Standort Garmisch-Patenkirchen, als mäßiges Klima Kassel und als warmer Standort Bremerhaven gewählt. In der Tabelle 3 ist die Referenzregion, die mittlere Außentemperatur und die mittlere Feuchte der verschiedenen Standorte aufgelistet. Es handelt sich um mittlere Jahre mit dem Bezugszeitraum 1988-2007.

Tabelle 3: Übersicht der klimatischen Randbedingungen der drei gewählten Standorte

Standort	Referenzregion der TRY	mittlere Außentemperatur	mittlere absolute Feuchte
		°C	g/kg
Garmisch-Patenkirchen	15	7,37	5,89
Kassel	7	9,35	6,17
Bremerhaven	1	10,09	6,46

Die Verteilung der Außentemperatur (links) und der relativen Feuchte (rechts) für die einzelnen Standorte sind in der Abbildung 3 dargestellt. In der Box sind die mittleren 50 % der Werte beinhaltet und die orange Linie innerhalb der Box kennzeichnet den Medianwert. Die Minimalwerte, Medianwerte und die mittleren 50 % der Werte der Außentemperatur und der absoluten Feuchte steigen in Abhängigkeit des Standorts.

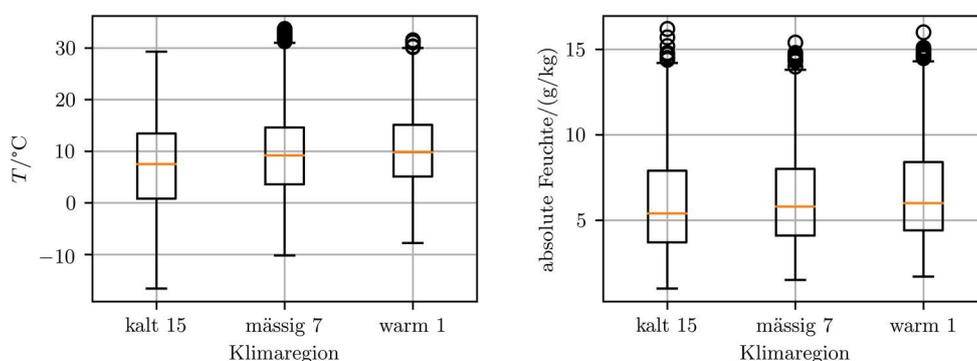


Abbildung 3: Boxplot für die Außentemperatur (links) und die absolute Feuchte (rechts) der verschiedenen Standorte

3.1.2 Wohnungsspezifische Randbedingungen

Es werden drei verschiedene Wohnungstypen für die energetische Betrachtung berücksichtigt. Die Wohnungstypen unterscheiden sich in dem Raumvolumen, den Feuchtelasten und der Anzahl der BewohnerInnen (Tabelle 4). Aufgrund der verschiedenen Feuchtelasten und Anzahl an BewohnerInnen in den Wohnungstypen weisen die Wohnungen verschiedene Nenn-Zuluftvolumenströme auf. Je Wohnung existiert ein Raumluftvolumen mit gleichverteilter relativer Feuchte. Des Weiteren stellt sich aufgrund von Leckage-Flächen und dem Druckunterschied zwischen innen und außen ein zeitlich variierender Leckage-Volumenstrom ein.

Tabelle 4: Randbedingungen der verschiedenen Wohnungstypen

Typ	Wohnfläche	Raumvolumen	Feuchte-Last	BewohnerInnen
	m ²	m ³	kg/Tag	Stk
1-Zimmer-Wohnung	25	70	2,55	1
3-Zimmer-Wohnung	80	224	4,53	2
4-Zimmer-Wohnung	120	336	7,17	4

Der thermische Energiebedarf resultiert aus dem Massenstrom der Zuluft und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Die Zuluft wird in dieser Betrachtung isotherm in den Raum eingebracht. Innerhalb der Heizperiode beträgt die Raumlufttemperatur 20°C. Außerhalb der Heizperiode¹ wird zugrunde gelegt, dass keine Heizenergie benötigt wird. In dieser Betrachtung werden keine internen Wärmegewinne (z.B. Personen, Maschinen etc.) und externe Wärmequellen (z.B. solare Einstrahlung etc.) berücksichtigt. Die benötigte thermische Leistung errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\dot{Q}_{\text{Thermisch, Zuluft}} = \dot{m}_{\text{Zuluft}} \cdot c_{p,\text{Luft}} \cdot \Delta T$$

Für die feuchtegeführte Lüftungsanlage gilt:

$$\Delta T = \max(T_{\text{innen}} - T_{\text{ausßen}}, 0)$$

Für die kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung gilt:

$$\Delta T = \max(T_{\text{nach Wärmeübertrager}} - T_{\text{ausßen}}, 0)$$

3.1.3 Modellierung der feuchtegeführten Lüftungsanlage

Die feuchtegeführte Lüftungsanlage besteht aus Zuluftdurchlässen in den Außenwänden der Aufenthaltsräume und Abluftdurchlässen in den Funktionsräumen Küche und/oder Bad. Ein zentraler oberhalb der Wohnungen platzierter Abluftventilator fördert die Abluft für alle Wohneinheiten des Gebäudes. Es wird in dieser Betrachtung ein Wohngebäude mit einer 1-Zimmer-Wohnung, einer 4-Zimmer-Wohnung und acht 3-Zimmer-Wohnungen zugrunde gelegt.

Zuluft:

Als Berechnungsgrundlage dienen die Parameter des Zuluftdurchlasses Typ GZE HE 43/27 B der Firma GebaVent. Der Zuluftvolumenstrom wird nach der relativen Luftfeuchtigkeit geregelt (siehe Abbildung 4). Der Mindest-Zuluftvolumenstrom beträgt 8 m³/h ab einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 % steigt der Zuluftvolumenstrom linear bis auf 27 m³/h bei einer Raumlufftfeuchte von 90 % an.

¹ 1. Oktober bis 30. April

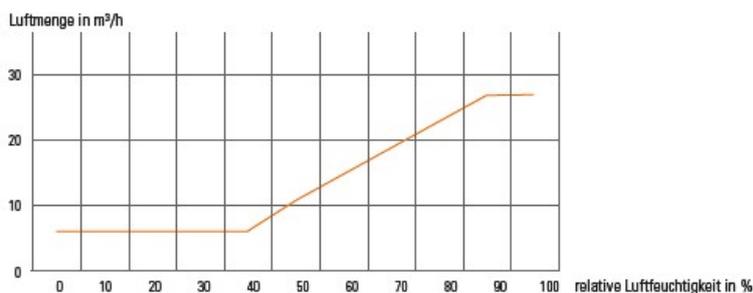


Abbildung 4: Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit

Abluft:

Als Abluftdurchlass werden die Eigenschaften des ALIZE Hygro 10/40/40 verwendet. Der Volumenstrom bei einer Luftfeuchte von 32,5 % beträgt 10 m³/h und steigt bis auf 40 m³/h bei einer Luftfeuchte von 67,5 % an. Es wird keine intensive Kurzlüftung („Spülung“) berücksichtigt.



Abbildung 5: Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit

Der maximale Zuluftvolumenstrom durch die Zuluftelemente resultiert aus der Anzahl der Durchlässe und dem maximalen Zuluftvolumenstrom durch einen Durchlass. Für das gesamte Wohngebäude ergibt sich ein maximaler Abluftvolumenstrom von 783 m³/h bei einem Druckverlust von 90 Pa und einer elektrischen Leistungsaufnahme von 43,5 W.

Tabelle 5: Auslegungsbedingungen der Wohnungen feuchtegeführte Lüftungsanlage

Typ	Anzahl Durchlässe		maximaler Zuluftvolumenstrom
	Zuluft	Abluft	m³/h
1-Zimmer-Wohnung	1	1	27
3-Zimmer-Wohnung	3	2	81
4-Zimmer-Wohnung	4	3	108

3.1.4 Modellierung der kontrollierten Wohnraumlüftung

In der Betrachtung ist in jeder Wohnung eine kontrollierte Wohnraumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert. Der Gegenstrom-Wärmeübertrager hat in der Variante 1 einen Wirkungsgrad von 75 % und in der Variante 2 einen Wirkungsgrad von 80 % im Auslegungszustand. Die WRG erwärmt die Außenluft durch die Abluft der Wohnung vor (siehe Abbildung 6). Bei einer Außenlufttemperatur von unter -5°C wird diese vor dem Wärmeübertrager vorerwärmt. Bei einer Außentemperatur von über 20°C wird die Außenluft durch einen Bypass an dem Wärmeübertrager vorbeigeführt.



Abbildung 6: Schematische Darstellung der Funktion der Wärmerückgewinnung

Die Druckverluste des zentralen Lüftungsgeräts und der sonstigen Komponenten (Kanal, Durchlässe etc.) sind in der Tabelle 6 aufgelistet. Der Zuluftvolumenstrom unterscheidet sich nach anwesend und nicht anwesend.

Tabelle 6: Druckverluste des zentralen Lüftungsgeräts und der sonstigen Komponenten für die verschiedenen Wohnungstypen

Typ	Volumenströme		Druckerhöhung Zuluftventilator		Leistungsaufnahme der Ventilatoren	
	Auslegungs- punkt	reduzierter Betrieb	Auslegungs- punkt	reduzierter Betrieb	Auslegungs- punkt	reduzierter Betrieb
	m^3/h	m^3/h	Pa	Pa	W	W
1-Zimmer- Wohnung	30	10	150	20	8,5	2
3-Zimmer- Wohnung	90	30	250	25	40	8
4-Zimmer- Wohnung	120	40	350	40	73,5	12

3.2 Ergebnisse der energetischen Bewertung

Die energetische Bewertung wird für drei verschiedene Standorte mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen durchgeführt. In der abschließenden Zusammenfassung werden die Unterschiede der Ergebnisse zwischen den einzelnen Standorten bewertet. Das feuchtegeführte Lüftungssystem mit zentralem Abluftventilator verfügt im Gegensatz zu der KWL über nur einen Ventilator. Aufgrund dessen wird der elektrische Energiebedarf für die einzelnen Wohnungen nach deren Abluftvolumenstrom gewichtet.

3.2.1 Energetische Kennwerte für den Standort Garmisch-Patenkirchen

In der Tabelle 7 ist der thermische Energiebedarf für den Standort Garmisch-Patenkirchen für die verschiedenen Wohnungstypen und Lüftungssysteme gegenübergestellt. Bei der KWL wird zwischen einer WRG mit einem Wirkungsgrad von 75 % (Variante 1, erster Wert in den Zeilen) und 80 % (Variante 2, zweiter Wert in den Zeilen) unterschieden. Zur Gegenüberstellung der Systeme wird ausschließlich der thermische Energiebedarf der Erhitzer der KWL mit dem der feuchtegeführten Lüftungsanlage

verglichen. Als Ausgangswert für die Änderung des Energiebedarfs dient die KWL. Je nach Wohnungstyp ist der thermische Energiebedarf für das feuchtegeführte Lüftungssystem mit zentralem Abluftventilator um 140 bis 336 % höher als der der KWL mit WRG. Der flächenspezifische thermische Energiebedarf für das feuchtegeführte Lüftungssystem beträgt zwischen 15,05 und 25,44 kWh/(m²·a) und der für die KWL zwischen 4,85 und 7,16 kWh/(m²·a).

Tabelle 7: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Garmisch-Patenkirchen

Typ	thermischer Energiebedarf				spezifischer thermischer Energiebedarf	
	feuchte- geführt	KWL Erhitzer	Änderung Erhitzer	KWL WRG	feuchte- geführt	KWL (Erhitzer)
		75 % 80 %	(KWL Basiswert)	75 % 80 %		
kWh/a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/(m ² ·a)	kWh/(m ² ·a)	
1-Zimmer- Wohnung	636,93	178,89	256,0	509,02	25,44	7,16
		146,07	336,0	541,83		5,84
3-Zimmer- Wohnung	1266,61	527,67	140,0	1497,3	15,83	6,60
		431,08	193,8	1593,88		5,39
4-Zimmer- Wohnung	1806,58	711,95	153,8	2018,13	15,05	5,93
		581,66	210,6	2148,4		4,85

Der elektrische Energiebedarf der beiden Lüftungssysteme für den Standort Garmisch-Patenkirchen ist in der Tabelle 8 gegenübergestellt. Der Volumenstrom des feuchtegeführten Lüftungssystems ist bei der 1-Zimmer-Wohnung höher als der Volumenstrom der KWL. Für die 3-Zimmer und 4-Zimmer-Wohnung sind die Volumenströme bei der KWL höher. Dies ist auf die verschiedenen Volumenströme (KWL feste Werte) und Feuchtelasten der unterschiedlichen Wohnungstypen zurückzuführen (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 6). Der elektrische Energiebedarf für das feuchtegeführte Lüftungssystem ist um 67 bis 87,8 % geringer als bei der KWL. Der reduzierte elektrische Energiebedarf des feuchtegeführten Lüftungssystems ist auf den höheren Systemwirkungsgrad des Ventilators (feuchtegeführt nur ein Ventilator) und die geringeren Druckverluste (Reduzierung von Kanälen und Komponenten) zurückzuführen.

Tabelle 8: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Garmisch-Patenkirchen

Typ	elektrischer Energiebedarf			spez. elektrischer Energiebedarf		Abluftvolumenstrom		
	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)	feuchte- geführt	KWL	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)
1-Zimmer- Wohnung	16,82	50,92	-67,0	0,672	2,037	233.991	195.870	19,5
3-Zimmer- Wohnung	26,75	235,36	-88,6	0,334	2,917	466.510	574.192	-18,8
4-Zimmer- Wohnung	49,78	408,40	-87,8	0,414	3,403	647.386	773.957	-16,4

3.2.2 Energetische Kennwerte für den Standort Kassel

Der thermische Energiebedarf für den Standort Kassel ist bei der feuchtegeführten Lüftungsanlage mit zentralem Abluftventilator 172,6 bis 403 % größer als bei der KWL mit WRG (siehe Tabelle 9). Die durch den Wärmeübertrager nutzbare Abwärme ist für den Standort Garmisch-Patenkirchen größer als für den Standort Kassel. Insgesamt ist der thermische Energiebedarf an dem Standort Kassel für alle Varianten geringer als für den Standort Garmisch-Patenkirchen. Dies ist auf die höheren Außentemperaturen zurückzuführen (siehe Tabelle 3 und Abbildung 3).

Tabelle 9: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Kassel

Typ	thermischer Energiebedarf				spezifischer thermischer Energiebedarf	
	feuchte- geführt	KWL Erhitzer	Änderung Erhitzer	KWL WRG	feuchte- geführt	KWL (Erhitzer)
		75 % 80 %	(KWL Basiswert)	75 % 80 %		
kWh/a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)	
1-Zimmer- Wohnung	577,0	143,17	303,0	441,88	23,08	5,73
		114,72	403,0	470,33		4,59
3-Zimmer- Wohnung	1148,5	421,39	172,6	1297,92	14,36	5,27
		337,80	240,0	1381,51		4,22
4-Zimmer- Wohnung	1621,2	570,98	183,9	1750,66	13,51	4,76
		456,29	255,3	1863,33		3,80

Der prozentuale Mehrbedarf an thermischer Energie für das feuchtegeführte System ist für den Standort Kassel (172,6-403 %) größer als für den Standort Garmisch-Patenkirchen (140-336 %). Dies ist auf den konstanten Volumenstrom der KWL zurückzuführen, wohingegen der Volumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage je nach Standort variiert. Aus diesem Grund verändert sich auch der volumenstromspezifische thermische Energiebedarf der beiden Systeme für die Standorte unterschiedlich (vgl. Tabelle 10). Der volumenstromspezifische thermische Energiebedarf zwischen den Standorten Garmisch-Patenkirchen (G.-P.) und Kassel ist für die KWL um einen höheren prozentualen Anteil zurückgegangen als bei der feuchtegeführten Lüftung.

Tabelle 10: Volumenstromspezifischer thermischer Energiebedarf der Standorte Garmisch-Patenkirchen und Kassel

Typ	volumenstromspezifische thermische Energiebedarf				Änderung der Standorte	
	G.-P. feuchtegeführt	G.-P. KWL	Kassel feuchtegeführt	Kassel KWL	feuchtegeführt	KWL
	W/(m ³ /h)	W/(m ³ /h)	W/(m ³ /h)	W/(m ³ /h)	%	%
1-Zimmer- Wohnung	2,722	0,913	2,41	0,730	-11,8	-20,1
		0,746		0,585		-21,6
3-Zimmer- Wohnung	2,715	0,919	2,398	0,733	-11,7	-20,3
		0,751		0,587		-21,8
4-Zimmer- Wohnung	2,791	0,920	2,451	0,736	-12,2	-20,0
		0,752		0,588		-21,7

Der elektrische Energiebedarf der feuchtegeführten Lüftung ist zwischen 73,7 und 91,3 % geringer als bei der KWL mit WRG (Tabelle 11).

Tabelle 11: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Kassel

Typ	elektrischer Energiebedarf			spez. elektrischer Energiebedarf		Abluftvolumenstrom		
	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)	feuchte- geführt	KWL	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)
	kWh/a	kWh/a	%	kWh/ (m ² -a)	kWh/ (m ² -a)	(m ³ /h)/a	(m ³ /h)/a	%
1-Zimmer- Wohnung	13,4	50,91	-73,7	0,54	2,04	240.361	196.139	22,5
3-Zimmer- Wohnung	26,6	235,64	-88,7	0,33	2,95	479.016	575.133	-16,7
4-Zimmer- Wohnung	36,8	423,96	-91,3	0,31	3,53	661.318	775.719	-14,7

3.2.3 Energetische Kennwerte für den Standort Bremerhaven

Der thermische Energiebedarf für den Standort Bremerhaven ist bei der feuchtegeführten Lüftungsanlage mit zentralem Abluftventilator 187,1 bis 429,7 % größer als bei der KWL mit WRG (Tabelle 12). Der Standort Bremerhaven weist den geringsten thermischen Energiebedarf (vgl. Tabelle 5, 7, 10) auf. Dies ist auf die höheren Außentemperaturen zurückzuführen. Der erhöhte prozentuale Energiebedarf zwischen den Lüftungssystemen für die Standorte Kassel und Bremerhaven ist auf den größeren Volumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage an dem Standort Bremerhaven zurückzuführen. Die Ursache ist identisch wie unter Punkt 3.2.2 (Standort Kassel) beschrieben. Der durchschnittliche volumenstromspezifische thermische Energiebedarf des feuchtegeführten Lüftungssystems für den Standort Bremerhaven beträgt zwischen 2,249 und 2,300 W/(m³/h) und ist somit der geringste der drei Standorte.

Tabelle 12: Gegenüberstellung des thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Bremerhaven

Typ	thermischer Energiebedarf				spezifischer thermischer Energiebedarf	
	feuchte- geführt	KWL	Änderung	KWL	feuchte- geführt	KWL
		Erhitzer	Erhitzer	WRG		Erhitzer
		75 % 80 %	(KWL Basiswert)	75 % 80 %		75 % 80 %
kWh/a	kWh/a	%	kWh/a	kWh/(m ² -a)	kWh/(m ² -a)	
1-Zimmer- Wohnung	555,6	131,18	325,5	408,49	22,22	5,25
		104,89	429,7	434,78		4,20
3-Zimmer- Wohnung	1107,5	385,80	187,1	1199,17	13,84	4,82
		308,60	258,9	1276,36		3,86
4-Zimmer- Wohnung	1551,4	521,23	197,6	1617,7	12,93	4,34
		417,00	272,0	1721,92		3,48

Der elektrische Energiebedarf ist bei der feuchtegeführten Lüftung um 73,0 bis 91,1 % geringer als bei der KWL mit WRG. Der geförderte Volumenstrom des zentralen Abluftventilators ist für den Standort

Bremerhaven, verglichen mit den anderen Standorten Garmisch-Patenkirchen und Kassel, am größten. Dies ist auf die höchste relative Feuchte der drei Standort zurückzuführen (vgl. Abbildung 3).

Tabelle 13: Gegenüberstellung des elektrischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftung und der KWL für den Standort Bremerhaven

Typ	elektrischer Energiebedarf			spez. elektrischer Energiebedarf		Abluftvolumenstrom		
	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)	feuchte- geführt	KWL	feuchte- geführt	KWL	Änderung (KWL Basiswert)
	kWh/a	kWh/a	%	kWh/ (m ² ·a)	kWh/ (m ² ·a)	(m ³ /h)/a	(m ³ /h)/a	%
1-Zimmer- Wohnung	13,7	50,77	-73,0	0,55	2,03	247.014	195.284	26,5
3-Zimmer- Wohnung	27,3	235,01	-88,4	0,34	2,94	490.706	572.813	-14,3
4-Zimmer- Wohnung	37,5	422,73	-91,1	0,31	3,52	674.558	772.564	-12,7

3.2.4 Vergleich der verschiedenen Standorte

Das feuchtegeführte Lüftungssystem benötigt 140 bis 429,7 % mehr thermische Energie als die KWL mit WRG. Generell ist der prozentuale thermische Mehrbedarf zwischen den Lüftungssystemen bei den 1-Zimmer-Wohnungen größer als bei der 3- und 4-Zimmer-Wohnung, da der Abluftvolumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage größer als der der KWL ist (vgl. Tabelle 6, 9, 11). Durch die Verwendung von nur einem zentralen Abluftventilator und den wesentlich geringeren Druckverlusten ist der elektrische Energiebedarf für die feuchtegeführte Lüftungsanlage zwischen 67 % und 91,3 % geringer als der der KWL. Durch die hohen Druckverluste der KWL und des geringeren flächenspezifischen Abluftvolumenstroms der 4-Zimmer-Wohnung ist die elektrische Energieeinsparung zwischen den Lüftungssystemen bei diesem Wohnungstyp am größten.

Tabelle 14: Zusammenfassende Systemgegenüberstellung für verschiedene Wohnungstypen und Standorte

Typ	thermischer Energiebedarf Änderung Erhitzer			elektrischer Energiebedarf Änderung Ventilator		
	Garmisch- Patenkirchen	Kassel	Bremerhaven	Garmisch- Patenkirchen	Kassel	Bremerhaven
	WRG 75 % 80 %	WRG 75 % 80 %	WRG 75 % 80 %			
	%	%	%	%	%	%
1-Zimmer- Wohnung	256,0	303,0	325,5			
	336,0	403,0	429,7	-67,0	-73,7	-73,0
3-Zimmer- Wohnung	140,0	172,6	187,1			
	193,8	240,0	258,9	-88,6	-88,7	-88,4
4-Zimmer- Wohnung	153,8	183,9	197,6			
	210,6	255,3	272,0	-87,8	-91,3	-91,1

3.3 Darstellung des zeitlichen Verlaufs

In Abbildung 7 ist ein charakteristischer Verlauf der Simulationsgrößen einer 3-Zimmer-Wohnung in Kassel für einen Wintertag dargestellt. Wichtige Erkenntnisse aus der energetischen Gegenüberstellung der beiden Lüftungssysteme (vgl. Tabelle 13) lassen sich anhand dieses repräsentativen Tagesverlaufs darstellen.

Die Größen der feuchtegeführten Lüftungsanlage sind als durchgezogene Linien und die der KWL als gestrichelte Linien dargestellt. In dem ersten Teilplot ist der elektrische Energiebedarf aufgezeigt. Der Wert für die feuchtegeführte Lüftungsanlage ist hierbei um ein Vielfaches geringer als der der KWL. Dies ist auf den geringeren Volumenstrom (dritter Teilplot) und die geringeren Druckverluste zurückzuführen. In dem zweiten Teilplot ist der thermische Energiebedarf der beiden Systeme dargestellt. Der thermische Energiebedarf der KWL ist von dem Betriebszustand (anwesend und nicht anwesend) bzw. den festen Volumenströmen und der Außentemperatur abhängig. Bei der feuchtegeführten Lüftung ist der Zuluftvolumenstrom (dritter Teilplot) von der relativen Raumluftfeuchte (vierter Teilplot) abhängig. Diese steigt in den grünen Bereichen durch das erhöhte Emittieren von Feuchtelasten (z.B. Duschen und Kochen) stark an, wodurch der Volumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage steigt.

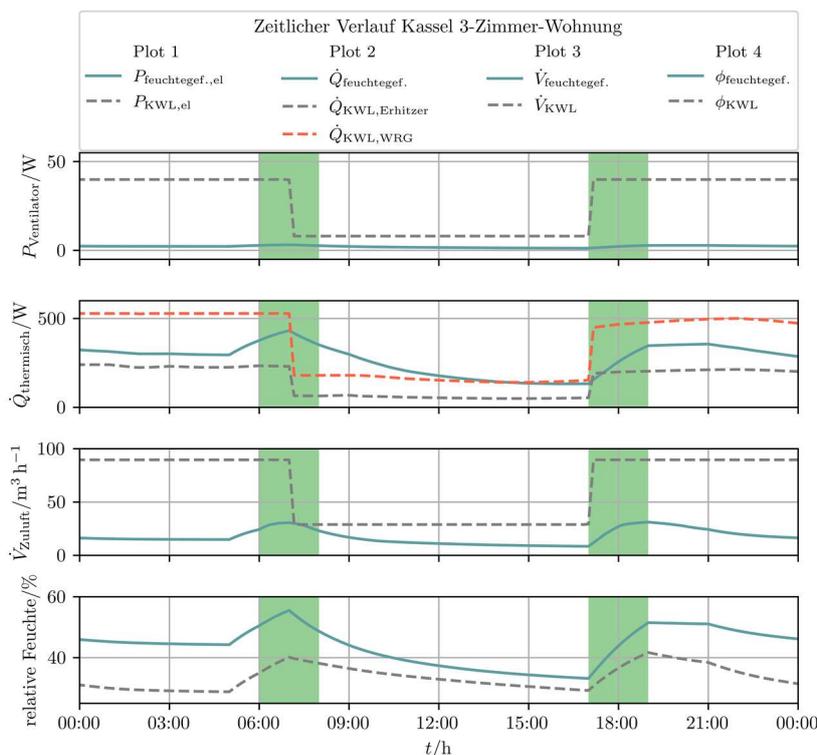


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Simulationsgrößen für einen charakteristischen Tag

3.4 Zusammenfassung der energetischen Bewertung

In der energetischen Bewertung wurde anhand einer dynamischen Jahressimulation ein feuchtegeführtes Lüftungssystem mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung verglichen. In dem feuchtegeführten Lüftungssystem sind die Zuluftdurchlässe in den Außenwänden angebracht und die Abluftdurchlässe führen zu einem zentralen Steigkanal, welcher die übereinanderliegenden Wohnungen miteinander verbindet. Am oberen Ende der Steigleitung befindet sich ein zentraler Abluftventilator. Die Volumenströme werden bedarfsgeführt nach der relativen Raumluftfeuchte geregelt. Das KWL-System mit WRG hat je Wohnung ein zentrales Lüftungsgerät mit Zu- und Abluftdurchlässen. Der Luftvolumenstrom des KWL-Systems ist fest vorgegeben und wird nach Anwesenheit und Nichtanwesenheit gesteuert. Die Lüftungssysteme wurden für drei verschiedene Standorte in Deutschland (kalt, mäßig und warm) und drei Wohnungstypen (1-Zimmer-, 3-Zimmer- und 4-Zimmer-Wohnung) gegenübergestellt.

Das feuchtegeführte Lüftungssystem weist einen spezifischen thermischen Energiebedarf zwischen 12,93 und 25,44 kWh/(m²·a) und die KWL einen Wert zwischen 3,48 und 7,16 kWh/(m²·a) auf. Die feuchtegeführte Lüftung benötigt aufgrund der nicht vorhandenen Wärmerückgewinnung 140 bis 429,7 % mehr thermische Energie als die KWL. Durch den Wärmeübertrager in dem KWL-System kann im Heizfall die wärmere Abluft die kältere Außenluft vorerwärmen, wodurch der Bedarf an thermischer Energie reduziert wird. Die große Spannbreite des erhöhten thermischen Energiebedarfs der feuchtegeführten Lüftungsanlage ist auf die verschiedenen Wohnungstypen und Standorte zurückzuführen. Bei der KWL wird ausschließlich zwischen anwesend und nicht anwesend unterschieden, wohingegen sich bei der feuchtegeführten Lüftungsanlage der Luftvolumenstrom nach der relativen Raumluftfeuchte einstellt.

Der elektrische Energiebedarf beträgt für das feuchtegeführte Lüftungssystem zwischen 0,31 und 0,672 kWh/(m²·a) und für die KWL zwischen 2,03 und 3,53 kWh/(m²·a). Das feuchtegeführte Lüftungssystem weist einen zwischen 67 und 91,3 % niedrigeren elektrischen Energiebedarf als die KWL auf. Der Abluftvolumenstrom für die 1-Zimmer-Wohnung der feuchtegeführten Lüftungsanlage ist zwischen 19,5 und 26,5 % höher als bei der KWL. Für die 3-Zimmer- und 4-Zimmer-Wohnung ist der Abluftvolumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage jedoch zwischen 12,7 und 18,8 % geringer als der der KWL. Dies ist auf den bedarfsabhängigen Volumenstrom der feuchtegeführten Lüftungsanlage zurückzuführen. Der niedrigere elektrische Energiebedarf des feuchtegeführten Lüftungssystems wird durch die geringeren Druckverluste und den höheren Gesamtwirkungsgrad des Ventilators erreicht.

Herausgeber

Technische Universität Berlin
Fakultät für Prozesswissenschaften
Institut für Energietechnik
Fachgebiet Gebäude-Energie-Systeme
Hermann-Rietschel-Institut
Marchstr. 4, 10587 Berlin