

## Wärmerückgewinnung mit Feuchterückgewinnung – Auswirkungen auf die Raumlufffeuchte

Die Raumlufffeuchte hat auf die Behaglichkeit des Menschen einen wichtigen Einfluss. Die relative Luftfeuchte sollte sich zwischen 30 und 60 % bewegen. Eine entscheidende Auswirkung hat neben den inneren Feuchtequellen die Lüftungsintensität – vor allem im Winter beeinflusst diese maßgeblich, ob das Raumklima zu trocken wird oder nicht. Der vorliegende Beitrag soll zeigen, in welchem Maße die Luftwechselrate die Zielgrößen „Luftfeuchte“ und CO<sub>2</sub>-Konzentration“ in Abhängigkeit von der Außentemperatur beeinflussen kann.

Eine praktikable und preiswerte Lösung zur Erreichung eines Optimums bei beiden Zielgrößen ist der Einsatz eines feuchteübertragenden Wärmetauschers im Wärmerückgewinnungsgerät.

### Trockenes Raumklima – ein Phänomen von Lüftungsanlagen?

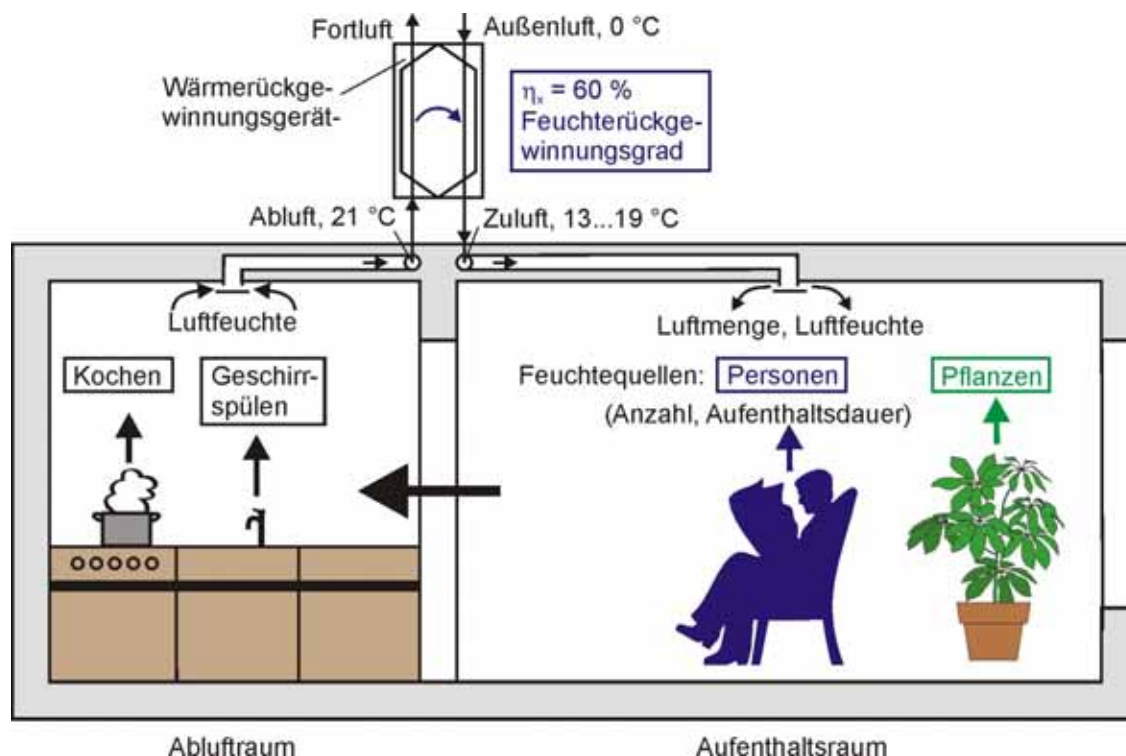
Die ausreichende Belüftung von Wohngebäuden ist eine unstrittige Grundvoraussetzung für gesundes Wohnen. Bei der winterlichen Fensterlüftung wurde/wird bekanntlich aus Kostengründen und wegen Zugserscheinungen sowie unbehaglich kalter Luft oft sehr selten und zu kurz gelüftet. Folglich wird im Winter dem Wohnraum zu wenig Außenluft zugeführt. Daraus resultiert oft ein zu trockenes Raumklima.

Die kontrollierte Wohnungslüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung (auf der Abluftseite gemessener effektiver Wirkungsgrad  $\eta_{\text{eff}} \geq 90\%$ ) erreicht Zulufttemperaturen von 18 °C. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für Behaglichkeit hinsichtlich Lufttemperatur und -geschwindigkeit gegeben. Da solche Systeme mit einem Stromverbrauch von 30-50 W für ein 150 m<sup>2</sup>-Wohnhaus auskommen, wird eine solche Anlage auch an kalten Wintertagen voll (24 h/d) laufen. Der Vorteil gegenüber der Fensterlüftung: kontinuierliche Lüftung und damit bessere Raumluffqualität (geringere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen).

Da aber die Außenluft an kalten Tagen sehr trocken ist, kann das Raumklima unter bestimmten Gegebenheiten zu trocken werden. Um im Vorhinein nicht Missverständnisse hier zu streuen, soll betont werden: Eine kontrollierte Wohnungslüftung erzeugt nicht zwangsläufig ein zu trockenes Raumklima.

### Feuchtebilanz einer Wohneinheit

Auf die Raumlufffeuchte haben folgende Faktoren einen Einfluss:



**Bild 1: Einflussfaktoren auf die Raumlufffeuchte**

Einflussfaktoren	Beispiel: Wohnzimmer im Einfamilienhaus	Beispiel: Schlafzimmer im Einfamilienhaus
Außenluftfeuchte	$x_{Au} = 2 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgLuft}}$ bei $t_{Au} = -5 \text{ °C}$ Außentemperatur und $\varphi_{Au} = 80 \text{ \% r.F.}$ (relative Luftfeuchte)	$x_{Au} = 2 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgLuft}}$ bei $t_{Au} = -5 \text{ °C}$ Außentemperatur und $\varphi_{Au} = 80 \text{ \% r.F.}$ (relative Luftfeuchte)
Zuluftfeuchte – ohne Feuchterückgewinnung	$x_{Zu} = x_{Au} = 2 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgLuft}}$	
Außenluftmenge	Einfamilienhaus: Wohnfläche: $A_{Wfl} = 150 \text{ m}^2$ Außenluftvolumenstrom: – Lüftungsanlage: $\dot{V}_A = 170 \text{ m}^3/\text{h}$ – Infiltration: $\dot{V}_X = n_X \cdot V = 0,06 \text{ h}^{-1} \cdot 375 \text{ m}^3 = 22 \text{ m}^3/\text{h}$ $n_X = 0,06 \text{ h}^{-1}$ nach DIN EN 832  Bei Nennlüftung nach DIN 1946-6:2009-05, Tab. 5 und 14: Wohnzimmer: $30 \text{ m}^2$ Luftvolumenstrom: $\dot{V} = 57 \text{ m}^3/\text{h} + 4 \text{ m}^3/\text{h}$ (Infiltration) = $61 \text{ m}^3/\text{h}$ Feuchteeintrag mit der Außenluft in das Wohnzimmer: $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = x_{Au} \cdot \dot{m}_{\text{Luft}} = 2 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg}} \cdot \left( 61 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 146 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}$	Einfamilienhaus: Wohnfläche: $A_{Wfl} = 150 \text{ m}^2$ Außenluftvolumenstrom: – Lüftungsanlage: $\dot{V}_A = 170 \text{ m}^3/\text{h}$ – Infiltration: $\dot{V}_X = n_X \cdot V = 0,06 \text{ h}^{-1} \cdot 375 \text{ m}^3 = 22 \text{ m}^3/\text{h}$ $n_X = 0,06 \text{ h}^{-1}$ nach DIN EN 832  Bei Nennlüftung nach DIN 1946-6:2009-05, Tab. 5 und 14: Schlafzimmer: $20 \text{ m}^2$ Luftvolumenstrom: $\dot{V} = 38 \text{ m}^3/\text{h} + 3 \text{ m}^3/\text{h}$ (Infiltration) = $41 \text{ m}^3/\text{h}$ Feuchteeintrag mit der Außenluft in das Schlafzimmer: $\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = x_{Au} \cdot \dot{m}_{\text{Luft}} = 2 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kg}} \cdot \left( 41 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 98 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}$
Feuchtequellen (Absaugung der Feuchte im Quellraum)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Personen 1 Person im Winter: <math>64 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math> im Wohnzimmer: 2 Personen = <b><math>128 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math></b></li> <li>– Pflanzen (Mittelwert) <math>2,8 \text{ g/h}</math> tags, <math>0,6 \text{ g/h}</math> nachts, geringe Abendbeleuchtung abends im Wohnzimmer: 8 Pflanzen <math>\approx</math> <b><math>5 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math></b></li> <li>– Kochen, Geschirrspülen, Waschen, Duschen, Wäsche bei <math>\varnothing</math> 3,5 Personen/d im Haus: ca. <math>2.000 \text{ g H}_2\text{O}/\text{d}</math>; Feuchte fällt diskontinuierlich (morgens, abends) in Ablufträumen an (im EFH in verschiedenen Etagen) und wird dort abgesaugt, d. h. wirkt so gut wie nicht in den Aufenthaltsräumen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Personen 1 Person im Winter: <math>45 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math> im Schlafzimmer: 2 Personen = <b><math>90 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math></b></li> <li>– Pflanzen (Mittelwert) <math>0,6 \text{ g/h}</math> nachts im Schlafzimmer: 5 Pflanzen <math>\approx</math> <b><math>3 \text{ g H}_2\text{O}/\text{h}</math></b></li> <li>– Kochen, Geschirrspülen, Waschen, Duschen, Wäsche bei <math>\varnothing</math> 3,5 Personen/d im Haus: ca. <math>2.000 \text{ g H}_2\text{O}/\text{d}</math>; Feuchte fällt diskontinuierlich (morgens, abends) in Ablufträumen an (im EFH in verschiedenen Etagen) und wird dort abgesaugt, d. h. wirkt so gut wie nicht in den Aufenthaltsräumen</li> </ul>
absolute Raumlufffeuchte: $x = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O},\text{Quelle}}}{\dot{m}_{\text{Luft}}}$	$x = \frac{146 + (128 + 5)}{(61 \cdot 1,2)} = \frac{279 \text{ gH}_2\text{O}/\text{h}}{73 \text{ kgLuft}/\text{h}} = 3,8 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgLuft}}$	$x = \frac{98 + (90 + 3)}{(41 \cdot 1,2)} = \frac{191 \text{ gH}_2\text{O}/\text{h}}{49 \text{ kgLuft}/\text{h}} = 3,9 \frac{\text{gH}_2\text{O}}{\text{kgLuft}}$
relative Raumlufffeuchte: $\varphi$ (aus Mollier h-x-Diagramm)	$\varphi = 25 \text{ \% r.F.}$ bei $t_{\text{Raum}} = 21 \text{ °C}$	$\varphi = 27 \text{ \% r.F.}$ bei $t_{\text{Raum}} = 20 \text{ °C}$

**Tab. 1: Ermittlung der Raumlufffeuchte aus Außenluftfeuchte, Außenluftmenge und Feuchtequellen**

## Abhängigkeit der Raumlufffeuchte von der Außentemperatur

Wird die Belüftung eines Einfamilienhauses so eingestellt, dass der CO<sub>2</sub>-Grenzwert nach Pettenkofer (1.000 ppm) eingehalten wird, so ergibt sich in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur und der Personenzahl eine in Bild 2 dargestellte Raumlufffeuchte.

$$\dot{V}_{\text{Anlage}} = 128 \text{ m}^3/\text{h} \text{ für } 170 \text{ m}^2 \text{ EFH}$$

$$n_{\text{Anlage}} = 0,3 \text{ h}^{-1}$$

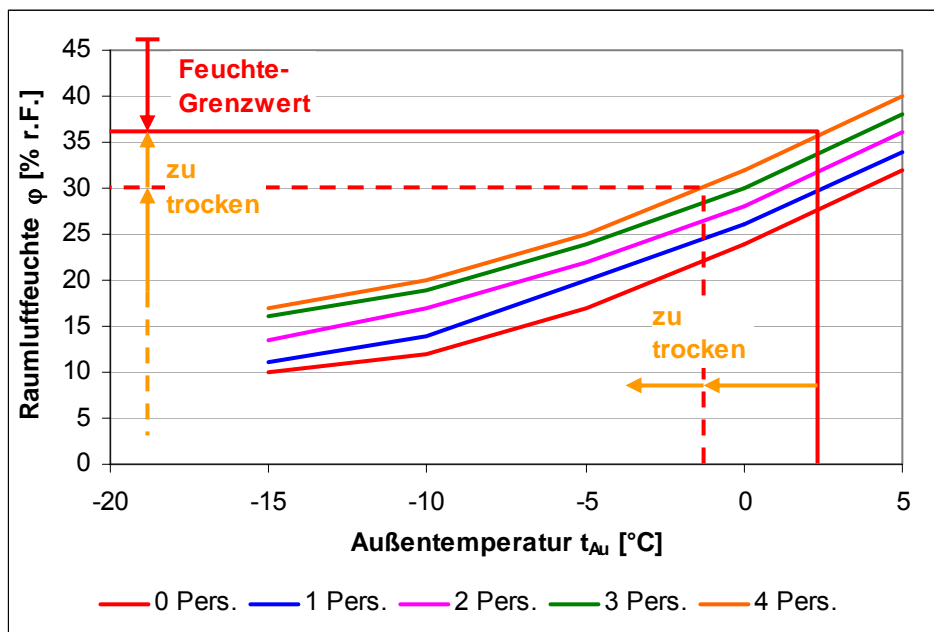
$$\dot{V}_{\text{Infiltration}} = 22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n_{\text{Infiltration}} = 0,05 \text{ h}^{-1}$$

$$\dot{V}_{\text{Anlage}} + \dot{V}_{\text{Infiltration}} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$$

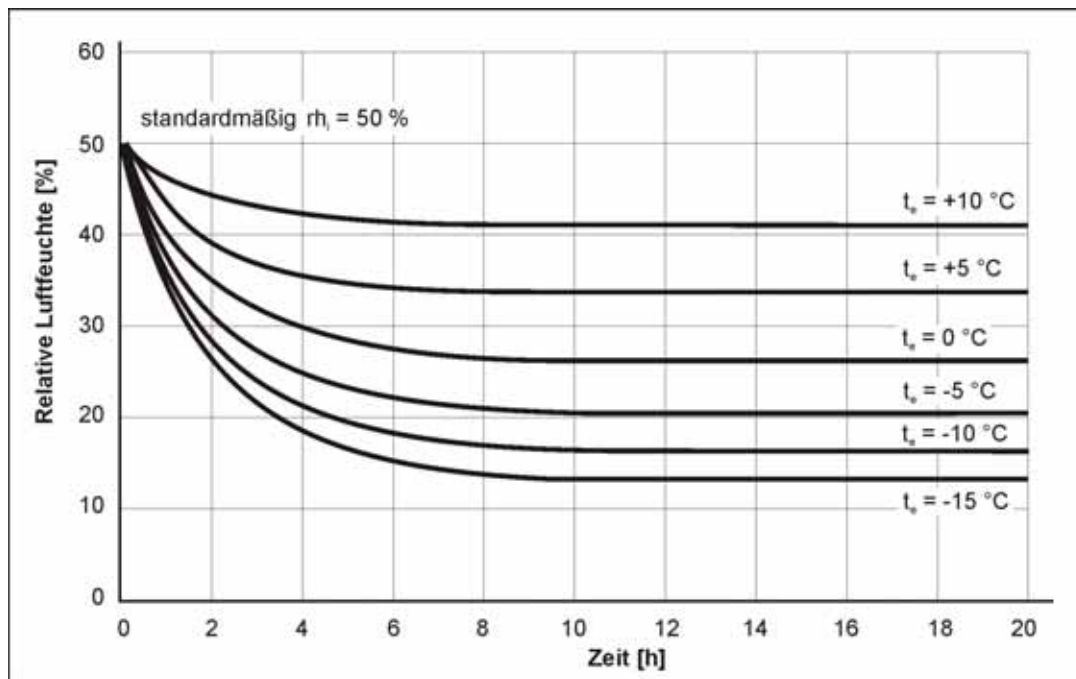
- $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$
- mittelmäßig windexponiert
- Infiltration nach EN 832
- normal **dicht!**  
ca. 1.000 ppm CO<sub>2</sub> in allen Zimmern erreicht (Pettenkofer-Grenzwert!)

durchschnittliche Personenbelegung im 3 Personenhaushalt (1 Berufstätiger, 1 Kind: Kindergarten oder Schule):  $\varnothing$  2,2 Personen/d anwesend



**Bild 2: Raumlufffeuchte bei Einhaltung des CO<sub>2</sub>-Grenzwertes nach Pettenkofer**

Eine ähnliche Abhängigkeit hat P. Morávek [1] festgestellt (Bild 3).

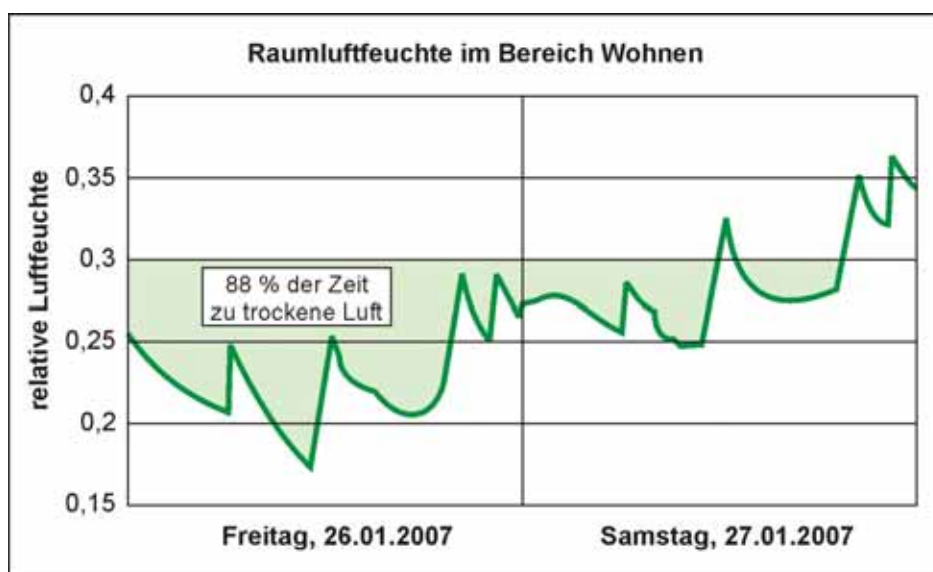


**Bild 3: Zeitlicher Verlauf der relativen Luftfeuchte bei Luftwechsel  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$  bei einer Feuchteproduktion von  $5,2 \text{ kg H}_2\text{O/d}$  [1]**

Auch S. Moosberger [2] kommt bei  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$  Außentemperatur auf Werte um  $\varphi \sim 25 \text{ \% r.F.}$

Randbedingungen:

- $122 \text{ m}^2$
- $n_A = 0,4 \text{ h}^{-1}$
- 4 Bewohner  $\rightarrow$  2,3 Personen ständig anwesend = relativ hohe Anwesenheitsstunden
- Kochen: täglich 3 h
- Wäsche trocknen: 3mal je Woche zu 12 h im Wohnraum
- 20 Pflanzen mit  $720 \text{ g/d}$  Verdunstungsmenge

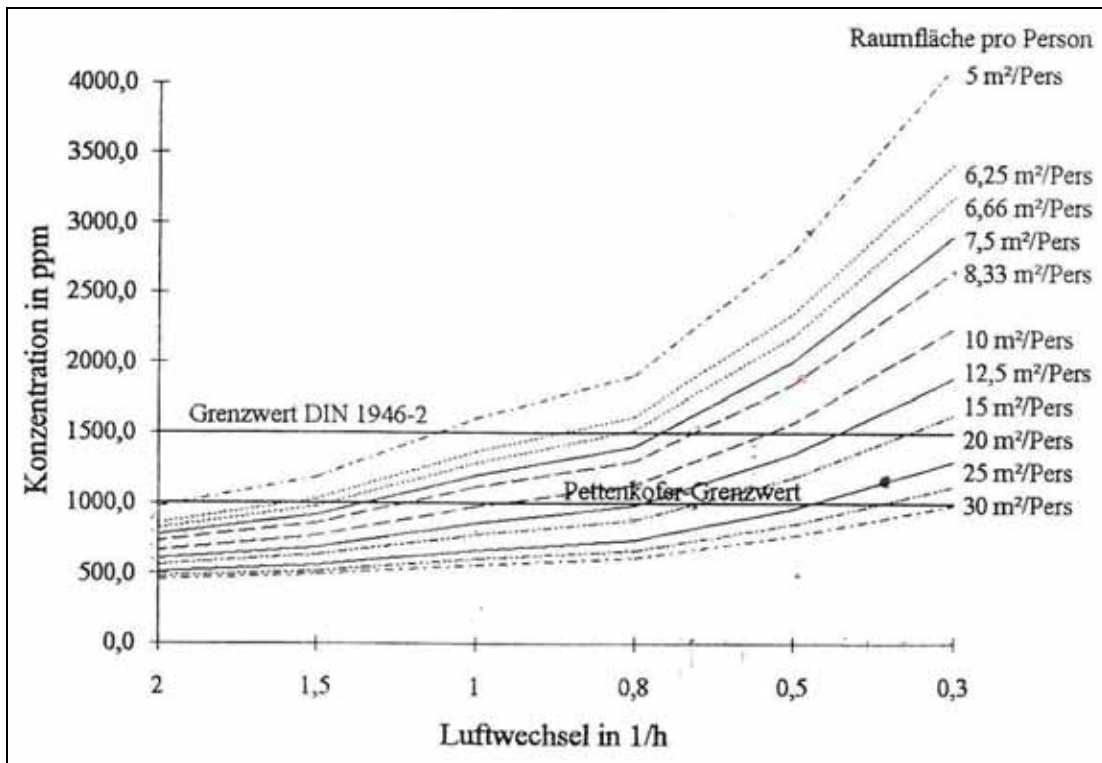


**Bild 4: Raumluftfeuchte in einem Wohnhaus an kalten Tagen (ca.  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mit Lüftungsanlage (ohne Feuchterückgewinnung) [2]**

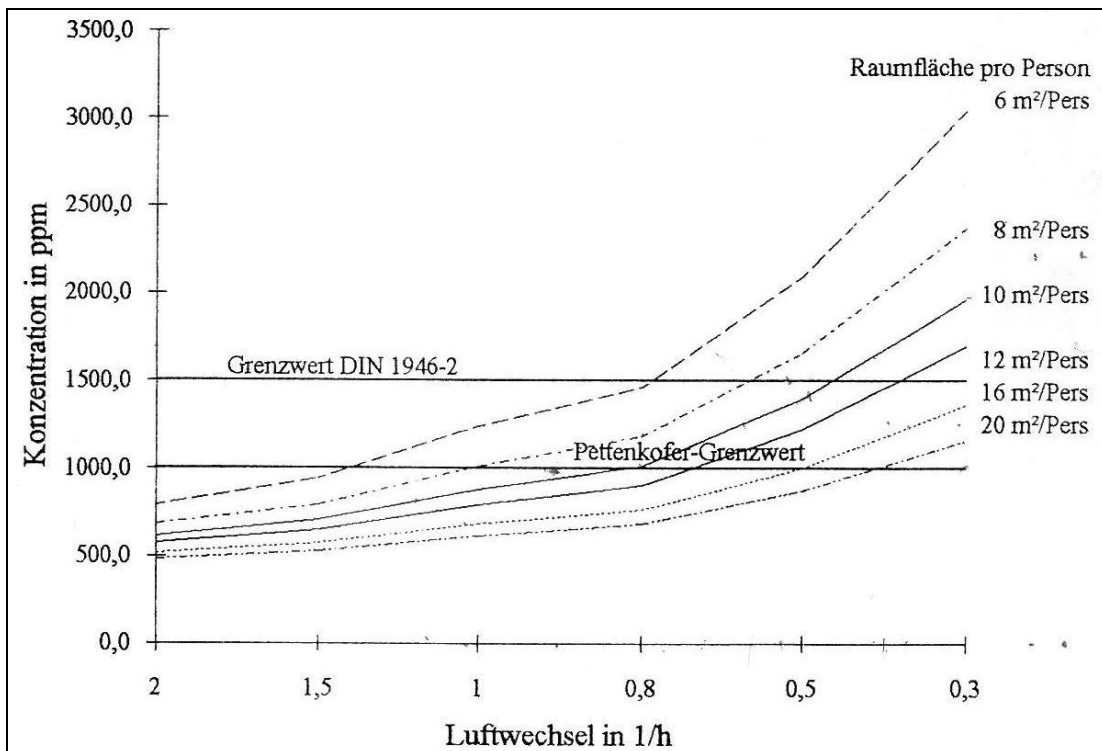
Um einem zu trockenen Raumklima entgegenzuwirken gibt es verschiedene Möglichkeiten:

### Anhebung der Raumlufffeuchte durch Reduzierung des Luftwechsels/Luftvolumenstromes

Durch einen reduzierten Luftvolumenstrom kann zwar die Raumlufffeuchte angehoben werden, gleichzeitig steigt aber die CO<sub>2</sub>-Konzentration, d. h. die Luftqualität wird schlechter. Am o. g. Beispiel (Tab. 1) soll dies verdeutlicht werden (Tab. 2 und Bild 7):



**Bild 5: CO<sub>2</sub>-Konzentration über dem Luftwechsel im Wohnraum [3]**



**Bild 6: CO<sub>2</sub>-Konzentration über dem Luftwechsel im Schlafraum [3]**

<b>Wohnzimmer</b>		Maßnahme zur Feuchteanhebung in einen behaglichen Bereich			
		Basis-variante	$\dot{V}_{Zu} \downarrow$ Absenkung des Zuluft-Volumenstromes		
			$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$
$\dot{V}_{Zu}$ [m³/h]		61	41	33	27
n [h <sup>-1</sup> ]		0,81	0,55	0,43	0,36
φ [% r.F.]		25	30	35	40
CO <sub>2</sub> [ppm] (Werte aus Bild 5)		850	1.150	1.300	1.500
Fazit	Feuchte	schlecht zu trocken	Grenzwert	mittelmäßig	gut
	CO <sub>2</sub>	Luftqualität nach DIN EN 13779			
		mittel IDA 2	mäßig IDA 3	mäßig IDA 3	niedrig IDA 4
Ziele	Feuchte	<b>n &lt; 0,55 h<sup>-1</sup></b>			
	CO <sub>2</sub>	<b>n &gt; 0,50 h<sup>-1</sup></b>			

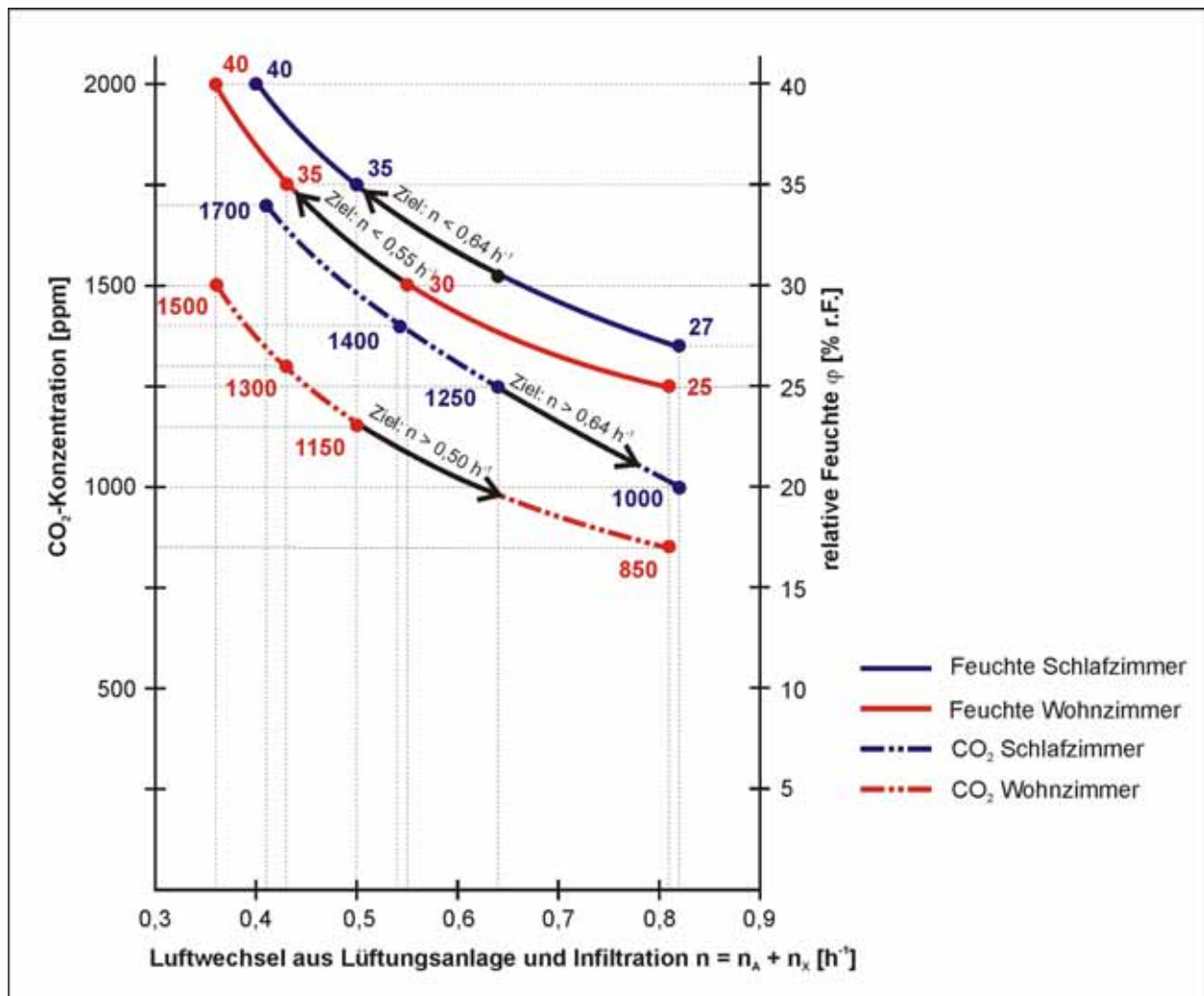
↑  
Ziele treffen sich nur in einem  
sehr kleinen Bereich: n = 0,50...0,55 h<sup>-1</sup>

<b>Schlafzimmer</b>		Maßnahme zur Feuchteanhebung in einen behaglichen Bereich			
		Basis-variante	$\dot{V}_{Zu} \downarrow$ Absenkung des Zuluft-Volumenstromes		
			$\downarrow$	$\downarrow$	$\downarrow$
$\dot{V}_{Zu}$ [m³/h]		49	39	30	24,5
n [h <sup>-1</sup> ]		0,82	0,64	0,50	0,41
φ [% r.F.]		27	30	35	40
CO <sub>2</sub> [ppm] (Werte aus Bild 6)		1.000	1.250	1.400	1.700
Fazit	Feuchte	schlecht zu trocken	Grenzwert	mittelmäßig	gut
	CO <sub>2</sub>	Luftqualität nach DIN EN 13779			
		mittel IDA 2	mäßig IDA 3	niedrig IDA 4	niedrig IDA 4
Ziele	Feuchte	<b>n &lt; 0,64 h<sup>-1</sup></b>			
	CO <sub>2</sub>	<b>n &gt; 0,64 h<sup>-1</sup></b>			

↑  
Ziele treffen auseinander

**Tab. 2: Abhängigkeit der Raumluftfeuchte und des CO<sub>2</sub>-Gehaltes vom Anlagenluftwechsel**

Die ohne maginale Raumluftfeuchte in den Aufenthaltsräumen (siehe Tab. 2) wird in einer sehr geringen Menge in der Bausubstanz gespeichert. Von dort wird es eine Rückbefeuchtung geben zu einer Tageszeit, da sich die Bewohner ohnehin nicht in diesen Räumen aufhalten (trockenes Raumklima fördert die Rückbefeuchtung). Außerdem wird die vom Baumaterial in den Raum diffundierende Feuchte sowieso binnen 2 Stunden mit der Abluft aus dem Hause wegbeefördert.

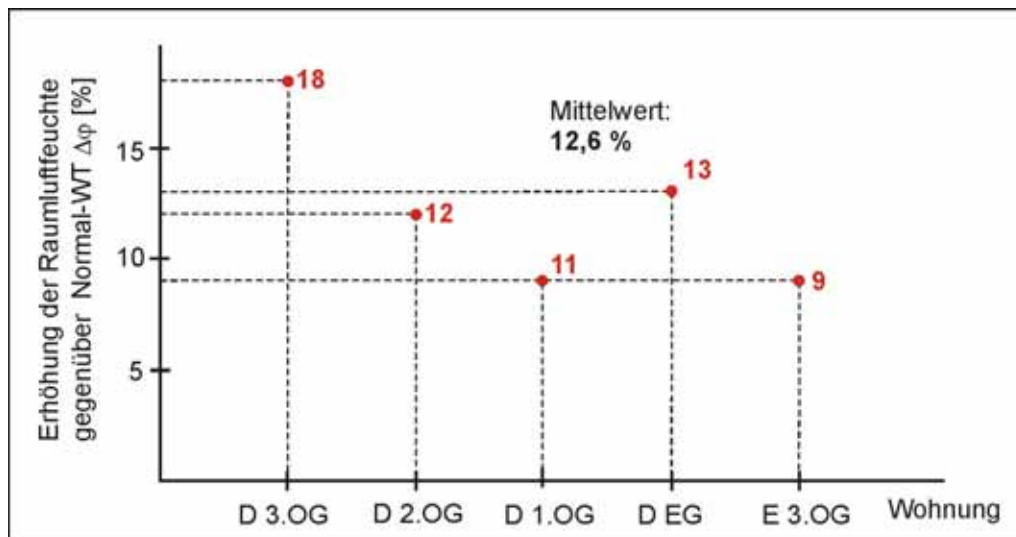


**Bild 7: Auswirkungen des Luftwechsels auf Raumlufffeuchte und CO<sub>2</sub>-Gehalt bei Wärmetauschern *ohne* Feuchterückgewinnung**

### Anhebung der Raumlufffeuchte durch Feuchterückgewinnung

Bei der Feuchterückgewinnung haben die Feuchtequellen in Küche, Bad und WC eine wesentliche Auswirkung auf die Raumlufffeuchte in den Aufenthaltsräumen; Bild 1 zeigt, dass die Feuchte aus den Ablufträumen bei der Feuchterückgewinnung zu einem gewissen Teil (z. B. 60 %) zurückgewonnen und auf die Zuluft übertragen wird und somit in die Aufenthaltsräume gelangt.

Aus Feldversuchen der HTA Luzern wurde an Geräten mit Membran-Feuchtetauschern ermittelt, dass die Raumlufffeuchte in den Wohnungen um durchschnittlich 12,5 % ansteigt.



**Bild 8: Feuchteanhebung durch Feuchte-Wärmetauscher – Vergleich gleiche Wohnung: Periode 14.11.-12.12.2006 Gebäude Winterthur, HTA Luzern (Quelle: [4])**

Die Ergebnisse wurden in der Weise ermittelt, dass in jeder Nutzeinheit über 2 Wochen hinweg ein normaler Wärmetauscher und in den nächsten 2 Wochen eine Feuchtwärmetauscher im Wohnungslüftungsgerät eingesetzt wurde usw. Damit kann die Raumluftfeuchte von z. B. 25...27 % (Tab. 2 – ohne Feuchterückgewinnung) auf ca. 35...40 % angehoben werden, bei Beibehaltung einer niedrigen CO<sub>2</sub>-Konzentration von z. B. 1.000 ppm.

Eine Überfeuchtung durch den Feuchtwärmetauscher wurde in keinem Falle festgestellt. Auch aus vielen Einsatzfällen (ca. 6.300 Geräte) solcher Feuchtwärmetauscher gab es diesbezüglich keine Auffälligkeiten.

Der Aufpreis für solch einen Feuchtwärmetauscher liegt bei 550,00 € (gegenüber einem Normalwärmetauscher – als recht marginal. Zusätzliche Betriebskosten (Strom) entstehen nicht. Ein hygienischer Betrieb wurde nachgewiesen.

Des Weiteren bietet der Markt auch Rotoren an, die Feuchtigkeit zurückgewinnen können.

### Luftbefeuchter

Die Luftbefeuchtung ist eine weitere Methode, um die Raumluftfeuchte anzuheben – ohne Einbußen an Luftqualität (kein CO<sub>2</sub>-Anstieg). Hier sind für einen hygienischen Betrieb

- Dampf-Luftbefeuchter und
- Rotationslamellenverdunster (mit UV-Röhre zur Desinfektion)

bekannt. Bei beiden Geräten ist mit relativ hohen Investitionskosten (2.000 bis 3.000,00 €) zu rechnen. Beim Dampf-Luftbefeuchter wurde ein erheblicher Stromaufwand (Winter) in der Praxis festgestellt, um z. B. eine konstante Raumluftfeuchte von  $\varphi = 42\%$  zu realisieren. Beim Rotationslamellenverdunster liegt der Leistungsbedarf bei 30 W (1.400 W mit Luft-Elektroheizregister).

### Fazit

Bei kalten Außentemperaturen ( $t_{Au} < 0\text{ °C}$ ) kann sich bei entsprechender Personenzahl eine Raumluftfeuchte von  $\varphi = 30\%$  ergeben. Bei Anwesenheit von 4 Personen stellt sich z. B. in einem Aufenthaltsraum bei kalten Außentemperaturen ( $-5\text{ °C}$ ) und Nennlüftung gemäß DIN 1946-6:2009-05 eine zu geringe Raumluftfeuchte ein. Die Raumluftfeuchte lässt sich mit feuchteübertragenden Wärmetauschern um ca. 12 % anheben.

## Literatur

- [1] Ing. Petr Morávek, Mikroklima pasívních domů, Pasívni domy 2006, S. 265
- [2] Sven Moosberger, Feuchte in Niedrigenergiebauten. Thermisch-hygrische Raumsimulation zur Ermittlung des Einflusses der Lüftungsstrategie auf die Raumluftfeuchte, 17.07.2007, HTA Luzern/ZiG, Seite 22
- [3] Oliver Eckhardt, Diplomarbeit 1996, TH Leipzig
- [4] Beat Frei, Projekt Feldvergleich von Enthalpie- und Wärmeübertragern in Kompaktlüftungsgeräten, Hochschule Luzern – Technik & Architektur



Dipl.-Ing. Eberhard Paul, Paul Wärmerückgewinnung GmbH  
August-Horch-Str. 7, 08141 Reinsdorf  
Tel.: 0375 303505-0, E-Mail: [info@paul-lueftung.de](mailto:info@paul-lueftung.de)