

Lüftungswärmepumpe für Wohngebäude

Von O. Specht¹⁾

Der höhere Wärmeschutz der Wohngebäude führt zu einer beachtlichen Senkung des Transmissionswärmeverbrauchs. Dadurch erhält der Lüftungswärmeverbrauch einen höheren Anteil am gesamten Wärmeverbrauch eines Hauses. Das ist auch dann noch der Fall, wenn man berücksichtigt, daß höhere Fugenqualitäten der Fenster zu einem geringeren Luftwechsel und damit zu einem rechnerisch niedrigeren Lüftungswärmeverbrauch führen. Wegen der höheren Fugenqualitäten ist es üblich geworden, für den Lüftungswärmeverbrauch mindestens 0,5 Luftwechsel je Stunde zugrunde zu legen. Es läßt sich beispielsweise am Kohlendioxidgehalt (auch im folgenden) der Raumluft nachweisen, daß ein Luftwechsel je Stunde erforderlich sein dürfte. Der größere Luftwechsel führt dann jedoch zu einer erheblichen Erhöhung des Lüftungswärmeverbrauchs, so daß es auf der Hand liegt, Überlegungen zur Wärmerückgewinnung in Wohngebäude anzustellen. Es werden hierzu drei Modelle vorgestellt, und zwar

1. Absenkung der Fortlufttemperatur auf etwa + 3 °C,
2. Absenkung der Fortlufttemperatur auf etwa - 12 °C,
3. Unterstützung von Lüftungswärmepumpen durch Wärmetauscher.

Die Daten zu den drei Modelfällen zeigen, daß eine beachtliche Verringerung an Heizenergie möglich ist. So werden im Modelfall 1 etwa 50 % und im Modelfall 2 etwa 60 % der Heizenergie eingespart.

Somit wird deutlich, daß nach Einführung der Wärmedämmung Lüftungswärmepumpen zur Wärmerückgewinnung größere Beachtung verdienen.

Wärmerückgewinnung als Komponente des Wärmeschutzes

Der Wärmeschutz von Gebäuden, vornehmlich von Wohngebäuden, spielte in der Elektrizitätsanwendung schon zur Zeit der Markteinführung der elektrischen Speicherheizung eine große Rolle. Nur mit Hilfe der Wärmedämmung schien es möglich, der Elektroheizung zum Wohle der potentiellen Kunden zum Durchbruch zu verhelfen. Was anderen damals, in der Mitte der 50er Jahre als Wärmeschutz ausreichte, war für den in der Anwendungstechnik tätigen Ingenieur des EVU völlig unzureichend. Nach der Ölkrise 1973 hätte, so darf man heute wohl mit Recht sagen, ein erhöhter Wärmeschutz ohne die langjährige Vorarbeit der EVU-Berater nur langsamem Eingang in den Baumarkt gefunden. Wärmeschutz ist aber eigentlich nicht nur Wärmedämmung, wenn man auch zunächst nur an diese denken mag. Wärmeschutz, das ist auch Wärmerückgewinnung. Hier waren es wieder die Fachleute der EVU, die auch diese Komponente des Wärmeschutzes vor allem bei großen Gebäuden realisierten.

Im folgenden soll auf die Möglichkeiten zur Wärmerückgewinnung in Gebäuden eingegangen werden, die üblicherweise keine Vollklimaanlage erhalten, bei denen aber dennoch der Lüftungswärmeverbrauch so groß ist, daß eine Wärmerückgewinnungsanlage nützlich sein wird.

Obwohl die dafür anzustellenden Überlegungen grundsätzlich auch für andere Gebäude gelten, wird im folgenden ein Mehrfamilien-Wohnhaus mit insgesamt 800 m² Wohnfläche zugrunde gelegt. Der Einfachheit halber kann man sich dieses Hauses mit zehn gleich großen Wohnungen vorstellen, in denen jeweils vier Personen leben.

Benötigte Außenluft

Die in dem Gebäude lebenden Personen benötigen frische Außenluft, die bei den früher üblichen Fensterkonstruktionen im wesentlichen durch Fensterfugen zuströmen konnte. Es genügte, den Lüftungsvorgang zeitweise durch Öffnen eines Teiles der Fenster zu unterstützen. Die damals üblichen (Holz-) Einfachfenster hatten eine rechnerische Fugendurchlässigkeit von

$$a = 3 \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot (\text{kp/m}^2)^n] \quad (1) \quad ^2)$$

Die Fugendurchlässigkeit wird gesenkt auf

$$a = 0,6 \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot \text{Pa}^{2/3}] = 2,8 \cdot 100^{2/3} \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot (\text{kN/m}^2)^{2/3}] \quad (2) \quad ^3)$$

und

$$a = 0,3 \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot \text{Pa}^{2/3}] = 1,4 \cdot 100^{2/3} \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot (\text{kN/m}^2)^{2/3}] \quad (3) \quad ^4)$$

Diese Werte enthalten noch Zuschläge für die Durchlässigkeiten eventueller Einbaufugen. Für die Fensterfugen selbst sind die Durchlässigkeiten noch geringer mit

$$a = 0,43 \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot \text{Pa}^{2/3}] = 2,0 \cdot 100^{2/3} \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot (\text{kN/m}^2)^{2/3}] \quad (4) \quad ^5)$$

bzw.

$$a = 0,22 \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot \text{Pa}^{2/3}] = 1,0 \cdot 100^{2/3} \text{ m}^3 / [h \cdot m \cdot (\text{kN/m}^2)^{2/3}] \quad (5) \quad ^5)$$

Der besonders niedrige Wert nach Gleichung (5) gilt für die Gebäude mit mehr als zwei Vollgeschossen. Hiernach ist die Fugendurchlässigkeit auf ein Drittel des früheren Wertes gesunken. Kam man also früher auf einen Luftwechsel pro Stunde, so ist jetzt und in Zukunft nur ein Drittel davon zu erwarten.

Die erforderliche Außenluftmenge ist jedoch keine Gebäudeeigenschaft, sondern sie ergibt sich aus der Personenzahl und der Außenluftrate. Hierfür kann man ansetzen

$$V_{AU} = \frac{18 \text{ l/h/cap}}{0,071\% - 0,035\%} = 50 \text{ m}^3 / \text{h/cap} \quad (6)$$

¹⁾ Oberingenieur Otto Specht, VEW Dortmund

²⁾ DIN 4701 (Jan. 59) Tabelle 4a

³⁾ DIN 4701 (Entwurf März 1978) Tabelle 11 Nr. 2

⁴⁾ wie 3), jedoch Nr. 1

⁵⁾ DIN 4108 Teil 2 (Entwurf Oktober 1979) Tabelle 1 und Wärmeschutz V §§ 3, 6, 9 mit Anlage 2

Dabei wurde davon ausgegangen, daß eine Person in einer Stunde 18 l CO₂ ausatmet und der CO₂-Gehalt der Luft sich um 0,036%-Punkte erhöht. Wer den CO₂-Gehalt der Fortluft gegenüber der Außenluft höher ansetzen will, mag sich ver-gegenwärtigen, daß der CO₂-Gehalt nur stellvertretend be-rücksichtigt wird für alles das, was mit der Luft ins Freie ge-führt werden muß. Die Außenluftrate von 50 m³/h/cap korrespondiert bei vier Personen und einem Volumen von 80 m² · 2,5 m = 200 m³ mit einem Luftwechsel von

$$\beta = 50 \text{ m}^3/\text{h/cap} \cdot 4 \text{ cap}/200 \text{ m}^3 = 1 \text{ h}^{-1} \quad (7)$$

Dieser Wert ist dreimal so groß wie der durch Fensterfugen zu erwartende und doppelt so groß wie der "verordnete" Mindestluftwechsel von 0,5 h⁻¹.

Tafel 1: Daten für ein Mehrfamilien-Wohnhaus mit 800 m² Wohnflä-
 che für Fensterlüftung und zwei Modellfälle mit Lüftungs-wärmepumpe

Table 1: Data for a block of flats with a floor area in the dwellings of 800 m² for ventilation through windows and two cases incorporating a heat pump for ventilation

Tableau 1: Données relatives à une maison multifamiliale d'une surface habitable de 800 m² — aération par les fenêtres et deux cas-modèles avec pompe à chaleur d'aération

	1	2	3	4	5	6
	Größe	Dimen-sion	Fensterlüftung ohne Wärme-rückgewinnung		Lüftungswärme-pumpe Modellfälle A B	
1	Luftwechsel	h ⁻¹	0,5	1,0	1,0	1,0
2	Spezifischer Wärmebedarf	W/m ²	65	80	80	80
3	Wärmebedarf	kW	52	64	64	64
4	Transmissions-wärmebedarf	kW	40	40	40	40
5	Lüftungswärmebedarf	kW	12	24	24	24
6	Heizleistung	kW	52	64	50	43
7	Rückgewin-nungsleistung	kW	—	—	14	21
8	Leistung aus sta-tionären Heiz-flächen	kW	52	64	43	32
9	Leistung aus der Zuluft	kW	—	—	21	32
10	Leistungs-aufnahme Lüftungswärme-pumpe	kW	—	—	7	11
11	Spezifische Leis-tungsaufnahme Lüftungswärme-pumpe	W/m ²	—	—	8,75	13,33
12	Leistungs- und Arbeitszahl	1	—	—	3	3
13	Fortlufttem-peratur	°C	+22	+22	+3	-11,3
14	Bivalenztem-peratur	°C	—	—	+9,5	+ 4,0
15	Energiever-bruch gesamt	%	81	100	52	39
16	für stationäre Heizflä-chen	%	81	100	27	8
17	für Lüftungs-wärmepumpe	%	—	—	25	31
18	Energiegewinn aus Umwelt- und Abfallwärme	%	—	—	48	61

In Tafel 1 basieren die Größen in Spalte 3 auf diesem Mindestluftwechsel. In den Spalten 4, 5 und 6 wurde dagegen der Luftwechsel nach Gleichung (7) angesetzt.

Lüftungswärmepumpen als Instrument der Wärmerück-gewinnung und damit des Wärmeschutzes

Will man die Zuführung von Außenluft nicht bautechnischen und wetterbedingten Ausgangsgrößen überlassen, und darüber hinaus menschliche Unzulänglichkeiten bei der ausschließlichen Fensterlüftung vermeiden, so ist eine geregelte mecha-nische Lüftung unerlässlich. Will man dazu noch die Bestim-mungen der Wärmeschutz-Verordnung nicht unterlaufen, so benötigt man eine Wärmerückgewinnungsanlage, die einen wesentlichen Teil der Fortluftenthalpie auf die zuzuführende Außenluft überträgt.

Im folgenden werden die Möglichkeiten hierzu anhand von drei Modellfällen dargestellt.

Die dazu herangezogenen Größen sind nicht zwingend, machen jedoch deutlich, welches Mengengerüst für Leistung und Energie, wenn auch zum Teil unter optimistischen Annahmen, zu erwarten ist. Dabei wird auf eine breit angelegte Un-tersuchung zum Anteil des Lüftungswärmebedarfs und seine besondere Bedeutung für Mehrfamilienhäuser verzichtet, da dies der Literatur entnommen werden kann, zum Beispiel [1].

Einstufige Lüftungswärmepumpe (Modellfall 1)

Das Prinzipschema für die Lüftungswärmepumpe ist in Bild 1 dargestellt. Stationäre Heizflächen decken den größeren Teil des Wärmebedarfs. Die Fortluft wird im Modellfall 1 (Tafel 1), Zeile 13, Spalte 5) abgekühlt auf + 3 °C. Der Wärmebedarf beträgt 64 kW, wie in allen Beispielen der Tafel mit einem Luftwechsel von 1/h. Davon werden 21 kW mit der Zuluft dem Raum zugeführt. Im Mehrfamilienhaus kommt die Leistung wohl am besten aus einer gemeinsam genutzten Lüftungswärmepumpe mit einer Leistungsaufnahme von nur 7 kW/800 m² (= 8,75 W/m²).

Gemeinsame Abrechnung des Stromverbrauchs und pauschale Zurechnung zu den angeschlossenen Wohnungseinheiten hätten die Auswirkung, daß die Bewohner die von der Lüftungswärmepumpe dargebotene Energie so weit wie möglich nutzen. Sollte bei vorübergehendem erhöhtem Außenluftbedarf ein Fenster geöffnet werden, so ist die Energie für die Erwärmung der kalten durch das Fenster zuströmenden Außenluft über die stationären Heizflächen zu decken. Wenn hierfür Einzelabrechnung vorgenommen wird, ist der Anreiz da, soviel Heizenergie wie möglich über die Zuluft zuzuführen.

Die von der Lüftungswärmepumpe erwärmte Zuluft stellt also, auch wenn die Leistung relativ niedrig ist, die Grundheizung dar, während die stationären Heizflächen regelungstechnisch in der Lage sein müssen, die für die Deckung des Wärmebedarfs notwendige Leistungsdifferenz abzugeben.

Bis herab zu einer Außentemperatur von + 9,5 °C (Bivalenz-temperatur) müßte die Lüftungswärmepumpe in der Lage sein, den gesamten Wärmebedarf zu decken. Die Leistungen in Abhängigkeit von der Außentemperatur zeigt bei linearem Verlauf Bild 2. Die Linie für den Restbedarf zeigt die Leis-tung der stationären Heizflächen. Werden die Leistungen mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung für die Temperatur der Außenluft (Bild 3) gewichtet, so ergibt sich der Netto-Energiebedarf wie in Bild 4 dargestellt. Die in Vollstrich ausgezogene Linie gilt für die Daten in Spalte 3 von Tafel 1 und so-mit für einen Luftwechsel von 0,5/h. Für den direkten Ver-gleich mit dem Netto-Energiebedarf für die Lüftungswärmepumpe und die stationären Heizflächen müßte die in Vollstrich ausgezogene stufenförmige Linie noch um rund 23 % höher liegen.

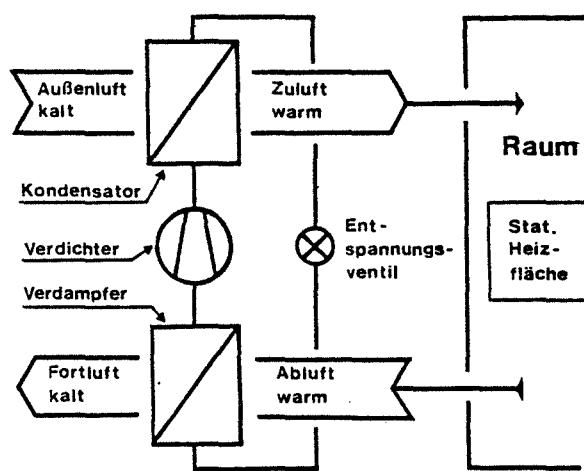


Bild 1: Prinzip der Lüftungswärmepumpe

Fig. 1: Operating principle of the heat pump for ventilating purposes

Fig. 1: Principe de la pompe à chaleur d'aération

Mehrstufige Lüftungswärmepumpe (Modellfall 2)

Will man die Fortluft stärker abkühlen, ja, im Regelfall sogar unterkühlen auf etwa -12°C , so erscheint es geraten, zur Erhaltung einer genügend hohen Leistungszahl eine mehrstufige Wärmepumpe einzusetzen. Die bei drei Stufen und der Leistungsaufteilung $3/6 + 1/6 + 2/6$ zu erwartenden Temperaturen zeigt Bild 5. Auch bei höherer Außenlufttemperatur von zum Beispiel $+15^{\circ}\text{C}$ statt -12°C und Beibehaltung der Fortlufttemperatur von etwa -12°C ergibt sich eine annehmbare Temperaturdifferenz zwischen der warmen und der kalten Seite der Lüftungswärmepumpe.

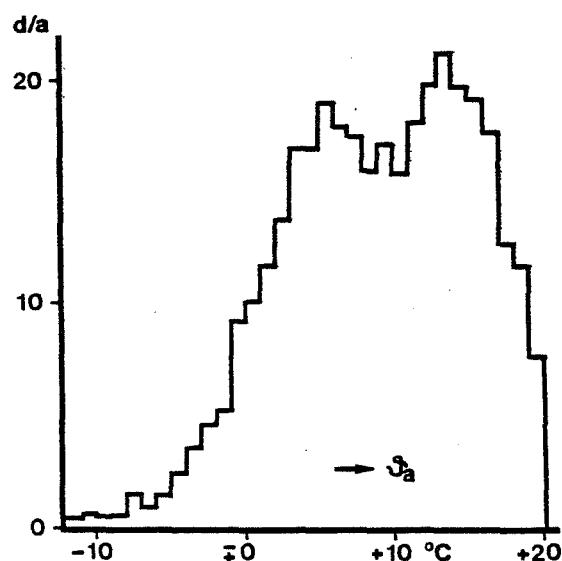


Bild 3: Lufttemperatur für Münster in den Heizperioden 1955/56 bis 1974/75

Fig. 3: Air temperature for Münster during the heating periods 1955/56 to 1974/75

Fig. 3: Température de l'air pour la ville de Münster pendant les périodes de chauffage 1955/56 à 1974/75

Selbst bei solchen extremen Temperaturverhältnissen ist eine annehmbare Leistungszahl in der Größenordnung von

$$\epsilon_{\text{eff}} = 3$$

zu erwarten (siehe hierzu Tafel 2, Zeile 4, Spalte 8).

$$Q_h = Q_h(\vartheta_a) \quad a_{\text{spez}} = 65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$F_{\text{FB}} = 80 \text{ m}^2$$

$$\vartheta_{FO} = +3^{\circ}\text{C} \quad \vartheta_{biv} = +9,5^{\circ}\text{C}$$

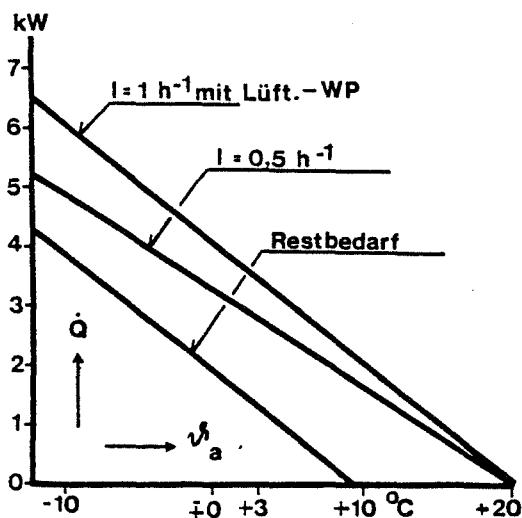


Bild 2: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außen temperatur (zu Modellfall 1)

Fig. 2: Heat requirement as a function of outside temperature

Fig. 2: Besoins nets en énergie de chauffage (pompe à chaleur d'aération à un stade)

— ohne Lüftungs-WP
 - - - mit Lüftungs-WP
 - - - Rest aus stationärer Heizfläche

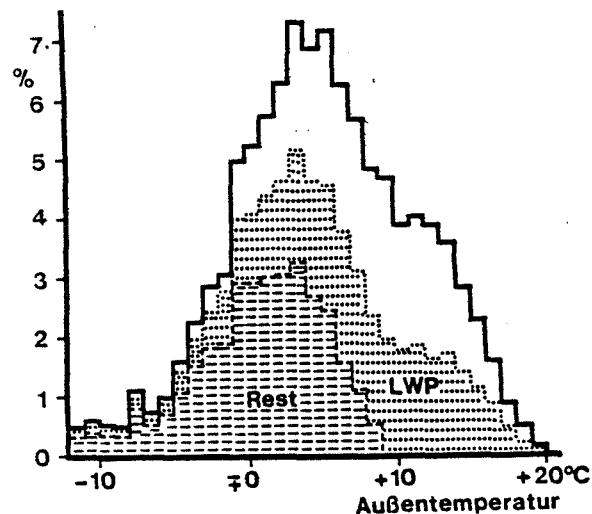


Bild 4: Nettobedarf an Heizenergie (einstufige Lüftungswärmepumpe)

Fig. 4: Net requirement of energy for space-heating (single-stage heat pump for ventilating purposes)

Fig. 4: Besoins nets en énergie de chauffage (pompe à chaleur d'aération à un stade)

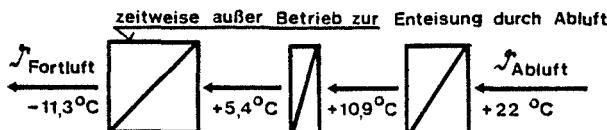
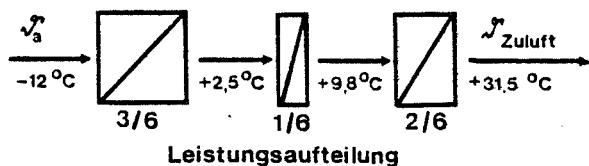


Bild 5: Zu erwartende Temperaturwerte bei Aufteilung der Wärmepumpenleistung

Fig. 5: Anticipated temperature values on distribution of the heat pump output

Fig. 5: Valeurs de température prévues dans le cas de la répartition de la puissance de pompe à chaleur

Dieser ungünstigste Fall, der für den praktischen Betrieb nicht in Frage kommen wird, soll nur aufzeigen, daß eine ungenügende Leistungszahl nicht zu erwarten ist. Aus den effektiven Leistungszahlen für mehrstufigen Betrieb (Tafel 2, Spalte 8) folgt, daß die Gesamtleistungszahl aller drei Stufen mit etwa 5,3 zu erwarten ist. Sie liegt damit genügend hoch über dem in Tafel 1 angesetzten Wert von 3,0.

Auch wenn Teillastbetrieb gefahren wird, kann die Fortluft so weit wie möglich und nötig abgekühlt werden.

In Tafel 1 ist eine Bivalenztemperatur von + 4 °C aufgeführt. Nach diesem Modell werden die stationären Heizflächen erst benötigt, wenn die Außenlufttemperatur noch niedriger ist. Anders als bei bivalenten Heizwärmepumpen üblich, wird die Lüftungswärmepumpe jedoch nicht alternativ sondern parallel zu der anderen Heizenergiequelle betrieben.

Die Leistungen in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt Bild 6, die Verteilung des Netto-Energiebedarfs über der Außen temperatur ist (analog zu Bild 4) für den Modellfall 2 aus Bild 7 zu ersehen. Schon der optische Eindruck vermittelt die Vorteile der Fortluftunterkühlung, die sich mit der

Tafel 2: Leistungszahlen bei verschiedenen Betriebszuständen

Table 2: Coefficient of performance under different operating conditions

Tableau 2: Coefficients de performance à différents modes opératoires

X	1		2		3		4		5		6		7		8	
	Außenluft-temperatur		Fortluft-temperatur		Kondensations-temperatur		Verdampfungs-temperatur		ϵ_c		$\epsilon_{eff} = 0,6 \epsilon_c$					
	AN	AB	AN	AB			K	K	1	1						
1	-12	+ 2,5	+ 5,4	-11,3	285,7	251,9	8,5	5,1								
2	+ 2,5	+ 9,8	+ 10,9	+ 5,4	293,0	268,6	12,0	7,2								
3	+ 9,8	+31,5	+22	+ 10,9	314,7	274,1	7,8	4,7								
4	-	+31,5	-	- 11,3	314,7	251,9	5,0	3,0								
5	-	+31,5	-	+ 3,0	314,7	266,2	6,5	3,9								
6	-	+31,5	-	- 0,7	314,7	262,5	6,0	3,6								
7	-	24,3	-	- 11,3	307,5	251,9	5,5	3,3								

$$Q_h = Q_h(\vartheta_a) \quad q_{spez} = 65 \frac{W}{m^2}$$

$$F_{FB} = 80 m^2 \quad \vartheta_{FO} = -11,3^\circ C$$

$$\vartheta_{biv} = +4^\circ C$$

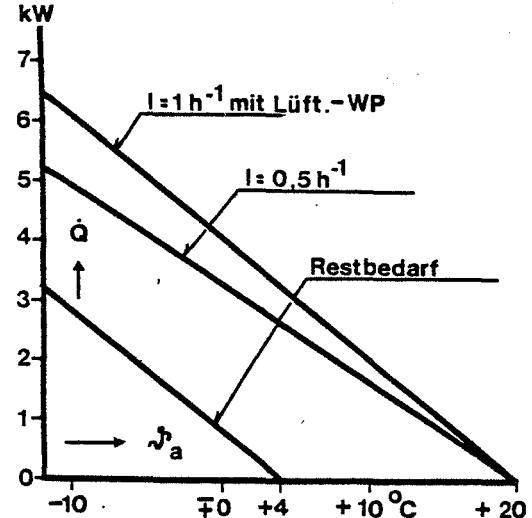


Bild 6: Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außen temperatur (zu Modellfall 2)

Fig. 6: Heat requirement as a function of outside temperature

Fig. 6: Besoins en chaleur en fonction de la température extérieure

mehrstufigen Lüftungswärmepumpe besser als mit der einstufigen nutzen lassen. Der kleine Rest, der bei Unterschreitung einer Außen temperatur von + 4 °C verbleibt, ist aus den stationären Heizflächen zu decken.

— ohne Lüftungs-WP
 - - - mit Lüftungs-WP
 - - - Rest aus stationärer Heizfläche

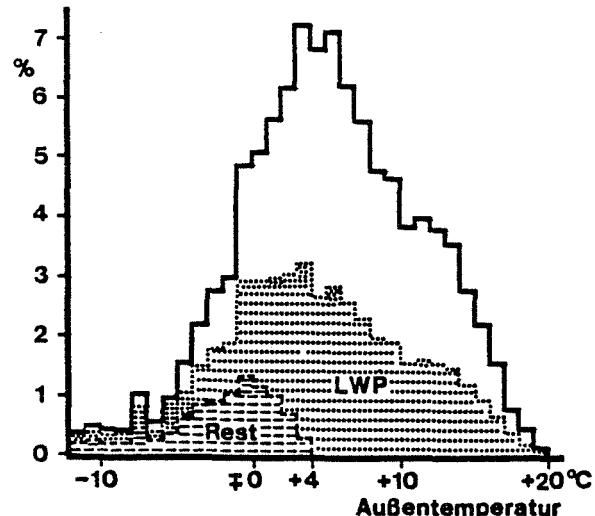


Bild 7: Nettobedarf an Heizenergie (mehrstufige Lüftungswärmepumpe)

Fig. 7: Net requirement of energy for space-heating (multi-stage heat pump)

Fig. 7: Besoins nets en énergie de chauffage (pompe à chaleur d'aération à plusieurs stades)

Lüftungswärmepumpe, kombiniert mit Wärmetauscher (Modellfall 3)

Entzieht man der abströmenden Raumluft zunächst einen Teil der Wärmeenergie mit Hilfe eines Wärmetauschers und führt sie mittelbar oder unmittelbar der kalten Außenluft zu, so lässt sich vor allem bei tiefer Außentemperatur ein beachtlicher Teil der Wärmeenergie auch ohne Wärmepumpe und somit ohne Zuführung elektrischer Antriebsenergie auf die Zuluft übertragen. Ein vereinfachtes Funktionsschema zeigt Bild 8. Der Restbedarf hängt von Art und Größe des Wärmetauschers und von Daten der Wärmepumpen ab.

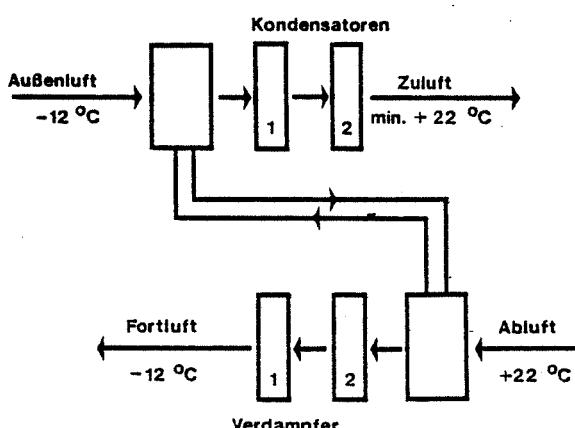


Bild 8: Funktionsschema einer Anlage mit Lüftungswärmepumpe und Wärmetauscher

Fig. 8: Diagram showing the operation of a system comprising a heat pump for ventilating purposes and a heat exchanger

Fig. 8: Schéma fonctionnel d'une installation équipée d'une pompe à chaleur d'aération et d'un échangeur de chaleur

Überbrückt der Wärmetauscher die Hälfte der Temperaturdifferenz bei der Außenlufterwärmung und Fortluftabkühlung, so ist eine effektive Leistungszahl von 3,4 zu erwarten (Mittelwert aus Zeilen 6 und 7 der Spalte 8 in Tafel 2). Bezieht man den Wärmetauscher mit in die Betrachtung ein, so liegt die effektive Leistungszahl für das gesamte Aggregat sogar bei 6,8 und ist somit höher als im Modellfall 2. Geht man davon aus, daß für den Modellfall 3 die Hälfte der elektrischen Leistung des Modellfalle 2 benötigt wird, so wird die spezifische elektrische Leistung mit etwa 7 W/m² Wohnfläche niedriger als im Modellfall 1 (vgl. Tafel 1, Zeile 11, Spalte 5). Der geringe elektrische Leistungs- und Energiebedarf macht den Modellfall 3 für eine Realisierung besonders attraktiv.

Energetische Konsequenzen

Wärmedämmmaßnahmen, wie sie sich aus der Wärmeschutz-Verordnung ergeben, führen zu einer beachtlichen Herabsetzung des Heizenergieverbrauchs. Die sich in der Praxis ergebenden Werte dürften jedoch schlechter sein als zunächst erwartet wurde. Führt man Fensterlüftung mit einem Luftwechsel von 1/h statt wie vorgesehen 0,5/h durch, so wird der Heizenergieverbrauch im Mehrfamilienhaus wieder um etwa 23 % angehoben. Dieser höhere Energieverbrauch muß jedoch nicht als unabwendbar in Kauf genommen werden. Vervollständigt man den Wärmeschutz durch Wärmerückgewinnung, so lässt sich der Energieverbrauch auf etwa 50 % senken (Tafel 1, Zeile 15, Spalte 5). Selbst wenn die Angaben zum Energieverbrauch für den Modellfall 2 als zu optimistisch angesehen werden (Tafel 1, Spalte 6), ist es doch bestechend, eine Senkung auf etwa 40 % entsprechend einem Energiegewinn aus Umwelt- und Abfallwärme von etwa 60 % in Reichweite zu wissen.

Verbleibt für stationäre Heizflächen zwei Drittel bis zur Hälfte der Leistung, so ist die energetische Auswirkung noch größer, wenn der ihnen zuzurechnende Energieverbrauch auf rund ein Viertel bis ein Zwölftel (Tafel 1, Zeile 16, Spalte 5 bzw. 6) zurückgeht.

Auswirkungen auf andere Heizsysteme

Im vorhergehenden Abschnitt ist vorausgesetzt, daß die Lüftungswärmepumpe soviel wie möglich an Heizenergie liefert.

Dies hat für das Ergänzungsheizsystem mit den stationären Heizflächen zur Folge, daß die Benutzungsdauer bedeutend niedriger wird, kommt doch im Modellfall 1 auf 67 % der Leistung nur 27 % der Wärme und im Modellfall 2 auf 50 % der Leistung gar nur 8 % der Energie. Das führt zu einer Herabsetzung der Benutzungsdauer auf 40 % bzw. 16 % der früher üblichen. Für lagerfähige Brennstoffe ist dies weit weniger gravierend als für leitungsgebundene Energie. Am Beispiel der Lüftungswärmepumpe wird ein weiteres Mal deutlich, daß nur mengenabhängige, also lineare Energiepreise zu einer nicht zu vernachlässigenden Auswirkung auf die Erlös-Kosten-Relation führen können, wenn sich der Energieverbrauch nicht in demselben Maße ändert wie die Leistung. Dennoch wird kaum jemand ernsthaft erwägen, deshalb eine neue energiesparende Technik nicht auch einzuführen. Technisch dürfte sich die Lüftungswärmepumpe mit jedem anderen regelungsfähigen Heizsystem kombinieren lassen. Ökonomische Auswirkungen, vor allem bei Ergänzungen durch leitungsgebundene Heizenergie, verdienen besondere Beachtung.

Schrifttum

- [1] Rouvel, L.: Raumkonditionierung. Berlin, Heidelberg, New York 1978