

Praxis der Wärmeversorgung mit Lüftungskompaktgeräten für Solar-Passivhäuser, Erfahrungen vom Teststand, einem frei stehenden Einfamilienhaus und einer Reihenhauszeile

Andreas Bühring

Einstimmung

Im folgenden Beitrag kann ich Ihnen eine Erfolgsgeschichte darstellen, die sich in den letzten 4 Jahren abgespielt hat und an der wir das Glück hatten, beteiligt zu sein. Diese Erfolgsgeschichte handelt vom Passivhaus, wie es ursprünglich von Wolfgang Feist entwickelt wurde. Es geht dabei um ein Gebäudekonzept, das ökonomisch so günstig liegt, dass es den Massenmarkt im Wohnungsneubau erreichen kann, aber gleichzeitig auf der Errichtung von extrem energieeffizienten Gebäude beruht.

Die ökonomischen Zusammenhänge sind in Abbildung 1 dargestellt: Die Energiekosten sinken mit sinkendem Heizwärmebedarf von konventioneller Bauweise über Niedrigenergiebauweise bis zu Passiv- und Nullenergiehäusern. Gleichzeitig steigen die Investitionskosten, um diese niedrigeren Energieverbrauchsstandards zu erreichen. Diese Investitionskosten steigen allerdings nicht linear, sondern jede eingesparte kWh wird immer teurer. Die in der Abbildung dargestellten Gesamtkosten sinken daher bis zum Niedrigenergiehaus, da mehr Energiekosten eingespart werden können als zusätzliche Investitionen aufgewendet werden. Eine weitere Reduktion des Heizwärmebedarfs ist derzeit allerdings nicht mehr wirtschaftlich. Das war auch die Krux von vielen Solarpassiv- oder Solarhäusern, die wir betreuten: Die Gebäude benötigen zumeist neben der aufwendigen teuren Gebäudehülle eine sehr aufwendige Technik. Diese Gebäudekonzepte sind für Einzelpersonen umsetzbar und sehr schöne Demonstrationsprojekte, sie sind allerdings nicht massenmarktfähig.

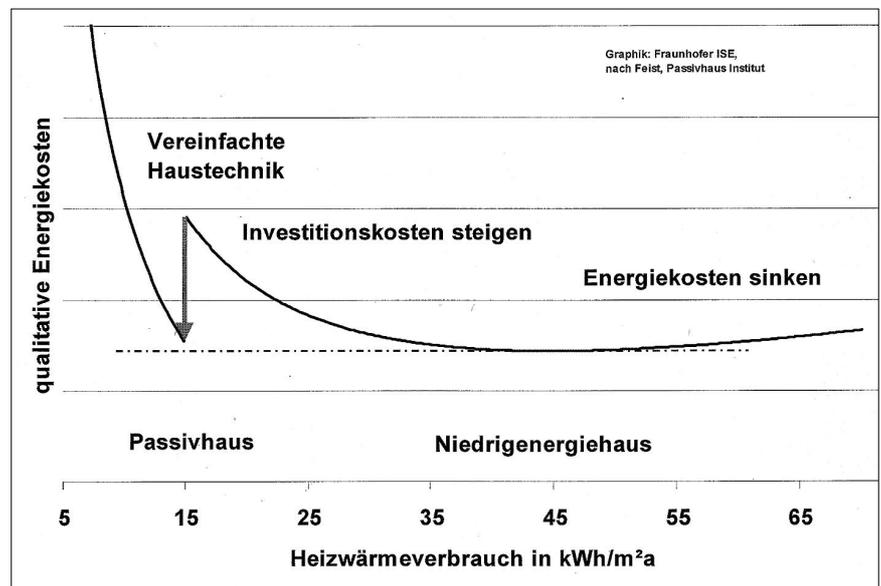


Abb. 1: Kostenausgleich durch integrale Haustechnik

Hier setzt die Überlegung von Wolfgang Feist an, und das ist eigentlich das große Verdienst der Idee des Passivhauses: Der Heizwärmebedarf und die Heizlast werden soweit reduziert, dass die Haustechnik durch den Wegfall eines konventionellen, hydraulischen Heizsystems extrem vereinfacht werden kann und dadurch Investitionskosten wegfallen.

Die vereinfachte Haustechnik besteht darin, dass das Lüftungssystem, das in sehr guten Niedrigenergiehäusern vorhanden sein muss, auch als Heizwärmeverteilsystem genutzt wird. Das Passivhaus verfügt also über eine Heizung, hat aber keine Heizkörper mehr. Die Heizwärmeverteilung erfolgt über das Lüftungssystem. Das ist die Grundidee, ein ökonomischer Ansatz, der eine vereinfachte Haustechnik vorsieht, keine Techniksclacht. Die Heizung ist ja eigentlich nur dazu da, einen Mangel des Hauses auszugleichen, ein „schlechtes“ Haus zu beheizen. Und genau diese konventionelle Heizanlage wird eingespart, man erreicht das Kostenniveau vom Niedrigenergiehaus – das Passivhaus ist wirtschaftlich.

Diese Idee griffen wir vor 4 Jahren auf und arbeiteten gemeinsam mit Industrieunternehmen an einer technischen Lösung, den sogenannten Lüftungs-Kompaktgeräten. Diese fungieren als konventionelles Lüftungsgerät, zusätzlich ist aber eine kleine Wärmepumpe integriert, die die in der Abluft vorhandene Wärme nutzt, das Gebäude oder die Wohnung zu beheizen und mit Warmwasser zu versorgen.

Der folgende Beitrag spannt den Bogen vom ersten Konzeptentwurf über erste Geräte und Teststand-

messungen, Pilot- und Demonstrationsprojekte bis zu Erfahrungen mit der Markteinführung und zu zukünftigen Entwicklungen und Trends in der Gerätetechnik.

Konzeptentwurf und Simulation

Die wesentlichen Bestandteile des Lüftungs-Kompaktgerätes sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt (grau unterlegter Bereich): Das Lüftungsgerät ist mit einem Plattenwärmetauscher mit einer Rückwärmzahl von 70-80 % ausgerüstet und besitzt als wesentliche Komponente eine kleine Wärmepumpe. Diese Wärmepumpe ist allerdings nicht vergleichbar mit den Wärmepumpen in Bestandsgebäuden oder Niedrigenergiehäusern, die eine sehr aufwendige Wärmequelle brauchen, üblicherweise das Erdreich, um

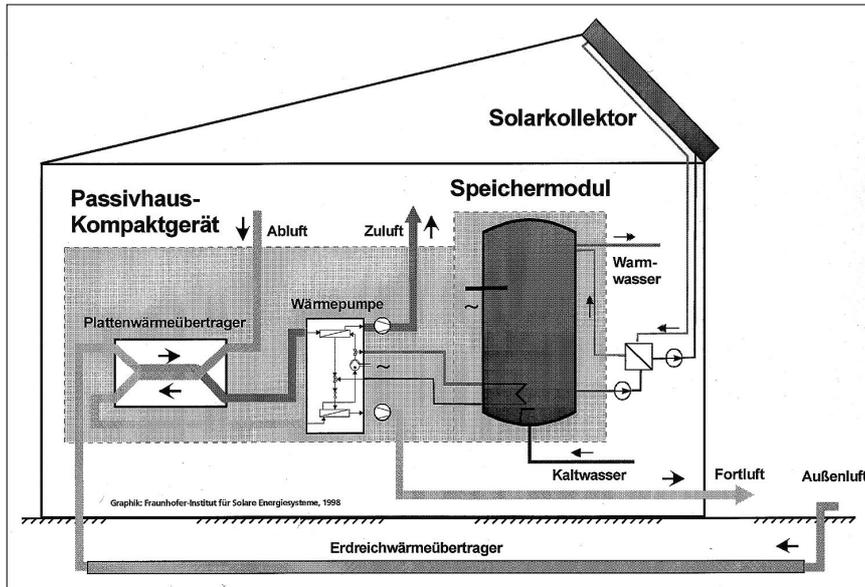


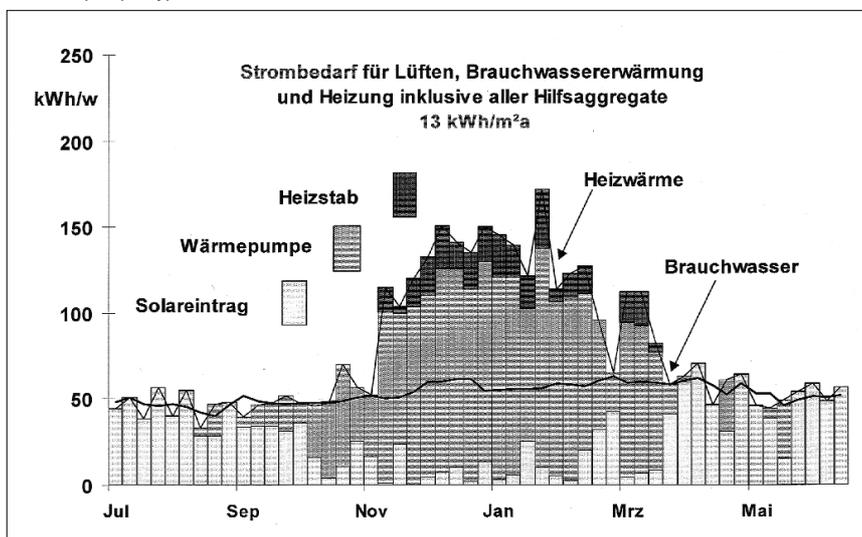
Abb. 2: Anlagenkonzept mit Abluftwärme

einem ausreichend hohen Arbeitszahl zu erreichen. Die Erschließung des Erdreiches für eine Wärmepumpe ist sehr teuer. Die Erdwärme wird entweder mittels Erdsonden oder durch oberflächennahe Absorber genutzt, die Erschließungskosten liegen in der Größenordnung von DM 10.000,- (ATS 70.000,-). Das System kann daher wirtschaftlich nicht mehr mit einem konventionellen Heizsystemen konkurrieren.

Der entscheidende Unterschied zu konventionellen Wärmepumpensystemen liegt darin, dass die Heizleistung so gering ist, dass es ausreicht, wenn die Wärmepumpe nur noch jene Wärme zur Verfügung hat, die in der Abluft aus den Wohnräumen enthalten ist. Die Abluft übergibt zuerst einen Teil der Wärme an die vom Erdreichwärmetauscher vorgewärmte Außenluft. Sie besitzt danach immer noch ein Temperaturniveau von 8-12 °C und enthält noch im Wesentlichen die gesamte Feuchte, die in den Wohnräumen produziert wurde. Das entspricht einer Wärmeleistung in der Größenordnung von 800 W, die die Wärmepumpe entnimmt und im Heizfall an die Zuluft abgibt. Über die Zuluft wird die Heizwärme in den Wohnräumen verteilt. Wenn kein Heizbedarf da ist, heizt die Wärmepumpe den Trinkwasserspeicher auf, der auch von einer thermischen Solaranlage beladen werden kann. Dieses Energiekonzept geht tatsächlich erst beim Passivhaus auf. Gebäude mit höheren Heizlasten haben Arbeitszahlen des Lüftungsgerätes zur Folge, die nicht mehr akzeptabel sind.

Dieses Anlagenkonzept haben wir vor 3 Jahren mit Hilfe eines neuen Simulationsmodells für das Simulationsprogramm TRNSYS geprüft. Ein simulierter Jahresverlauf für ein typisches Passivhaus ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Warmwasserverbrauch verläuft ziemlich gleichförmig über das Jahr hinweg, der

Abb. 3: Simulation mit neuer Wärmepumpentype in TRNSYS



Der Warmwasserverbrauch, weshalb ein Anlagenkonzept, das nur den Heizwärmebedarf sinnvoll deckt und das Warmwasser direkt elektrisch erwärmt, am eigentlichen Problem vorbeigehen würde. Die Restheizbedarf, der nicht mehr durch die Solaranlage und die Wärmepumpe gedeckt werden kann, wird mit einem Heizstab direkt elektrisch zugeführt. Dieser Beitrag ist der kritischste Teil und sollte wegen des hohen Primärenergieinhalts von elektrischem Strom in der Größenordnung von ca. 10 % des Gesamtwärmebedarfs bleiben.

Insgesamt wurde ein Strombedarf von 13 kWh/m² und Jahr simuliert, also im Bereich von 10-15 kWh/m² und Jahr für Heizung, Lüftung und Warmwasser. Dieser Endenergiebedarf hat einen ungefähr um den Faktor 3 höheren Verbrauch an Primärenergie zur Folge (Deutscher Kraftwerkmix, dieser entspricht in etwa dem westeuropäischen), also ca. 30 - 45 kWh Primärenergie/m² und Jahr als Grenzwert. Der Passivhausgrenzwert für die Haustechnik liegt bei 65 kWh Primärenergie/m² und Jahr. Die TRNSYS-Simulation zeigt, dass dieser Grenzwert beim Einsatz eines Lüftungs-Kompaktgerätes im Passivhaus deutlich unterschritten werden kann.

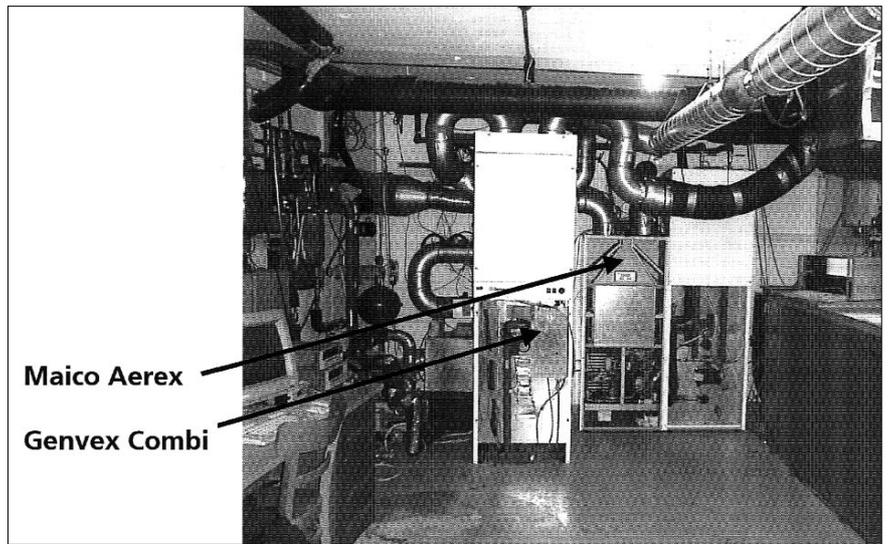


Abb. 4: Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte

Messungen am Teststand

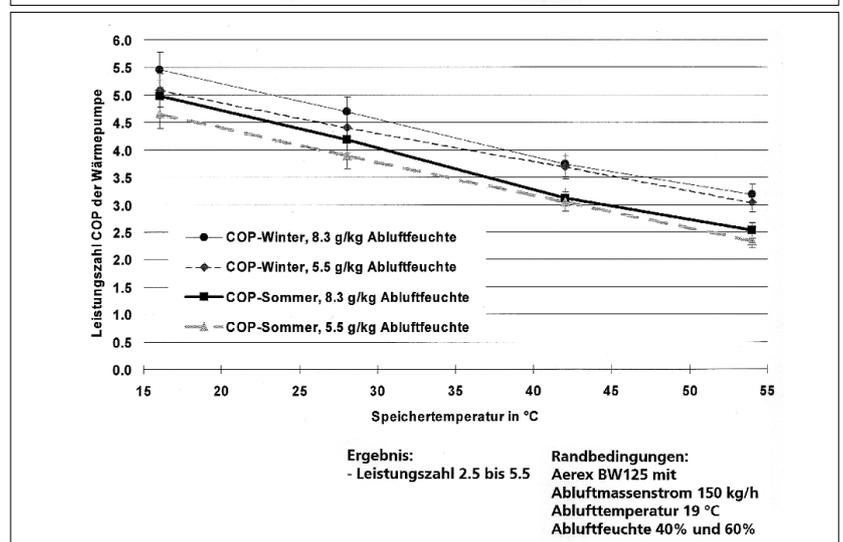
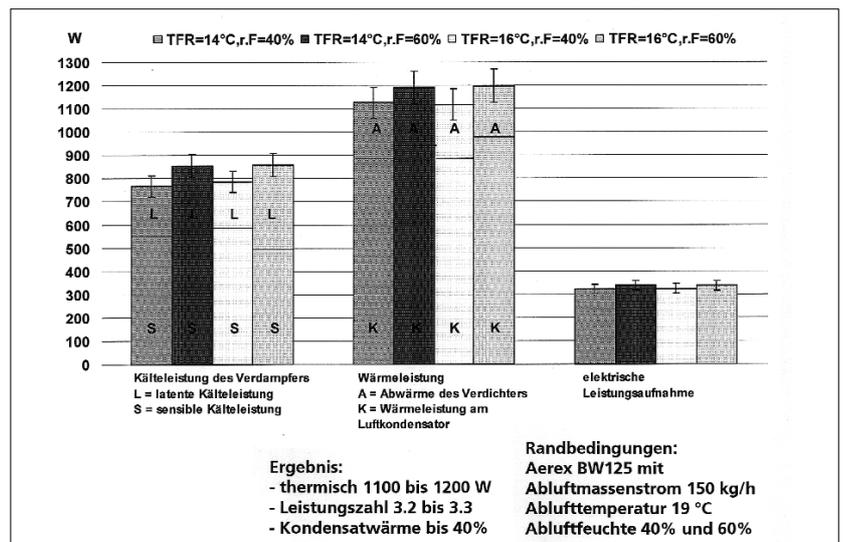
Auf der Basis der ermutigenden Simulationsergebnissen wurde ein Teststand aufgebaut, auf dem Lüftungscompactgeräte getestet werden können. In Abbildung 4 ist dieser Teststand dargestellt. Das Compactgerät Maico Aerex (Fa. Drexel, Vorarlberg), welches auch in den beiden bewohnten Projekten sehr intensiv vermessen wurde, lieferte im Heizbetrieb in typischen Betriebspunkten Leistungszahlen von über 3 (siehe Abbildung 5). Auch im Bereich der Brauchwassererwärmung wurden bei Speichertemperaturen bis ca. 45 °C Leistungszahlen von 3 gemessen (siehe Abbildung 6). Das bedeutet, dass die Wärme, die im Kraftwerk für die Herstellung von Strom aufgewendet wurde (Primärenergiefaktor 3), mit Hilfe des Lüftungscompactgerätes wieder vor Ort an Heiz- und Brauchwasserwärme zur Verfügung gestellt werden kann.

Messergebnisse auf dem Teststand Abb. 5: Luftheizung (oben) Abb. 6: Brauchwassererwärmung (unten)
Die Leistungszahl gibt das Verhältnis aus gelieferter Wärme zum eingesetzten Strom an.

Pilotprojekt Einfamilienhaus Büchenau

Die Teststandmessungen waren die Basis dafür, dass das ISE als Forschungsinstitut es auch Bauherrn „zumuten“ konnte, diese ersten Lüftungsgeräte in Gebäuden mit „gewöhnlichen Bewohnern“ einzusetzen. Im Gegenzug dafür, dass diese Bauherrn zu dem bisschen technischen „Schabernack“ bereit waren, hat das ISE die Verantwortung dafür übernommen, bei Problemen einzuspringen. Das ISE unterstützte die Bauherrn/frauen bei der Haustechnikauslegung, dafür erhielt es die Einwilligung, das eingesetzte Lüftungs-Kompaktgerät für ein detailliertes Messprogramm auszurüsten.

In Abbildung 7 ist das Solar-Passivhaus dargestellt. Es steht in Büchenau, nördlich von Karlsruhe in Deutschland. Es handelt sich um ein freistehendes Einfamilienhaus mit 120 m² Wohnfläche, das als Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem errichtet wurde. Der Heizwärmebedarf wurde vom Architekten mit 17 kWh/m² und Jahr berechnet, befindet sich also in der Nähe eines Passivhauses.

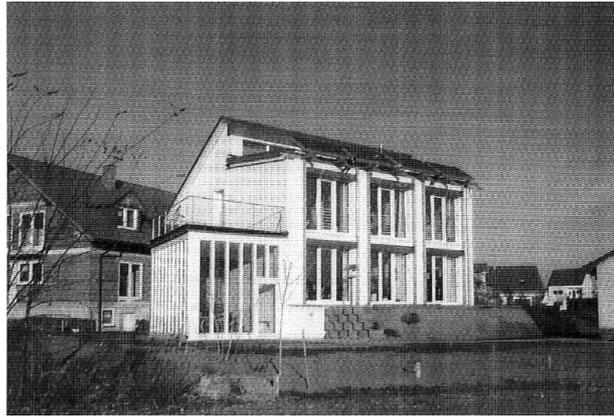


120 m² Wohnfläche

Massivbau mit
Wärmedämm-Verbundsystem:

- $U_{\text{opak}} < 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{Fenster}} = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $g_{\text{Fenster}} = 0.60$

8 m² Solarkollektor,
30 m Erdwärmetauscher
Lüftungs-Kompaktgerät Maico
Aerex



Architekt: Schuster, Karlsruhe
Wohnende: Steuernagel / Hauth

Abb. 7: Solarpassivhaus
Büchenau

Er liegt ca. 1,5 m tief, wobei ca. 1 m davon die aufgeschüttete Terrasse ist. Es war also nur ein Erdgraben von 0,5 m Tiefe zu ziehen, also eine sehr einfache Lösung. Der Bauherr sagte, ihm hätte der Erdwärmetauscher DM 500,- (ca. 3500,- ATS) für die Komponenten und eine Kiste Bier für die Freunde gekostet.

Die thermische Solaranlage ist mit 8 m² relativ groß dimensioniert, um das Dach architektonisch wie ein Satteldach aussehen zu lassen, eine Anforderung der Baubehörde. Der Erdreichwärmetauscher wurde mit wenig Aufwand unter der aufgeschütteten Terrasse verlegt. Er besitzt eine Gesamtlänge von 30 m, ist als Kabelschutzrohr ausgeführt, wobei sich durch ca. 10 m parallele Führung eine tatsächlich durchströmte Länge von ca. 20 m ergibt.

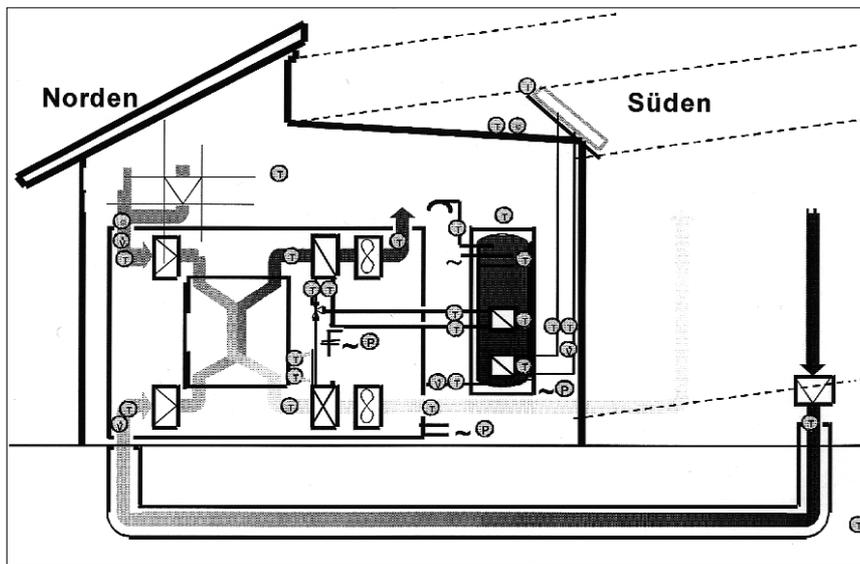


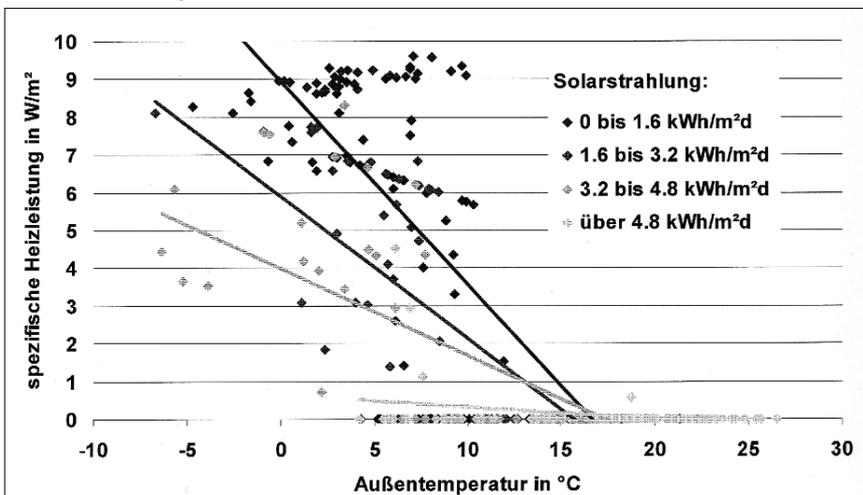
Abb. 8: Solarpassivhaus
Büchenau, Messkonzept

Das Lüftungscompactgerät ist im unbeheizten Keller installiert. Das ist nicht sinnvoll, man sollte es in der thermischen Zone aufstellen, um die verlorene Wärme für die Beheizung nutzbar zu machen. Da die Grundrisse bereits fertig waren, als der Bauherr an uns herantrat, konnte keine integrale Planung mehr stattfinden und einfach kein Platz mehr in der beheizten Zone für das Compactgerät gefunden werden. Abbildung 8 zeigt schematisch das Messkonzept, es wurden insgesamt 35 Sensoren eingebaut. Neben den Wetterbedingungen wie Sonnenstrahlung und Außentemperaturen wurden alle Kenngrößen ermittelt, um eine detaillierte Energiebilanz des Compactgerätes erstellen zu können, und den Einfluss der einzelnen Komponenten abzubilden.

Damit sollten auch Verbesserungspotentiale aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse der Messungen einer vollständigen Heizperiode sind in den Abbildung 9-14 dargestellt. Die spezifische Heizleistung pro Tag (den Tagesmittelwert) bildet Abbildung 9 in Abhängigkeit von der Außentemperatur ab. Die für Zuluftheizungen angestrebte maximale spezifische Heizleistung von 10 W/m² wird unterschritten. Deutlich sichtbar wird auch, dass die Heizkurve umso niedriger liegt, je sonniger der

Abb. 9: Solarpassivhaus
Büchenau, Heizkurven



Tag ist, obwohl in diesen Fällen auch die Außentemperaturen besonders tief liegen. Der Solareintrag senkt den Heizwärmeverbrauch also sehr viel stärker als in einem Niedrigenergiehaus oder in einem Bestandsgebäude, wo der höhere Transmissionswärmeverlust die solaren Gewinne überlagert. Die besonders kalten Tage sind also sehr sonnige Tage, es gibt keine sehr kalten und gleichzeitig sonnenarme Tage. Somit wäre es für ein Passivhaus völlig unsinnig, das Heizsystem gemäß DIN 4701 oder ÖNORM M 7500 auf die Normaußentemperatur (in Büchenau -10 °C) auszulegen. Ein Solar-Passivhaus hat den höchsten Heizwärmeverbrauch, die höchste Heizleistung im Tem-

peraturbereich von ca. 0 - 5 °, nämlich an kühlen, aber nebligen Tagen, auf diese muss ein Solar-Passivhaus ausgelegt werden. Diese relevanten Außentemperaturen hängen natürlich vom Standort und von der Bauweise (solar optimiert oder nicht) ab. Das Haus Büchenau steht im Oberrheingraben, wo 1-3 Wochen Nebel vorherrschen kann und die Solareinträge fehlen.

Abbildung 10 stellt die Wirkungsweise des Erdreichwärmetauschers dar. Deutlich wird der dämpfende Einfluss des Erdreichwärmetauschers. Die am Standort Büchenau auftretenden Mindesttemperaturen von -7 °C (vergleichsweise mildes Klima) werden auf +3 bis +4 °C angehoben. Nur an wenigen Tagen liegt die Zulufttemperaturen unter 5 °C, d.h. dieser Erdreichwärmetauscher sorgt absolut sicher für Frostfreiheit und wärmt die Luft ausreichend für das Kompaktgerät vor.

Die Wirkung des Lüftungs-Kompaktgerätes ist in Abbildung 11 festgehalten, wobei die Abkühlung der Abluft durch die Wärmepumpe in 3 Minutenschritten dargestellt ist. Die Lufttemperatur liegt zwischen 13 und 10 °C, die Austrittstemperatur zwischen -2 und +2 °C. Diese Abkühlung unter 0 °C ist ein ganz wichtiges Merkmal für Lüftungs-Kompaktgeräte, sie können die Wärmeanforderungen nur dann erfüllen, wenn auch der Bereich der Vereisung genutzt wird. Das untersuchte Lüftungsgerät wird bewusst in die Vereisung hineingefahren und dann in bestimmten Zyklen abgetaut. Es wird deutlich, dass die Abluft umso weniger abgekühlt wird, je höher ihr Feuchtegehalt liegt. Die Feuchte wird von der Wärmepumpe ähnlich einem Brennkessel auskondensiert und sorgt dafür, dass die Temperatur nicht zu weit absinkt. Damit liegen für die Wärmepumpe bessere Betriebsbedingungen vor, die dadurch eine höhere Leistungszahl erreichen kann.

Das Zusammenwirken von Speicher und Wärmepumpe kann anhand eines typischen Tagesverlaufs an einem Wintertag verdeutlicht werden (siehe Abbildung 12 und 13). Es handelt um einen sonnigen, kühlen Tag. Deutlich sichtbar ist in Abbildung 12 die thermische Schichtung im Speicher. Sichtbar ist auch die solare Beladung des Speichers durch die Solaranlage, sodass er in den Abendstunden weitestgehend bis auf 50 °C aufgeladen ist. In den Abendstunden ist ein deutlicher Temperaturabfall im unteren Speicher-Bereich erkennlich, der durch das Duschen der Bewohner verursacht ist. Der obere Speicher-Bereich hat keine Einbuße, d.h. die thermische Schichtung im Speicher bleibt also auch bei Entnahme von Warmwasser erhalten. Der solare Anteil ist allerdings nur die halbe Wahrheit an einem Wintertag. Die Solaranlage allein kann das Haus nicht mit Wärme ver-

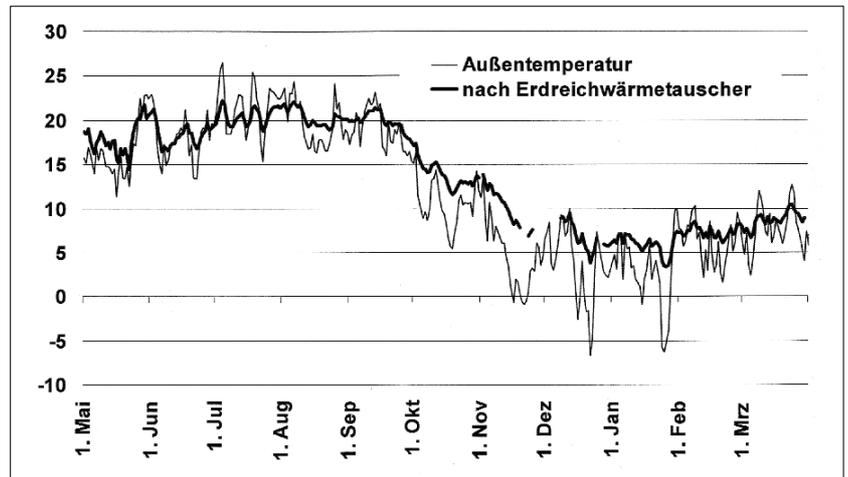


Abb. 10: Solarpassivhaus Büchenau, Austrittstemperatur aus Erdreichwärmetauscher

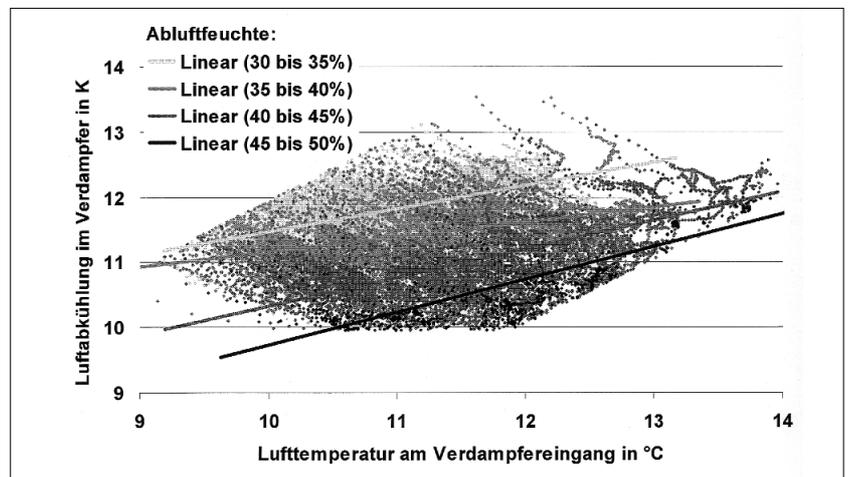


Abb. 11: Solarpassivhaus Büchenau, Messungen am Maico AereX

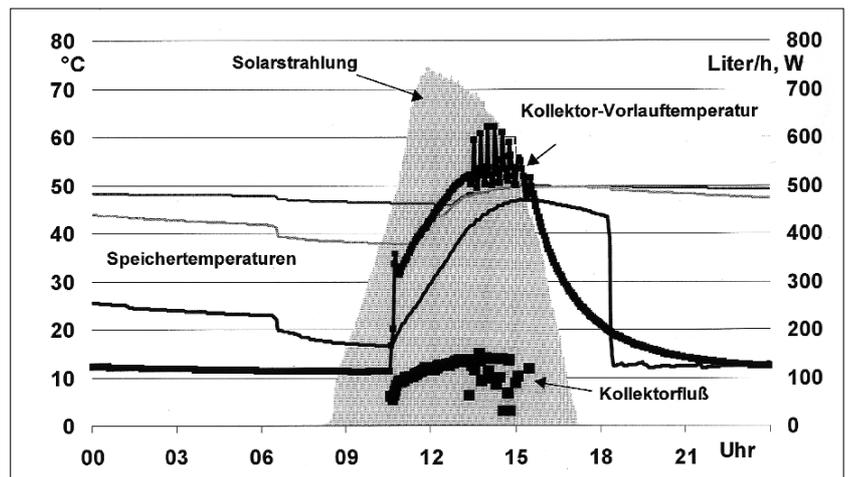


Abb. 12: Solarpassivhaus Büchenau, Solargewinn im Winter

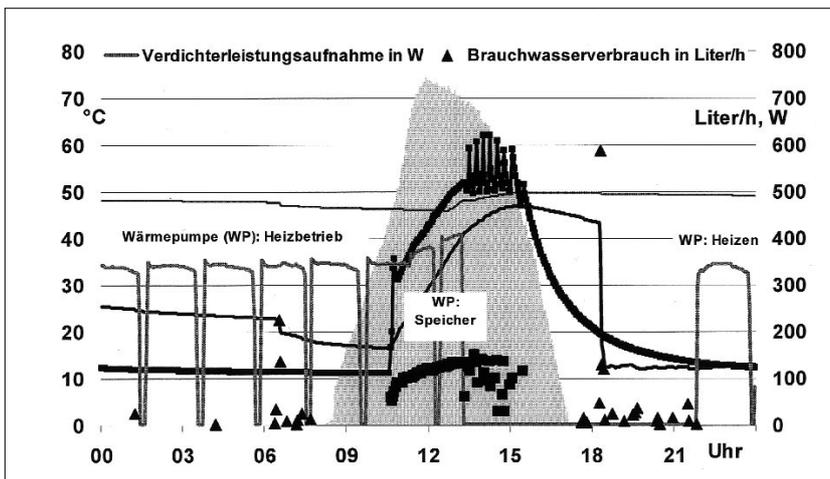


Abb. 13: Solarpassivhaus Büchenau, Wärmepumpe für Restwärme

Aus-Signal an die Wärmepumpe gegeben werden kann. Die Wärmepumpe bleibt bis in die späten Abendstunden ausgeschaltet, dazwischen findet rein solare Versorgung statt.

sorgen, es braucht eine Restheizung. In Abbildung 13 ist die Leistungsaufnahme des Verdichters der Wärmepumpe zusätzlich dargestellt. Die Wärmepumpe schaltet ungefähr alle 2 Stunden zum Abtauen aus. Es handelt sich dabei nicht um ein Takten des Gerätes, sondern um einen kontrollierten Betriebszustand. Bis ca. 11 Uhr fährt das Lüftungs-Kompaktgerät im Heizbetrieb, danach werden die Wohnräume ausschließlich passiv über die Sonne beheizt. Die Wärmepumpe schaltet, da für die Beheizung nicht mehr benötigt, auf Speich erwärmung um. Um 13 Uhr geht die Wärmepumpe vollständig aus, die Solaranlage hat den Speicher soweit erwärmt, dass auch dort das

Es wird allerdings auch deutlich, dass die Wärmepumpe schon in den Morgenstunden hätte ausgeschaltet werden können. Es war unsinnig, dass sie den Speicher aufgeheizt hat, das hätte die Solaranlage alleine geschafft. Dieses Optimierungspotential könnte durch einen prädiktiven, einen vorausschauenden Heizungsregler, ausgeschöpft werden: Dieser erkennt am Morgen, dass die Solarstrahlung ansteigt und dass es wahrscheinlich so weitergehen wird, und gibt der Wärmepumpe das Aussignal. Dadurch kann noch ein wenig Strom gespart werden. Diese Anregung aus den Messungen wurde an den Hersteller weitergegeben, der wahrscheinlich ab dem Frühjahr 2001 ein Lüftungs-Kompaktgerät mit prädiktivem Regler anbieten wird.

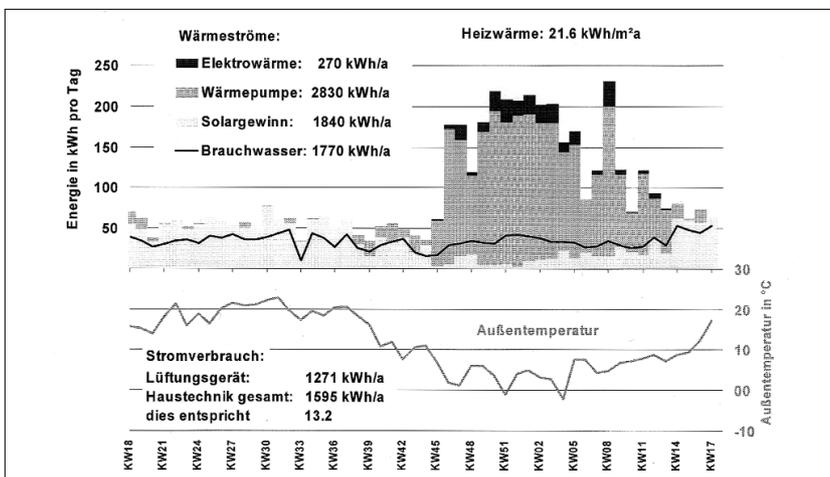


Abb. 14: Solarpassivhaus Büchenau, Wärmeströme in Tageswerten

Die Jahresenergiebilanz des Passiv-Solarhauses Büchenau ist in Abbildung 14 und Tabelle 1 dargestellt. Messungen und TRNSYS-Simulation liefern sehr ähnliche Ergebnisse. Der Heizwärmeverbrauch von knapp 22 kWh/m² und Jahr liegt allerdings ca. 40 % über dem rechnerischen Bedarf. Es handelte sich um einen Härtefall für das Lüftungs-Kompaktgerät, da das Gerät auf 17 kWh/m² und Jahr ausgelegt wurde. Diese Härteprüfung wurde problemlos bewältigt. Andererseits entsprechen 40 % mehr Heizwärmeverbrauch ca. 5 kWh/m² und Jahr, im Vergleich zum Gebäudebestand mit teilweise 300 kWh/m² und Jahr ist dieser Mehrbedarf vom energetischen her völlig belanglos. Der Mehrbedarf von 40 % Heizwärme entsteht dadurch, dass die Raumtemperatur ungefähr 2 °C höher war als die in der Planung verwendeten 20 °C, die im Passivhaus-Projektierungspaket verwendet werden. Dies beobachten wir in vielen Projekten, 20 ° sind

unrealistisch: Die BewohnerInnen sitzen im Winter nicht mehr mit dem Pullover vor dem Fernseher, sondern im T-Shirt und möchten daher eine höhere Raumtemperatur haben. Wenn man realistische Werte erhalten will, ist es deswegen sinnvoll mit einer höheren Raumtemperatur zu rechnen, typisch für ein Passivhaus sind 21 °C. Diese um 1 °C höhere Raumtemperatur führt ungefähr zu 20 % mehr Heizwärmebedarf, nicht zu 6 % wie in einem Niedrigenergiehaus. Energetisch ist dieser Mehrbedarf allerdings nicht relevant.

Tab. 1: Messergebnisse Solar-Passivhaus Büchenau

Heizwärmeverbrauch	21,6 kWh/m ₂ und Jahr
Solaranlage	75% des Speichereintrags
Wärmepumpe	20% des Speichereintrags 95% des Heizwärmeverbrauchs
Direktstromwärme	5% der Wärme
Speicherverluste	28% des Wärmeeintrags
Jahresarbeitszahl	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepumpe Heizung 3,1 • Wärmepumpe Warmwasser 3,3 • Lüftungs-Kompaktgerät 3,9 • Gesamte Haustechnik 5,0
Stromverbrauch Haustechnik	Endenergie 13,2 kWh _{elektrisch} /m ² und Jahr Primärenergie 39,2 kWh _{primärenergie} /m ² und Jahr

Insgesamt wurde ein Stromverbrauch des Lüftungs-Kompaktgerätes von unter 1.300 kWh gemessen, für die gesamte Haustechnik inklusive aller Hilfsantriebe für Heizen, Warmwasser, Solarumwälzung usw. wurden ungefähr 1.600 kWh verbraucht, das entspricht ca. 13,2 kWh/m² und Jahr. Dies entspricht trotz des hohen Heizwärmeverbrauches der Größenordnung des simulierten Wertes. Der entsprechende Primärenergiekennwert liegt unter 40 kWh Primärenergie/m² und Jahr, also deutlich unter dem geforderten Grenzwert von 65 kWh Primärenergie/m² und Jahr.

Neben den in Tabelle 1 dargestellten Ergebnissen ergaben sich folgende Charakteristika aus den Messungen des Solar-Passivhauses Büchenau:

- elektrische Effizienz der Lüftung: 0,37 Wh/m³
- Wärmebereitstellungsgrad Aerex: 74 %
- Fensteröffnungen minimal
- Mittlere Raumtemperatur ca. 22 °C
- Thermischer Komfort sehr hoch
- Warmwasserkomfort durchgehend gegeben
- Frostfreiheit nach Erdreichwärmetauscher
- Bereits mit einer relativ kleinen Photovoltaik-Anlage von 13-15 m² könnte ein Nullemissionshaus erreicht werden (ohne Haushaltsstrom).

Demonstrationsprojekt Neuenburg mit 7 Reihenhäusern

In Neuenburg wurde eine Reihenhauszeile mit 7 Wohneinheiten in Passivhausbauweise errichtet (siehe Abbildung 15). Jedes Haus für sich ist mit thermischer Solaranlage, Erdreichwärmetauscher und Lüftungs-Kompaktgerät, das in einem Technikraum oben unter dem Dach installiert ist, ausgerüstet.

Das ISE hat das Projekt messtechnisch begleitet. Die Reihenhaussiedlung wurde von ganz „normalen“ Bewohnern bezogen, die nicht aus Forschungsinteressen oder aus ökologischen Interessen eingezogen sind. Sie wählten diese Häuser, weil sie kostengünstig waren und an einem Ort errichtet wurden, in dem sie ein Haus suchten und weil ihnen die Architektur gefiel. Diese Bewohner verhalten sich dementsprechend ganz „normal“: Ein Teil von ihnen lüftet auch im Winter das Schlafzimmer über die Fenster, die meisten Bewohner haben das allerdings aufgegeben, allerdings nicht deswegen, weil sie es nicht mehr dürften, sondern weil sie spüren, dass sie auch, ohne das Fenster zu öffnen, frische Luft bekommen. In Abbildung 16 ist der monatliche Heizwärmeverbrauch eines ausgewählten Hauses aus der Heizperiode von Oktober 1999 bis April 2000 dargestellt. Über die Heizsaison werden 8 kWh/m² Heizwärme verbraucht, ein Wert für normale (Passiv-)Häuser mit ganz normalen Bewohnern.

In einem ausgewählten Haus wurde die Zeit gemessen, in der Fenster geöffnet war. Die Ergebnisse sind gemeinsam mit den Raumtemperaturen in Abbildung 17 dargestellt. Im November waren die Raumtemperaturen durch einige sonnige Tage erhöht, diese Wärme wurde über die Fenster weggeführt. Mit zunehmendem Abnehmen der Außentemperaturen und der Solarstrahlung wurden auch die Fenster von den Bewohnern viel weniger geöffnet, da das Bedürf-

Kern in Massivbau, Außenwände als Holzleichtbau:

- U_{opak} < 0.12 W/m²K
- U_{Fenster} = 0.80 W/m²K
- g_{Fenster} = 0.60

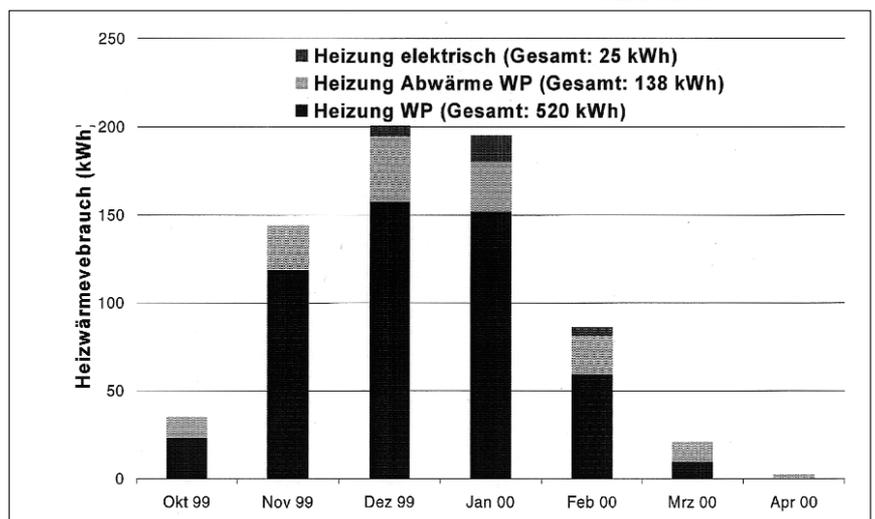
jeweils:
5 m² Solarkollektor,
60 m Erdregister
Lüftungs-Kompaktgerät Aerex

Architektur und Bauträger:
phasea, Freiburg & Grenz, Darmstadt



Abb. 15: Solarpassivhäuser Neuenburg

Abb. 16: Solarpassivhäuser Neuenburg, Deckung der Brauchwasserwärme



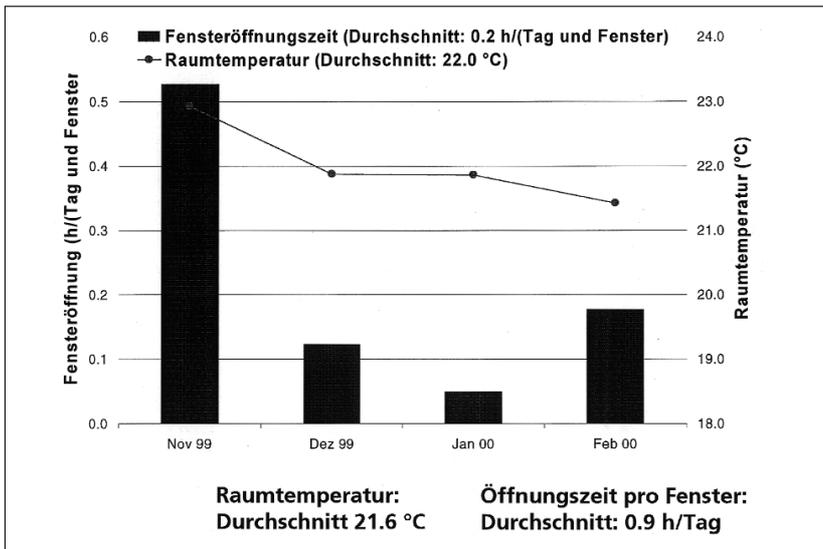


Abb. 17: Solarpassivhäuser Neuenburg, Fensteröffnung und Raumtemperatur in Kernheizperiode

Aus den Untersuchungen der Reihenhauszeile in Neuenburg können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

nis nicht mehr da war. Deutlich wird auch, dass die Raumtemperaturen immer im Bereich um 21 - 22 °C lagen und daher ein hoher thermischer Komfort geboten wurde.

Die Solaranlage konnte im Schnitt der Häuser ca. 45 % des Warmwasserbedarfs in den 7 winterlichen Monaten decken. Ein erstaunlich hoher Wert für knapp 5 m² thermische Solaranlage (siehe Abbildung 18). Die Wärmepumpe konnte mit 54 % fast den gesamten Restbedarf decken, die fehlenden 1 % an Wärmebedarf wurden mittels Heizstab zugeführt. Aufgrund des geringeren Heizwärmeverbrauches war also fast kein Heizstabeinsatz im Speicher notwendig.

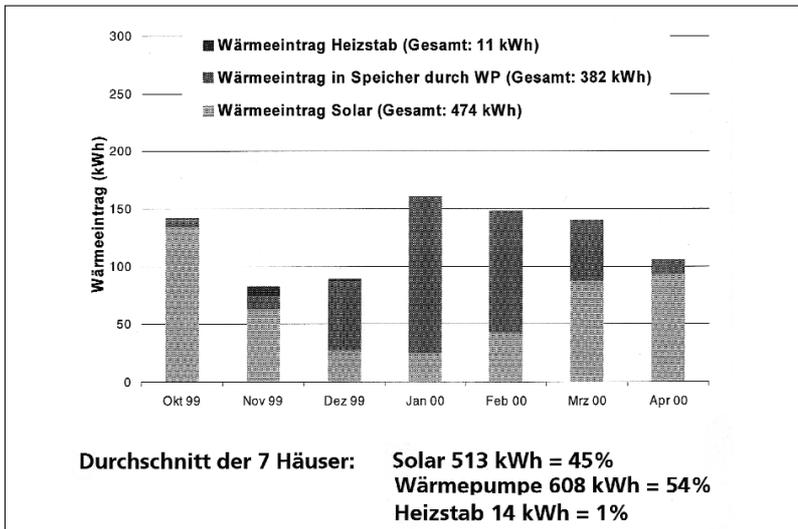


Abb. 18: Solarpassivhäuser Neuenburg, Deckung Brauchwasserwärme

- Die Bewohner kommen mit den Gebäuden und der installierten Technik gut zurecht.
- Die winterlichen Raumtemperaturen lagen in der gemessenen Heizperiode im Schnitt bei 21,6 °C
- Die Öffnung der Fenster hängt stark von den Außentemperaturen ab. Die meisten Bewohner haben bei tiefen Außentemperaturen kein Bedürfnis, die Fenster zu öffnen, da die Frischluft von der Lüftungsanlage eingebracht wird. Einzelne Bewohner öffnen die Fenster auch im Winter verstärkt. Das führt zu unwesentlich erhöhtem Heizwärmeverbrauch führt, da das System gar keine Reserven hat, die Solltemperatur zu halten. Die Folge ist eine etwas abgesenkte Raumtemperatur, die gerade von den Bewohnern gewünscht wird. Es handelt sich daher um keinen schädlichen Effekt, sondern ist durchaus zulässig und sogar gewünscht.
- Der Heizwärmeverbrauch liegt im Mittel bei 8,1 kWh/m² und Jahr.
- Der Stromeinsatz für die gesamte Haustechnik liegt im Mittel bei 9 kWh/m² und Jahr.
- Der Primärenergieverbrauch der Haustechnik lag in der Messperiode von Oktober 1999 bis April 2000 bei 27kWh/m² und Jahr. In den Sommermonaten wurden die Lüftungsanlagen vielfach ausgeschaltet, so dass sich ein Jahresstromverbrauch im Bereich von 10 bis max. 11 kWh/m² und Jahr ergeben hat, womit sich ein Primärenergieverbrauch der Haustechnik von rund 30 kWh/m² und Jahr ergibt, also weniger als die Hälfte des Passivhaus-Grenzwertes.

Markteinführung mit Messungen

In Baden-Württemberg wurde vom Stromversorger Energie Baden-Württemberg ein Förderprogramm für Passivhäuser aufgelegt, die mit einer thermischen Solaranlage und einem Lüftungs-Kompaktgerät ausgerüstet sind. Die insgesamt 100 Häuser werden mit jeweils DM 10.000,- Investitionszuschuss (entspricht ca. 70.000,- ATS) subventioniert. Das ISE bekam den Auftrag, in diesen Häusern eine Verbrauchserfassung über 2 Jahre durchzuführen. Eine Intensivmessung wird in denjenigen Gebäuden durchgeführt, in denen Lüftungs-Kompaktgeräte ähnlichen Typs, aber anderer Hersteller eingesetzt werden. Durch die Erfahrungen können Optimierungsvorschläge auch an andere Hersteller weitergeleitet werden, so dass sich ein Anbietermarkt entwickeln kann.

Schlussfolgerungen und Trends

Aus den realisierten und gemessenen Passivhaus-Projekten der letzten Jahre können also folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die zusätzlichen Investitionskosten für Passivhäuser gegenüber Gebäuden nach Wärmeschutzverordnung liegen derzeit noch in der Größenordnung von DM 250.– bis 350.–/m², also zwischen ATS 1700.– bis 2500.– (rund 10 %). (Die Schwankungsbreite zwischen unterschiedlich ausgeführten Gebäuden nach Wärmeschutzverordnung ist allerdings viel größer!)
- Lüftungs-Kompaktgeräte haben sich im Praxiseinsatz bewährt
- Es gibt bereits Lüftungs-Kompaktgeräte einer Reihe von anderen Herstellern. Das ISE unterstützt diese in der Weiterentwicklung und führt Teststandsmessungen durch
- In Baden-Württemberg werden 100 Passivhäuser durch einen Stromversorger gefördert und vom ISE vermessen
- Für ungefähr DM 11.– Mehrkosten im Monat (entspricht ATS 77.–) werden Passivhäuser mit Lüftungskompaktgerät durch Bezug von Ökostrom zum Null-Emissionshaus
- Eine solare Volldeckung der Haustechnik kann durch eine Photovoltaikanlage mit 1,5 kWp erreicht werden (entspricht ca. 15m² Solarzellenfläche)

Insgesamt haben wir mit dem derzeitigen Stand der Gerätetechnik von Kompakt-Lüftungsgeräten eine gute Möglichkeit für Passivhäuser entwickelt, tatsächlich zu einer Kostendegression zu kommen, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Damit wäre das Passivhaus nicht nur die ökologisch vernünftigste Lösung, sondern auch die wirtschaftlichste.

Diskussion

Frage:

Sie haben vor 3 Jahren eine TRNSYS-Simulation gemacht. Haben Sie diesen prädikativen Regler mitsimuliert, um zu wissen, wieviel er bringen würde?

Bühring:

Nein, bisher noch nicht. Da haben wir noch ein bisschen etwas zu tun.

Frage:

Was sind die Klimadaten von Büchenau, wie viel Heizgradtage gibt es dort?

Bühring:

Das sind 72 kKh/Jahr (entspricht 3000Kd). Im Passiv-Projektierungspaket stehen 84.

Nachfrage:

Bei uns in Österreich ist das Klima im Durchschnitt deutlich kälter. Unsere Klimadaten für die Hauptbesiedelungsgebiete liegen bei 3.500 bis ungefähr 3.800 Heizgradtagtagen. Wie würde das Kompaktgerät da funktionieren?

Bühring:

Die Simulationen, die ich anfangs gezeigt habe, wurden auch mit dem Würzburger Datensatz durchgeführt, der 3.500 Heizgradtage enthält. Das Ergebnis war eine Heizung mit verbrauchten 15 kWh/m² und Jahr, in der Realität hatten wir 3.000 Kd (Heizgradtage) und kamen auf die entsprechenden 22 kWh/m² und Jahr.

Nachfrage:

Würde das auch funktionieren?

Bühring:

Ich denke es würde immer noch funktionieren. Ich denke man müsste für ein deutlich kälteres Klima den Erdreichwärmetauscher dann etwas größer dimensionieren als nur die 20 m durchströmte Länge, ansonsten meine ich, dass es immer noch funktionieren würde.

Frage:

Sie haben davon gesprochen, dass dieser Kaufpreis der Neunburger Häuser sehr günstig war. Wissen Sie zufälligerweise Kaufpreis?

Bühring:

Der Kaufpreis ist unterschiedlich weil die Häuser unterschiedliche Wohnflächen von 80 bis 120 m² hatten, liegt aber ungefähr bei DM 300.000,- bis 350.000,-. (entspricht 2,1 bis 2,45 Mio ATS).

Frage:

Es könnte sein, dass die guten Werte, die Sie gezeigt haben, dadurch zustande gekommen sind, dass der Haushaltsstromverbrauch normal war, das wären ungefähr 4.000 kWh. Ist es so?

Bühring:

In Büchenau ist der Haushaltsstromverbrauch ein sehr normaler, nämlich ziemlich genau 3.500 kWh, das entspricht einem deutschen Durchschnittshaushalt. Es gibt zwei Kleinkinder im Haushalt. Leider stehen die zwei wesentlichen Stromverbraucher, nämlich die Waschmaschine und der Wäschetrockner, in der kalten Zone. Diese beiden verbrauchten mehr als ein Drittel des Haushaltsstromverbrauches, so dass die inneren Wärmequellen unter 1,4 W/m² lagen.

Nachfrage:

Also damit relativ unbeeinflusst war. Der Haushaltsstrom ist zwar hoch aber hat nicht geholfen, die Wärmepumpe sozusagen zu reduzieren. Also das ist damit ein positives - das ist positiv zu sehen, nur von der Haushaltsstromseite her negativ. Gut. Und bei den Neunburger Häusern?

Bühring:

Die Neunburger Häuser haben in diesen 7 Monaten ungefähr 2.000 kWh Strom verbraucht, d.h. über das Jahr hinweg werden sie im Haushaltsstrom ebenfalls auf ungefähr 3.500 kWh kommen. Also auch dort ziemlich durchschnittliche Haushalte. Bei diesen Häusern sind allerdings die Heizgeräte – diese Haushaltsgeräte sind tatsächlich Heizgeräte – innerhalb der thermischen Zone. Das merken wir auch sehr deutlich. Also es gibt einen Haushalt mit 3 Kindern, wo es einen elektrischen Wäschetrockner innerhalb der thermischen Zone gibt, der einen Heizwärmeverbrauch von 2 kWh/m² und Jahr hat.

Anmerkung:

Eine Anmerkung noch zu den internen Wärmequellen. Das ist in der Tat ein ganz wichtiges Thema. 3.500 bis 4.000 kWh ist der durchschnittliche Haushaltsstrombedarf in Deutschland. Die Häuser sind allerdings sehr klein, d.h. die kWh Haushaltsstromverbrauch pro m² und damit auch die internen Wärmequellen sind relativ hoch bzw. sie sind eben überdurchschnittlich groß, weil im Durchschnitt die Wohnflächen größer sind. Solche Häuser sollte man – unabhängig davon, ob ein Aerex-Kompakt-Lüftungsgerät drin ist oder nicht – nach unseren Erfahrungen gerade, wenn es Einfamilienhäuser sind, auf jeden Fall simulieren. Es wird in der Literatur öfter gesagt, es reicht das mit PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket) auszurechnen, nach unseren Erfahrungen ist das nicht der Fall. Passivhäuser funktionieren, wenn sie sehr gut geplant sind und das sind sie, wenn sie gut simuliert sind. Und dann gehören solche Fragen, wie nach dem Klima und den internen Wärmequellen dazu.

Bühring:

Das finde ich auch eine wichtige Anmerkung von Ihnen. Deswegen rechne ich auch ungern mit dem Gesamtprimärenergieverbrauch von 120 kWh/m² und Jahr, wo dann eben der Haushaltsstrom mit drin ist, der dann eben impliziert, dass es einen Niedrigenergiehaushalt gibt von der haushaltsgerätetechnischen Seite, weil das kann man als Planer nicht beeinflussen, das weiß man nicht. Wichtig ist aber, dass das Haus funktioniert, wenn der Stromverbrauch so gering ist, dass man nicht mit höheren inneren Wärmequellen rechnet oder darauf baut, dass ineffiziente Geräte betrieben werden. In dem Büchenau-Haus hatten wir einen Normalhaushalt, einen normalen Stromverbrauch, aber leider soviel außerhalb der thermischen Zone, dass dann eben tatsächlich die 1,4 W/m² wie im Passivhaus-Projektierungspaket rauskommen. Aber völlig richtig, man darf ein Passivhaus nicht mit ineffizienten Geräten beheizen.