

Passivhaus-Haustechnik

Heizung und Lüftung

Prof. Dr. rer. nat. Harald Krause

Hochschule Rosenheim, Hochschulstrasse 1, DE 83024 Rosenheim, www.fh-rosenheim.de

B.Tec Dr. Harald Krause, Sonnenfeld 9, DE-83122 Samerberg, www.btec-rosenheim.de

1 Einführung

Das Passivhauskonzept stellt den derzeit am besten validierten und erprobten energieeffizienten Baustandard dar [1]. Eine sehr gut dämmende und luftdichte Hülle, die optimale Nutzung von passiver Solarenergie, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgen für einen minimalen Heizwärmebedarf und eine äußerst geringe Heizlast (siehe Beiträge Berthold Kaufmann).

Dieser Beitrag liefert einen groben Überblick über Anforderungen an die Lüftungs- und Heiztechnik sowie derzeit eingesetzte Systeme.

2 Lüftungstechnik

Die Lüftungstechnik im Passivhaus soll drei wesentliche Aufgaben erfüllen:

- Sicherstellen einer guten Raumluftqualität,
- Minimierung der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung und
- den Transport der nötigen Heizleistung über die Zuluft.

Letzteres ist nicht unbedingt erforderlich, ermöglicht allerdings den Verzicht auf ein konventionelles Heizsystem. Für die Qualität der Raumluft kann die CO₂-Konzentration als Maßstab dienen, solange die Schadstoffemissionen hauptsächlich durch die Bewohner und deren Tätigkeiten hervorgerufen werden. Aus der Konzentration des CO₂ in der Außenluft, die bei ca. 350 bis 500 ppm liegt, und den Grenzwerten für die Innenluft, z.B. der Pettenkofergrenzwert von 1000 ppm, lassen sich die nötigen Außenluftvolumenströme ableiten. Bei üblichen CO₂-Außenluftkonzentrationen ergeben sich Außenluftvolumenströme von 30 m³ pro Stunde und Person. Niedrigere Volumenströme führen zu geringerer Luftqualität, zu hohe Volumenströme können sehr geringe Luftfeuchten im Winter bewirken. Eine erste Auslegung der Volumenströme kann z.B. mit dem Passivhaus-Projektierungspaket [4] vorgenommen werden. Für die raumweise Volumenauslegung kann das „Pflichtblatt Lüftung“, welches mit dem PHPP ausgeliefert wird, eingesetzt werden.

Für die Energiebilanz eines Passivhauses spielt die Wärmerückgewinnung eine wesentlich Rolle, wie

Abb. 1 zeigt. Die passive Wärmerückgewinnung z.B. über Kreuz-Gegenstromwärmetauscher sorgt auch für eine Vorerwärmung der Zuluft, um Unbehaglichkeit durch zu kalte Zuluft zu vermeiden. Das Passivhaus-Institut fordert deshalb einen Wärmebereitstellungsgrad, der bei -10°C Außenlufttemperatur für eine minimale Zulufttemperatur von $16,5^{\circ}\text{C}$ sorgt.

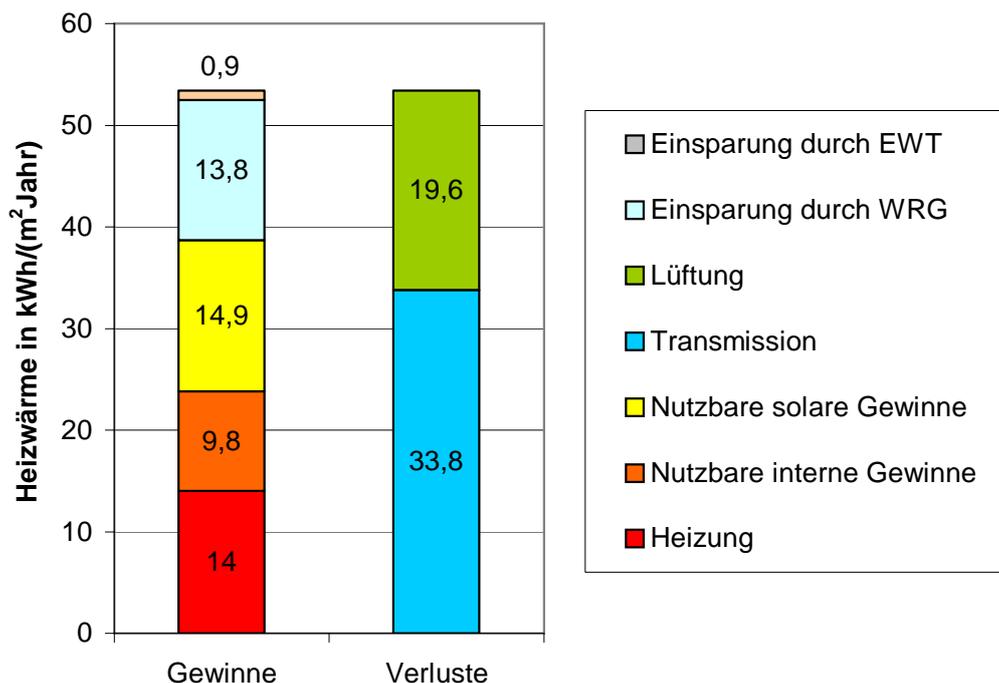


Abb. 1 Typische Energiebilanz eines Passivhauses in Süddeutschland: Die Reduktion der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung liefert einen entscheidenden Beitrag (hier $13,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), um den Grenzwert von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ zu erreichen.

Als Lüftungskonzept im Wohnbau hat sich die Zonierung in Zu- und Abluftbereiche bewährt. Im Nichtwohnungsbau, z.B. in Schulen, kann auch Zu- und Abluft in einem Klassenraum sinnvoll sein. Die Zonierung führt dazu, dass frische Luft in die Aufenthaltsräume (Zuluftzone) eingeblasen wird und verbrauchte Luft aus Funktionsräumen (Abluftzone) abgesaugt wird. Durch geeignete Überströmöffnungen gelangt die Luft von der Zuluft- in die Abluftzone. Dafür reichen meist Spalte unter den Türblättern von ca. 1 cm aus. Eine schematische Darstellung zeigt Abb. 2. Ein Wohnraumlüftungssystem besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten:

- Zentralgerät mit Luft-Luft-Wärmeübertrager und Luftfiltern
- Luftkanalnetz z.B. aus Wickelfalzrohren

- Telefoneschalldämpfer, Zentralschalldämpfer
- Zuluftauslässe und Ablufteinlässe, Außenluft- und Fortluftstutzen
- Überstömöffnungen (ggf. schalldämmend)
- Ggf. Erdreichwärmeübertrager (Luft oder Sole)
- Steuereinheit Lüftungsgerät (im Wohnraum)
- Bei Luftheizung: Heizregister in der Zuluft, Wärmedämmung der Zuluftleitungen
- Wärmedämmung der Leitungen wo erforderlich

Die Projektierung der Anlage soll u.a. einen minimalen Druckverlust, eine Reinigbarkeit und Schallpegel von unter 25 dB(A) in Aufenthaltsräumen sowie unter 30 dB(A) in Funktionsräumen gewährleisten. Weiterführende Hinweise findet man in Herstellerunterlagen oder in den Protokollbänden des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser.

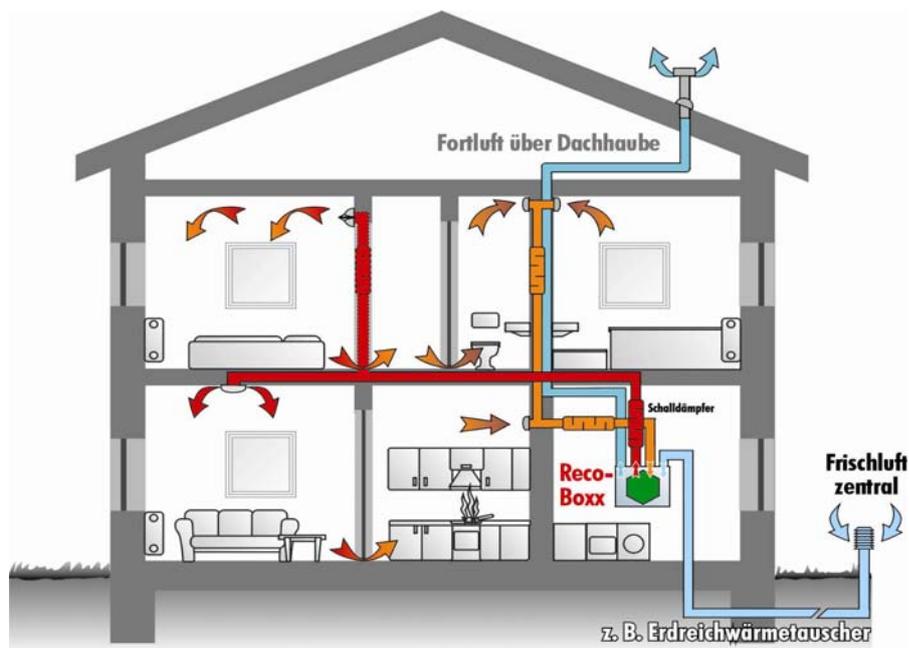


Abb. 2 Schematische Darstellung einer Wohnraumlüftungsanlage: Vorerwärmte Zuluft wird in die Aufenthaltsräume eingeblasen und verbrauchte Luft aus den Funktionsräumen abgesaugt. Überstömöffnungen sorgen für den Transport der Luft von der Zuluft- in die Abluftzone. Schalldämpfer verhindern die Telefoneschallübertragung und dämpfen die Schallemissionen des Zentralgerätes. Über einen Erdreichwärmetauscher kann die Außenluft vorgewärmt werden. (Quelle: Aerex Haustechnik)

Bei der Auswahl eines geeigneten Zentralgerätes sind zunächst als wesentliche Kenngrößen zu beachten:

- Der Wärmebereitstellungsgrad: Dabei greift man am besten auf die Werte gem. Passivhaus-Institut zurück, da diese so direkt im PHPP [4] einsetzbar sind. Die aktuelle Bandbreite liegt zwischen 75 und 92%.
- Der Volumenstrombereich des Gerätes: Es soll auf jeden Fall der Nennluftvolumenstrom nach PHPP [4] bzw. den einschlägigen Normen erreicht werden.
- Die Stromeffizienz: Typische Werte liegen zwischen 0,35 und 0,4 Wh pro gefördertem m³ Luft.
- Das Frostschutzkonzept: Ein Einfrieren des Luft-Luft-Wärmeübertragers muss verhindert werden. Ist kein Erdreichwärmeübertrager vorhanden, muss eine elektrische Frostschutzheizung installiert werden.

Ein Beispiel eines durch das Passivhaus-Institut zertifizierten Lüftungsgerätes zeigt Abb. 3.



Abb. 3 Lüftungsgerät für Passiv-Einfamilienhäuser [2]

In Mehrfamilienhäusern kann ein Zentralgerät wohnungsweise, ein Zentralgerät für das ganze Haus oder eine semizentrale Lösung, wie in

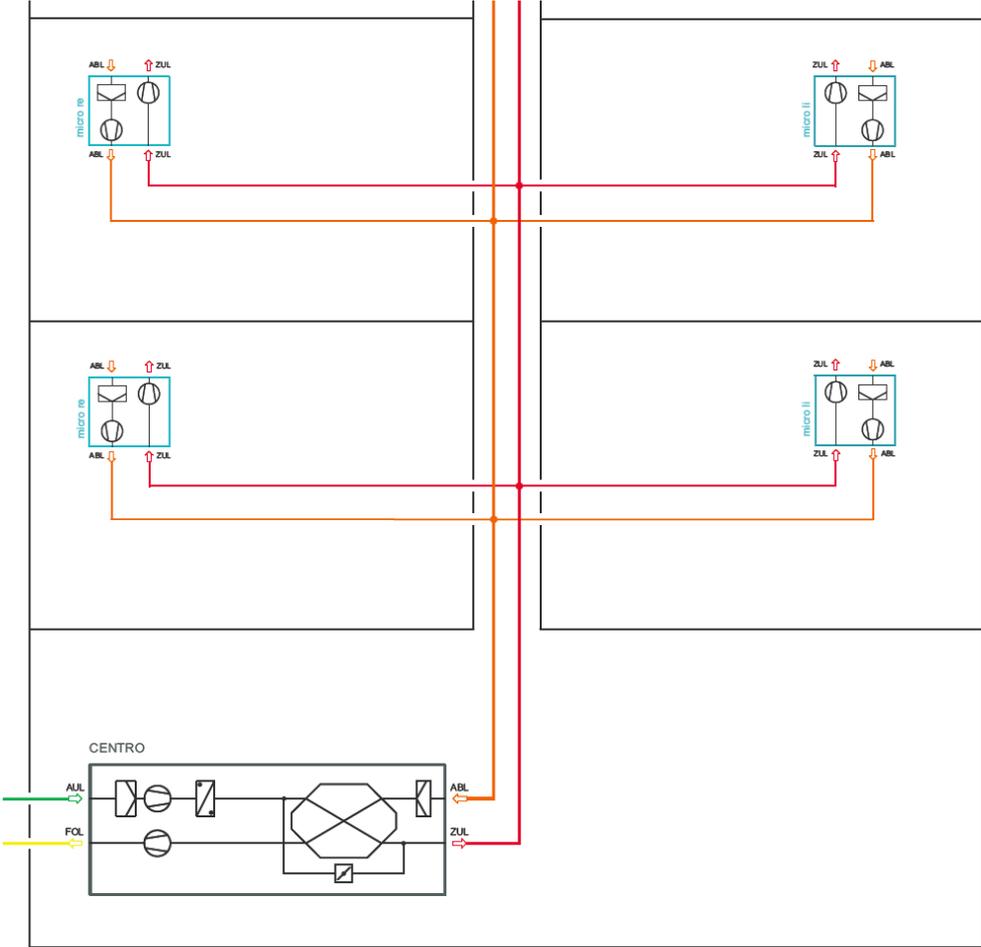


Abb. 4 dargestellt, eingesetzt werden.

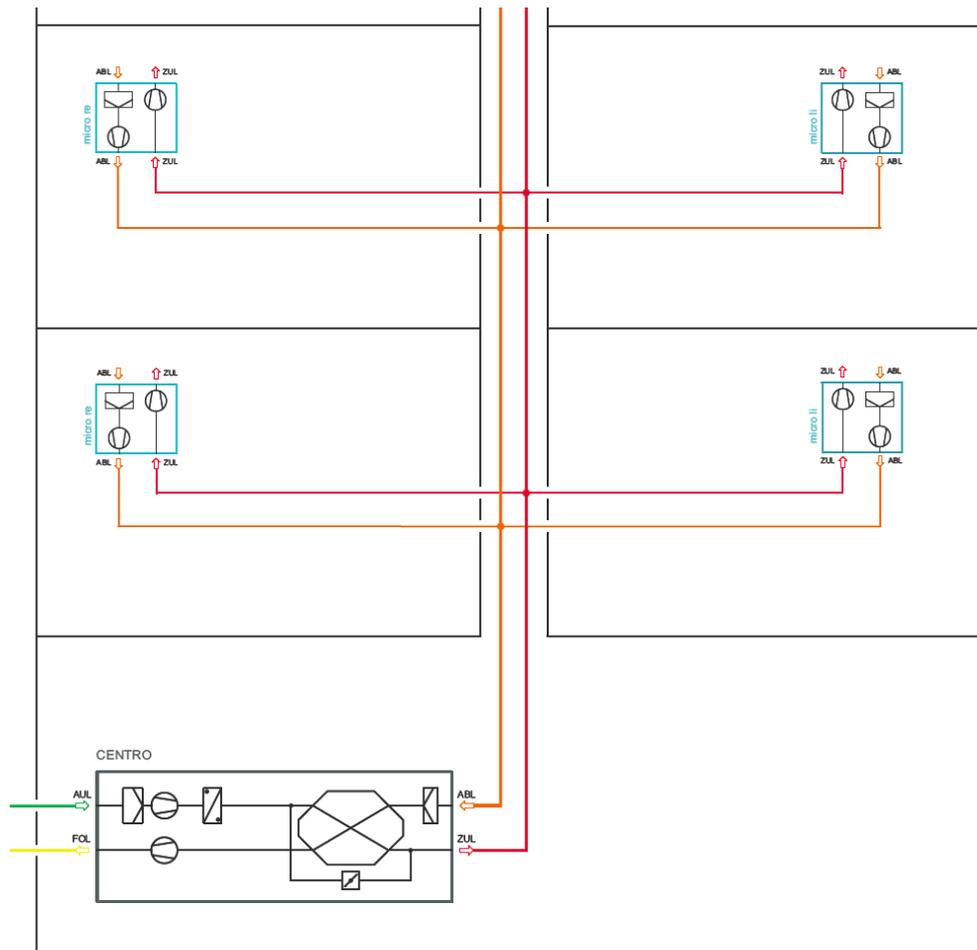


Abb. 4 Lüftungssystem „semizentral“ für Mehrfamilienhäuser. Das Zentralgerät sorgt für die Wärmerückgewinnung, die Wohnungseinheiten regeln den Volumenstrom in den einzelnen Einheiten [3].

3 Heizlastberechnung im Passivhaus

Vor Beginn konkreter Überlegungen zur Heiztechnik sollte eine energetische Projektierung mit dem PHPP [4] durchgeführt werden. Aus Sicht des Heizungsplaners ist dabei vor allem die Heizlastberechnung und die Auslegung des Luftvolumenstroms der Lüftungsanlage entscheidend. Die Heizlastberechnung in Passivhäusern erfolgt nach dem Verfahren aus dem PHPP [4], welches sich in der Praxis gut bewährt hat [5]. Normverfahren wie die EN 12831 führen meist zu überhöhten Anforderungen an die nötige Heizleistung und damit zu unnötig teurerer Heiztechnik.

Im Verfahren des PHPP wird die Heizlast des betrachteten Gebäudes unter zwei Extremwetterbedingungen (meist sehr kalter klarer Tag und mäßig kalter trüber Tag) ermittelt und der ungünstigere weiter verwendet. Die regionalen Wetterdaten dafür müssen durch dynamische Simulation ermittelt werden. Im PHPP sind bereits eine Vielzahl von Wetterdatensätzen enthalten (leider noch nicht für Ungarn).

Als oberer Grenzwert für die Heizlast bei Passivhäusern gelten ca. 10 W/m^2 . Dieser Wert wird aus der Beheizbarkeit des Gebäudes über eine Zuluftheizung abgeleitet.

Zwei Fragestellungen sind in der ersten Planungsphase wichtig:

- Kann die nötige Heizleistung über die Zuluft transportiert werden ?
- Wie groß ist die Gesamtheizlast ?

Kann die Heizleistung nicht über die Zuluft transportiert werden, sind Zusatzheizflächen nötig oder man wechselt zu einer konventionellen wassergeführten Wärmeverteilung und Wärmeabgabe. Der Wert von 10 W/m^2 dient als oberer Grenzwert bei Zuluftheizung. In frühen Passivhausprojekten wurde häufig der Fehler gemacht, den Luftvolumenstrom so zu erhöhen, dass die Heizleistung ausreicht. Als Folge ergaben sich häufig Luftwechselraten von $0,5$ bis $0,8 \text{ h}^{-1}$ und damit extrem niedrige Luftfeuchten im Winter. Vor dieser Art der Auslegung wurde nicht nur vom Passivhaus-Institut eingehend gewarnt [4]. Auch wenn die Frage der behaglichen Luftfeuchten noch nicht endgültig geklärt scheint, sollte zunächst eine Personen-bezogene Auslegung des Luftvolumenstroms mit $30 \text{ m}^3/\text{h}$ und Person im Wohnbau als Grundlage dienen. Damit ergeben sich im allgemeinen Luftwechselraten von $0,3 \text{ h}^{-1}$ bis $0,4 \text{ h}^{-1}$ im Einfamilienhaus und $0,4 \text{ h}^{-1}$ bis $0,5 \text{ h}^{-1}$ in Etagenwohnungen mit meist höherer Belegungsdichte. Die Vorgaben aus den jeweiligen nationalen Normen, in Deutschland die neue DIN 1946-6, darf man dabei nicht ignorieren, allerdings wie bei jeder Norm korrigieren, wenn es nötig ist.

Im Optimierungsprozess der Gebäudehülle wird meist der Zielwert im Jahresheizwärmebedarf (JHW) von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angestrebt, da dieser Wert im deutschen Klima annähern mit der Heizlast von 10 W/m^2 korrespondiert. Dies muss allerdings in anderen Klimaregionen nicht der Fall sein (siehe Tab. 1). Darüber hinaus muss eine Reduzierung des JHW nicht mit einer Reduzierung der Heizlast einher gehen, wie das Beispiel eines Einfamilienhauses in Tab. 1 zeigt. Das Gebäude wurde für die Klimaregion Garmisch-Partenkirchen in Deutschland geplant. Am Standort München ergibt sich ein höherer Heizwärmebedarf jedoch eine niedrigere Heizlast. Extrem stellt sich die Situation in Bozen mit einer JHW von $6,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei einer Heizlast von $10,0 \text{ W/m}^2$ dar. Eine Projektierung auf einen JHW von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ würde die Heizlast deutlich über die 10 W/m^2 anheben. Eine beispielhafte Reduzierung der Südfensterflächen zeigt die unterschiedlichen Auswirkungen auf Heizwärme und Heizlast. Am Standort Garmisch würde sich die Heizlast um ca. 10% verringern, die JHW aber um ca. 15% erhöhen. Für die Heizlast sind an diesem Standort somit die Verluste über die Fenster ausschlaggebend. Für Budapest liegen derzeit noch keine Wetterdaten für die Heizlastberechnung vor.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Wahl des Heizsystems bereits frühzeitig in der Planungsphase mit berücksichtigt werden sollte, um bei der Optimierung der Hülle die zielführende Strategie anwenden zu können.

Tab. 1 Jahresheizwärmebedarf und Heizlast für ein Einfamilienhaus an unterschiedliche Standorten. Die Optimierung nach Heizwärme oder Heizlast kann zu unterschiedlichen Maßnahmen führen. In den rechten Spalten wurde als Beispiel die Südfensterfläche um 50% reduziert (soll nur der Verdeutlichung dienen).

Standort	JHW in kWh/(m ² a)	Heizlast in W/m ²	JHW in kWh/(m ² a)	Heizlast in W/m ²
			Südfenster halbiert	
München	17,0	10,9	18,8	10,9
Garmisch	15,0	11,7	18,6	10,9
Oslo	16,0	10,0	26,8	13,3
Bozen	6,3	10,0	8,8	9,3
Budapest	11,0	-	12,7	-

Soll die Zuluftheizung durch Zusatzheizflächen unterstützt werden, ist folgendes zu beachten:

- Bei Wärmepumpenkompaktgeräten, die über keinen Wasserkreislauf verfügen, sind nur direkt elektrische Heizflächen möglich. Dabei ist sicher zu stellen, dass diese mit minimalen Laufzeiten betrieben werden und nicht als Konkurrenz zum Kompaktgerät fungieren. Letzteres kann dadurch ausgeschlossen werden, dass ein Betrieb des Heizkörpers immer mit dem Heizanforderung an das Kompaktgerät gekoppelt ist.
- Ist eine Wärmeverteilung über ein Wassersystem vorhanden, kann dieses meist mit geringen Kosten auch für die Zusatzheizelemente verwendet werden. Bei offenen Grundrissen und guter thermischer Kopplung der Innenräume untereinander reicht oft ein zentraler Heizkörper im Wohnbereich aus, um die Restheizleistung zu decken.

Entscheidet man sich für eine konventionelle Wärmeverteilung, stellt sich die Frage nach der Dimensionierung der Raumheizelemente. Dafür benötigt man im Prinzip Angaben zu den Raumheizlasten, wie sie in der DIN EN 12831 [6] ermittelt werden. Eine raumweise Berechnung kann auch mit dem PHPP erfolgen. Das Heizlastblatt wird dabei jeweils auf einen Raum angewendet, die Luftvolumenströme werden dem Raum angepasst, die Infiltrationsluftwechselrate wird aus den Ergebnissen für das

ganze Gebäude übernommen. Einige Planungsbüros setzen dabei die solaren Gewinne auf null, um noch zusätzliche Sicherheiten einzubauen. Ein Beispiel für ein Berechnungsergebnis zeigt Tab. 2.

Tab. 2 Beispiel einer raumweisen Heizlastberechnung mit dem PHPP. In diesem Fall wurde ein Wärmepumpenkompaktgerät mit Heizflächen und Zuluftheizung eingesetzt.

Berechnungsgrundlage: PHPP 2007

Raum-Nr.	Bezeichnung	Fläche m ²	Hohe m	Volumen m ³	Außenwand m ²	KG-Wand m ²	Dach m ²	Bodenplatte m ²	A/Z/U	Volumenstrom Zuluft m ³ /h	Volumenstrom Abluft m ³ /h	Auslegung °C	Heizlast W	spez. Heizlast W/m ²	Heizleistung Zuluft W	Restheizlast W
	KG	65,29											513	8	180	333
001	Werkstatt	21,30	2,32	49	0,00	33,42	0,00	28,15	Z	28		20	203	10	180	22
002	Flur	7,84	2,32	18	0,00	7,60	0,00	10,14	Ü			18	34	4		34
003	Archiv	9,82	2,32	23	0,00	7,47	0,00	11,84	A		7	18	37	4		37
004	HWR/Technik/Sauna	21,33	2,32	49	0,00	48,24	0,00	29,27	A		21	22	239	11		239
005	Vorrat	5,00	2,32	12	0,00	11,72	0,00	3,61	-			18		0		0
	EG	65,49	2,50	164									1083	17	287	796
100	Wohnen/Essen/Küche	34,73	2,50	87	51,15	0,00	0,00	43,63	Z	35	35	22	552	16	204	348
103	Speise	3,12	2,50	8	4,06	0,00	0,00	4,39	A		7	20	41	13		41
104	Flur	9,90	2,50	25	15,03	0,00	0,00	12,38	Ü			20	168	17		168
105	WC	2,67	2,50	7	13,71			3,34	A		14	20	72	27		72
106	Büro	15,07	2,50	38	24,73			19,50	Z	14		22	250	17	83	167
	OG	66,23	2,50	166									1145	17	218	926
200	Hobby	36,25	2,78	101	59,83	0,00	48,67	0,00	Z	14		22	568	16	83	485
201	Schlafen	15,07	2,78	42	28,09	0,00	21,02	0,00	Z	21		20	242	16	135	106
202	Flur	2,36	2,78	7	6,53	0,00	10,45	0,00	Ü			22	85	36		85
203	Bad	12,55	2,78	35	25,15	0,00	19,66	0,00	A		28	24	250	20		250
Gesamt (inkl. Räume ohne Heizflächen) bei 22°C										112	112		2741	14	686	2055

Hinweis: Luftvolumenstrom wurde auf 2 Personen reduziert, um zu trockene Raumluft im Winter zu vermeiden

Die angenommenen Raumtemperaturen sind vom Bauherren zu prüfen und zu genehmigen

Rechnet man nach DIN EN 12831 sollten zumindest die Lüftungswärmeverluste reduziert angesetzt werden (siehe auch [7]). Mit einer Lüftungsanlage kann man dazu in der einschlägigen Berechnungssoftware die Zulufttemperatur je nach Wärmebereitstellungsgrad anpassen. Solare und interne Gewinne sind dabei trotzdem nicht berücksichtigt, außerdem erfolgt die Auslegung für die Normaußentemperaturen.

Die Frage, ob sich eine raumweise Berechnung im Passivhaus grundsätzlich eignet, ist nach Wissensstand des Autors allerdings nicht geklärt.

4 Einflussfaktoren auf die Systemauswahl

Am Beginn der Planungen oder Beratungen steht meist die Entscheidungsfindung für ein geeignetes Heizsystem. Das PHPP [4] stellt dafür eine wichtige Grundlage dar.

In unserer Planungspraxis haben sich in letzter Zeit zwei wesentliche Grundtypen herausgebildet:

- Heizung mit Wärmepumpen und Wärmepumpenkompaktgeräten und
- Heizung mit Biomassekesseln unterstützt durch Solaranlagen,

welche auch den Schwerpunkt dieses Beitrages bilden. Daraus soll nicht der Schluss gezogen werden, dass z.B. eine Versorgung über Nahwärme oder Gas nicht sinnvoll ist, es wird zur Zeit jedoch wenig nachgefragt.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind im Folgenden Einflussfaktoren bei der Systemauswahl aufgelistet:

- Vorhandene Infrastruktur
 - Gasanschluss
 - Fern- Nahwärme
 - Raum- Platzangebot
 - Flächen für Erdreich-WÜ
- Objekttyp
 - Energiekosten-Verteilung im Mehrfamilienhaus
 - Zusatzanforderungen (temp. Beheizung, Hobbyraum im Keller)
 - Geringe Belegungsdichte führt zu niedrigen Luftvolumenströmen
 - Mietshaus vs. Eigentümer
- Sonstiges
 - Wünsche, Vorlieben bei privaten Bauherren oft entscheidend
 - Investitions- und Betriebskosten
 - Differenzierung der Raumtemperaturen

5 Wärmepumpen-Kompaktgeräte

Wärmepumpen Kompaktgeräte stellen nach aktuellen statistischen Auswertungen eine der häufigsten Versorgungstechniken im Passivhaus dar [8]. Die grundlegende Idee hinter dieser Technik ist das Zusammenführen von Heizung, Warmwasser und Lüftung in einem Gerät mit optimal aufeinander abgestimmten Komponenten [9]. Es gibt inzwischen mehrere geeignete Produkte auf dem Markt. Im PHPP 2007 ist zur Projektierung des Energieverbrauchs ein neues Berechnungsblatt enthalten. Somit ist man in der Lage die Jahresarbeitszahl der Geräte inklusiv einer möglichen direkt-elektrischen Zusatzheizung im PHPP zu ermitteln. Dazu werden in Zukunft durch das Passivhaus-Institut zertifizierte Gerätedaten zur Verfügung stehen [10]. Zur Zeit ist man noch auf Herstellerangaben angewiesen.

Im folgenden werden einige Gerätetypen vorgestellt:

- Kompaktgerät mit Außenluftwärmepumpe
- Kompaktgerät mit Fortluftwärmepumpe
- Kompaktgerät mit Erdreichwärmepumpe
- Kompaktgerät für Einsatz in Mehrfamilienhäusern

Bei dem ersten vorgestellten Gerät der Fa. Tecalor handelt es sich nicht um ein „klassisches“ Passivhausgerät [11]. Die Wärmepumpe arbeitet im wesentlichen mit Außenluft. Die Heizleistung der Wärmepumpe beträgt bis zu 6 kW bei -15°C Außenlufttemperatur und könnte damit 600m^2 Wohnfläche in einem Passivhaus versorgen, während der maximale Luftvolumenstrom mit $280\text{ m}^3/\text{h}$ in der größten Version für ein großes Einfamilienhaus ausgelegt ist. Dennoch wird das Gerät in Passivhäusern eingesetzt, bei denen eine Entkopplung des Luftvolumenstroms von der Heizung sinnvoll erscheint oder die erforderliche Heizleistung für Passivhaus-Kompaktgeräte zu hoch ist.

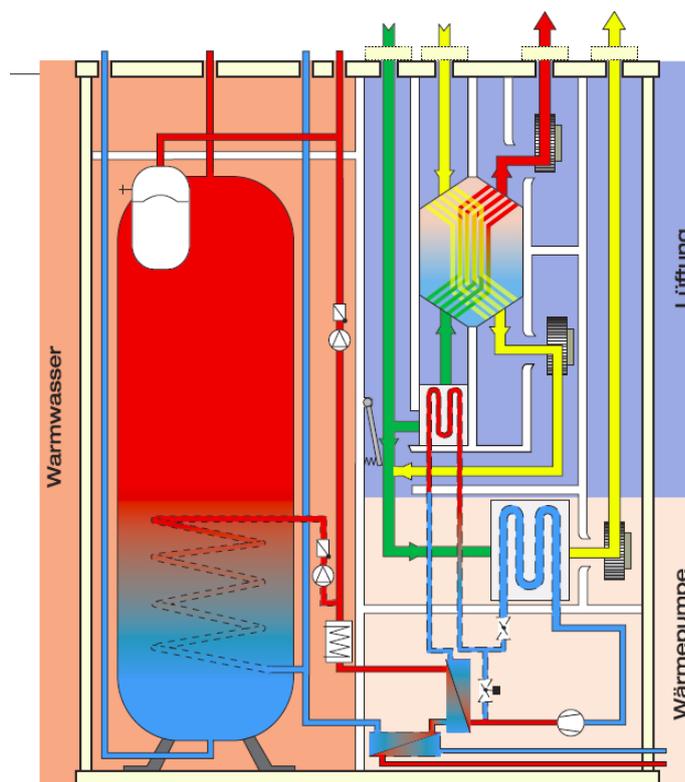


Abb. 5 Schematischer Aufbau des Wärmepumpen-Kompaktgerätes der Fa. Tecalor [11].

Das Gerät wurde in einem Forschungsprojekt in der Schweiz für ein Haus im Minergie-Standard eingehend untersucht [12]. Jahresarbeitszahlen für Heizung (33/28) und Warmwasser von 3 scheinen erreichbar bzw. werden im untersuchten Fall sogar übertroffen. In einer Variante kann eine thermische Solaranlage direkt angeschlossen werden. Aufgrund des kleinen Warmwasserspeichers sind Deckungsanteile hauptsächlich für die Warmwasserbereitung zu erreichen. Bei solarer Heizungsunterstützung empfiehlt sich ein externer Pufferspeicher, wofür der Hersteller entsprechende Anlagenschemata bereitstellt.

Die Erfahrungen aus unserer Sicht stellen sich wie folgt dar:

- Leider liegen keine Messwerte der Schallemissionen in Oktavspektren vor, weshalb die akustische Planung schwierig ist. Mit einem Schallpegel von 60 dB(A) in der Zuluft bei hauptsächlich 250 Hz ist auf jeden Fall eine sorgfältige Planung nötig. Eben solches gilt für Körperschallübertragung und Schallemissionen im Aufstellraum.
- Bei den eingesetzten Geräten kam es vereinzelt zu Störungen in der Elektronik, die zum Teil auch durch den Kundendiensttechniker auf Anhieb nicht behoben werden konnten.
- Die elektrische Zusatzheizung sollte im Passivhaus grundsätzlich deaktiviert werden.
- Aufgrund der hohen Volumenströme der Außenluftwärmepumpe sollte die Ansaugung nicht über einen Fensterschacht erfolgen, um einen Schmutzeintrag zu vermeiden.
- Der Frostschutz ist von Haus aus durch die Wärmepumpe gewährleistet. Durch kleine Umbaumaßnahmen kann dennoch ein Erdreich-Wärmeübertrager für die Außenluft der Lüftungsanlage integriert werden. Die Ansaugung der Außenluft für die Lüftung erfolgt dann getrennt von der Außenluftwärmepumpe.
- In der Zuluft sollte ein F7-Filter nachgerüstet werden.
- Detaillierte eigene Messergebnisse aus eigenen Projekten liegen uns nicht vor. Messungen eines Bauherren lassen auf eine Jahresarbeitszahl für Heizung und Warmwasser inklusiv einer heizungsunterstützenden Solaranlage von ca. 3 schließen.

Fazit: Das Gerät ist auch im Passivhaus mit Einschränkungen einsetzbar, wenn über Heizflächen (max. 35/28) geheizt werden soll. Die Heizlast sollte nicht zu niedrig sein (ca. 2-3 kW). Ansonsten muss noch ein zusätzlicher Pufferspeicher installiert werden.

Liegt die Heizlast der Gebäude nach PHPP bei ca. 10 W/m² und ist eine Beheizung über die Zuluft möglich, werden meist Kompaktgeräte mit Fortluftwärmepumpe ein-

gesetzt. Zwei Geräte sind in Abb. 6 dargestellt. Bei diesen Geräten erfolgt die Beheizung über die Zuluft, die Wärme dazu wird der Fortluft entzogen. Ein Erdreichwärmeübertrager ist nötig, um die Fortlufttemperaturen entsprechend hoch zu halten und für den Frostschutz sorgen. Eine Anbindung einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung ist möglich.

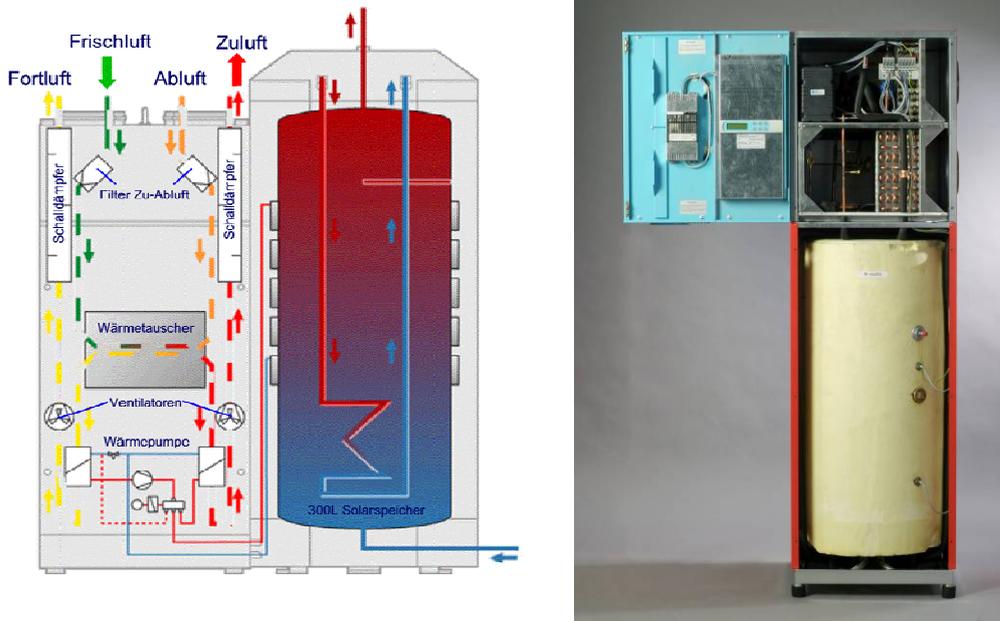


Abb. 6 Kompaktgeräte mit Fortluftwärmepumpe [13,14].

Beim Einsatz dieser Geräte ist zu beachten:

- Zusatzheizflächen in den Bädern (oder auch andere Räume siehe Abschnitt 3) sind nur direkt elektrisch machbar. Dabei ist auf eine bedarfsgerechte Steuerung zu achten (Empfehlung: Raumthermostat mit Zeitschaltuhr).
- Die Nennleistung der Wärmepumpe ist an den Nennvolumenstrom gekoppelt (Abb. 7). Der projektierte Volumenstrom der Lüftung sollte nicht wesentlich vom Nennvolumenstrom im Heizbetrieb abweichen, da sonst Gefahr von zu trockener Luft.
- Die meisten Kompaktgeräte erreichen keine 52°C Zulufttemperatur. Die Zulufttemperatur im Heizlastblatt des PHPP ist deshalb anzupassen. Ggf. kann die Temperatur über ein elektrisches Nachheizregister auf die 52°C angehoben werden.
- Bei erhöhtem Warmwasserbedarf sind ggf. zusätzliche elektronische Durchlauf-erhitzer nötig.

Typ	Art.-Nr.	Ausführung	Fördervolumen	L _{WA6}	Gewicht	Heizleistung Wärmepumpe
			m ³ /h	dB(A)		
AEREX WP 125 L	0040.0032	Linksausführung	125	38	170	1,0
AEREX WP 125 R	0040.0033	Rechtsausführung	125	38	170	1,0
AEREX WP 175 L	0040.0034	Linksausführung	175	45	170	1,4
AEREX WP 175 R	0040.0035	Rechtsausführung	175	45	170	1,4
AEREX WP 225 L	0040.0036	Linksausführung	225	49	170	1,8
AEREX WP 225 R	0040.0037	Rechtsausführung	225	49	170	1,8

Abb. 7 Beispiel für Gerätedaten von Kompaktgeräten [13].

Fazit: Die Erfahrungen mit den gezeigten Geräten sind durchwegs positiv. Bis auf vereinzelte Störungen in der Elektronik gibt es keine größeren Probleme. Zu achten ist allerdings grundsätzlich auf eine sauber schalltechnische Projektierung (siehe [15]). Mit den verbesserten Berechnungsmöglichkeiten im PHPP sind nun auch realistische Werte für die Jahresarbeitszahlen vorhersagbar.

Eine neuere Generation von Kompaktgeräten zeigt Abb. 8. Bei diesem Kompaktgerät wird die Wärme über eine Erdreichwärmepumpe bereitgestellt. Der Solekreis dient gleichzeitig zur Vorerwärmung der Außenluft. Die Wärmeverteilung erfolgt über einen Niedertemperaturheizkreis und über die Zuluft. Die maximale Heizleistung beträgt ca. 3 kW. Damit sind auch etwas größere Passivhäuser beheizbar und eine Entkopplung des Luftvolumenstroms von der Heizleistung ist gewährleistet.

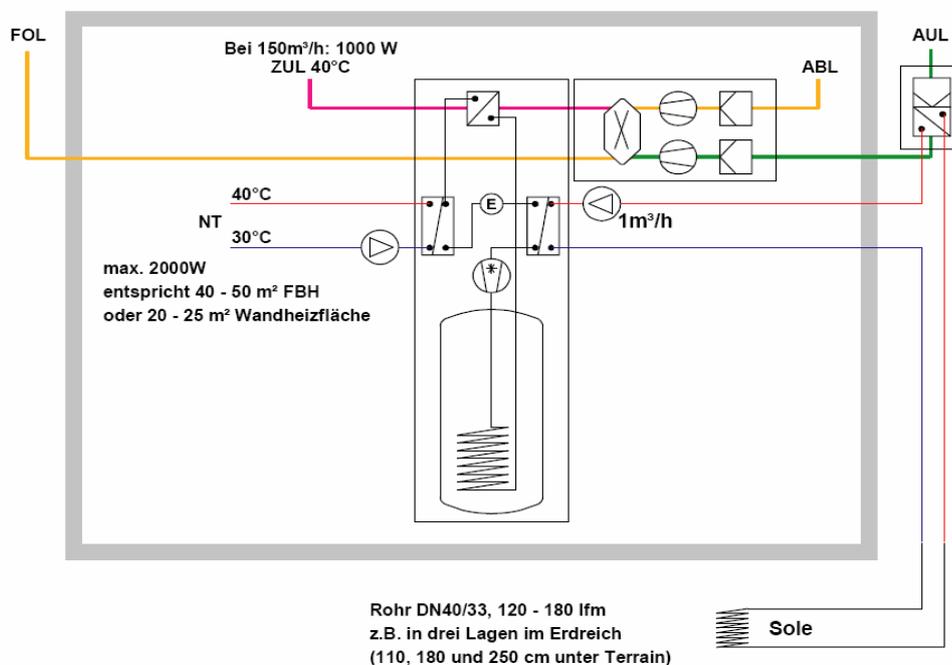


Abb. 8 Kompaktgerät mit Erdreichwärmepumpe. Die Wärmeverteilung erfolgt über die Zuluft und einen Niedertemperatur-Heizkreis [14].

Aufgrund der gleichmäßig hohen Wärmequellentemperaturen und der niedrigen Vorlauftemperatur lassen sich Jahresarbeitszahlen von deutlich über 3 realisieren.

Als Wärmequellen können bei Entzugsleistungen von ca. 2 kW auch Spiralsonden oder Erdwärmekörbe wie in Abb. 9 gezeigt verwendet werden. Die Erdarbeiten sind dabei relativ kostengünstig, die Anbindung an die Wärmepumpe relativ einfach. Eine genaue Auslegung in Abhängigkeit vom Erdreich ist unbedingt nötig.



Abb. 9 Spiralsonden [16] und Erdwärmekörbe [17] als mögliche Wärmequellen.

Empfohlen werden kann der Einsatz

- bei Passivhäusern mit geringer Personenbelegung und damit niedrigen Luftvolumenströmen,
- falls die Heizleistung der Kompaktgeräte mit Fortluftwärmepumpe nicht ausreicht (max. ca. 2 kW), meist bei größeren Gebäuden,
- bei „Fast“-Passivhäusern, falls durch ungünstige Lage etc. die Heizlasten über 10 W/m² liegen und die Hülle nur durch unverhältnismäßig hohen Aufwand weiter zu verbessern ist.

Durch die niedrigen Systemtemperaturen sind in fast allen Räumen Heizflächen nötig, womit der Kostenaufwand mit einem konventionellen Wärmeabgabesystem vergleichbar wird. Die Auslegung der Heizflächen kann wie in Abschnitt 3 beschrieben erfolgen. Erste ausgeführte Projekte zeigten einen problemlosen Betrieb und lassen Jahresarbeitszahlen größer 3 erwarten.

In Mehrfamilienhäusern wurden bisher meist Kompaktgeräte mit Fortluftwärmepumpe pro Wohnung oder konventionelle zentrale Heizsysteme eingesetzt. Nachteilig war dabei der hohe Verlegeaufwand für die Fort- und Außenluftleitungen sowie die mit dem Wärme- und Wasserverteilnetz verbundenen Wärmeverluste. Eine neue

semizentrale Lösung mit Erdwärmepumpen könnte eine Lösung für die Zukunft sein. Die Wärmerückgewinnung erfolgt in einem zentralen Gerät, womit im Gebäude nur „warme“ Luftleitungen mit wenig Dämmaufwand zu verlegen sind. Als Wärmequelle dient das Erdreich, die Soleleitung wird zu den einzelnen Wohneinheiten verlegt. In jeder Wohneinheit befindet sich eine Kleinstwärmepumpe zur Warmwassererwärmung und Heizung sowie eine Lüftungseinheit mit Filtern und Ventilatoren zur individuellen Regelung des Volumenstroms. Das Problem der Heizkostenabrechnung wird bei dieser Lösung ebenfalls elegant gelöst. Erfahrungen liegen beim Autor bisher noch nicht vor.

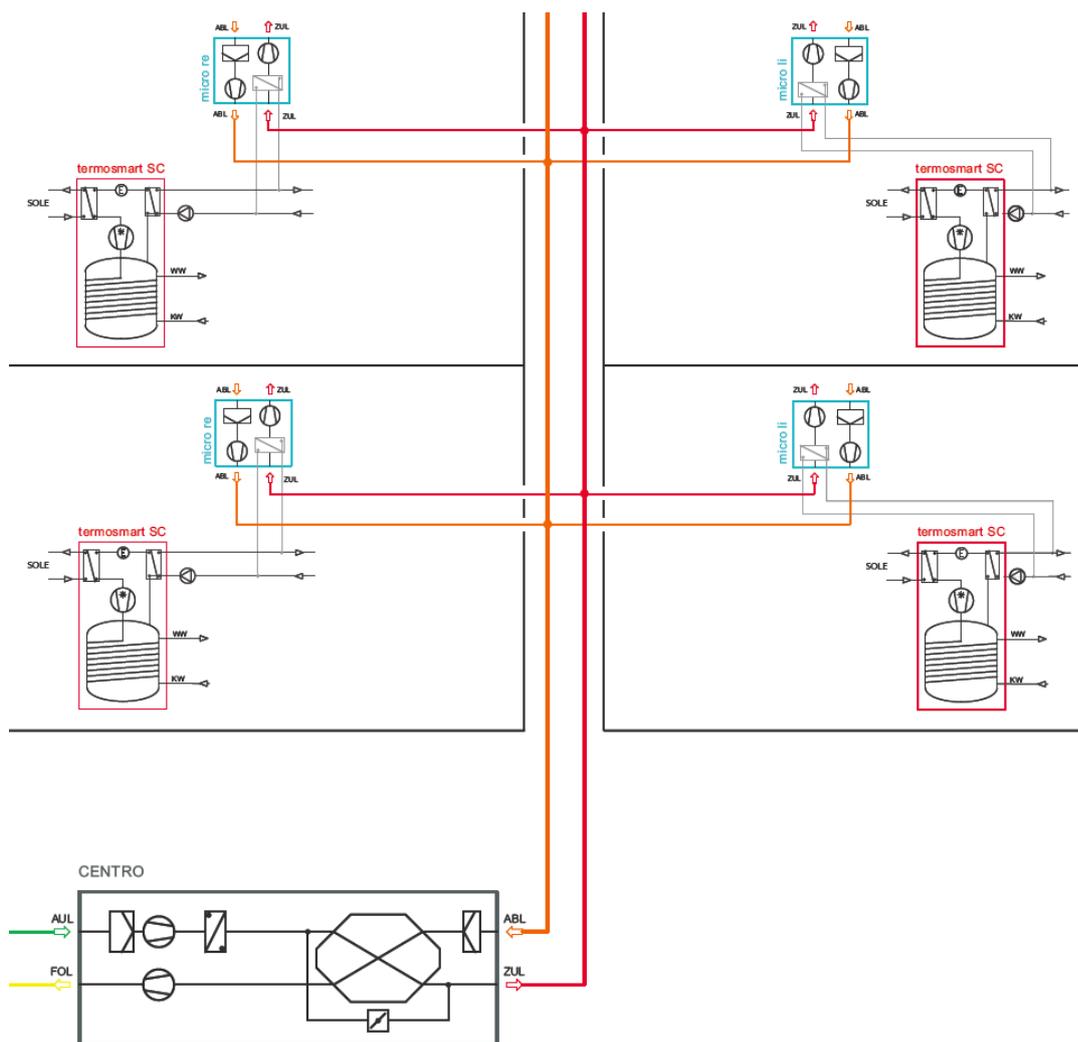


Abb. 10 Semizentrale Lösung mit zentraler Wärmerückgewinnung und dezentralen Wärmepumpen [18].

6 Biomasse Heizungen

Die Möglichkeiten der Biomasseheizungen in Passivhäusern und auch praktische Erfahrungen dazu wurden im Protokollband „Heizung mit Biobrennstoffen für Passivhäuser“ ausführlich diskutiert und dargestellt [19].

Im folgenden wird deshalb nur ein eingeschränkter Überblick ohne Anspruch auf Vollständigkeit gegeben. Dabei werden ausschließlich Geräte für die Aufstellung im Wohnraum behandelt, die über direkte und indirekte Wärmeabgabe über ein Wassersystem (Kessel) verfügen. Geräte mit ausschließlich direkter Wärmeabgabe und deren Einsatzmöglichkeiten im Passivhaus sind in [19] beschrieben.

Grundsätzlich sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Unbedingt erforderlich ist eine externe Verbrennungsluftzufuhr. Einfache Öfen mit Ansaugung der Verbrennungsluft aus dem Raum sind grundsätzlich ungeeignet.
- Eine möglichst dichte Ausführung des Verbrennungsraumes und der Abgasanlage, ideal ist eine DIBT Zulassung als raumluftunabhängiges Gerät (siehe auch [19])
- In Verbindung mit einer Wohnraumlüftungsanlage sollte ein Unterdruckwächter grundsätzlich eingesetzt werden.
- Zur Vermeidung von Überhitzung sind thermische Speichermassen und/oder ein Raumverbund hilfreich. Dies gilt vor allem für Öfen ohne indirekte Wärmeabgabe.

Kesselgeräte, d.h. Wärmerzeuger mit direkter und indirekter Wärmeabgabe an ein Wassersystem, erfüllen die Anforderungen an ein vollwertiges Heizungssystem.

Das Verhältnis von direkter und indirekter Wärmeabgabe beeinflusst die Überhitzungsgefahr im Aufstellraum. Typische Stückholzkessel geben 30% direkt in den Raum ab, bei Pelletskesseln sind Werte von 20% direkt üblich und im Extremfall bis auf 5% reduzierbar.

Drei in Passivhäusern erprobte Kessel zeigt Abb. 11.



Abb. 11 Drei im Passivhaus erprobte Pelletskessel:
 links: Standgerät mit 20/80 direkter zu indirekter Wärmeabgabe [20]
 mitte: Standgerät mit bis zu 95% indirekter Wärmeabgabe und DIBT Zulassung als raumluftunabhängig [21]
 rechte: Einbaugerät mit 20/80 direkter zu indirekter Wärmeabgabe [22]

Bei Stückholzkesseln ist die Auswahl derzeit noch geringer. Von uns wurden für Passivhäuser die beiden Geräte aus Abb. 12 projiziert.



- Ausschamottierter Brennraum (1)
- Wasserführende Wärmetauscher (2)
- Thermische Ablaufsicherung (3)
- Rauchrohrabgang oben/hinten (5)
- Fühler (6) thermische Ablaufsicherung
- Kesselfühler (7)
- Revisionsöffnung (8)
- Verbrennungsluftregler (10)
- Rücklaufanhebegruppe (11) (optional)
- Heizleistung: 5 – 10 kW
- Leistung wasserseitig ca. 70%
- Wirkungsgrad ca. 80%



Abb. 12 Zwei Stückholzkessel, die bereits in Passivhäusern eingesetzt wurden [23, 24].

Bei der Bauherrenberatung für eine Alleinheizung mit Biomasse bzw. zu Beginn der Projektierung ergeben sich eine Reihe von Fragen. Die wesentlichen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in Form einer Tabelle zusammengefasst (Tab. 5).

Tab. 3: Fragestellungen bei der Planung einer Biomasseheizung: Antworten aus eigener Projektierungserfahrung ohne Gewähr

Thema	Holzpelletskessel im Wohnraum	Stückholzkessel (Kaminofen) im Wohnraum
Brennstoffverbrauch: ermittelt mit PHPP 2007 [4], EFH, ca. 150 m ² EBF, 4 Personen, Aufstellraum ca. 40 m ² , 6m ² Solaranlage, Heizwärme 15 kWh/(m ² a), Klima: Standard Deutschland	Wirkungsgrad 90%, 80% wasserseitig Endenergie ca. 5000 kWh ca. 1000 kg pro Jahr (entspricht 67x15 kg Säcke)	Wirkungsgrad 80%, 70% wasserseitig Endenergie ca. 6000 kWh ca. 1.300 kg pro Jahr
Brennstofflagerung,- kosten	meist als Sackware (10 oder 15 kg) (Abstellraum, Garage) derzeit ca. €240 pro t	wie üblich, Preise regional unterschiedlich
Aufstellraum	> 30m ² empfehlenswert bzw. Raumverbund (wegen Überhitzung)	
Verbrennungsluftzufuhr	Direkt von außen, max. Leitungslängen, Bögen etc. beachten, im warmen Bereich dämmen, Luftdichtheit sicherstellen Automatische Absperrklappe für Verbrennungsluft verhindert Eigenkonvektion, nur für dafür zugelassene Geräte	-
Abgasleitung	Schornstein nötig, Auslegung durch Kaminhersteller	
Schallemissionen	ggf. Geräusche durch Gebläse oder Fördertechnik je nach Typ (Bauherren darauf hinweisen)	wie Kaminofen
Reinigung	Asche entleeren ca. alle 1 bis 2 Wochen (je nach Aschebehälter)	
Sicherheitseinrichtungen	STB am Kessel reicht aus, ggf. sind Sicherheitsventile am Kessel angebracht, d.h. Abwasseranschluss nötig Unterdruckwächter in Verbindung mit Lüftungsanlage i.A. nötig (siehe Beitrag Wolfgang Hasper in [19])	Thermische Ablaufsicherung nötig, d.h. Kaltwasser- und Abwasserleitung nötig
Umwälzpumpe und Rücklaufanhebung	Zum Teil im Kessel integriert, Rücklaufanhebung möglichst nah am Kessel anbringen	
Regelung	Kesselanforderung über Heizungsregelung, Außentemperaturführung nicht sinnvoll (siehe Text)	Über Kesseltemperatur wird Umwälzpumpe aktiviert
Solaranlage	Empfiehlt sich, um im Sommer Kessel nicht anheizen zu müssen, Auslegung für Brauchwasser in der Übergangszeit	
Notheizung	Ggf. elektrisch	

Ein mögliches Anlagenschema zeigt Abb. 13.

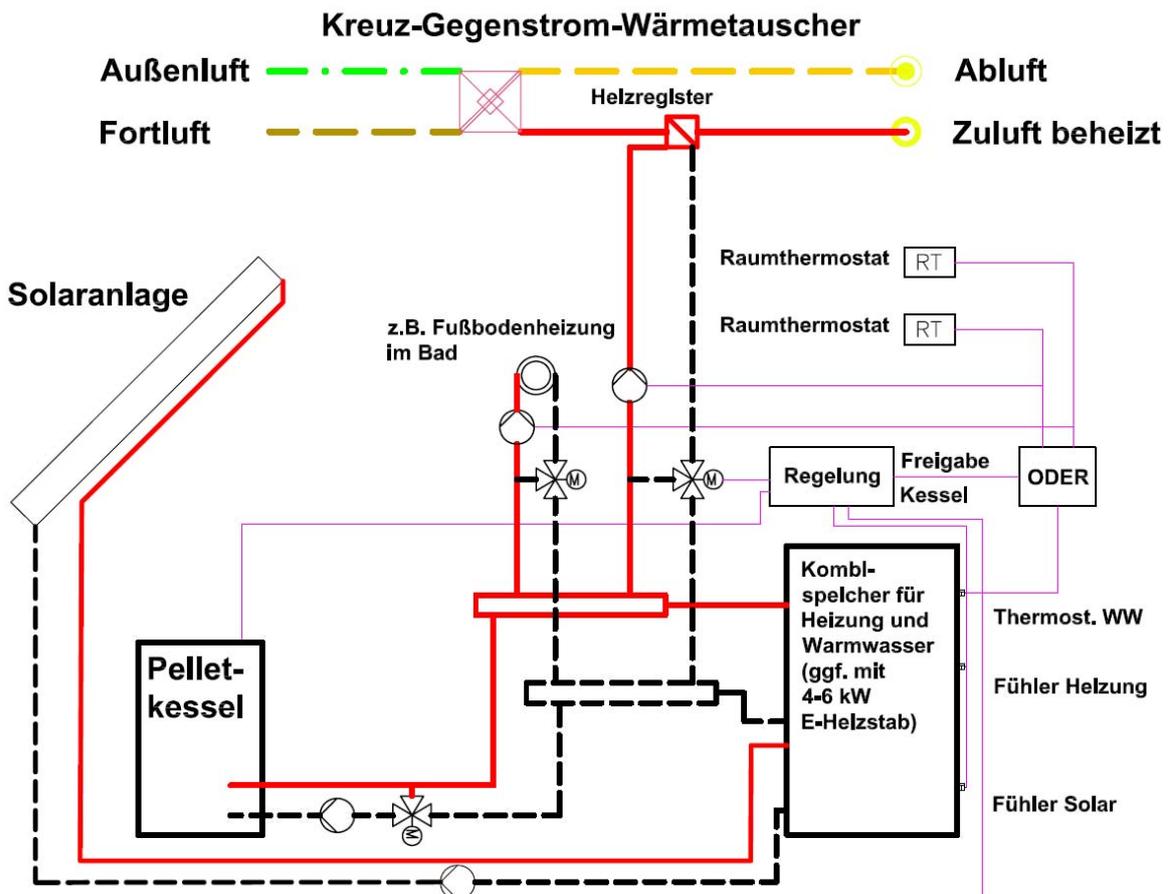


Abb. 13 Mögliches Anlagenschema für Holz- oder Holzpelletsheizungen. Bei Stückholzheizungen entfällt die Heizungsanforderung. Es empfiehlt sich eine Temperaturfernanzeige für den Warmwasserpuffer.

Folgende Besonderheiten haben sich aus unserer Sicht bewährt:

- Die Kesselanforderung erfolgt nur, wenn entweder ein Raumthermostat oder die Warmwasserbereitung Wärme anfordern und die jeweiligen Temperaturen im Pufferspeicher nicht mehr ausreichend sind.
- Die Mindestlaufzeiten eines Pelletskessels sind nach Herstellerangaben einzuhalten. Bei kleinen Wasserinhalten des Wärmetauschers reichen Zeiten ab ca. 30 min.
- Es ist darauf zu achten, dass die Umwälzpumpen nur bei Anforderung laufen. Frostschutzschaltungen sind im Passivhaus nicht nötig.
- Ein gut schichtender Pufferspeicher mit Warmwasserbereitung über einen externen Plattenwärmetauscher kann die Zahl der Anforderungen reduzieren.

- Bei Stückholzkesseln ist eine Temperaturfernanzeige für den Pufferspeicher hilfreich, um die Notwendigkeit des Einheizens zur Warmwasserbereitung beurteilen zu können.

Fazit: Vom Autor wurden bisher ca. 10 Einfamilienhäuser mit Biomassekesseln projektiert. Die Rückmeldungen der Bewohner sind durchwegs positiv, die gemessenen Verbrauchswerte liegen im Rahmen der mit dem PHPP prognostizierten Werte. Somit stellt aus unserer Sicht das Heizen mit Biomasse entgegen vieler Vorbehalte eine ernsthafte Alternative für die Beheizung von Passivhäusern dar.

7 Zusammenfassung

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung stellt einen wesentlichen Bestandteil eines Passivhauses dar. Es stehen Anlagenkonzepte vom Einfamilienhaus, über das Mehrfamilienhaus bis zum Nichtwohnungsbau zur Verfügung. Bewährt haben sich zentrale und semizentrale Systeme, die auf dem Prinzip der Zonierung in Zu- und Abluftbereiche basieren. Zu achten ist neben hygienischen Aspekten auf eine hohe Stromeffizienz, eine gute Wärmerückgewinnung und eine fundierte Projektierung der Volumenströme sowie der Schallpegel.

Im Prinzip steht auch im Passivhaus die ganze Vielfalt der Wärmerzeugung und – abgabe zur Verfügung. Dabei haben sich jedoch einige System als besonders geeignet (oder beliebt) und effizient herausgestellt. Kompaktgeräte für Heizung, Warmwasser und Lüftung mit Wärmepumpen stellen mit einer an die Anforderungen des Passivhauses angepassten Wärmeleistung eine platzsparende, komfortable und kostengünstige Lösung dar. Die relativ niedrigen Jahresarbeitszahlen bis ca. 3 sind auch ökologisch durch den insgesamt geringen Energiebedarf von Passivhäusern zu rechtfertigen. Aufgrund der fehlenden Heizleistungsreserven ist eine sorgfältige Projektierung der Heizlast mit dem PHPP erforderlich. Inzwischen stehen Kompaktgeräte für alle Bedürfnisse vom Einfamilienhaus bis zum Mehrfamilienhaus zur Verfügung.

Als Alternative zu den Wärmepumpenlösungen haben sich unter anderem die Biomasse Heizung auch im Passivhaus etabliert. Die Vorteile liegen vor allem im sehr niedrigen Primärenergieverbrauch aber auch im subjektiven Komfortgewinn durch die höheren möglichen Heizleistungen. Damit lassen sich meist auch Raumtemperaturen über 22°C sowie kurze Wiederaufheizzeiten realisieren.

Die Projektierung und insbesondere die Heizlastberechnung mit dem PHPP haben sich als zuverlässig erwiesen, solange diese auch sorgfältig durchgeführt wird. Meist

verhalten sich die Gebäude noch „gutmütiger“ als berechnet, worauf man allerdings nicht grundsätzlich vertrauen sollte.

Abschließend ist ein Vergleich des Endenergiebedarfs, projiziert mit dem PHPP, exemplarisch für ein Einfamilienhaus mit 5 Personen und einer Wohnfläche von ca. 200 m² für drei Heizsysteme dargestellt (Abb. 14):

- Wärmepumpen-Kompaktgerät
- Wärmepumpen-Kompaktgerät mit Solaranlage
- Holzpellets-Raumkessel mit Solaranlage

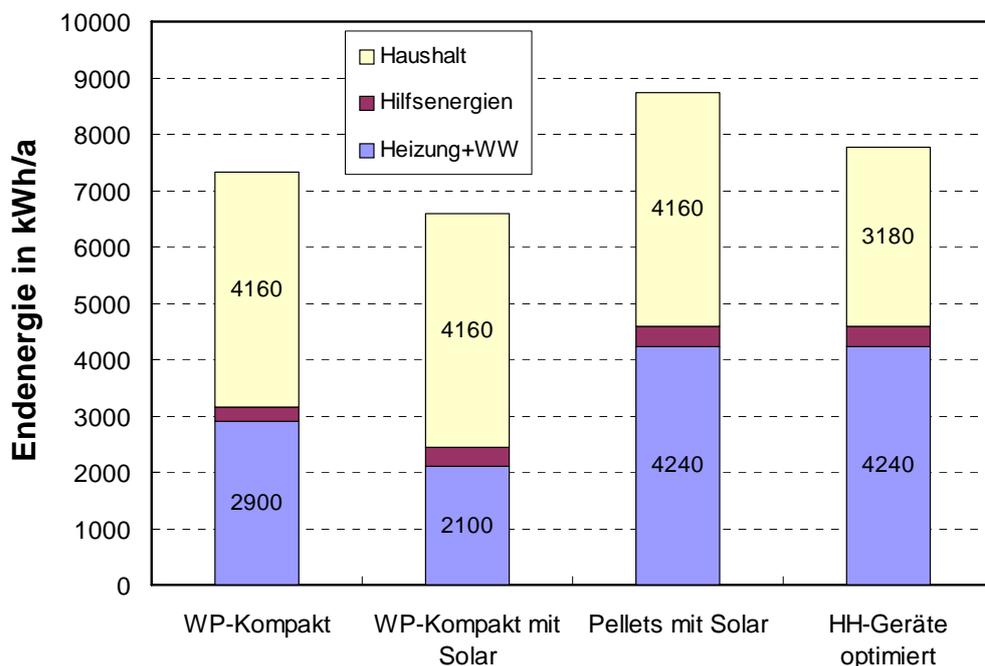


Abb. 14 Vergleich des Endenergiebedarfs für verschiedene Haustechniksysteme in einem Passivhaus mit 200 m² Wohnfläche und 5 Bewohnern. Die gelben Balken stellen den Anteil des Haushaltsstroms dar. In der Variante „HH-Geräte optimiert“ wurden extrem stromsparende Geräte und eine Pelletsheizung eingesetzt.

Es ist deutlich zu erkennen, welchen Einfluss der Strombedarf der Haushaltsgeräte hat (gelber Balken). Eine weitere Optimierung der Heiztechnik hat also nur Sinn, wenn auch auf der Seite der Haushaltsgeräte Effizienzsteigerungen erreicht werden.

Noch deutlicher wird der Einfluss des Stromverbrauches und speziell des Anteils der Haushaltsgeräte bei Betrachtung des Primärenergiebedarfs. Die Holzpelletsvariante ist aufgrund des geringen Primärenergiefaktors jetzt deutlich am günstigsten. Besonders in dieser Variante wird der dominierende Einfluss des Stromverbrauchs der Haushaltsgeräte auf den Primärenergiekennwert deutlich.

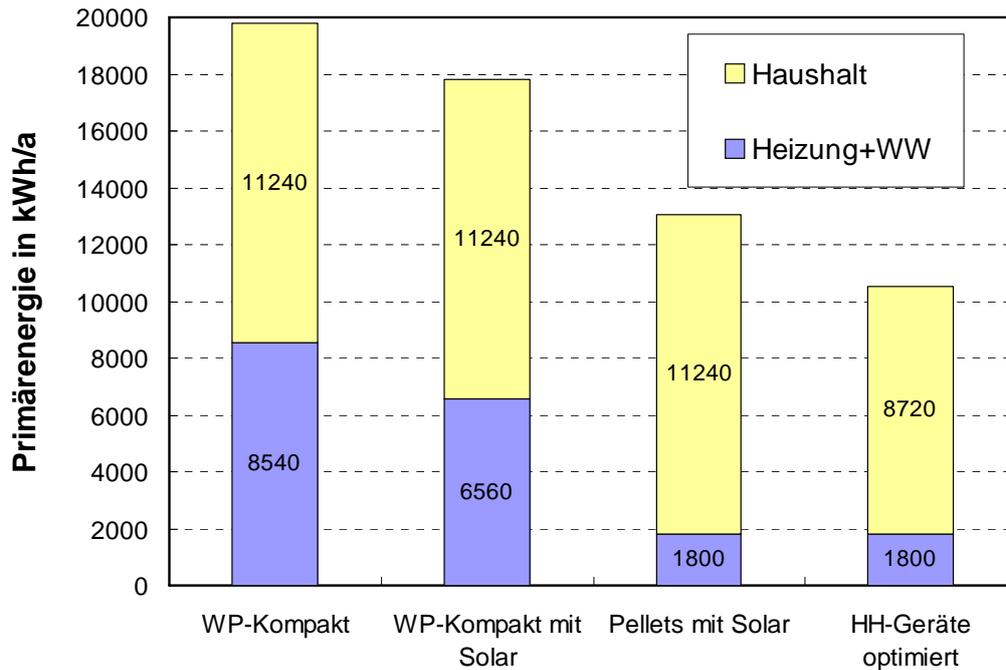


Abb. 15 Vergleich des Primärenergiebedarf der 3 Heiztechnikvarianten (Primärenergiefaktor Strom 2,7, Holzpellets 0,2)

Diese abschließenden Grafiken sollen nicht dazu verleiten, ineffiziente Heiztechniksysteme einzusetzen. Im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtung ist jedoch der Einbezug der Haushaltsgeräte oder sonstiger Stromverbraucher im Nichtwohnungsbau auf keinen Fall zu vernachlässigen. Passivhäuser benötigen nachweislich sehr wenig Energie für Heizung, eine weitere Optimierung zu einem Nullheizenergiehaus ist auch aus dem Gesichtspunkt der sonstigen Stromverbraucher heraus derzeit nicht sinnvoll.

Für die Heiztechnik lässt sich aus der Primärenergiebetrachtung ableiten, dass auch im Passivhaus der Einsatz von Biomasse in Verbindung mit Solartechnik sinnvoll ist.

-
- 1 z.B.: Projektberichte cost efficient passivehouses as european standards - www.cepheus.de
 - 2 Bildquelle: Recobox comfort, Aerex Haustechniksysteme GmbH, www.aerex.de
 - 3 Produktunterlagen Fa. Drexel&Weiss Energieeffiziente Haustechniksystem GmbH, Wolfurt Österreich, Typ Aerosilent
 - 4 PHPP 2007: Passivhaus Projektierungs Paket, W. Feist, R. Pfluger, B. Kaufmann, J. Schnieders, O. Kah, Passivhaus Institut, Juni 2007
 - 5 Heizlast in Passivhäusern – Validierung durch Messungen, Wolfgang Feist, Abschlußbericht IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38 (2005), download unter www.passiv.de
 - 6 DIN EN 12831 7-2008: Heizungsanlagen in Gebäuden Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Beuth Verlag (2008)
 - 7 Planung und Abnahme von Lüftung und Heizung, Monika Kurz, Norbert Stärz, Passivhaustagung 2008

- 8 Protokollband AK 38: Heizsysteme im Passivhaus - Statistische Auswertung und Systemvergleich, Beitrag Rainer Pfluger, Passivhaus Institut (2008)
- 9 Protokollband AK 26: Neue Passivhaus-Gebäudetechnik mit Wärmepumpen, Passivhaus Institut Darmstadt
- 10 Zertifizierung und primärenergetische Bilanzierung von Wärmepumpen-Kompaktgeräten, Rainer Pfluger, Passivhaustagung 2008
- 11 Produktunterlagen Fa. Tecalor GmbH, Holzminden, www.tecalor.de, Typ THZ (sol)
- 12 Calculation method for the seasonal performance of heat pump compact units and validation: C. Wemhöner, R. Dott, Dr. Th. Afjei, H. Huber, D. Helfenfinger, P. Keller, R. Furter, final report, Feb. 2007
- 13 Produktunterlagen Fa. Aerex Haustechniksysteme GmbH, Villingen-Schwenningen, www.aerex.de, Typ Aerex Passivhauskompaktaggregat
- 14 Produktunterlagen Fa. Drexel&Weiss Energieeffiziente Haustechniksystem GmbH, Wolfurt Österreich
- 15 Protokollband AK 34: Schallschutz beim Einsatz von Wärmepumpen und Wärmepumpen-Kompaktgeräten im Passivhaus, Passivhaus Institut Darmstadt
- 16 Produktunterlagen Fa. Sano Erdwärme, Schleißheim Österreich, www.sano-erdwaerme.at
- 17 Produktunterlagen Fa. Betatherm GmbH&Co KG, Wangen, www.betatherm.de
- 18 Produktunterlagen Fa. Drexel&Weiss Energieeffiziente Haustechniksystem GmbH, Wolfurt Österreich, Typ Aerosmart
- 19 Heizung mit Biobrennstoffen für Passivhäuser, Protokollband Nr. 36 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase IV, Passivhaus Institut, Darmstadt 2007
- 20 Produktunterlagen Fa. Calimax Entwicklungs- und Vertriebs GmbH, Röthis, Österreich, www.calimax.at, Typ: Twist 20/80
- 21 Produktunterlagen Fa. Wodtke GmbH, Tübingen, www.wodtke.com, Typ: evo.tec Waterplus
- 22 Produktunterlagen Fa. Wodtke GmbH, Tübingen, www.wodtke.com, Typ: PE-Heizeinsatz Waterplus
- 23 Produktunterlagen Fa. Rika Metallwarenges.m.b.H. & Co KG, Micheldorf, Österreich, www.rika.at, Typ: Tavo Aqua
- 24 Produktunterlagen Fa. Wodtke GmbH, Tübingen, www.wodtke.com, Typ Momo