

Klimawand für Wohnhäuser

von Dr.-Ing. L. Samerski

Die Wärmeschutzverordnung gab den Anlaß, die Fugendurchlässigkeit in den Wohnungen drastisch zu reduzieren, wodurch die natürliche Belüftung der Räume stark reduziert wird.

Zusätzlich haben sich die Lüftungsgewohnheiten der Bewohner durch die vergangenen Energiekrisen dahingehend gewandelt, noch weniger zu lüften, um Energie(-kosten) zu sparen.

Die Folgen sind gesundheitliche Gefährdungen durch schadstoffhaltige Raumluft (Bauteilausdunstungen, Zigarettenrauch, etc.), unbehagliches Raumklima (feuchte, sauerstoffarme Raumluft), und Bauschäden (Schimmelbildung, zerstörte Innenwandauskleidung).

Dieses führte zur Gründung des Normenausschusses DIN 1946, der die Anforderungen an den Mindestluftwechsel zur Wohnraumbelüftung festlegen soll.

Die Industrie hat im Laufe der vergangenen Jahre eine ganze Palette an Lüftungssystemen entwickelt. Von der einfachen Raumluftabsaugung über Systeme mit mechanischer Be- und Entlüftung und zentralem Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung bis hin zur modernisierten altrömischen Hypokausten-Heizung wird alles angeboten.

Eine größere Verbreitung am Markt finden diese Systeme leider nicht.

Die relativ hohen Anschaffungskosten, die nicht meßbaren gesundheitlichen Vorteile sowie die gesunkenen Energiepreise sind als Hauptursachen zu nennen.

Die Firma Forchtenberger Fertighaus GmbH, Forchtenberg, hat sich dieser Problematik angenommen und ein System zur Wohnraumbelüftung entwickelt, das wegen seiner funktionalen Genialität und Wirtschaftlichkeit bisher einmalig auf dem Markt ist.

Da bei Beginn der ersten Entwicklungsschritte Fachleute schriftlich ein Funktionieren der Wand bestritten, wurde die Grundlage der Funktion mathematisch nachgewiesen.

Das Land Baden-Württemberg hat deshalb die Entwicklungsarbeiten mit einem ganz erheblichen Zuschuß gefördert.

Das System wird hier an einem Fertighaus vorgestellt, da mehrere Häuser damit gebaut wurden. Nicht nur die Bewohner sind mit der Funktion äußerst zufrieden.

Das System läßt sich aber auf z. B. massive Außenwände übertragen.

Ausgangspunkte

Erster Schritt zur Entwicklung dieser „Klimawand“ war die Frage, ob durch einfache Belüftung der Außenwände von Wohnhäusern eine Rückgewinnung der Transmissionswärme, die normalerweise durch die Außenwand an die Umgebung verloren geht, möglich ist.

In Fachkreisen wurden erhebliche Zweifel geäußert.

Da mit der Klimawand auch ein sehr behagliches Wohnklima erzeugt werden sollte, entschied man sich zu einer Beheizung der Innenfläche der Außenwand. Dadurch hat der Wohnraum keine kalte Strahlungswand mehr.

Um die Funktionsfähigkeit einer solchen Klimawand zu belegen, wurde ein mathematisches Modell zugrunde gelegt (Bild 1). Die Werkstoffdaten wurden passend zu dem gewählten Aufbau der Klimawand (Bild 2), einer typischen Außenwand für Fertighäuser, festgelegt.

Aufbau der Wandkonstruktion

Die tragende Kernwand wird beidseitig mit einer Schale versehen (Bilder 1 u. 2). Die Schalen haben einen 4 cm großen Abstand von der Kernwand und sind hinterlüftet.

Ein sehr geräuscharmer Axialventilator im Rolladenkasten drückt Außenluft in den Außenspalt (Spalt zwischen Kernwand und Außenschale). Diese Luft wird über die ganze Fläche der Außenwand geführt, wobei Holzstäbe sinnvolle Umlenkungen bewerkstelligen.

Auf ihrem Weg entlang der Kernwand nimmt die Außenluft die Transmissionswärme der Kernwand auf und erwärmt sich dabei. Dadurch wird ein kleiner Teil dieser zurückgewonnenen Transmissionswärme wieder über die Außenschale durch Transmission an die Außenluft abgegeben.

Die erwärmte Außenluft gelangt am Ende des Außenspaltes durch einen Kanal in der Kernwand in den Innenspalt (Luftspalt zwischen Kernwand und Innenschale).

Dort strömt die Luft zuerst durch einen Wärmetauscher, der die Luft auf eine von der Witterung (Außenlufttemperatur) geführte Temperatur erwärmt.

Im Innenspalt gibt diese Luft ihre Wärme hauptsächlich über die Innenschale (Gipskarton, $K = 17,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) an die Luft des Wohnraumes ab. Mit einer Temperatur geringfügig über der Raumluft strömt sie dann aus Schlitzen an der Fensterbank in den Raum.

Die Zwangsbelüftung durch die Wand darf nur solche Luftmengen in den Wohnraum einblasen, die zur ausreichenden Lüfterneuerung notwendig sind. Dabei soll die Mindestlüftungsrate

von z. B. 1/h für Wohnräume nicht wesentlich überschritten werden, damit die Energieeinsparung durch den Transmissionswärme-Rückgewinn nicht durch höhere Lüftungswärmeverluste und Stromkosten für den Ventilator zunichte gemacht wird.

Die Luft am Austritt an der Fensterbank muß aus Gründen der Behaglichkeit immer eine höhere Temperatur haben als die Raumluft. Die Wandkonstruktion und die Betriebsweise (Luftdurchsatz, Temperatur etc.) müssen darauf abgestimmt werden.

Da Wohnräume nicht nur über die Außenwand Wärme verlieren, sondern auch zu kühleren Nachbarräumen hin, wird ein weiterer Heizkörper an einer Wand angebracht, der diese Wärmeverluste zusätzlich abdeckt.

Wärmetauscher und Heizkörper erwärmt ein Warmwasser-Heizungskreislauf. Wärmeerzeuger ist beliebig.

Berechnungsverfahren

Das System nach Bild 2 wird mathematisch beschrieben, indem die Wärmeströme durch Differentialgleichungen dargestellt werden. Diese werden mittels Iteration gelöst.

Die Temperaturen der Klimawand für den Start der Iteration werden durch vereinfachende Standardgleichungen der Wärmelehre gewonnen.

Für die Iteration wird die Wand in möglichst viele kleinste Elemente zerlegt, für die dann die Differenzgleichungen angesetzt werden. Die Iteration ist beendet, wenn die genügend kleine, festgelegte Differenz zwischen den zugeführten und abgeführten Wärmemengen unterschritten wird.

Zugeführt werden:

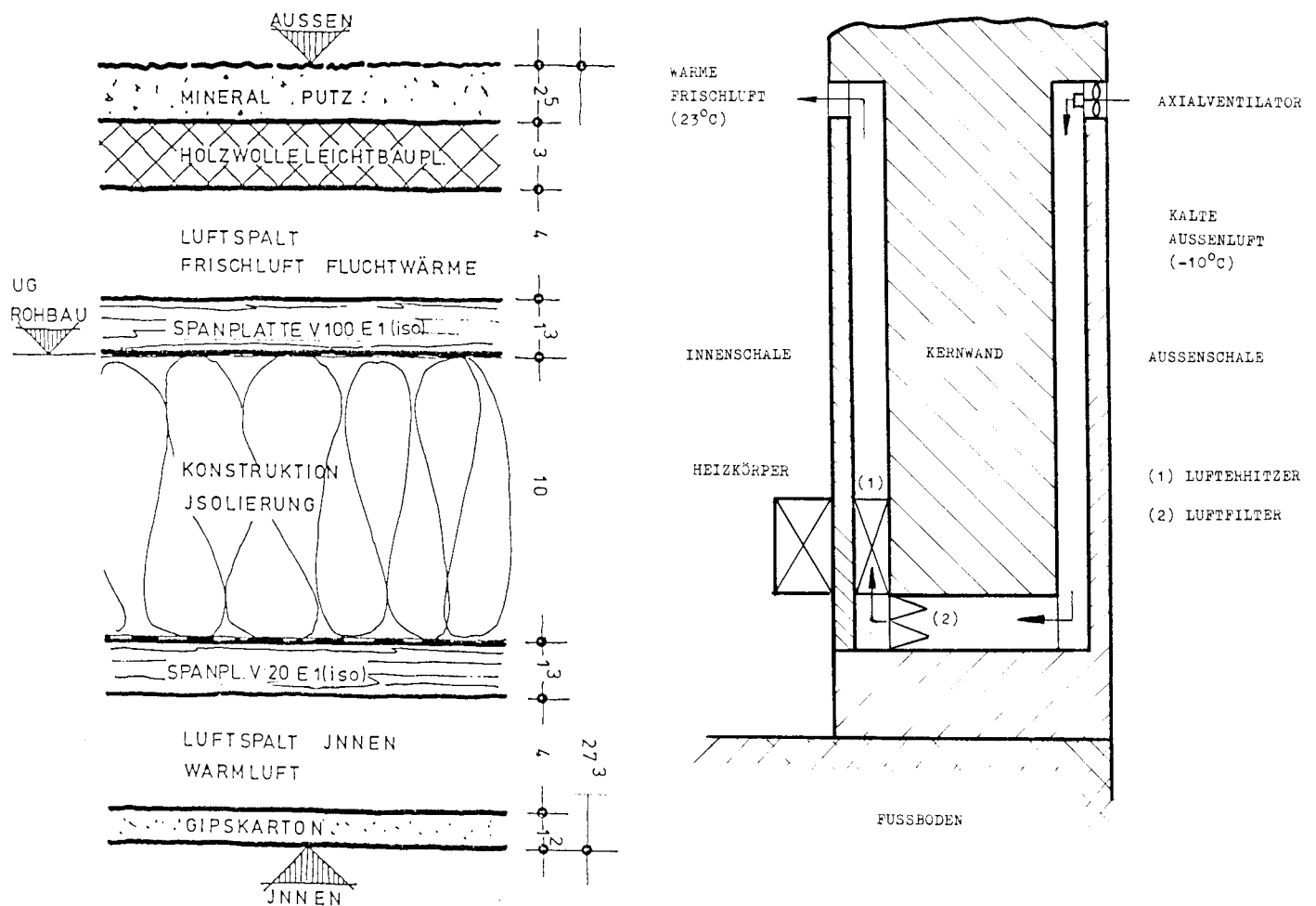
1. 80 % der Ventilator-Stromaufnahme.
2. Wärmemenge an die Innenspallluft durch den Wärmetauscher.

Abgeführt werden:

1. Wärmemenge vom Innenspalt in den Wohnraum.
2. Wärmemenge vom Außenspalt in die Außenluft.
3. Wärmemenge der Luft beim Austritt aus dem Innenspalt in den Wohnraum. Der Anteil über der Außenlufttemperatur ist einzusetzen.

Es tritt nur eine Konvergenz ein, wenn die Berechnung prinzipiell korrekt erfolgt. Damit ist gleichzeitig eine Kontrolle über die Richtigkeit der Berechnung gegeben.

SCHEMASCHNITT



oben: Bild 1, Aufbau der Klimawand
rechts: Bild 2, Klimawand mit Transmissionswärme-Rückgewinnung

FLÄCHE IN M ²	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	
..... AUSSENLUFT - TEMPERATUR = -15.0 °C.....												:
OBERFLÄCHE I	-14.2	-14.3	-14.4	-14.4	-14.5	-14.5	-14.6	-14.7	-14.7	-14.8	-14.9	I...V...I
AUSSENWAND-MI	-12.1	-12.4	-12.7	-12.9	-13.1	-13.3	-13.6	-13.8	-14.0	-14.2	-14.5	I
OBERFLÄCHE I	-10.1	-10.6	-11.0	-11.4	-11.8	-12.2	-12.5	-12.9	-13.3	-13.7	-14.2	I
AUSSENWAND-MI	-9.5	-10.1	-10.5	-11.0	-11.4	-11.8	-12.2	-12.6	-13.1	-13.5	-14.1	I
OBERFLÄCHE I	-8.2	-9.0	-9.6	-10.1	-10.6	-11.0	-11.5	-11.9	-12.4	-12.9	-13.4	I
KERNWAND-MI	22.9	18.4	14.9	12.1	9.9	8.2	6.8	5.7	4.7	3.9	3.2	I
OBERFLÄCHE I	54.1	45.8	39.4	34.4	30.5	27.5	25.1	23.3	21.8	20.7	19.8	I
INNENWAND-MI	55.4	46.9	40.3	35.3	31.3	28.2	25.8	24.0	22.5	21.4	20.5	I
OBERFLÄCHE I	46.8	40.4	35.4	31.6	28.6	26.2	24.4	23.0	21.9	21.1	20.4	I
INNENWAND-MI	41.9	36.7	32.6	29.5	27.0	25.1	23.6	22.5	21.6	20.9	20.3	I
OBERFLÄCHE I	37.1	33.0	29.8	27.4	25.5	24.0	22.8	21.9	21.2	20.7	20.2	I
..... INNENLUFT - TEMPERATUR = 20.0 °C.....												:

Bild 3: Temperaturen in der Klimawand (Luftdurchsatz 30 m³/h)

Rechnenergebnisse

In Bild 3 ist ein typischer EDV-Ausdruck dargestellt, in den die Konturen der Klimawand eingezeichnet sind. Der Luftdurchsatz beträgt $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Außenluft mit einer Temperatur von -15°C wird durch den Ventilator von 12 Watt auf -14°C erwärmt. Durch die Rückgewinnung der Transmissionswärme von $82,8 \text{ W}$ aus der Kernwand von 5 m^2 Fläche erhöht sich die Lufttemperatur im Außenspalt weiter auf $-9,5^\circ\text{C}$.

Durch diese Erwärmung hat die Luft im Außenspalt eine Höhere Temperatur als die Außenluft, wodurch ein Teil der zugeführten Wärmeenergie durch die Außenschale wieder verloren geht ($35,2 \text{ W}$).

Es werden also $47,6 \text{ W}$ zurückgewonnen.

Der Wärmetauscher erwärmt sie weiter auf $55,4^\circ\text{C}$ und so gelangt sie in den Innenspalt. Dort gibt sie den größten Teil der Wärme durch die Innenschale an den Wohnraum ab ($273,7 \text{ W}$), nur ein geringer Anteil geht durch die Kernwand hindurch ($82,8 \text{ W}$).

Die Luft im Innenspalt kühlt sich dadurch auf $20,5^\circ\text{C}$ ab und tritt mit dieser Temperatur in den Wohnraum ein. Sie hat noch eine Wärmeleistung von $4,0 \text{ W}$ gegenüber der Raumluft.

Die Wärmeleistung der Raumluft gegenüber der Außenluft beträgt $357,0 \text{ W}$, so daß insgesamt $669,9 \text{ W}$ (Wärmetauscher $660,3 \text{ W}$, Ventilator $9,6 \text{ W}$) zugeführt und abgeführt werden (Außenschale $35,2 \text{ W}$, Innenschale $273,7 \text{ W}$, Spaltluft-Austritt, $4,0 \text{ W}$, Raumluft 357 W).

Die Temperaturen an den Oberflächen der 3 Wandelemente und in deren Mitte sind für alle $0,5 \text{ m}^2$ Flächenanteil aufgelistet.

In Bild 4 wurden über der Außenlufttemperatur die verschiedenen Wärmeströme für einen Luftdurchsatz von $25 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Außenwandfläche ohne Fenster von 5 m^2 dargestellt.

Es zeigt sich eine lineare Abnahme der Wärmeströme mit ansteigender Außenlufttemperatur.

Durch die gute Wärmedämmung der Kernwand ($K = 0,4 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) ist der Wärmestrom nach außen nicht sehr groß.

Der Rückgewinnungsgrad beträgt $57,6 \%$ unabhängig von der Außenlufttemperatur. Er kann verbessert werden, wenn der K-Wert der Außenschale von hier $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt wird, was einer besseren Wärmedämmung der Außenschale entspricht.

Der Wärmeinhalt der Raumluft gegenüber der Außenluft ist, relativ betrachtet, sehr hoch. Die zugrunde gelegte Lüftungsrate von $1/\text{h}$ ist für Wohnräume angemessen.

Wie sich die Wärmeströme bei konstanter Außenluft-Temperatur von -15°C und einem Zuluftstrom von $30 \text{ m}^3/\text{h}$, aber verschiedener Größe der Außenwand-Flächen verhalten, zeigt Bild 5.

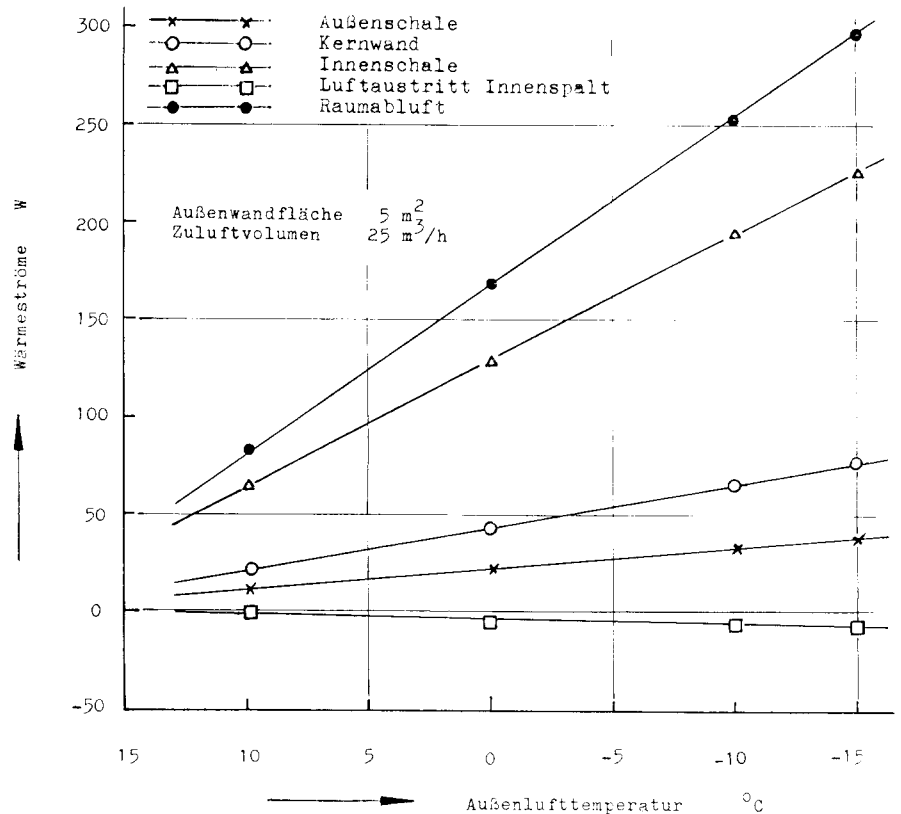


Bild 4: Wärmeströme in der Klimawand in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur

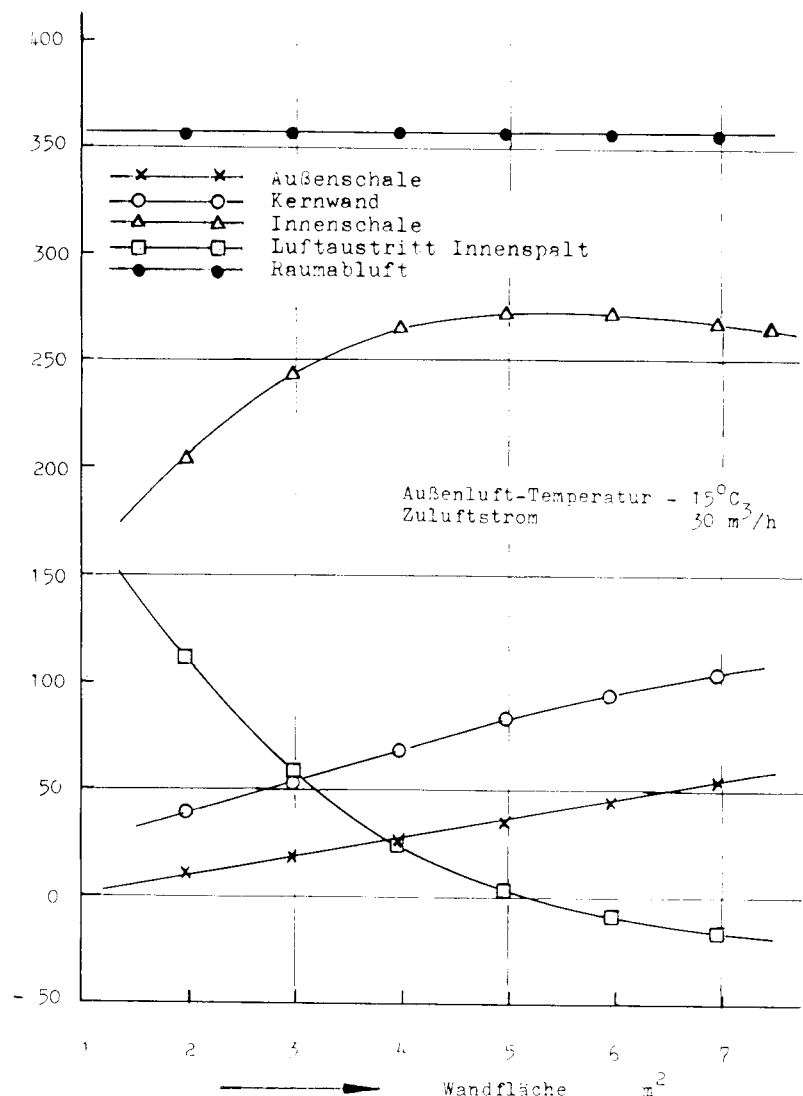


Bild 5: Einfluß der Klimawand-Fläche auf die Wärmeströme

EINBAU DES LÜFTUNGSGERÄTS IN DIE KLIMAWAND

Schnitt durch Wand und Lüftungsgerät

M 5 : 1

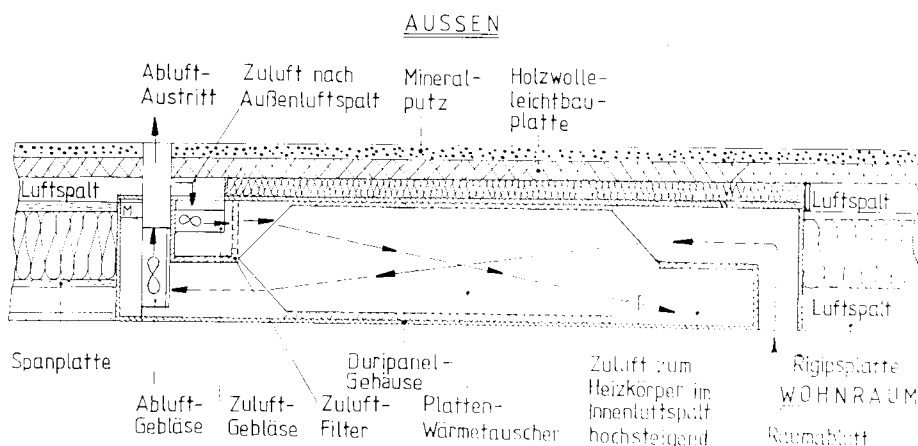


Bild 6

Der Wärmeinhalt der Luft, die aus dem Innenspalt in den Wohnraum eintritt, sinkt stark mit zunehmender Wandfläche. Die Wärme der Luft im Innenspalt wird über die Innenschale an den Raum, aber auch über die Kernwand abgegeben. Durch die Wärmeabgabe an diese Kernwand kann bei zunehmender Wandfläche die Temperatur der Spaltluft bei Austritt in den Raum unterhalb der Raumluft-Temperatur liegen, was auf jeden Fall zu vermeiden ist.

Das Diagramm zeigt deutlich, daß ab 5,25 m² Wandfläche die Luft aus dem Innenspalt mit Temperaturen unter Raumluft-Temperatur austritt (negativer Wärmestrom für den Luftaustritt am Fenster).

Dadurch wird ein Teil der Innenschalenfläche unter die Temperatur der Raumluft abgekühlt, wodurch die Heizleistung der Innenschale mit zunehmender Fläche über 5,25 m² leicht abnimmt.

Unter den zugrunde gelegten K-Werten wie in Bild 5 (K-Wert der Innenschale 17,5 W/m²°C) ergibt sich ein Maximum an Wärmeabgabe der Innenschale an den Wohnraum bei ca. 5,25 m² beheizter Wandfläche.

Rückgewinnung der Abluft-Wärme

Auffallend ist in den Bildern 4 und 5, daß der größte Wärmestrom der Wärmeinhalt der Raumabluft ist.

Es muß also eine Abluft-Wärmerückgewinnung in die Klimawand eingebaut werden.

Bild 6 zeigt einen horizontalen Schnitt durch das dazu entwickelte Lüftungsgerät. Es besteht aus einem Kasten, in dem die notwendigen Bauteile wie 2 Radialgebläse, Plattenwärmetauscher, Frischluftfilter und 2 Kanalverschlüsse eingebaut sind. Es sitzt unter dem Heizkörper in der Außenwand und schließt bündig mit dieser ab.

Auf der Außenseite des Lüftungsgerätes liegt eine 4 cm starke Mineralwaserdämmplatte.

Alle Außen- und Innenwände des Lüftungsgeräts sind aus „Duripanel“ gefertigt. Duripanel ist eine zementgebundene Holzspanplatte der Bauklasse A 2 (nicht brennbar). Das Material ist schallhemmend, naßfest und leicht verarbeitbar (hier wie Spanplatten verschraubt).

Zwei elektrisch betriebene Luftklappen schließen das Lüftungsgerät hermetisch ab, wenn die beiden Radialgebläse abgeschaltet werden. Damit kann keine unkontrollierte Belüftung des Wohnraumes entstehen.

Der Plattenwärmetauscher wird im Gegenstrom von Fortluft- und Frischluftstrom durchflossen. Er besteht aus 1,5 m² Oberfläche, die von 22 Platten mit 0,8 mm Stärke gebildet wird.

Der lichte Plattenabstand beträgt 4,2 mm. Der Abstandhalter besteht aus Stahl. Die Bleche wurden mit einem Epoxidharz (2-Komponenten-Kleber) eingeklebt.

Zur Abdichtung des Plattenwärmetauschers und zur schallisolierenden Innenauskleidung ist die Gehäuseoberfläche um den Wärmetauscher herum mit einem Moosgummi ausgelegt. Er liegt mit der offenporigen Seite zum Wärmetauscher hin und kann die kondensierte Luftfeuchtigkeit aus dem Abluftstrom aufsaugen, die dann von dem sehr trockenen (relative Feuchtigkeit sehr gering) Zuluftstrom aufgenommen wird. Damit wird ein zu trockenes Raumklima an kalten Tagen vermieden, was gesundheitlich vorteilhaft ist und die Behaglichkeit wesentlich steigert.

Ein Zuluftfilter hält allen Staub vom Wärmetauscher und damit vom Wohnraum fort.

Zum Aufbau der gesamten „Klimawand“ vgl. auch Titelfoto.

Ein typisches Meßprotokoll mit dem Lüftungsgerät in einem Versuchshaus ist in Bild 8 dargestellt. Wesentlich ist der sehr große Wärmerückgewinn durch den Plattenwärmetauscher, der hier im Durchschnitt 74 % beträgt, bezogen auf die Frischluft-Erwärmung.

Dieser Wirkungsgrad wurde auf dem Bild rechts dargestellt.

Der etwas eckige Verlauf des Kurvenzuges entsteht durch die digitale Messung des Prozeßrechners, der nur ganze Gradzahlen ausdrucken konnte.

Es ist also gelungen, einen Luft-Luft-Wärmetauscher zu entwickeln, der bei einem Luftdurchsatz von 25 m³ und einer relativen Feuchte der Abluft vor dem Wärmetauscher von 35 % einen Wirkungsgrad von durchschnittlich 74 % erreicht.

Die Luft durch den Wärmetauscher zu saugen ergab deutlich bessere Werte als das Drücken, da die gleichmäßige Durchströmung des Wärmetauschers und dessen Platten beim Drücken nicht gewährleistet ist. Aus Platzgründen muß das Gebläse aber dicht am Wärmetauscher sitzen.

Um die Gebläsegeräusche zum Wohnraum hin optimal zu dämpfen, wurden die Gebläse elastisch gelagert und befinden sich von der Abluft-Eintrittsöffnung so weit wie möglich entfernt.

Einsparung an Belüftungswärme

Interessant ist die Wärmemenge, die durch diese Klimawand im Laufe des Jahres eingespart wird, indem der Wärmebedarf für die Belüftung des Wohnraums auf ein Minimum reduziert wird.

In Bild 9 ist der geordnete Verlauf der Außenlufttemperatur für Stuttgart dargestellt. Die Fläche zwischen dieser Kurve und der waagerechten Linie für die Raumtemperatur 20 °C stellt den spezifischen jährlichen Wärmebedarf für die Raumlüftung dar.

Durch die Rückgewinnung der Transmissionswärmer wird die untere Fläche abgedeckt. Die große, mittlere Fläche stellt die Wärmemenge dar, die durch den Plattenwärmetauscher zurückgewonnen wurde.

Nur die Wärme für die obere Fläche, direkt an der Linie der Wohnraum-Temperatur angrenzend, muß noch durch die Heizung aufgebracht werden. Das ist etwa nur 20 % des Lüftungswärmebedarfs.

80 % des Lüftungswärmebedarfs werden also durch diese Klimawand zurückgewonnen.

Ganz deutlich ist weiterhin aus Bild 9 zu erkennen, daß ohne Transmissionswärme-Rückgewinnung die 0 °C-Grenze für den Frischluft-Eintritt in den Plattenwärmetauscher an 75 Tagen des Jahres unterschritten wird und Vereisung für den Wärmetauscher droht. Mit Transmissionswärme-Rückgewinnung wird die Frischluft-Eintrittstemperatur nur noch an 15 Tagen des Jahres unterhalb 0 °C sein.

Bei Sonneneinstrahlung auf die Fassade holt die Luft auch diese beträchtliche solare Wärmemenge in den Wohnraum. Der Anteil der Wärmemenge, die durch die Heizung aufgebracht werden muß, kann so auf Null sinken.

```
Scheufli - Computer 7119 Niederrhall T:07940/53431
* GLE Vers:1-1010/386 *
*****
Temperaturerfassungsprogramm fuer:
Forchtenberger Fertighaus GMBH

Pruefobjekt : Haag 25m3/h RF 35%

Datum : 21.3.1987

Messfuehler 1:Ta 2:Ts1 3:Ts2 4:Ts3 5:Ts0 6:Tr 7:Ts1
```

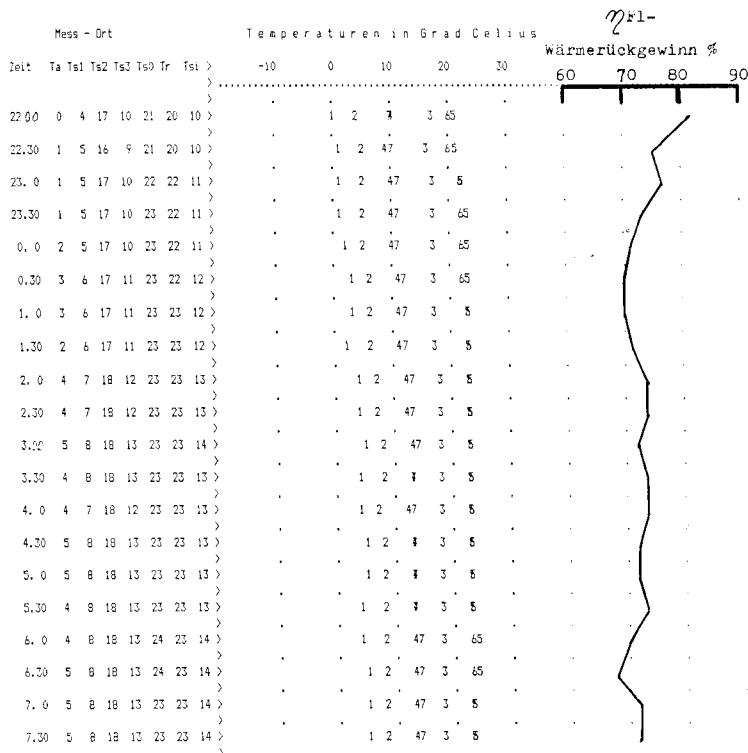


Bild 8: Temperaturerfassung, EDV-Ausdruck

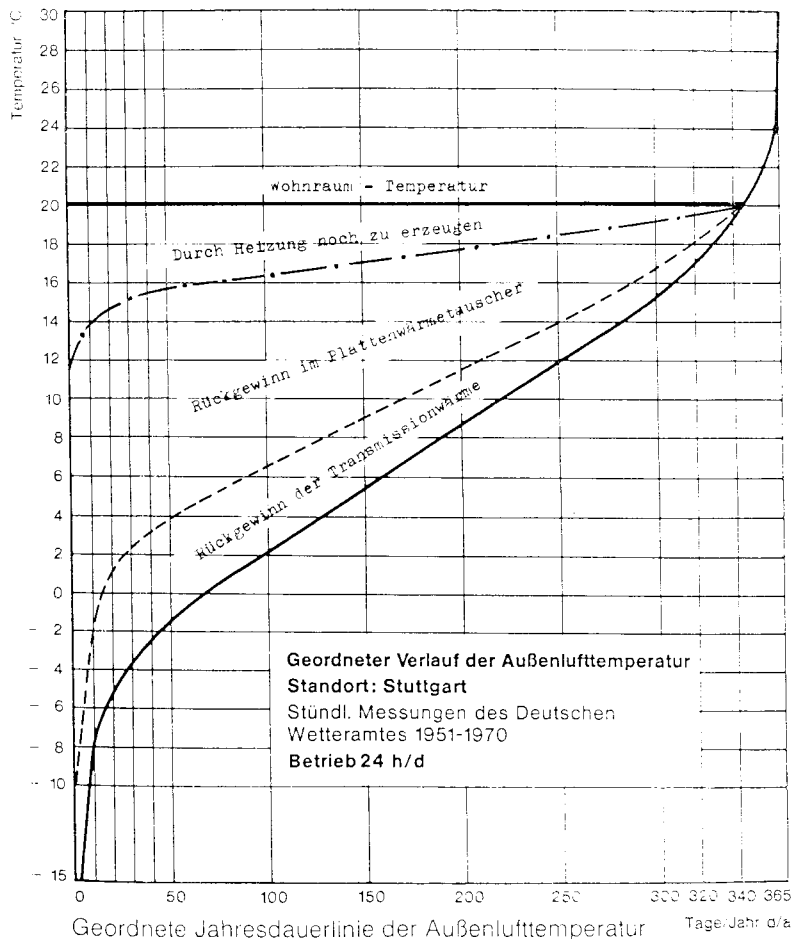


Bild 9: Wärmerückgewinnung in der Klimawand

Die wesentlichen Vorteile der neuartigen Klimawand:

1. Die durch die Wand nach außen ziehende Transmissionswärme wird durch die Frischluft, die sonst über die Fenster hereinkommt, wieder in den Raum zurückgeführt. Die im Spalt zwischen Kernwand und Fassade strömende Luft nimmt die Transmissionswärme aus der Kernwand auf und erwärmt sich dadurch. Dieselbe Luft kann auch Wärme aus der Fassade aufnehmen, wenn diese durch die Sonneneinstrahlung erwärmt wurde.
2. Die zur Belüftung des Wohnraums notwendige Frischluft verdrängt eine gleich große Menge warmer Raumluft aus dem Haus, die z. B. bei der Fensterlüftung verloren geht. Deshalb wird bei der Klimawand in einem Platten-Wärmetauscher der warmen Raum-Abluft ein großer Teil der Wärme entzogen und damit die hineinströmende Frischluft erwärmt. Es erfolgt also eine Rückgewinnung der Raumluftwärme beim Lüften, wodurch die gefilterte, lebensnotwendige Frischluft fast zum Nulltarif ins Haus kommt. Alle Teile sind im Lüftungsgerät leicht zugänglich und einfach zu warten. Jeder Raum ist damit individuell und zugleich zu belüften.
3. Morgens müssen nicht mehr die Fenster und Türen zum Lüften geöffnet werden, um die abgestandene, mit ungesunden Schadstoffen angereicherte Raumluft zu entfernen, wodurch der Wohnraum unbehaglich kalt wird. Diese Klimawand versorgt den Raum morgens rechtzeitig mit ausreichender Frischluft, so daß man in warmer und behaglicher Atmosphäre frühstücken kann.
4. Die Bewohner haben keine kalten Außenwände mehr, da die warme, einströmende Frischluft die Innenfläche der Außenwand erwärmt, die damit zu einer großflächigen Strahlungsheizung wird. Die Behaglichkeit des Wohnraumes steigt erheblich.
5. In der hochsommerlichen Hitzeperiode können diese Klimawand und die dahinter liegenden Räume mit kühler Nachtluft wirksam abgekühlt werden. Während der Tageshitze sind die Wohnräume dann angenehm temperiert.
6. Von der kalt-trockenen Frischluft, die in dem äußeren Wandluftspalt von der aufgenommenen Transmissions- und Fassadenwärme erwärmt wurde, wird auch Wandfeuchtigkeit aufgenommen und fortgetragen. Diese Klimawände bleiben dadurch permanent trocken, wodurch die Funktionsfähigkeit der Dämmstoffe in der Kernwand stets wirksam bleibt.