

Optimierte Luftheizung für MINERGIE-P und Passivhäuser



Ausgearbeitet durch

Anne Haas und Viktor Dorer, EMPA Energiesysteme/Haustechnik

.....

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

April 2004

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

EMPA Abt. Energiesysteme/Haustechnik, Dübendorf
Hochschule für Technik + Architektur Luzern, Abteilung Heizung – Lüftung – Klima, Horw

Autoren:

Viktor Dorer
Anne Haas

Begleitgruppe:

Peter Hartmann, Prof. Dr., Zürcher Hochschule Winterthur
Werner Hässig, Dr., Basler & Hofmann, Zürich
Thomas Scheiwiller, Planforum GmbH, Winterthur
Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut, Darmstadt, Deutschland
Mark Zimmermann, BFE Programmleiter "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

2004

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA ZEN, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, www.empa-zen.ch
ENET, Egnacherstrasse 59, 9320 Arbon, enet@temas.ch, www.energieforschung.ch

Zusammenfassung

MINERGIE-P und Passivhaus

Der Standard MINERGIE-P [MINERGIE] wurde erst während der Projektlaufzeit eingeführt. Darum, und weil die Literatur zum Passivhaus schon viel umfangreicher ist, fokussierte dieses Projekt auf den Passivhausstandard. Wenn sich Aussagen in diesem Bericht auf "das Passivhaus" beziehen, so ist darunter immer auch ein Gebäude mit MINERGIE-P-Standard zu verstehen.

Ausgangslage

Im Passivhaus kann das mechanische Wohnungslüftungssystem auch zur Raumheizung eingesetzt werden. Die Luftmengen orientieren sich dabei am hygienischen Bedarf. Die Lüftungs- und die Heizungsfunktion stellen zum Teil gegensätzliche Anforderungen an Luftführung und Auslegung des Systems. Vermehrt werden Holzöfen im Wohnraum als Zusatzheizung eingebaut. Dabei können Probleme mit der Verteilung der Wärme auftreten.

Projektziel

Ziel des Projektes ist es, zu klären, wie stark das Luftverteilssystem vereinfacht werden kann, inwieweit eine "Lüftungsanlage mit Lufterwärmung"¹ auch für Nicht-Passivhäuser geeignet ist, wie die Gebäudemasse als Wärmeüberträger und Speicher zu nutzen ist, wie sich die Wärme eines Ofens im Raum verteilt, und welche Anforderungen an solche Öfen zu stellen sind.

Projektinhalt

Fragen des thermischen Komforts und der Effizienz der Luftverteilung im Raum wurden durch Labormessungen und durch Computational Fluid Dynamics (CFD)-Rechnungen evaluiert.

Die Luftführung in der Wohnung und die Möglichkeiten, die Gebäudemasse als Wärmeüberträger und Speicher zu nutzen, wurden im Hinblick auf Konsequenzen für die Zuluftzustände untersucht. Ebenso wurden Anforderungen bezüglich zeitlicher und räumlicher Verteilung von Zusatzwärme von Holzöfen bestimmt.

Die Erkenntnisse von Messungen in P+D-Gebäuden, in selbständigen Erfolgskontroll-Projekten durchgeführt, und ergänzende Aspekte wurden in die Auswertung mit einbezogen.

Wesentliche Erkenntnisse

Gemäss Passivhaus Institut "Passivhaus Qualitätsanforderungen" [PHQ] muss in einem Passivhaus (Wohnnutzung) ein behagliches Innenklima ohne separates Heizsystem und ohne Klimaanlage erreichbar sein. Diese zentrale Forderung definiert die Anforderungen an die Gebäudehülle, die letztlich in

¹ nach [SIA 2023] soll die Bezeichnung "Lüftungsanlage mit Lufterwärmung" statt "Luftheizung" für eine Lüftungsanlage mit Heizfunktion verwendet werden. Lüftungsanlagen ohne Heizfunktion heissen danach "einfache Lüftungsanlage".

dem allgemein bekannten Wert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (bezogen auf die Nettowohnfläche) zusammengeführt werden (siehe Abschnitt 1.2). Der notwendige Luftaustausch wird mindestens in der Heizsaison mit einer einfachen Lüftungsanlage (Zu- und Abluftanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung (WRG)) bewerkstelligt.

Thermischer Komfort - Temperaturen

Raumtemperaturen

Raumtemperaturen in Passivhäusern bewegen sich in der üblichen Streubreite, die auch in konventionellen Wohnungen auftreten [CEPHEUS].

Im Gegensatz zur Situation in konventionellen Bauten unterscheiden sich in Passivhäusern Luft- und Strahlungstemperatur kaum. Die Oberflächentemperaturen an der Innenseite der Außenwände liegen in der Regel weniger als 0.5 K unter der Raumlufttemperatur. Auch die inneren Oberflächen der Fenster weisen bei -10°C Außentemperatur Temperaturen von maximal 3 K unter der Raumlufttemperatur auf.

Asymmetrien der Strahlungstemperatur

Asymmetrien der Strahlungstemperatur bleiben damit auch ohne kompensierende Heizflächen weit unter den zulässigen Werten (10 K zwischen zwei Seiten).

Lufttemperaturgradienten

Vertikale Lufttemperaturgradienten sind praktisch oft kaum messbar, sowohl in Messungen in der Luftströmkammer, als auch in bewohnten Wohnungen.

Im Passivhaus werden auch bei Warmluftzufuhr im oberen Raumbereich oft über die gesamte Höhe des Aufenthaltsbereichs kaum 1 K erreicht. Selbst bei zweigeschossiger offener Bauweise treten keine grösseren Gradienten auf (siehe Abschnitt 4.6). Nach [SIA 180] sind zwischen 0.1 m und 1.1 m Höhe Lufttemperaturgradienten von 3 K/m zulässig.

Über- und Unterschreitung des Komfortbereichs der Raumtemperatur

Im Sommer sind in Passivhäusern die auch sonst üblichen Massnahmen gegen Überhitzung zu treffen. In der Übergangszeit und im Winter kann es ohne ausreichenden Sonnenschutz schneller als in konventionellen Gebäuden zu Überhitzung durch solare Gewinne kommen (siehe auch Heizlast). Zu bedenken ist jedoch, dass das solare Angebot besser genutzt werden kann, wenn leichte Übertemperaturen (in einzelnen Bereichen der Wohnung) zugelassen werden.

Thermischer Komfort - Zugluftrisiko

Die oben dargelegten hohen Oberflächentemperaturen der Außenbauteile, die erforderliche wärmebrückenfreie Konstruktion und die erforderliche Dichtigkeit der Gebäudehülle verhindern das Auftreten von Zuglufterscheinungen durch Kaltluftabfall an Außenwänden. Lediglich bei Verglasungen über mehr als eine Geschosshöhe sind eventuell (konstruktive) Gegenmassnahmen notwendig.

Auch die Einbringung der Zuluft in den Raum verursacht keine inakzeptablen Zugluftrisiken. Wesentlich hierfür ist die im Passivhaus übliche Begren-

zung der Luftmengen auf das hygienisch notwendige Minimum. Die Auswahl des Typs und der Position des Zuluftdurchlasses (ZLD) im Raum ist durch Komfortbedingungen kaum eingeschränkt. Andere Aspekte können bei der Entscheidung Priorität haben: Minimierung der Kanallänge, Akustik, Ästhetik etc. (siehe Abschnitte 4.4 und 4.7).

Luftaustauschwirkungsgrad

Auch für den Luftaustauschwirkungsgrad im Raum sind Typ und Position des ZLD von untergeordneter Bedeutung. Kurzschlussströmungen sollten jedoch vermieden werden. Die Anordnung von ZLD und Überströmöffnung bzw. Abluftdurchlass (ALD) an gegenüber liegenden Wänden auf gleicher Höhe ist dabei kritischer als die Anordnung nahe beieinander an der gleichen Wand.

Die Luftaustauschwirkungsgrade liegen praktisch immer im Bereich von 0.45 bis 0.55, was auf eine weitgehende Durchmischung der Raumluft hinweist (siehe Abschnitte 4.5 und 4.7).

Zonierung / Nachtabsenkung

In einem Passivhaus gibt es in der Regel kaum Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Räumen. Auf Änderungen der Heizleistung reagiert das Gebäude nur sehr langsam. Infolge dessen kann durch Zonierung oder Nachtabsenkung praktisch keine Energieeinsparung mehr bewirkt werden. Tiefere Temperaturen im Schlafzimmer sind physiologisch nicht notwendig, werden manchmal aber gewünscht. Wie dieser Wunsch oder der nach einer höheren Badezimmertemperatur erfüllt werden kann, wird in Abschnitt 3.5 kurz dargestellt.

Luftraten und Luftheizung

Die Anforderungen an ein Passivhaus sind so festgelegt, dass in der Regel der kleine Heizleistungsbedarf durch eine Erwärmung der Zuluft (max. 50°C Vorlauftemperatur im Heizregister) bei Luftraten entsprechend den Luftqualitätsanforderungen gedeckt werden kann.

Luftmengen

Luftmengen werden nach dem hygienischen Bedarf (24 bis 30 m³/h.Person) festgelegt. Kann die erforderliche Heizleistung nicht mit dieser Luftrate zur Verfügung gestellt werden, so ist eine Ergänzungsheizung vorzusehen (z.B. ein Heizkörper im Bad). Zu bedenken ist auch, dass unter Umständen die notwendige Heizleistung nicht mehr eingebbracht werden kann, wenn aus Gründen zu trockener Luft die Luftrate reduziert wird.

Die gegensätzlichen Anforderungen – höhere Luftrate für Heizleistung, kleinere gegen tiefe Feuchte – können im nicht zu trockenen Winterklima (Mittelgebirge) im Passivhaus gerade erfüllt werden. Gebäude mit tieferem Dämmstandard benötigen eine Zusatzheizung. Auch eine Anlage mit Rezirkulation ist denkbar. Diese ist aber aufwendiger, und es können Luftqualitätsprobleme durch die Verteilwirkung auftreten (siehe Abschnitt 2.2 und Kapitel 7).

Eine Zusatzheizung kann auch im Passivhaus nötig sein, wenn die Heizenergie nur auf einem tieferen Temperaturniveau als 50°C zur Verfügung steht (Solaranlage, Wärmepumpe).

Feuchte

Taupunktsunterschreitungen sind bei Oberflächentemperaturen, die so nahe an der Raumlufttemperatur liegen, und bei kontinuierlichem Luftwechsel über die Lüftungsanlage praktisch nicht mehr möglich. Somit ist auch eine wesentliche Quelle von Bauschäden ausgeschaltet.

Im Winter weist die zugeführte Frischluft einen sehr geringen Feuchtegehalt auf. Um zu trockene Raumluft zu vermeiden, müssen die Luftraten auf das hygienisch notwendige Mass begrenzt werden (siehe oben). Die Luftraten sollten wenn möglich der aktuellen Belegung angepasst werden. Im Bedarfsfall sollten die NutzerInnen die Luftraten weiter reduzieren können, bei Anwesenheit bis auf $18 \text{ m}^3/\text{h.Person}$, bei Abwesenheit auf Grundlüftung (siehe Abschnitt 2.3).

Heizlast

Solare (und interne) Gewinne sind bei der Ermittlung der Heizlast in einem Passivhaus nicht vernachlässigbar. Das Passivhaus-Projektierungspaket [PHPP 02/03] enthält ein validiertes Verfahren zur Berechnung der Heizlast und der verfügbaren Heizleistung der Zuluft. Die Schweizer Norm "Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden" [SIA 384/2] wird überarbeitet, sodass zurzeit noch keine auf Schweizerische Randbedingungen abgestimmte Berechnungsmethode für Gebäude mit sehr niedrigem Leistungsbedarf zur Verfügung steht.

Im Baubeschrieb sollte deshalb die Anwendung der SIA 384/2 bis zum Vorliegen der neuen Fassung ausgeschlossen werden.

Da die Heizleistung der Zuluft nur bedingt zum (Wieder-)Aufheizen eines ausgekühlten Gebäudes ausreicht, sollten Passivhäuser im Winter auch bei (längerer) Abwesenheit durchgeheizt werden. Energieeinsparungen sind durch eine Reduktion der Heizleistung kaum noch zu erzielen, und das Wiederaufheizen dauert entweder sehr lange, oder erfordert grössere Heizleistungen.

Ein Ausfall des Heizsystems für einen Tag ist im Passivhaus unkritisch, da die Temperatur aufgrund der geringen Verluste nur sehr langsam abnimmt.

Im Notfall können Zusatzgeräte zur Aufheizung verwendet werden: meist reicht es, z.B. den Herd einige Zeit in Betrieb zu nehmen. Beim Aufheizen vor dem Erstbezug und zur Unterstützung der Bauaustrocknung können mobile Heizgeräte eingesetzt werden (siehe Abschnitt 2.2).

Wärmeabgabe von Luftkanälen

Zwischen dem Zuluftkanal und seiner Umgebung treten bei Lüftungen mit Heizungsfunktion zeitweise auch innerhalb des Dämmperimeters eines Gebäudes erhebliche Temperaturdifferenzen auf, und damit, je nach Dämmstärke, u. U. auch erhebliche Wärmeströme über die Kanalwände.

Ungedämmte Kanäle können auf 5 m ca. 1/3 des Wärmeinhalts der warmen Zuluft an die Umgebung abgeben. 1 cm Isolation reduziert diese Abgabe um die Hälfte. Bei offen oder in abgehängten Decken verlegten Kanälen reagiert die Zulufttemperatur am ZLD aber nach wie vor flink auf Änderungen der Heizleistung. Ohne Isolation in Beton verlegt, wird ein Temperatursprung

sowohl am ZLD verzögert, als auch in der Wärmeabgabe der Bauteiloberfläche an den Raum. Die Heizung über die Zuluft reagiert bei geringer Dämmung des Luftkanals im Bauteil also unerwartet träge, eine Entkopplung kann aber durch gezielte Dämmung bewirkt werden. Wird der Zuluftkanal ins Schlafzimmer unisoliert und offen durch das Bad geleitet, kann im Schlafzimmer die Raumtemperatur gesenkt, und im Bad erhöht werden (siehe Abschnitt 3.3).

Wärmeverteilung in der Wohnung, Temperaturzonierung

Von einem Raum mit nur Zuluft zum nächsten Raum wird Wärme etwa zu gleichen Teilen durch die trennende Innenwand und durch überströmende Luft transportiert. Bei offenen Grundrissen, und generell wenn die Innen türen offen sind, wird die Wärme hingegen hauptsächlich durch natürliche konvektive Strömungen ausgetauscht. Dieser Wärmestrom kann eine Größenordnung grösser sein als die beiden erstgenannten. Damit findet rasch ein Ausgleich der Temperaturen in der Wohnung statt (siehe Abschnitt 3.4).

Auf ein aufwendiges Verteilsystem für die Heizwärme kann unter daher verzichtet werden. Ein "einfaches" Heizsystem genügt. Umgekehrt bedeutet dies, dass besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen, wenn Räume einer Wohnung unterschiedliche Temperaturen haben sollen (siehe Abschnitt 3.5).

Regelung und Einstellmöglichkeiten

Luftmenge und Solltemperatur müssen unabhängig voneinander eingestellt werden können. Die Regelung der Wärmezufuhr erfolgt über die Zulufttemperatur. Der zugehörige Raumtemperaturfühler wird zentral in der Wohnung angebracht.

Die Luftmenge, und in der Regel auch die Raumtemperatur, müssen auch in Mehrfamilienhäusern individuell pro Wohnung eingestellt werden können. Die Lüftung sollte mindestens die Stufen Aus, Grundlüftung, Normal, Bedarf aufweisen (siehe Abschnitt 3.6).

Holzofen

Die minimale Feuerleistung von Holzöfen ist begrenzt durch die Notwendigkeit, eine effiziente und saubere Verbrennung zu gewährleisten. Die Wärmeabgabeleistung hängt von der Feuerleistung und dem Wärmespeicher vermögen des Ofens ab. Selbst die kleinsten verfügbaren Öfen sind zur Beheizung von Wohnungen in einem Passivhaus an und für sich überdimensioniert. Öfen, die einen Teil der Wärme über einen Wärmetauscher an den Warmwasserspeicher abgeben können, haben hier Vorteile.

Die Konvektion bei offenen Innen türen ermöglicht, dass sich die Wärme eines im Wohnraum aufgestellten Holzofens in der Wohnung verteilt. Wird ein Passivhaus über längere Zeit ausschliesslich mit einem im Wohnraum aufgestellten Holzofen beheizt, stellen sich Temperaturdifferenzen von 2 bis 4 K zwischen den Räumen ein. Allerdings sind für Holzspeicheröfen sehr kleine Abgabekapazitäten nötig, um eine kurzzeitige Überhitzung im Wohnraum zu verhindern. Das Maximum der Abgabekapazität sollte 2 kW (in einer Wohnung von 130 m²) nicht übersteigen. Bei Stückholzöfen muss entweder

die Speichermasse so gross gewählt werden, dass die Wärmeabgabe über (mindestens) 24 h erfolgt, oder das Heizen muss im Tagesverlauf aufgeteilt werden auf mindestens zweimal Einfeuern. Pelletöfen verfügen zwar über bessere Regelungsmöglichkeiten, aber auch hier ist das Problem der kleinen Leistungsbedarf (siehe Kapitel 5).

Lüftungssystem

Ventilatoren / Balance

Eingesetzt werden vorzugsweise elektrisch kommutierte Gleichstrommotoren. Diese weisen einen sehr niedrigen Energiebedarf auf. Zuluft- und Abluftarten sollen in allen Betriebszuständen gleich sein (balancierte Anlage). Dazu ist im Prinzip eine Massenstromregelung erforderlich, die aber erst von wenigen Herstellern angeboten wird. Meist erfolgt eine Volumenstromregelung. Damit ist aber der Massenstrom temperaturabhängig: bei einer Temperaturdifferenz von 10 K ergeben sich Abweichungen von etwa 3 bis 4%.

Leckagen

Von Bedeutung sind vor allem Leckagen im Wärmetauscher, da sie den tatsächlichen Rückgewinnungsgrad verringern, und da sie die Luftqualität beeinträchtigen können.

Erhöhter Lüftungsbedarf

Wegen der hohen Abluftarten und der stark verschmutzten Abluft ist es nicht sinnvoll, Küchenabzugshauben an das Lüftungssystem anzuschliessen. Küchenabzugshauben sollten in Umluft betrieben werden.

Abzugshauben mit separater Fortluftführung und separater Nachströmöffnung kommen ebenfalls in Frage, sind aber bezüglich Betrieb und Dichtigkeit der Gebäudehülle kritischer.

Kurzes Stosslüften (ca. 10 Minuten, am besten Querlüftung) ist auch im Passivhaus geeignet, um kurzfristige hohe Belastungen der Luft effizient abzutransportieren. (siehe Abschnitt 6.1).

Inbetriebnahme, Abnahme

Für Lüftungen mit Heizfunktion geben die verfügbaren Unterlagen keine speziellen Hinweise. Das planungsgemäße Funktionieren der Lüftungsanlage mit Lufterwärmung setzt zunächst eine einwandfreie Funktion der Lüftungsanlage voraus.

Wichtige Punkte bei der Überprüfung der Heizfunktion sind insbesondere (siehe Abschnitt 6.8):

- Wärmeübertragung und Luftraten am Wärmetauscher
- Leistung des Heizregisters
- Einblastemperaturen an den ZLD
- Raumtemperaturen in einer kalten Periode