

# Wärmerückgewinnung im Passivhaus mit integrierter Luftnachheizung und Brauchwasserbereitung

Eberhard Paul

## Einleitung

Die Aufgabe der Haustechnik besteht darin ein Wohnhaus

- a) zu temperieren: durch Heizen, evtl. Kühlen
- b) zu lüften
- c) mit kaltem und warmem Brauchwasser und
- d) mit Strom zu versorgen

Im folgenden sollen die Punkte a) bis c) insbesondere für die Versorgung von Passivhäusern betrachtet werden. Durch die besonders hohe Gebäudedichtheit ( $n_{50} = 0,6h^{-1}$ ) und die gute Wärmedämmung ( $U = 0,09...0,15 W/m^2$ ) solcher Häuser bestehen folgende Besonderheiten:

- Eine mechanische Lüftungsanlage mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung ist erforderlich.
- Der Heizenergiebedarf ist drastisch gesunken, so dass die Wärme durch die Lufterwärmung der Frischluft eingebracht werden kann.

## Heizung

Die Heizenergie kann grundsätzlich auf zweierlei Weise übertragen werden:

- a) durch Konvektion  
Wärmeübergang von der Heizfläche (Plattenheizkörper, Heizregister) an die Luft
- b) durch Strahlung  
Wärmeabgabe von einer Heizfläche (oder dem Menschen selbst) an die Umgebung durch die unterschiedliche Oberflächentemperatur

Die Wärmeübertragung durch Strahlung wirkt auf die Behaglichkeit des Menschen angenehmer und mit einer höheren Effizienz im Vergleich zur Konvektion.

Da aber in einem Passivhaus durch die gute Wärmedämmung eine relativ hohe Oberflächentemperatur an den sonst kritischen Außenwänden und Fensterflächen vorhanden ist, ist der Strahlungsanteil einer möglichst großen Heizfläche nicht von einer solch hohen Wertigkeit, wie ansonsten bei üblicher Bauweise. Daher ist im Passivhaus die mitunter alleinige Wärmeversorgung über warm zugeführte Frischluft möglich.

Neben der Zufuhr erwärmter Frischluft werden auch in einem Passivhaus (punktuell) andere Heizungskomponenten eingesetzt. Insbesondere trifft dies auf das Bad zu, da dort der Mensch (bei nassem Körper) besonders empfindlich ist: Verdunstungskühlung an der Hautoberfläche.

Punktuell können eingesetzt werden:

- a) Bad-Heizkörper
  - elektrisch oder
  - Warmwasser- beheizt
- b) elektrische Strahlungsheizkörper
  - Direktheizgeräte (Elektro-Raumheizer) oder
  - Wandstrahler
- c) elektrische oder warmwasserbetriebene
  - Fußbodenheizung
  - Wandheizung (Heizmatten, Niedervolt-Flächenheizung)
- d) Nachtspeicheröfen
- e) Warmluftheizgeräte

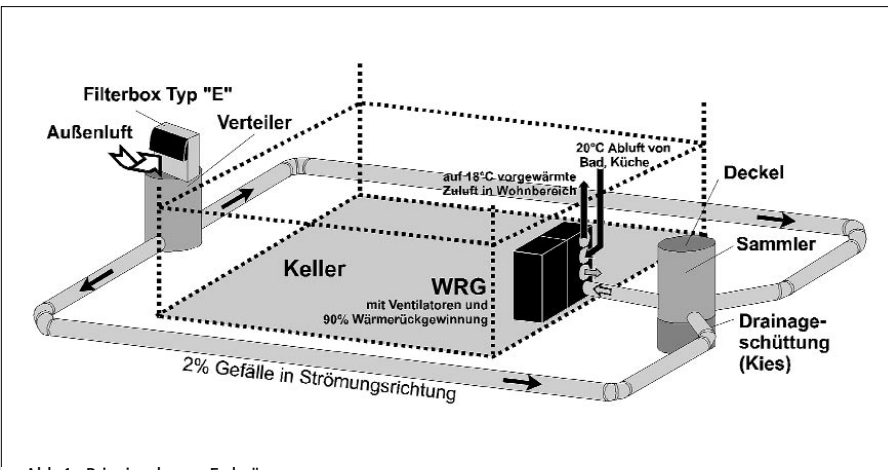


Abb.1: Prinzipschema Erdwärmetauscher (EWT) im Zusammenhang mit einem Wärmerückgewinner (WRG) für die kontrollierte Wohnungslüftung

großzügig gestaltet, um den Druckverlust und damit den Stromverbrauch niedrig zu halten. Der Erdwärmetauscher ist ein in das Erdreich verlegtes Rohr, durch welches Außenluft angesaugt wird. Dabei wird die im Erdreich gespeicherte Sonnenenergie genutzt und an die Luft übertragen. Die übertragbare Wärme hängt ab von:

- Erdreichtemperatur,
- Erdbeschaffenheit (Dichte, Feuchte),
- Außentemperatur,
- Rohrdurchmesser und -länge, Anzahl der parallelen Stränge und der Luftgeschwindigkeit.

## Komponenten zur Zuluft-Erwärmung

### A) Luftvorwärmung Erdwärmetauscher

Wichtig für die Konzipierung von Erdwärmetauschern ist die Vorschaltung eines Filters zur Reinigung der angesaugten Luft, damit sich Staub und Pollen nicht an der Rohrwand ablagern. Zum Schutz des Filtermaterials und aus Kostengründen ist in dem Vorschaltfilter-Gehäuse eine grobe Filtermatte der Z-förmigen Filterkassette vorgelegt. Die gesamte Filteroberfläche ist

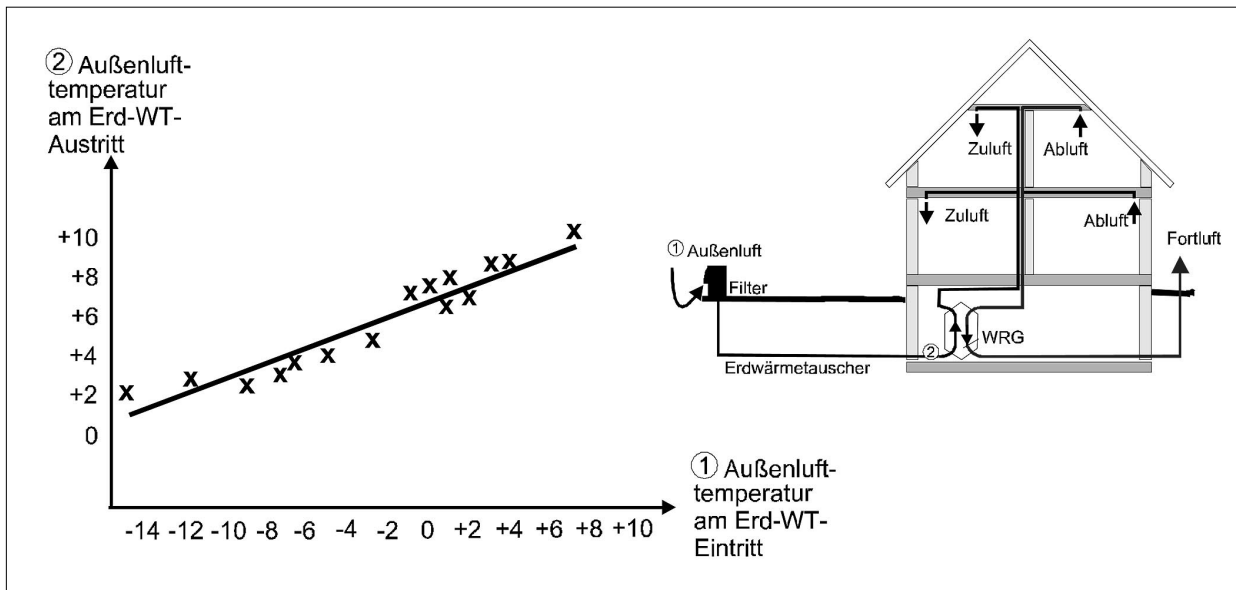


Abb. 2: Lufterwärmung in einem Erdwärmetauscher

Das Rohr ( $\Delta$  200, ca. 30m lang, 1...1,5m tief) kann bei ausgehobener Baugrube neben dem Haus eingebracht werden.

Die Luft kann auch in zwei oder drei parallelen Strängen mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Länge von 15 bis 20 m geführt werden. Das Rohr sollte möglichst 2 % Gefälle haben, damit das im Sommer anfallende Kondenswasser abfließen kann. Für ein Arbeiten im frostfreien Bereich muss die Zuluft beim Eintritt in den Wärmetauscher mindestens  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufweisen. Dann ist garantiert, dass sich die Abluft nicht auf unter  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  abkühlt. Messungen zeigen, dass bei einer Außentemperatur von  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  der Erdwärmetauscher immer noch  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht (Abb. 2).

Die ersten Metern des Erdwärmetauscherrohres sollte wegen der Frostgefahr keine Wasserrohrleitung queren.

## Wärmerückgewinnungsgerät (WRG)

Eine weitere Frischluftvorwärmung erfolgt im Wärmerückgewinnungsgerät. In einem Wärmetauscher wird von der Abluft an die Frischluft Wärme übertragen. Je besser die Wärme übertragen wird, desto geringer sind die Abluft-Wärmeverluste nach draußen und um so mehr wird die Zuluft erwärmt.

Hocheffiziente Wärmetauscher zeichnen sich aus:

- durch die Gegenstromführung (günstiger als das Kreuzstromprinzip)
- durch eine hohe Wärmetauschoberfläche: In einem Kanalwärmetauscher mit schachbrettartig angeordneten Kanälen verdoppelt sich die Wärmetauschfläche gegenüber Plattenwärmetauschern

Folgende Temperaturwirkungsgrade sind erreichbar:

- $\Phi = 50 - 70\%$  Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher
- $\Phi = 70 - 80\%$  Gegenstrom-Plattenwärmetauscher
- $\Phi = 85 - 99\%$  Gegenstrom-Kanalwärmetauscher ~ 2000 realisierte Anlagen

Prinzip-skizze			
Strömungsprofil			
Wärmetauschertyp	Kreuzstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher
Einsatz	in WRG-Anlagen weit verbreitet	in WRG-Anlagen kaum eingesetzt	in Haus- und Wohnungslüftung
Temperaturwirkungsgrad	50 - 70 %	70 - 80 %	85 - 99 %

Abb. 3: Wärmetauschertypen

Ein weiteres wesentliches Merkmal für die Auswahl eines geeigneten WRG-Gerätes ist der Stromverbrauch. Durch Einsatz von gleichstrombetriebenen Radial-Ventilatoren lässt sich der Stromverbrauch gegenüber Wechselstromventilatoren nahezu halbieren, so dass Werte von 0,3...0,45 W/m³/h erreichbar sind. Physikalisch bedingt lässt sich dieser Wert eher bei hohen Volumendurchsätzen (z.B. 150...250m³/h) erreichen als bei niedrigeren (z.B. 120m³/h).

Weitere Auswahlkriterien sind:

- Leistungszahl  $\epsilon = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta\dot{Q}}{P_{el}} = \frac{907W}{46W} = 19,7$  (PAUL-Gerät thermos 200 DC)
- Ü-Prüfzeichen VEW Dortmund und Deutsches Institut für Bautechnik Berlin: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung lt. Bauproduktengesetz in Deutschland

Der Einsatz von WRG-Geräten ohne Ü-Zeichen ist in Deutschland rechtswidrig.

- Dichtheit ( $\leq 5\%$  Leckage erlaubt)
- gute Wärmedämmung (kein Blechgehäuse sondern besser Schaumgehäuse)
- vollautomatische Lüftersteuerung (mit Umstellung auf Handbetrieb) und Balance-Ausgleich in 1% Schritten
- Sommerbypass-Schaltung (für kühle Luft von draußen oder vom Erdwärmetauscher)
- Defrosterheizung (WW-Register, Elt-Register) - Steuerung mit WRG gekoppelt (Erd-WT kann entfallen)

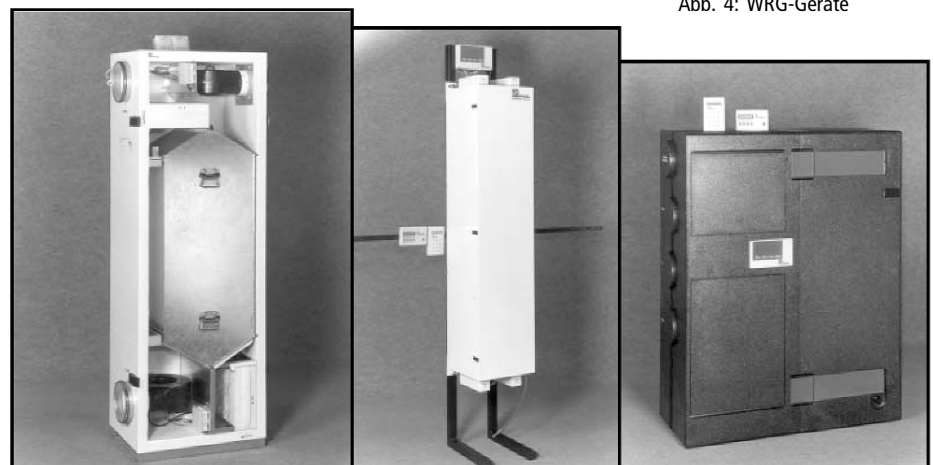


Abb. 4: WRG-Geräte

**campus**

Luftleistung bis ....600m³/h

**multi**

Wohnungen bis ....120m²

**thermos**

Wohnungen ab ....100m²

## Wärmeisolation des WRG-Gerätes

Häufig werden WRG-Geräte in kalter Umgebung (Dachboden, Keller, Garage) aufgestellt. Damit keine höheren Wärmeverluste auftreten, sollten die Geräte eine gute Wärmeisolation besitzen. Dies gilt auch bei der Aufstellung der Geräte in warmen Räumen, da die Zuluft nicht durch Heizenergie vom umgebenden Raum, sondern durch Abwärme der Abluft erwärmt werden soll. Eine gute Rohrisolierung ist immer dann geboten, wenn kaltluftführende Leitungen durch warme Räume geführt werden oder warmluftführende Leitungen durch kalte Räume.

Bei einer Vielzahl von Geräten ist das Gehäuse in Stahlblech ausgeführt – die Gefahr von Wärmeverlusten über Wärmebrücken (Nieten, Verschraubungen, Durchgänge, Verschlüsse) ist dabei immer gegeben. Daher gehen neuere Entwicklungen von Geräten dazu über, das Gehäuse aus geschäumtem Material zu gestalten. Neben einer sehr guten Wärmeisolation besitzen solche Gehäuse auch einen guten Schalldämpf-Effekt gegenüber Körperschall und lassen sich wegen ihres geringen Gewichtes wesentlich leichter montieren.

## Dichtigkeit des WRG

Undichtigkeiten am WRG-Gerät, an denen Luft entweicht, bedeuten einen Verlust an Wärme und Elektroenergie. Wenn Raumluft über Undichtheiten z. B. am Geräte-Decken in den Zuluftstrom hineingesaugt wird (externe Leckage, Infiltration), wird damit die Zulufttemperatur erhöht, aber nicht durch Wärmerückgewinnung, sondern durch Heizenergie! Die eingesaugte Raumluft wird damit nur vom Geräteaufstellraum (z.B. Haustechnikraum) in andere Bereiche des Hauses (Frischlufzimmer) gefördert, d.h. es liegt Umluft und nicht Frischluft vor. Bei interner Leckage kann Abluft in den Zuluftstrom eingesaugt oder hineingedrückt werden. Damit wird zwar die Zuluft erwärmt, aber ebenfalls nicht durch Wärmerückgewinnung, sondern durch die bereits warme Abluft. Auch aus hygienischer Sicht ist es verwerflich, wenn Abluft in den Zuluftbereich gelangt. Die Anordnung der Ventilatoren ist entscheidend damit die kritische Leckagenstrom-Richtung (extern und intern) vermieden wird. Immer wenn die Zuluft im Gerät mit Überdruck und die Abluft mit Unterdruck gefahren wird, werden die Gefahren vermieden. Die Erteilung des Ü-Zeichens wird von der Dichtheit innerhalb gewisser Grenzen abhängig gemacht.

- interne Leckagen bei 100 Pa Überdruck\* max. 5 %
- externe Leckagen bei 100 Pa Überdruck\* max. 5 %

\*die jeweils zweite Untersuchung wird bei 100 Pa Unterdruck gefahren.

## B) Luftnachheizung

### Minigasgerät

#### Beschreibung

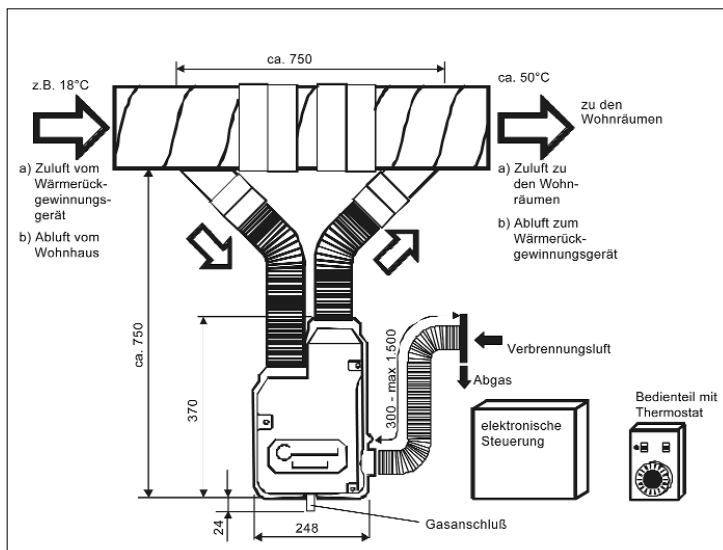
Das Minigasgerät (Fa. PAUL) dient zur Lufterwärmung in Lüftungsanlagen. Dazu sind 2 Varianten möglich:

a) Frischluft-Nacherwärmung, d.h. die aus dem Wärmerückgewinnungsgerät (WRG) austretende Zuluft wird nacherwärmt.

b) Abluft-Erwärmung, d.h. die in das Wärmerückgewinnungsgerät eintretende Abluft aus dem Haus (ca. 20°C) wird erwärmt und gibt im Wärmerückgewinnungsgerät die Wärme an die Zuluft ab – dazu ist ein hoher Wärmerückgewinnungsgrad im Wärmerückgewinnungsgerät erforderlich (~ 90%), um die Fortluftwärmeverluste zu minimieren.

Damit wird eine schonende Frischlufterwärmung möglich ohne punktuelle Überhitzung an heißen Oberflächen wie z.B. bei a) und Kapitel Elektro-Nachheizregister/Heizspirale). Für die unter b) beschriebene Variante bietet sich eine nachgeschaltete Abluft-Wärmepumpe an, die der Fortluft Restwärme entzieht (z.B. zur Brauchwasser-Erwärmung). Im Bedienteil des Mini-Gasgerätes kann der Sollwert für die Raumtemperatur eingestellt werden. Der im Bedienteil enthaltene Thermostat sorgt für eine nahezu gleichbleibende Raumtemperatur (Gasflamme-ein/aus-Zweipunktregelung).

Abb. 5: Geräteaufbau Minigasgerät (realisiert in Lindlar Hohkeppel, Architekt Brausem)



Die Wärmeleistung des Mini-Gasgerätes kann auf Voll- last (2,4kW) oder Teillast (1,2kW) manuell eingestellt werden. Die Zuluft-Temperatur zu den Wohnräumen sollte 50 °C nicht überschreiten, d.h. eine Temperaturerhöhung von  $\Delta t = 50 - 18 = 32K$ .

Um dies zu gewährleisten, kann man das Frischluftvolumen höher oder niedriger wählen:

$$\Delta Q = V \cdot 1,2 \cdot 0,23 \cdot \Delta t \text{ [W]}$$

Als Brennstoff kann Erdgas oder Propangas eingesetzt werden. Im letzteren Fall erübrigt sich ein Hausanschluss an das Gasnetz.

Ein Passivhaus lässt sich dann über einen Winter mit nur wenigen Gasflaschen (ca. 6) beheizen (33kg-Flaschen schalten automatisch von der leeren auf die volle Flasche um - evtl. Propangas auch zum Kochen).

Die Gasflaschen müssen außerhalb des Hauses (oder in einem Raum, der nur von außen zugänglich ist) aufgestellt werden.

Der Einsatz von Gas ist aus primärenergetischer und ökologischer Sicht sehr sinnvoll. Auch der finanzielle Aufwand (Gasverbrauch) ist bei dem geringen Heizbedarf eines Passivhauses gering, da die Grundgebühr von ca. 300,- DM/a (wie bei herkömmlichem Gasanschluss) entfällt.

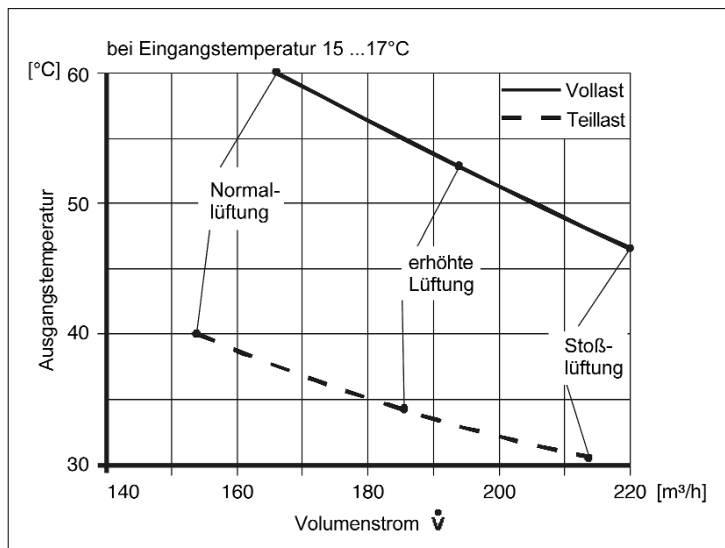


Abb. 6: Erhöhung der Lufttemperatur am Minigasgerät

	Einheit	Volllast	Teillast
Brennstoff		Flüssiggas (Propan) oder Erdgas	
Nenndruck	[mbar]	50 oder 30	
Nennwärmeleistung	[W]	2400	1200
Gasverbrauch (Propan)	[g/h]	200	100
24V elektrische Stromaufnahme	[A]	0,7	0,4
bei Ruhestrom	[A]	< 0,01	
Volumenstrom des Gebläses	[m³/h]	130	77
Länge/Breite/Höhe	[mm]	370 x 248 x 123	
Gewicht	[kg]	4,7	

Tab. 1: Technische Daten des Minigasgerätes

### Abluft-Warmwasser-Wärmepumpe

Diese Wärmepumpe entzieht der Abluft vom Haus oder der Fortluft vom WRG-Gerät noch Restwärme und überträgt diese an den Wasser-Speicher. Damit können Spitzen im Abwärme-Angebot aufgefangen und gespeichert werden, um zu gegebener Zeit die Wärme abzugeben. Aus dem Speicher kann im Normalfall sowohl warmes Brauchwasser als auch Heizungswasser entnommen werden. Letzteres kann der Luftnachheizung dienen, kann aber auch für die statische Heizung (Fußbodenheizung, Heizkörper) genutzt werden. Serienmäßig ist in der Regel ein E-Heizstab vorgesehen.

Außerdem sollte vorhanden sein: eine Heißgasabtauung (Abtauen des Verdampfers), Schnelltestanode (Korrosion). Einige Aggregate beinhalten eine technische Desinfektion (für den Einfamilienhaus-Bereich nicht unbedingt erforderlich) und ein zusätzliches Heizregister für Solarwärme- oder einen Heizkessel-Anschluss. Die Steuerung sollte im letzteren Fall dann die Boilerladepumpe mit ansteuern können.

Vorteilhaft ist, wenn die Wärmepumpe mit Kältemittel-Wasser-Wärmetauscher (ohne Speicher) angebo-

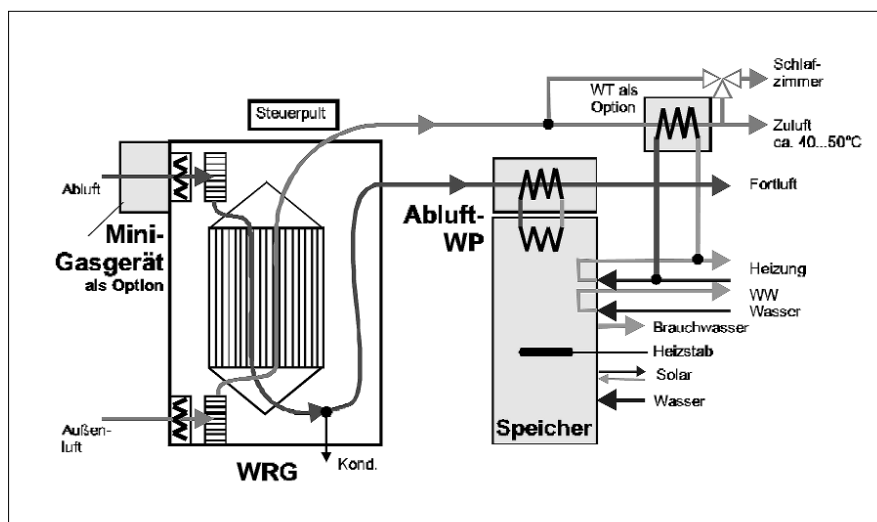


Abb. 7: TAbluft-Warmwasser-WP – ein Gerät mit integriertem Speicher

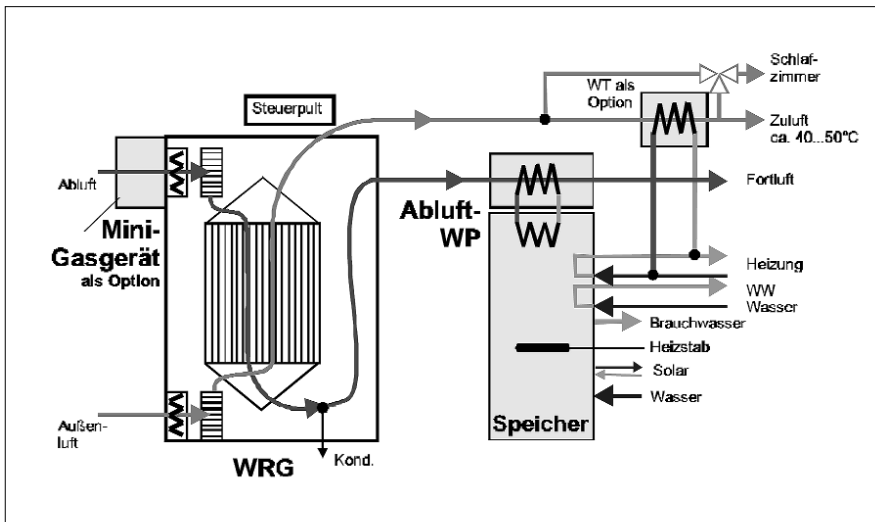


Abb. 8: Abluft-Warmwasser-WP  
- WP und Speicher getrennt

wird die feuchte Fortluft mit vorgewärmter Außenluft gemischt, wodurch die verfügbare Wärmekapazität erhöht (doppelte Luftmenge) und der Vereisungspunkt durch relativ trockene Mischluft wesentlich gesenkt werden kann.

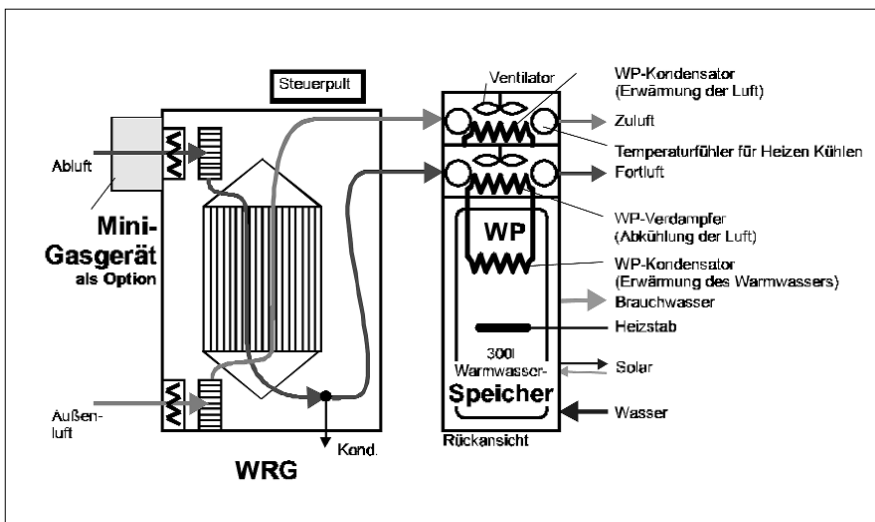


Abb. 9: Abluft-Zuluft-WP + Speicher

beliebig absenken (Vereisungsgefahr und sinkende Leistungszahl der WP) und das Abluft-Volumen lässt sich nicht beliebig erhöhen.

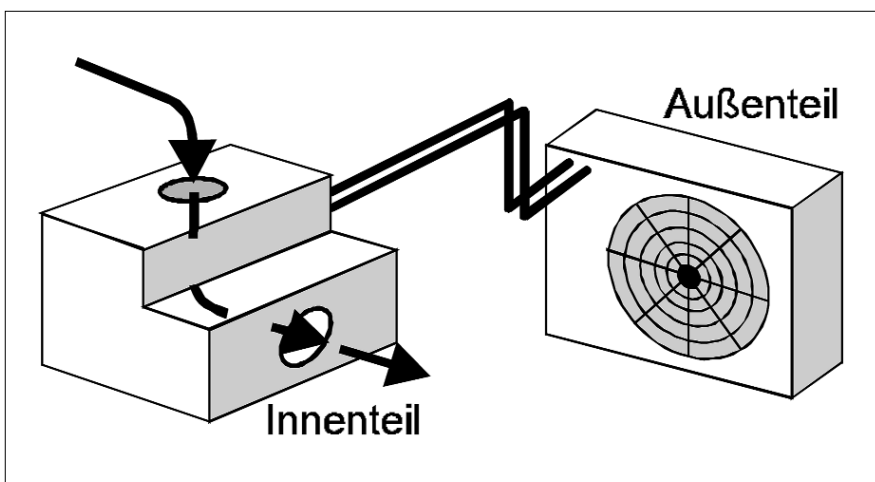


Abb. 10: Abluft-Zuluft-WP + Speicher

menstrom von 220 m<sup>3</sup>/h kann beispielsweise von ca. 20 °C auf 53,5 °C erwärmt werden, d.h. 2,48 kW Wärmezufuhr!

ten wird. Hier wird dem Nutzer die Wahl eines entsprechenden Speichers gelassen: Speichergröße, Schichtenspeicher usw. (inzwischen werden sehr viele Speichertypen angeboten).

Durch die Trennung von Wärmepumpe und Speicher wird das Einzelgerät leichter und für den Monteur einfacher zu handhaben. Auch ein „Nicht-Kältetechniker“ kann solche Geräte anschließen.

Die mit der Variante gemäß Abb. 8 mögliche Heizleistung ist durch die Einbindung von Außenluft (über einen Erdwärmetauscher vorgewärmt) wesentlich höher als bei einer reinen Abluftnutzung. Hier wird die feuchte Fortluft mit vorgewärmter Außenluft gemischt, wodurch die verfügbare Wärmekapazität erhöht (doppelte Luftmenge) und der Vereisungspunkt durch relativ trockene Mischluft wesentlich gesenkt werden kann.

### Abluft-Zuluft-Wärmepumpe

Diese Wärmepumpe entzieht (wie die Abluft-WP) der Abluft Restwärme. Hier besteht neben der Wärme-Einspeicherung die Möglichkeit, die Wärme vom Verdampfer direkt an die Zuluft (Kondensator) zu übertragen. Der Preis solcher Geräte erhöht sich allerdings gegenüber der Abluft-WP (mit Speicher) um ca. 3-5 TDM.

### Außenluft-Zuluft-Wärmepumpe

Die o.g. Abluft-Wärmepumpen sind in ihrer Wärmeleistung durch den Wärmeinhalt der Abluft begrenzt: die Abluft-Temperatur lässt sich im Verdampfer nicht

Daher ist es sinnvoll, bei einem höheren Wärmeleistungsbedarf die Außenluft (Umgebungsluft) als Wärmequelle zu nutzen: Der Außenluftvolumenstrom kann beliebig erhöht werden, um ihm durch Abkühlen Wärme zu entziehen. Dieser Volumenstrom wird der Umgebungsluft entzogen und nach der Entwärmung (im Außengerät) wieder an die Umgebung zurückgeführt. Nach diesem Prinzip arbeiten auch Splitgeräte. Der Unterschied: Das Innengerät (Wärmeabgabe an den Raum) ist in das Zuluft-System der Lüftungsanlage integriert (siehe Abb. 7). Die Wärmeleistung liegt höher als bei Abluft-WP (bzw. Abluft-Zuluft-WP): Ein Luftvolu-

Die Fortluft der Lüftungsanlage kann dem Außengerät zugeführt und der Umgebungsluft beigemischt werden, wodurch sich das nutzbare Wärmeangebot etwas erhöht. Das Wärmeangebot der Umgebungsluft kann nochmals erhöht werden, wenn die Außenluft nicht direkt aus der Umgebung gezogen wird, sondern über (z.B. 4) erdverlegte Rohre vorgewärmt wird.

### Außenluft-Warmwasser-Wärmepumpe

Diese reine Außenluft-WP nutzt ebenso die Wärme der Außenluft (Umgebungsluft). Der Vorteil dieser Wärmepumpe gegenüber der Außenluft-Zuluft-Wärmepumpe besteht in der Speicherung der Wärme. Die Wärme kann z.B. tagsüber der wärmeren Umgebungsluft entzogen und im Wasserspeicher eingelagert werden. Die Nutzung der gespeicherten Wärme kann zu einer späteren Zeit erfolgen, wenn ein höherer Heizwärmebedarf (abends/nachts - keine solaren Gewinne) bzw. eine größere Brauchwassermenge benötigt wird.

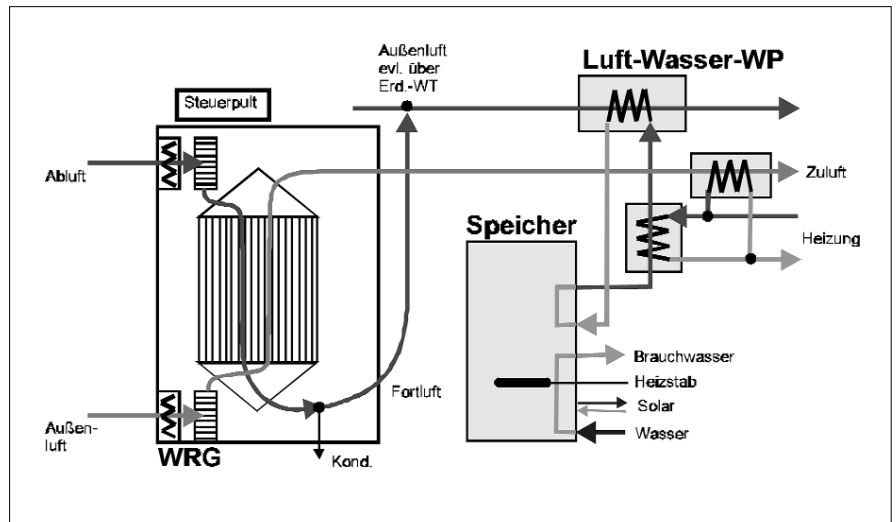


Abb. 11: Außenluft-Warmwasser-Wärmepumpe

### Warmwasser-Nachheizregister

#### a) Bauform

Die Bauformen dieser Heizregister ähneln sich: Warmwasser wird durch ein Cu-Rohr geleitet, welches auf der Luftseite mit Alu-Lamellen bestückt ist, um dort die Wärmetauscherfläche zu erhöhen und somit den Nachteil der luftseitig schlechten Wärmeübergangszahl zu kompensieren.

Es werden Register mit 1 oder 2 Rohrreihen angeboten. Bei der Auswahl ist zu beachten, dass bei größer dimensionierten Heizregistern (mehr Rohrreihen, mehr Wärmetauscherfläche) der Luftwiderstand abnimmt und eine höhere Wärmetauscherleistung erzielt wird.

An Nachheizregistern ist in der Regel auf kleinerem Raum eine höhere Entwärmung des Warmwassers möglich als an statischen Heizflächen; durch die tiefere Warmwasser-Rücklauf-Temperatur arbeitet das wärmezuführende Aggregat (Wärmepumpe, Solarthermie, Heizkessel) bei einem besseren Wirkungsgrad.

Der Einbau ist nur in frostfreien Räumen möglich.

Eine Regelung der Wärmezufuhr ist über Thermostatventil mit Fernfühler (im Referenzraum) sehr zu empfehlen.

Das Nachheizregister ist mit mind. 50 mm Wärmedämmung zu umhüllen. Die Register werden zwar wärmeisoliert angeboten, allerdings ist die Blechgehäuse-Gestaltung (insbesondere beim Übergang zum warmluftführenden Rohrstutzen) nicht wärmebrückenfrei.

#### b) Fernwärmeversorgung einer Siedlung

Bei einer vorhandenen zentralen Fernwärmeversorgung z.B. für eine Wohnsiedlung (Passivhäuser) bietet sich der Einsatz von Warmwasser-Nachheizregistern zur Luftnacherwärmung an. Gleichzeitig könnte über die Zentrale warmes Wasser zur Verfügung gestellt werden. Über Wärmemengenzähler kann jedes einzelne Wohnobjekt in der Siedlung abgerechnet werden.

#### c) Blockheizkraftwerke

#### d) Pelletofen

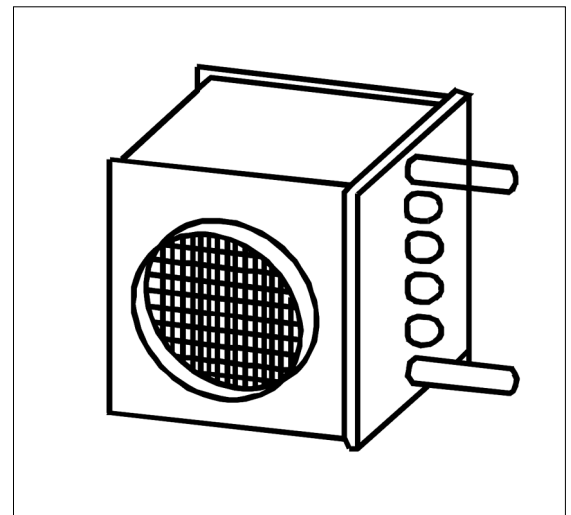
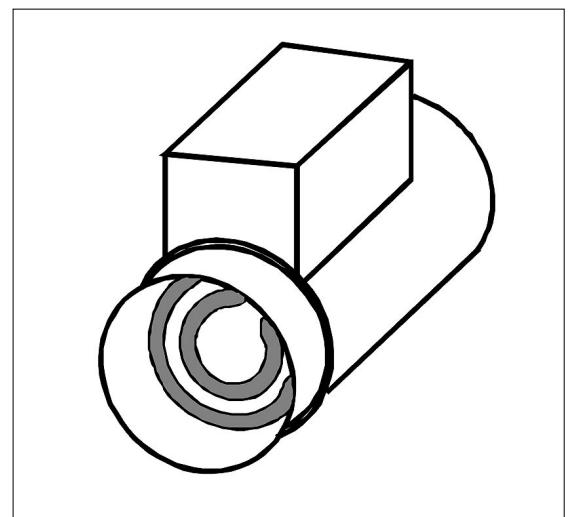


Abb. 12: Warmwasser-Nachheizregister

Abb. 13: Elektro-Nachheizregister



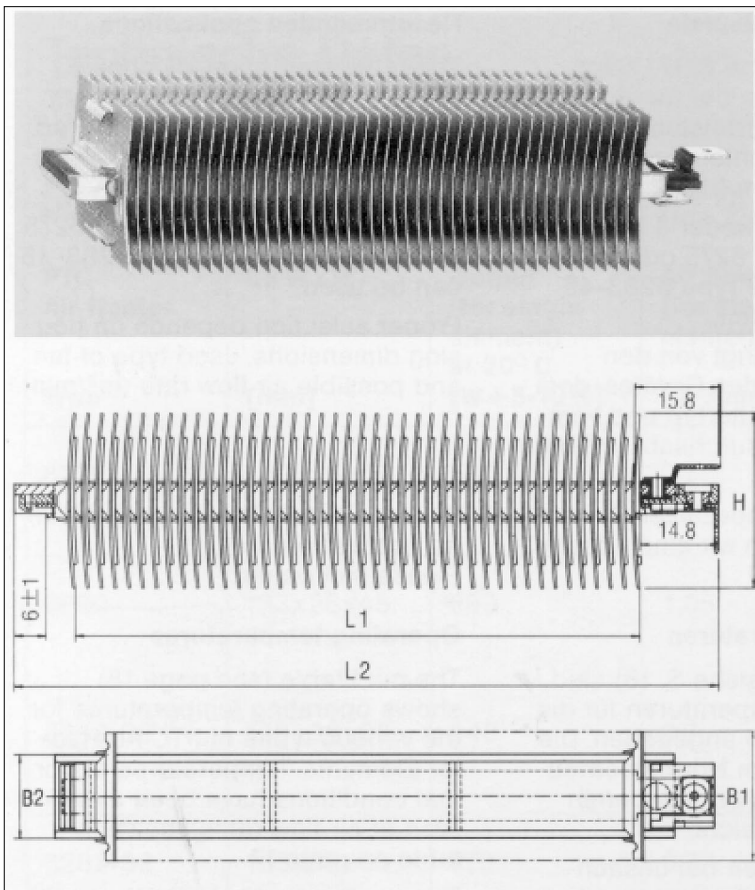


Abb. 14: PTC-Kaltleiter-Heizung

### Elektro-Nachheizregister

Es werden 2 Arten von Nachheizregistern angeboten:

- a) Heizspirale
- b) PTC-Kaltleiter-Heizung

#### a) Heizspirale

An der elektrischen Heizwendel wird vorbeiströmende Luft erwärmt. Ein dazu passender Regler schaltet EIN/AUS und regelt damit die Wärmezufuhr. Dazu werden Kanaltemperaturfühler und Raumtemperaturfühler angeboten.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es an der heißen Heizwendel möglicherweise zu Staubverschmelzung (Geruch) kommen kann.

Auch hier ist auf eine gute Wärmedämmung des Heizregisters zu achten.

### Solarthermie

Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts Freiburg (siehe „Tagungsband 2. Passivhaustagung 27.-28.02.98“ Passivhaus-Institut Darmstadt, S. 261, 266) zeigen, dass mit einer 5 m<sup>2</sup> großen Flachkollektorenanlagen der Bedarf für 140 l/h warmes Brauchwasser (45 °C) bei einer 4-köpfigen Familie von insgesamt 2.757 kWh/a (mit Verlusten) zu 54 % durch die Solaranlage abgedeckt werden kann (d.s. 1.494 kWh/a).

Zur Heizungsunterstützung in den Wintermonaten ist

der solarthermische Beitrag durch die o.g. normale Solaranlage nur unbedeutend. Will man mit vertretbarem Aufwand das Passivhaus heizen, wird immer eine Unterstützung durch eine der o.g. Heizvarianten notwendig sein.

Nach den Untersuchungen von Herrn Bühring (Fraunhofer-Institut Freiburg) liegen folgende Ergebnisse vor: Das simulierte Passivhaus ist ein Reihenmittelhaus und hat 121m<sup>2</sup> Wohnfläche und vier Bewohner. Die

inneren Wärmequellen betragen 3,35 W/m<sup>2</sup>. Die Feuchteproduktion wird mit 120 g/(h-Person) festgelegt. Eine Zirkulationsleitung ist nicht vorhanden. Die Lüftungsanlage ist auf einen Volumenstrom von 125 m<sup>3</sup>/h eingestellt. Die Infiltration verursacht durchschnittlich 0,05 Luftwechsel pro Stunde.

Die Normheizleistung des simulierten Hauses beträgt bei -14 °C (leichte Bauweise, Würzburg), ohne Solarstrahlung und bei Solltemperatur von 20 °C im eingeschwungenen Zustand 1300 W. Der Jahreswärmebedarf liegt bei 11 kWh/m<sup>2</sup>, wenn in der Heizperiode die dauerhafte Frischluftversorgung der Anlage ausreicht.

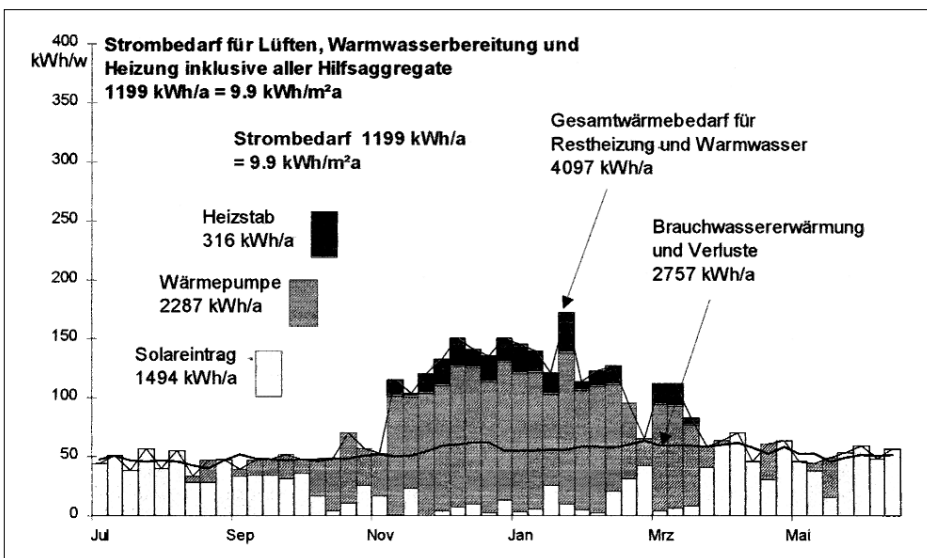


Abb. 15: Jahreswärmebilanz in Wochenwerten für ein typisches Passivhaus mit Kompaktgerät und Solaranlage bei vorgeseh-nem Nutzerverhalten

Die Ergebnisse der Jahressimulation werden in Abb. 15 in Wochenwerten dargestellt. Der Wärmebedarf inkl. Speicherverlusten wird mit 67 % von der Brauchwassererwärmung verursacht. Davon werden 54 % von der Solaranlage gedeckt, die somit zu 36 % den Gesamtwärmebedarf deckt. Die Wärmepumpe deckt mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 weitere 56 % des Wärmebedarfs.



Die restlichen 8 % werden vom Heizstab im Solarspeicher gedeckt, der die Reserveleistung bereithält.

Problematisch wird es bei abweichendem Nutzerverhalten. Besonders kritisch ist dies beim Lüftungsverhalten. Während der Heizperiode sollte in einem Passivhaus nach Möglichkeit nicht oder nur selten über Fenster gelüftet werden. Da die durch das Fenster weggelüftete Abwärme nicht zurückgewonnen werden kann und die Frischluft mit Außenlufttemperaturen in die Wohnung gerät, steigt der Wärmebedarf sehr stark an. In Abb. 16 wird die Auswirkung eines relativ starken zusätzlichen Luftwechsels von  $0,6 \text{ h}^{-1}$  durch Fensterlüftung dargestellt.

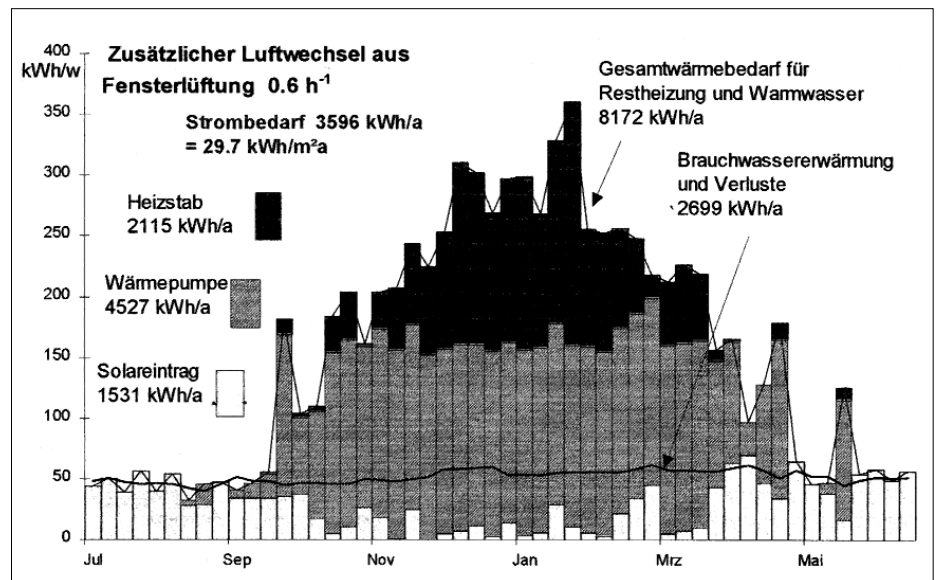


Abb. 16: Jahreswärmebilanz in Wochenwerten für ein typisches Passivhaus mit Kompaktgerät und Solaranlage bei zusätzlicher Fensterlüftung mit  $0,6$ -fachem Luftwechsel

Der zusätzliche Heizbedarf kann nur zu einem sehr geringen Teil von der Wärmepumpe abgedeckt werden. Fast die gesamte zusätzliche Wärmeanforderung muss direktelektrisch gedeckt werden. Der Strombedarf verdreifacht sich dadurch, ebenso wie der Primärenergieeinsatz. Dieser liegt mit fast  $90 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2\text{a})$  weit über dem Ziel für Passivhäuser ( $60 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2\text{a})$ ).

Aus dieser Konstellation heraus erscheint es sinnvoll, den direktelektrischen Energieanteil (Heizstab im Speicher) weitgehend zu reduzieren und diesen Energiebedarf durch ein Gasgerät zu erzeugen.

## Allgemeine Bemerkungen zur Luft-Nachheizung

- Die Nachheizung der Zuluft bedingt eine sehr gute (50 mm dicke) Wärmedämmung der warm-luftführenden Leitungen, wenn sie durch nicht beheizte Räume führen.
- Die sonstigen warmen Systemteile (z.B. Warmwasser-Heizleitung zum Warmwasserheizregister) sind ebenfalls gut zu isolieren.  
Halterungen sind wärmebrückenfrei auszuführen.
- Die Wärmeabgabe warmluftführender Leitungen (Rohre, Kanäle) kann aber auch dazu genutzt werden, Räume zu beheizen:
  - Verlegung von Flachkanälen in Wänden oder Betonfußböden (an Verbindungsmuffen ist darauf zu achten, dass kein Flüssig-Beton in das Luftsystem eindringt!)
  - offen im Raum verlegte Leitungen (gestalterisch in die Innenarchitektur einbeziehen!);  
der Vorteil: die Wärmeabgabe durch Strahlung wird erhöht
- Die dem Schlafzimmer zugeführte Frischluft sollte in ihrer Temperatur den Wünschen des Bauherren angepasst werden, d.h. die Nachheizung kann vom Zuluftstrang zum Schlafzimmer umfahren werden.

## Berechnungsgrundlagen

In der Heizwärmebilanz wird zunächst die Wärmemenge ermittelt, die dem Haus bei  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  und normaler Fensterlüftung zuzuführen ist.

Durch die Wärmerückgewinnung kompensiert sich dieser Wert. Ein weiterer Teil der Abwärme kann durch die Abluft-Wärmepumpe entzogen werden.

Die tatsächliche Energiezufuhr erfolgt

- im Erd-WT
- in der WP (die elektrisch eingebrachte Energie am Verdichter)
- Luftnachheizung über Gas, Elektroenergie oder Warmwasser

## Ökonomie/Ökologie

Beim Einsatz von Wärmepumpen ist die Leistungszahl  $\epsilon$  eine wichtige energetische Kenngröße; diese liegt etwa bei 3 bei reinen Abluft-Wärmepumpen.

$$\epsilon = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta \dot{Q}}{P_{\text{el}}} = \frac{2}{0,6} \approx 3$$

3,37 Kompaktgerät  
3,37 Abluft WP Typ 311  
3,18 Typ WB 300

Ökologisch betrachtet ist die primärenergetische Leistungszahl

$$\epsilon_{\text{Pr}} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta \dot{Q}}{3 \cdot P_{\text{el}}} = \frac{3}{3}$$

Damit wird deutlich, dass hier Verbesserungen durch Vorschaltung eines möglichst hocheffizienten Wärmetauschers ( $\epsilon = 10 \dots 20$ ) möglich sind.

Um mit einem Leistungsfaktor

$$\epsilon = \frac{3}{1}$$

d.h.

$$\epsilon_{\text{Pr}} = \frac{3}{3}$$

Energie zuzuführen, ist es gleichwertig, ob man sie mit einer Wärmepumpe zuführt oder ein Gasgerät verwendet (zur WW-Bereitung oder Luftheizung).

Kosten: 2.125,- DM Gasgerät  
4-6.000 DM Abluft-WP

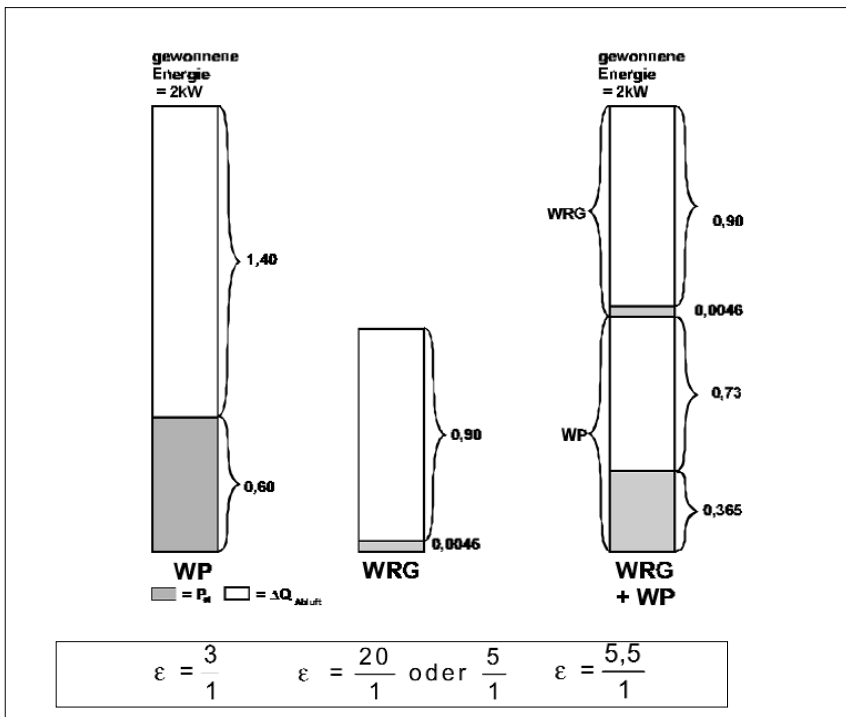


Abb. 17:  $P_{\text{el}} = (0,0046 + 0,36)$   
kW = 0,3646 kW

## Diskussion

Frage:

Kann das Schalldämmmaterial negative Einflüsse auf die Luftqualität haben? Wie wirkt es sich auf die Ionisierung der Luft aus? Gibt es diese positive Ionisierung, die von der Baubiologie negativ bewertet wird, wirklich? Sind die Schaumstoffgehäuse baubiologisch bedenklich?

Paul:

Der Schalldämpfer besteht innen aus Mineralwolle, um die außen entweder ein fester Mantel oder ein Mantel aus weniger straffer Alufolie gewickelt ist. Innen liegt noch eine Ummantelung mit sehr dünner Kunststofffolie und einer weiteren Aluschicht, die leicht genoppt, also mit Löchern versehen ist. Ohne die Kunststofffolie bestünde eventuell die Gefahr, dass Mineralfasern mitgerissen werden. Diese Kunststofffolie ist nicht in jedem am Markt erhältlichen Produkt enthalten.

**Feist:**

Wir führten in der Zuluft der Anlage in Kranichstein auch eine elektronenmikroskopische Untersuchung auf Fasern durch. Dort befindet sich eine größere Menge von nicht abgedeckten Schalldämpfern. Wir konnten keine einzige Mineralfaser finden. Die dort verwendeten Mineralfasermaterialien sind nicht einfach lose Mineralwolle, sondern Gewebematerialien, sodass Mikroteilchen, die sich abspalten könnten, gar nicht entstehen. Wir untersuchten die gesamten Zuluftmengen. Auch bei einem massenspektrometrischen Screening der Zuluft fanden wir keine außenluftfremden Bestandteile. Der Staubgehalt der Zuluft ist aufgrund der Filtermatten sehr viel geringer als jener normaler Außenluft, was sich z.B. darin niederschlägt, dass keine schwarzen Niederschläge mehr oberhalb des Fensters zu finden sind, weil eben die üblicherweise von außen kommenden Aerosole fehlen. In dieser Hinsicht kann man tatsächlich sagen, dass die Qualität der Zuluft besser ist als bei üblicher Belüftung.

**Paul:**

Es wird auch immer die Frage gestellt, ob es nicht bakterielle Probleme gäbe.

Dieser Frage ging Frau Flückinger von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich nach. [Flückinger, B.; Wanner, H.; Lüthy, P.: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern, ETH Zürich 1997] Sie untersuchte die Luftqualität in gebauten Anlagen, die schon über mehrere Jahre betrieben wurden, und stellte fest, dass der Filter eine sehr entscheidende Bedeutung für die Luftqualität hat. Die Luftqualität ist wesentlich – ich betone wesentlich – besser, als bei der üblichen Fensterlüftung.

Menschen, die Bedenken wegen Bakterien haben, würde ich spitz formuliert raten, nie mehr ihre Fenster zu öffnen, denn besonders in der Übergangsphase und im Sommer ist die Außenluft wesentlich stärker bakteriell belastet, als wenn diese über die Lüftungsanlage in die Räume gelangt. Durch die Vorschaltung von – in unserem Fall 3 – Filtern haben Bakterien keine Chance in den Raum zu gelangen. Im Außenluftfilter stehen 2 Filtermatten übereinander. Um den hochwertigen Filter zu schonen, kommt noch eine Matte, ein Baumarktartikel, davor und im Gerät sitzt noch einmal ein dritter Filter.

Die zweite Frage bezog sich auch auf die Elektroionenkonzentration, die Kleinionenkonzentration.

Dieses Problem wurde vor 2-3 Jahren an uns herangetragen, worauf wir Prof. Tischendorf, einen renommierten Mann aus Aachen, zu Messungen an unseren Geräten beauftragt haben. Zunächst wurde die Ionenaußenkonzentration der angesaugten Luft bestimmt. Das Verhältnis war ausgewogen, etwa 150 positive und negative Kleinionen pro  $\text{cm}^3$ . Im gewissen Abstand nach dem Luftauslass wurde genau das gleiche Verhältnis gemessen, da die Kleinionen nur eine sehr kurze Lebensdauer haben und somit wieder zerfallen. Die Einwirkungen hängen von unterschiedlichen Faktoren ab. Wie sieht das Gerät aus? Aus welchen Materialien besteht der Kanal, aus Kunststoff oder Metall? Wie sieht der Auslass aus, ist dort Kunststoff oder Metall? Unter Umständen können ein Kunststoffkanal und ein metallenes Ventil die Ionenkonzentration wieder aufheben. Wenn das Rohr mit Ionen gesättigt ist, erfährt die Luft keinerlei Ionenkonzentrationsänderung.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass weder bakterielle noch Elektroionisationsprobleme vorhanden sind. Bitte tragen Sie diese Ergebnisse weiter.

Der dritte Teil der Frage betraf den Schaum. Das geschäumte Polypropylen, aus dem unser „thermos“-Gerät besteht, wird mit Wasserdampf geschäumt und kann wieder recycelt werden. Die Recyclinganlage gibt es schon. Dort, woher wir das Material beziehen, kann es auch wieder zurückgeliefert werden. Es wird kleingeschreddert wiederverwertet. Der Schaum ist also auch vom Lebenskreislauf als umweltfreundlich einzustufen.

**Frage:**

Gibt es eine Empfehlung Ihrerseits für das Erdrohrmaterial?

**Paul:**

Zur Auswahl stehen Betonrohre, Steinzeug, Tonrohre und Kunststoff. Blechrohre sollte man wegen Korrosion nicht verwenden. Die Wärmeleitfähigkeit des Materials ist unerheblich, weil die entscheidenden Wärmeleitvorgänge im Erdreich und nicht in der 2-5 mm dicken Wandung des Rohres passieren. Das Material ist eher in Bezug auf den Druckverlust wichtig: Ein Betonrohr hat eine sehr hohe Rauigkeit, was einen höheren Druckverlust verursacht. Die normale Strömungsgeschwindigkeit im Erdrohr-Wärmetauscher ist bedeutend niedriger als diejenige in den Lüftungsrohren, die im Hause verlegt werden. Tonrohr ist sehr teuer und hat mehrere Stoßstellen. Das kostengünstigste Material, das ich ihnen empfehlen kann, ist ein innen glattes Kabelschutzrohr. Es benötigt wenig Bögen, weil es mit einem Biegeradi-

us von etwa 1 m verlegt werden kann. Für die wenigen Formteile, die trotzdem benötigt werden, eignen sich KG-Rohre, die mit dem Kabelschutzrohr gut zusammenpassen. Aber bitte achten Sie darauf, dass das Rohr innen glatt ist: erstens wegen des Druckverlustes und zweitens wegen des Kondenswassers im Sommer, das sonst in den Rillen hängen bleibt.

**Frage:**

Gilt der Stromverbrauch, den Sie angegeben haben, für das gesamte System?  
Im Hinblick darauf, dass zwei Ventilatoren eingesetzt werden, kommt mir der Verbrauch des Gegenstromwärmetauschers sehr gering vor.

**Paul:**

Ja, danke für das Kompliment, das ist tatsächlich sehr wenig. Für den niedrigen Stromverbrauch ist eine große Oberfläche und eine geringe Strömungsgeschwindigkeit entscheidend. Wir haben im Wärmetauscher mehr Oberfläche nicht nur durch die Kanalstruktur, sondern auch durch einen größeren Korpus; durch den großen freien Strömungsquerschnitt reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit. Die Strömungsgeschwindigkeit geht zum Quadrat in den Druckverlust ein und der Druckverlust ist wiederum die Ursache für geringeren bzw. höheren Stromverbrauch.

Bei der Filterwahl muss darauf geachtet werden, dass möglichst ein Z-Filter eingesetzt wird: Eine große Oberfläche bewirkt eine kleine Strömungsgeschwindigkeit und damit geringen Stromverbrauch. Da wir all diese Kriterien beachtet haben, kommen wir bei unseren Geräten auf einen Stromverbrauch von 46 Watt mit zwei Ventilatoren, Steuerung und ca. 100 Pa Pressung im Netz. Bitte beachten Sie, wenn Sie Geräte hinsichtlich des Stromverbrauches bewerten, ob die technischen Daten für 100 Pascal Gegen- druck angegeben sind, nicht für das freiblasende Gerät und erst recht nicht für die frei blasenden Ventilatoren. Der Ventilator im Gerät muss den Druckverlust im Gehäuse, im Wärmetauscher, in den Filtern und extern in der Sog- und Druckleitung (etwa 100 Pascal) überwinden. Bei unserem Gerät wurden die 46 Watt so gemessen.

**Frage:**

Zunächst einmal vielen herzlichen Dank. Sie haben mit extremer Offenheit viele, viele Zweifel, die ich selbst gegenüber so hochwertigen Geräten hatte, zerstreut.

Eine Frage hätte ich: Ein Bauträger, der Passivhäuser oder zumindest annähernd Passivhäuser im mehrgeschossigen Wohnbau baut, hat mir gegenüber behauptet, dass ihm Bewohner Sorgen oder Klagen gegenüber einem Verlust an „thermischer Erlebnisqualität“ in den Wohnungen mitgeteilt haben. Beklagt wurden die gleichmäßigen Temperaturen der Räume untereinander und auch die fehlende Möglichkeit sich als Individuum selbst ein wärmeres und ein kühleres Eck zu suchen – jenseits des Verstellens der Heizungsregelung. Das könnten Themen sein, die zukünftig doch wieder zu einem dezentralen Nachheizen der Luftauslässe und damit zur Notwendigkeit von Wasserrohrverteilungen in die einzelnen Räume führen könnten. Ist das ein Thema in Ihrer Praxis oder ist das die Paranoia von einigen Leuten, die Passivhäuser einfach nicht mögen?

**Paul:**

Das letztere würde ich unterstreichen wollen. In einem Passivhaus herrschen gleichmäßig warme Temperaturen ähnlich wie es jetzt im Haus ist. Häufig besteht der Wunsch nach einem kühleren Schlafzimmer, um die anderen Zimmer geht es meistens gar nicht. Dr. Feist sagte einmal: „Ich kann mir nicht vorstellen, dass die Leute den ganzen Sommer nicht schlafen, weil sie 20 °C im Schlafzimmer haben.“ Man kann aber auch die Leitungen nach dem Wärmerückgewinnungsgerät verzweigen und mit der einen Leitung die Zuluft über das Warmwasser-Nachheizregister in das Kinder- und Wohnzimmer führen, mit der anderen direkt ohne Heizung ins Schlafzimmer. Wenn der Kunde genügend Geld hat, kann man noch ein Mischventil einbringen, sodass ein bisschen warme Luft dazu gemischt wird. Es ist allerdings zu bemerken: Das Schlafzimmer ist meistens oben neben dem Badezimmer. Wenn kühle Luft im Schlafzimmer einströmt, streicht schon 15°ige Luft ins Badezimmer. Im Badezimmer beträgt die Raumtemperatur dann vielleicht nur noch 14,5° und ist noch kühler, als ich es vorhin schon erwähnt habe. Dann ist es noch dringender, dass im Badezimmer eine punktuelle Heizung vorhanden ist.

**Frage:**

Mit der raumweisen Gleichmäßigkeit der Temperaturen gehe ich durchaus d'accord mit Ihnen.

Mir hat aber einmal ein Bewohner gesagt, dass auch horizontal geschichtet ganz gleiche Lufttemperaturen frauenfeindlich sind, weil der Mann an der Heizungsregelung dreht und die Frau keine Chance mehr hat, sich noch eigene Winkel zu suchen, außer sie dreht dauernd zurück. Ich erlebe in unserem Wohnverband schon, dass sich jeder einen eigenen Winkel sucht, wo er sich behaglich fühlt, ohne die Heizung zu verstellen. Wenn alles gleich warm ist, hat man die Chance zu flüchten nicht mehr.

**Paul:**

Ich möchte dazu nicht viel sagen, weil es sicherlich individuelle Bereiche gibt. Wenn man das möchte, kann man auch jedem Zimmer einen Warmwasser- oder Elektroheizer zuordnen und damit unterschiedliche Temperaturen in den verschiedenen Zimmern realisieren.

**Frage:**

Ein einziger warmer Punkt, sozusagen ein „Angst-Heizkörper“, in einem Wohnungsverband könnte solche Spannungen gar nicht aufkommen lassen.

**Paul:**

Eher sehe ich die umgekehrte Variante, dass ein normales Haus gebaut wird, das kühle Wände und noch kühlere Fenster hat. Am Fußboden ist es ebenfalls kalt und gerade in der anderen Ecke vom Heizkörper, wo es warm ist, steht das Sofa. Das ist vom Behaglichkeitsverhalten ein viel kritischerer Punkt, als wenn alles gleichmäßig temperiert ist. Vom Energetischen ist es auch bedenklich, weil man eine sehr hohe Temperatur benötigt, um den kühlen Raum überhaupt auf Temperatur zu bringen. Und eine Temperatur von 80 °C Vorlauf ist bekanntlich energetisch viel aufwendiger zu erzeugen als 50 °C oder 30 °C.

**Bemerkung:**

Das Problem ist nicht so sehr, dass die Raumtemperaturen alle zu gleichmäßig sind – sie sind gleichmäßig, das sage ich als Nutzer eines Passivhauses – ich möchte auch auf den Unterschied Holzhaus/Massivhaus in diesem Zusammenhang hinweisen. Bei sehr gut gedämmten Innenwänden gibt es den Wärmefluss z.B. von Südräumen zu Nordräumen nicht. Wenn in einem solchen Haus nur ein Heizregister vorhanden ist, tritt möglicherweise die Schwierigkeit auf, überall gleichmäßig behagliche Temperaturen zu bekommen, wenn nicht eine sehr gute Regelung vorhanden ist oder doch irgendwo z.B. eine Wandflächenheizung oder ein Heizkörper angebracht ist. Das spricht meiner Meinung nach nicht gegen das Passivhaus, weil das bei guter Planung den Gesamtenergiebedarf nicht sehr beeinflusst, aber es treten doch noch unterschiedliche Zonen auf. Wir machten in 3 Häusern verschiedene Systeme mit dem Paul-Lüftungsgerät, einmal mit 3, einmal mit 2 und einmal mit einem Nachheizregister. Das Haus mit nur einem Nachheizregister hat Probleme mit der Behaglichkeit in allen Räumen gleichzeitig. In einem dreigeschossigen Haus mit offenem Treppenhaus steigt die Wärme nach oben. Wenn das Wohnzimmer im Erdgeschoss zu kalt ist und deshalb nachgeheizt wird, wird bei nur einem vorhandenen Heizregister in allen Räumen nachgeheizt, d.h. im Dachgeschoss wird es noch wärmer. Es ist wichtig, sich solche Zusammenhänge vorher regelungs- und systemtechnisch zu überlegen. Deswegen kann man nicht einfach sagen: „Ich baue ein Passivhaus und ich baue eine Lüftungsanlage ein.“ Ich plane eine Lüftungsanlage, die ich richtig auslegen muss. Ich kann sie auch so planen, dass sie individuell die Temperatur regelt.

**Paul:**

Ich möchte das noch einmal unterstreichen. Bei allen vorgestellten Varianten war immer ein Warmwasserspeicher dabei. Diesen kann ich natürlich auch dazu verwenden, verschiedene Heizkörper mit Warmwasser zu beschicken und dann unterschiedlich auch einzuregeln. Aber die Kosten steigen dadurch. Im Passivhaus kommt gerade dadurch, dass ich keinen Heizkörper benötige, ein Ausgleich zustande. Ich kann aber immer individuell natürlich auf den Kunden eingehen.

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO),  
Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau Universität Krems (Hrsg.)

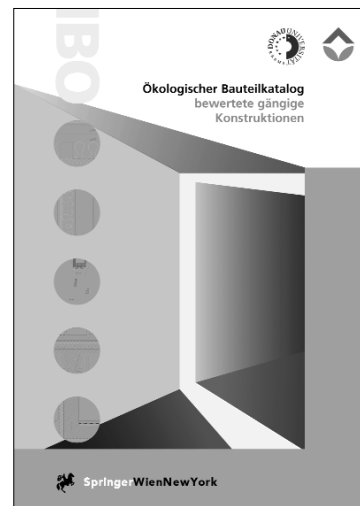
## Ökologischer Bauteilkatalog

Bewertete gängige Konstruktionen

**Das einzigartige Handbuch über die Eigenschaften von bekannten Bauteilen und deren Lebensdauer!**

- Planer erhalten eine rasche Übersicht über die Wirkungen ihrer Baustoff- und Konstruktionswahl auf die Umwelt, sowie eine sichere Grundlage für objektspezifische Optimierungen
- private Bauherren erhalten Vorinformationen und einen Überblick über den ökologischen Aufwand von Hochbaukonstruktionen und Optimierungen sowie ökologisch kostenwirksame Faktoren
- universelles Nachschlagewerk für Konsulenten
- Argumentationshilfe für Bauherren und Bauträger, zum Beispiel für ökologisch verantwortliche Ausschreibungskriterien

1999. V, 279 Seiten.  
Zahlreiche Konstruktionszeichnungen.  
Format: 21 x 29,7 cm  
Gebunden DM 128,-, öS 896,-, sFr 110,50  
ISBN 3-211-83370-6



**SpringerWienNewYork**

Bestellungen: IBO Fachbuchhandlung  
fon: 01/319 20 05-22, email: zyx@ibo.at