

Das in diesem Haus verwirklichte Anlagenkonzept ist mittlerweile auch auf dem deutschen Markt einsetzbar. In Zusammenarbeit mit deutschen Elektroversorgungsunternehmen sind hier verschiedene Anlagenkonzepte anzubieten.

Einige führende deutsche Fertighaushersteller haben die Zeichen der Zeit erkannt und bieten ihren Bauherren bereits standardmäßig den Einbau solcher Heizungs- und Lüftungssysteme an.

Es ist davon auszugehen, daß in den nächsten Jahren in Deutschland auf breiter Ebene ein Durchbruch dieser komfortablen, preisgünstigen und energiesparenden Heizungs- und Lüftungssysteme gelingen wird.

Schrifttum

[1] Korsgaard, V.: Problemlösung Energie im Wohnungsbau. Laboratorium für Wärmeisolierung der Technischen Universität Kopenhagen - Bericht über die Niedrigenergiehäuser in Hjørtkeær.

8504231

AIC 1351

# Energiebilanz eines Wohnbereiches

Von H. Trümper und K. Hain<sup>1)</sup>



Die Verfasser stellen vier Varianten der Wohnungslüftung vor: Die Möglichkeiten reichen von einer einfachen Querlüftung nach der Landesbauordnung, einer Schachtlüftung nach DIN 18017-er Ausführung über eine Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung nach VDI 2088 bis zu einer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe. Die Energiebilanzen der vier Systeme werden anhand von Energieflußbildern dargestellt.

Bei den folgenden Betrachtungen soll die Mietwohnung des sozialen Wohnungsbaus mit rund 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche und das gut wärmedämmte Einfamilienhaus mit rund 140 m<sup>2</sup> Wohnfläche Grundlage sein. Dem Wohnbereich sollen weiterhin drei bis vier Personeneinheiten zugeordnet werden. Die erforderliche Energieversorgung des angeführten Wohnbereiches kann wie folgt aufgeteilt werden:

- a) Raumheizung (einschließlich Grundlüftung),
- b) Brauchwarmwasserversorgung,
- c) Raumbelüftung,
- d) Haushaltsgeräte,
- e) Rundfunk und Fernsehen.

Die angeführten Energieverbraucher wurden bis Mitte der siebziger Jahre weitgehendst getrennt betrachtet, und eine eventuelle Mehrfachnutzung, zum Beispiel der Abwärme der Verbraucher (c) bis e) zur Mitnutzung bei der Raumheizung wurde nicht berücksichtigt, ebenso wie anfallende Personensolarwärme und eventuelle Solarwärme über die Einstrahlung der Fensterflächen.

Betrachtet man die Größenordnung der zuvor angeführten Verbraucher oder Spender, dann kann für eine normale Bauausführung und für eine Durchschnittsfamilie um 1970 ausgedrückt im Energieverbrauch in kWh/a folgender Ansatz gemacht werden:

- a) Raumheizung rund 300 kWh/m<sup>2</sup> a ≈ 30.000 kWh/a
- b) (bis e) Haushaltsbedarf ≈ 4.000 kWh/a
- f) anfallende Personensolarwärme ≈ 400 kWh/a
- g) anfallende Solarwärme ≈ 400 kWh/a

Insgesamt ergibt sich somit eine Bilanzierung zu rund 35.000 kWh/a für einen Wohnbereich von rund 100 m<sup>2</sup>. Zum besonderen Verständnis sollte für die Raumheizung der spezifische Wärmebedarf  $\dot{q}_{spez}$  angesetzt werden, und aus

dem zuvor angeführten Jahresbedarf von 30 000 kWh für Raumheizung ergeben sich bei einem Ansatz von 2 000 Vollbenutzungsstunden:

$$\dot{q}_{spez} = \frac{30\,000}{2\,000 \cdot 100} = 0,15 \text{ kWh/m}^2$$

Ein derartig heute hoch erscheinender Wert war um 1970 bei Wohnbauten üblich. Nimmt man dazu die mögliche Bauausführung 1985, zum Beispiel bei den Fertighäusern, dann kann ein Wert zu  $\dot{q}_{spez} = 60 \text{ W/m}^2$  angesetzt werden.

Unter Annahme der Vollbenutzungsstunden wie vor ergeben sich für 1970 und 1985 folgende Vergleiche:

Verbraucher	1970	1985
Raumheizung	30.000 kWh/a	12.000 kWh/a
Haushalt	4.000 kWh/a	4.400 kWh/a

Bei der Raumheizung ergibt sich somit eine Reduktion für 1985 auf 40% des Wertes von 1970.

Bei einem Haushalt wurde eine Aufstockung auf 110% für 1985 angesetzt, und zwar im Hinblick auf die zugenommene Geräteausstattung von 1970 bis 1985.

Bildet man das Verhältnis zwischen Raumheizung und Haushalt, dann ergibt sich für 1970 ein Wert von 85:15 und für 1985 ein Wert von 70:30.

In Bild 1 wird der schematische Schnitt durch einen Wohnbereich dargestellt. Nach der LBO (Landesbauordnung) muß eine Querlüftung zur Lüftung der Wohnung nachweisbar sein. Die Querlüftung ist aber auch ein Energietransportvorgang, denn mit der Fortluft über die Fensteröffnung wird der gesamte Wärmehalt des Fortluftvolumenstroms in die Atmosphäre entlassen. Selbstverständlich muß die nachströmende Außenluft als Zuluft erneut aufgeheizt werden und zwar

<sup>1)</sup> i.o. Professor Heinrich Trümper und Dipl.-Ing. K. Hain, Lehrstuhl für Technische Gebäudeausrüstung, Universität Dortmund

zumindest auf die gewünschte Raumlufttemperatur. Die in Bild 1 angegebenen Temperaturen für Zuluft und Fortluft lassen die Größenordnung des Lüftungswärmeverlustes gut erkennen. Daß bei einer Fensterlüftung und Heizkörperanordnung unter dem Fenster die abströmende Fortluft noch erheblich über den Raumluftwert aufgeheizt wird, sei nur am Rande erwähnt. Die Nutzung der Solarwärme ist, bei der oberen Darstellung auf Bild 1 möglich. Bei der unteren Darstellung dagegen dürfte die Solarwärme sofort wieder herausgelüftet werden.

Die zuvor schon angeführte Haushaltsenergie im Bereich um 1970 mit 4 000 kWh/a und für 1984 mit 4 400 kWh/a läßt sich auf die einzelnen Verbraucher einer Wohneinheit oder eines Einfamilienhauses wie folgt aufschlüsseln:

Gruppe A			
- Beleuchtung und Kleingeräte	≈ 9 %	400 kWh/a	
- Kühlschrank, Fernseher, Gefriergerät	≈ 27 %	1 200 kWh/a	
Gruppe B			
- Elektroherd, Backofen	≈ 14 %	600 kWh/a	
Gruppe C			
- Warmwasserversorgung	≈ 34 %	1 500 kWh/a	
- Waschmaschine, Geschirrspüler, Wäschetrockner	≈ 16 %	700 kWh/a	
<b>Summe</b>	<b>≈ 100 %</b>	<b>4 400 kWh/a</b>	

Die zuvor aufgeführten Verbraucher A bis C können hinsichtlich der Umsetzung von der aufgenommenen elektrischen Energie in Wärmeenergie, die der Raumwärmer zugute kommt, wie folgt eingestuft werden:

Verbraucher A zu rund 95 % von	≈ 1 500 kWh/a
Gruppe B zu rund 75 % von	≈ 450 kWh/a
Gruppe C zu rund 20 % von	≈ 450 kWh/a
<b>Summe</b>	<b>2 400 kWh/a</b>

Im Mittel werden somit von der gesamten aufgenommenen Jahresenergie des elektrischen Stroms rund 54 % = 2 400 kWh/a zur Raumwärmer angeboten.

In unseren Breiten hat sich die Jahresheizzeit auf rund zehn Monate eingestellt. Somit können bilanzmäßig vom angebotenen Jahresenergiewert für die Raumwärmer rund 2 000 kWh/a aus der Haushaltsstromaufnahme angesetzt werden.

Mit Bild 2 wird in Anlehnung an Bild 1 unter Ansatz der zuvor aufgeführten Jahresenergiewerte eine Gesamtbilanz für einen Wohnbereich mit rund 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche dargestellt. Für die Raumwärmer werden in der Heizzeit 12 000 kWh/a benötigt, und das bedeutet einen spezifischen Jahreswert von 120 kWh/m<sup>2</sup> a. Bei der Elektrospeicherheizung sind Werte dieser Größenordnung bei einer Bauausführung mit Vollwärmeschutz, wie von den EVUs gefordert, hinreichend bekannt. In Bild 2 sind auch die zuvor aufgeführten Wärmeströme von den Haushaltsgeräten, den Personen und der zu erwartenden Solareinstrahlung aufgeführt, jedoch als Verluste angesetzt und zwar in Anlehnung an Bild 1.

Sicherlich wird dieser volle Verlustansatz nicht zutreffend sein. Insbesondere dann nicht, wenn günstige Voraussetzungen hinsichtlich der Regelung der Heizflächen vorhanden sind. Mit der Querlüftung muß jedoch ein weitgehendster Verlust dieser Wärmeströme angesetzt werden.

In Bild 3 wird der schematische Schnitt aus Bild 1 verändert dargestellt. Die Querlüftung ist hinsichtlich der Fortluft durch eine Schachtlüftung ersetzt. Damit hat die Fortluft eher den Wärmewert der Raumluft. Durch die Anordnung

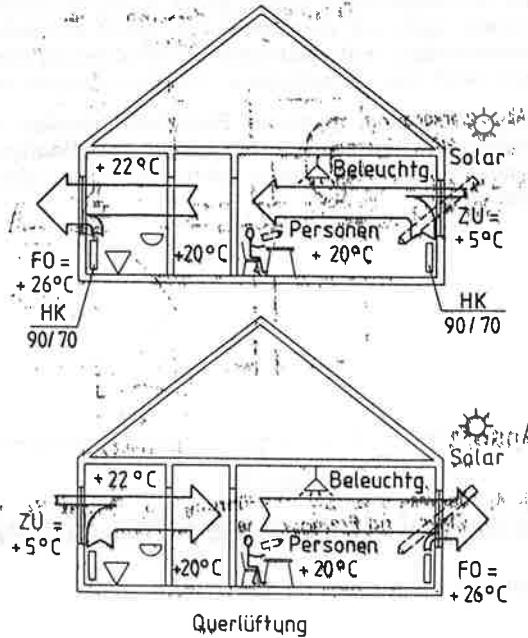


Bild 1: Schematischer Schnitt eines Wohnbereiches mit Querlüftung nach Landesbauordnung

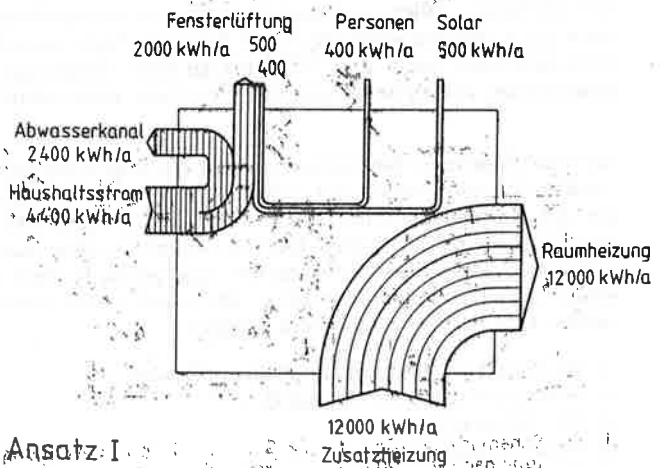


Bild 2: Jahresenergiebilanz für Raumwärmer und Haushalt für einen 4-Personenhaushalt mit rund 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche

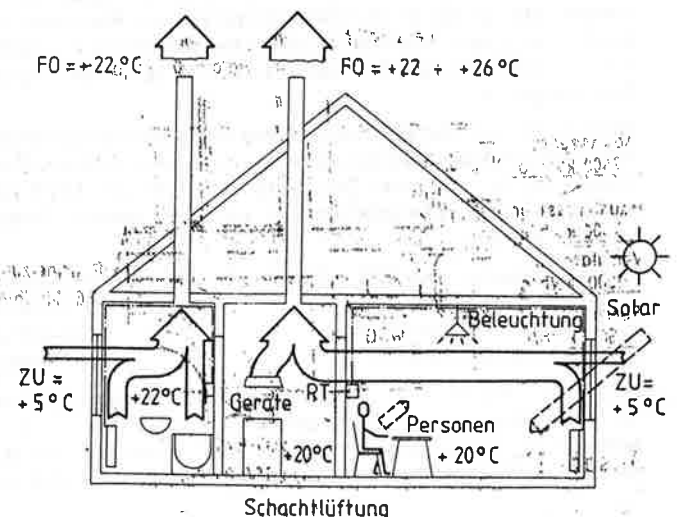
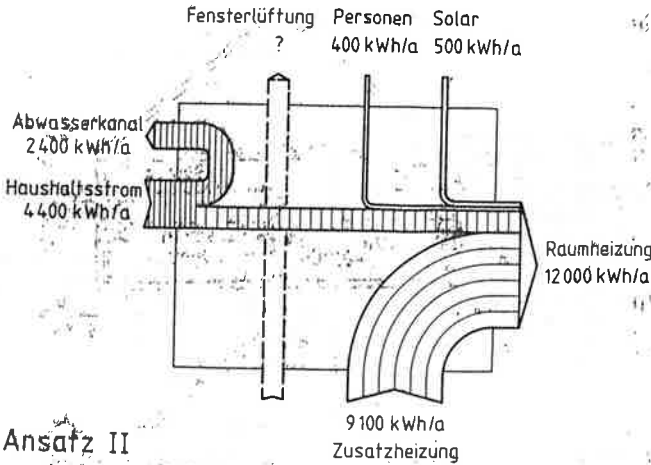


Bild 3: Schematischer Schnitt wie Bild 1, jedoch mit Schachtlüftung nach DIN 18017 alter Ausführung (Berliner Lüftung)



Ansatz II

Bild 4: Jahresbilanz zur Ausführung Bild 3 mit Teilnutzung der Eigen- und Fremdwärme

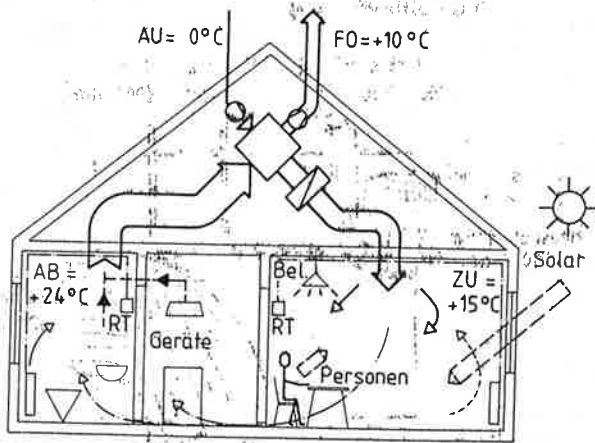
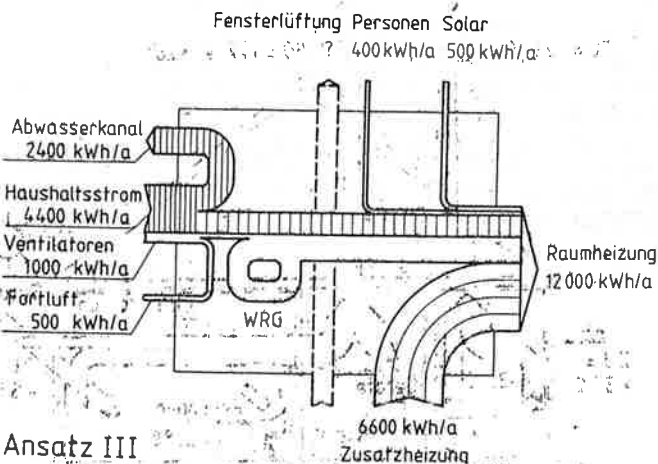


Bild 5: Schematischer Schnitt wie Bild 1, jedoch mit Wohnungslüftung nach VDI 2088 und Wärmerückgewinnung



Ansatz III

Bild 6: Jahresbilanz zur Ausführung Bild 5 mit Nutzung der Lüftungswärme über Wärmerückgewinnung

einer Raumtemperaturregelung können die im Gebäude anfallenden Wärmeströme weitgehendst zur Raumheizung genutzt werden. Die Lüftungswärme dagegen geht über die Schachtlüftung verloren.

In Bild 4 wird in Anlehnung an Bild 2 die zu erwartende Gesamtbilanz für das Schema nach Bild 3 dargestellt. Die Abwärme aus dem Haushaltsenergiebereich, die Personenwärme und die Solarwärme wurden der Raumheizung zugeordnet. Der Jahresbedarf von 12 000 kWh für die Raumheizung und Lüftung kann durch diese Mitnutzung der Haushaltswärme mit rund 9 000 kWh in Ansatz kommen. Nach Bild 3 muß neben der Schachtlüftung für die Fortluft jedoch auch noch mit einem Anteil Fensterlüftung gerechnet werden, und zwar je nach Wetterlage und Nutzerverhalten. In Bild 4 ist daher ein Anteil für Fensterlüftung als unbekannte Größe angesetzt.

In Bild 5 wird der schematische Schnitt Bild 1 und Bild 3 theoretisch von der Fensterlüftung freigemacht, die erforderliche Be- und Entlüftung des gesamten Wohnbereichs wird durch ein mechanisches System nach VDI 2088 übernommen. In Verbindung mit der Wohnungslüftung ist die einfachste Lösung, eine Wärmerückgewinnung (WRG), möglich. Der Wärmebedarf für die Lüftung kann um rund 50 bis 60 % reduziert werden. Mit Hilfe einer Heizfläche, die wenig Wärme speichert und hinsichtlich ihres Regelverhalten trägheitsarm ist, und der eingetragenen Raumtemperaturregelung kann gegenüber Bild 3 eine noch sicherere Nutzung der im Wohnbereich anfallenden Wärme erwartet werden.

Die Wohnungslüftung kann aber auch zur Verschiebung überschüssiger Wärmeströme eingesetzt werden. Nicht selten erfolgt in der Übergangszeit eine Übererwärmung der Räume in der Südlage durch die Solareinstrahlung. Mit der kontinuierlichen Durchlüftung kann ein Transport dieser überschüssigen Wärme in die Nordräume oder über eine Teilrückgewinnung erzielt werden.

In Bild 6 wird die Jahresbilanz zu Bild 5 dargestellt in Anlehnung an die Bilanzen Bild 2 und Bild 4. Für die eigentliche Raumheizung werden noch 6 600 kWh/a als Zusatzheizungen erforderlich. Die Wohnungslüftung benötigt für den Ventilatorbetrieb 1 000 kWh/a, wovon jedoch rund 500 kWh/a über die Wärmerückgewinnung dem Wärmekreislauf der Wohnung wieder zugute kommt.

Auch in dieser Bilanz wird die Fensterlüftung als mögliche Verlustgröße signalisiert, denn die Wohnungslüftung mit einem stündlichen Luftwechsel  $\beta = 0,8$  bis 1,2, kann in Übergangszeiten oder bei einem Wärme- bzw. Schadstoffstau in der Wohnung die Fensterlüftung nicht ersetzen.

Anzuführen sei auch noch die Möglichkeit des Einsatzes der Wohnungslüftung zur Teilabdeckung des Transmissionswärme-

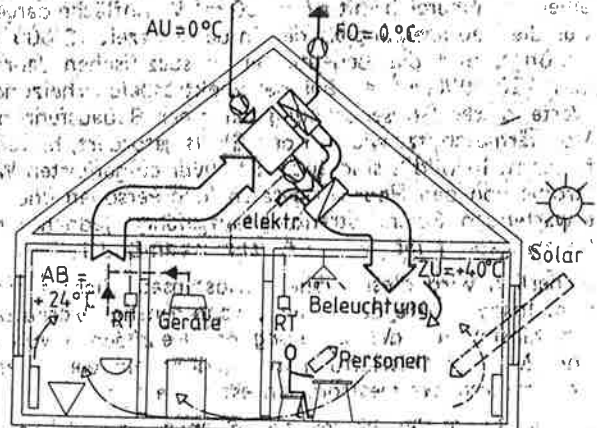


Bild 7: Schematischer Schnitt wie Bild 1, jedoch mit Wärmerückgewinnung nach Bild 5 und Luft/Luft-Wärmepumpe

bedarfs als Grundheizung. Keinesfalls sollte das System als Luftheizung zur vollen Abdeckung der Raumheizung eingesetzt werden, denn mit dem stündlichen Luftwechsel von  $\beta = 1,0$  ist eine Vollabdeckung nicht ratsam, weil sonst die Zulufttemperaturen aufgrund der erforderlichen Überlufttemperatur in Bereiche kommt, die zur Unbehaglichkeit in den Räumen führen kann.

Eine Zusatzheizung in Form regelbarer Heizflächen muß insbesondere zur Nutzung der anfallenden Eigen- und Fremdwärme verbleiben.

Mit Bild 7 wird die Wohnungslüftung mit WRG nach Bild 5 um eine zusätzliche nachgeschaltete Wärmerückgewinnung mit einem Wärmepumpensystem (WP) Luft/Luft dargestellt.

Die Außenluftansaugung mit  $0^\circ\text{C}$  angesetzt, entspricht dem Wert der Fortluft, das heißt für die Lüftung des Gebäudes ergibt sich ein ausgeglichener Wärmehaushalt. Mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe wird der gesamte Wärmehaushalt der Wohnung kontrolliert. Die überschüssige Energie aus dem WP-Kreislauf, angeführt mit der Zulufttemperatur  $+40^\circ\text{C}$  wird zur Teilabdeckung des Transmissionswärmeverbrauchs eingesetzt. Bis zu einer Außentemperatur von rund  $+3^\circ\text{C}$  ist eine Gesamtabdeckung der Raumheizung möglich. Erste Erfahrungen mit Systemen nach Bild 7 führen zu der Erkenntnis, daß es günstiger ist, den WP-Kreislauf 2stufig auszubilden, um in der Übergangszeit den Totbetrieb bzw. eine Übererwärmung der Räume weitgehendst zu vermeiden. Der elektrische Anschlußwert für Ventilatoren und Wärmepumpe beträgt rund 500 bis 750 W, bezogen auf eine Größenordnung von  $100\text{m}^2$  Wohnfläche.

In Bild 8 wird die Jahresbilanz zu Bild 7 dargestellt. Die Zusatzheizung als Regelanteil beträgt etwa  $3\ 200\text{ kWh/a}$  und damit rund 25 % des Bedarfswertes der gesamten Raumheizung bei tiefstem Außentemperaturansatz. Ausgehend vom rechnerischen Jahreswert ergibt sich folgende Bilanz:

Raumheizung Bauausführung 1985 $\approx$	12 000 kWh/a
Nutzung der Haushaltsenergie	- 2 000 kWh/a
Restbedarf	10 000 kWh/a
Nutzung WRG durch Wohnungslüftung	- 2 000 kWh/a
Restbedarf	8 000 kWh/a
Nutzung Luft/Luft-Wärmepumpe	- 2 000 kWh/a
Restbedarf	6 000 kWh/a

Dieser Restbedarf stellt den Anteil mit rund  $2\ 400\text{ kWh/a}$  für Ventilatoren und Wärmepumpe sowie dem in Bild 8 dargestellten Anteil Zusatzheizung mit  $3\ 200\text{ kWh/a}$  dar. Die im der Bilanz fehlenden  $400\text{ kWh/a}$  werden durch Personen-, Solar- und Feuchtwärme ausreichend gedeckt werden.

**Schlußbemerkung**

Die vier Darstellungen der Raumheizungssysteme mit den Jahresbilanzen zeigen die Möglichkeiten der rationalen Energieverwendung in Wohnbereichen (Tafel 1). Ohne Zweifel

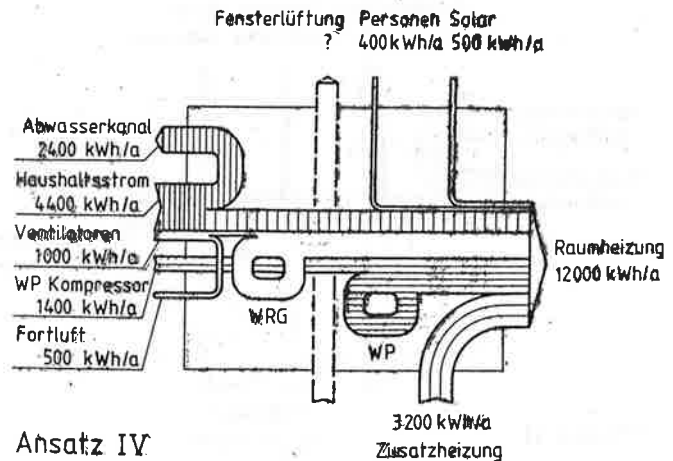


Bild 8: Jahresbilanz zur Ausführung Bild 7 mit Wärmerückgewinnung und Luft/Luft-Wärmepumpe

Tafel 1: Energieaufwand für die vier beschriebenen Raumheizungssysteme:

	Aufwand in kWh/a	Nutzung in kWh/a	Nutzung/Aufwand
Ansatz I	17 300	12 000	0,69
Ansatz II	14 400	12 000	0,83
Ansatz III	12 900	12 000	0,93
Ansatz IV	10 900	12 000	1,10

wurde auch früher schon ein Anteil der Raumheizung durch Eigenwärme oder Fremdwärme abgedeckt. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß erst mit der neuen Heiztechnik „Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe und elektrischer Zusatzheizung“ eine optimale Nutzung der Eigen- und Fremdwärme möglich ist.

Bei uns in der Bundesrepublik Deutschland sind die ersten Ausführungen marktreif im Angebot und von zwei Fertighausbaufirmen werden Häuser mit den zuvor angeführten Heiztechniken standardmäßig vertrieben.

Geeignete Baukonstruktionen, geeignete Grundrissgestaltungen und eine geeignete Heiztechnik mit voll elektrischer Energieversorgung, es ordern nach einem Energiebedarf von 50 bis  $60\text{ kWh/m}^2$  für Raumheizung und Lüftung in Wohnungen oder Einfamilienhäusern der Qualität, die denen auf dem deutschen Markt von seriöser Herstellerhandlung von Fertighäusern entsprechen.