

# 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](mailto:office@bfe.admin.ch) • [www.admin.ch/bfe](http://www.admin.ch/bfe)

Vertrieb: EMPA ZEN, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, [www.empa-ren.ch](http://www.empa-ren.ch)  
ENET, Egnacherstrasse 59, 9320 Arbon, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch), [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

## Résumé

### MINERGIE-P et maison passive

Le standard MINERGIE-P [MINERGIE] a été introduit alors que ce projet était déjà en cours. C'est pour cette raison et parce que la bibliographie sur les maisons passives est beaucoup plus vaste que ce projet se concentre sur le standard maison passive. Ainsi lorsque ce rapport fait mention de faits se rapportant à la «maison passive» (Passivhaus), ces faits se rapportent aussi toujours à un bâtiment «MINERGIE-P».

### Situation initiale

Dans une maison passive, le système de ventilation mécanique peut aussi s'utiliser pour le chauffage. Les quantités d'air sont déterminées par les exigences en matière d'hygiène de l'air. Les fonctions de ventilation et de chauffage posent en partie des exigences contraires pour ce qui est de la distribution de l'air et du dimensionnement du système. De plus en plus souvent des chauffages au bois sont installés comme chauffage d'appoint dans les locaux de séjour, ce qui peut conduire à ces problèmes dans la distribution de la chaleur.

### But du projet

Le but de ce projet était d'éclaircir dans quelle mesure il est possible de simplifier les systèmes de distribution d'air, si les installations de ventilation avec chauffage à air sont aussi adaptées aux maisons non passives, comment la masse du bâtiment peut s'utiliser comme échangeur et accumulateur de chaleur, comment la chaleur émise par un poêle se distribue dans une pièce et quelles sont les exigences posées à un tel poêle.

### Contenu du projet

Les questions du confort thermique et de l'efficacité de la distribution de l'air dans les pièces ont été évaluées par des mesures en laboratoire et par calcul de dynamique des fluides.

On a étudié les conséquences sur l'amenée d'air soufflé des modalités de la distribution de l'air dans les pièces et de l'utilisation de la masse du bâtiment comme échangeur et accumulateur de chaleur. On a également déterminé quelles sont les exigences que pose la distribution spatiale et temporelle de la chaleur d'appoint fournie par les poêles à bois.

Les résultats de mesures sur des bâtiments P+D obtenues dans des projets de contrôle d'efficacité réalisés en régie propre et certains aspects complémentaires sont encore été pris en compte dans l'évaluation

### Principaux résultats

Selon les exigences de qualité pour maison passive du «Passivhaus Institut», dans une maison passive, un climat confortable doit pouvoir être atteint sans système de chauffage séparé et sans installation de climatisation. Cette exigence essentielle définit les performances requises de l'enveloppe du bâtiment qui s'expriment finalement dans la valeur bien connue des be-

soins de chaleur pour le chauffage demandée de  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  (rapportée à la surface d'habitation nette) (voir aussi paragraphe 1.2). Le renouvellement d'air nécessaire est assuré, au moins durant la saison froide, par une installation de ventilation simple (installation de ventilation mécanique avec amenée et extraction d'air et récupération de chaleur).

### **Confort thermique – températures**

#### Température ambiante

Dans les maisons passives, les températures des pièces varient avec la même dispersion que dans les habitations conventionnelles [CEPHEUS].

Au contraire de ce qui se passe dans les bâtiments conventionnels, dans les maisons passives la température de l'air et la température de rayonnement ne diffèrent guère entre elles. Les températures superficielles de la face intérieure des murs extérieurs sont en règle générale inférieures de moins de  $0.5 \text{ K}$  à celle de l'air ambiant intérieur. Sur les surfaces intérieures des fenêtres elles aussi, à des températures extérieures de  $-10^\circ\text{C}$ , la température est inférieure d'au maximum  $3 \text{ K}$  à celle de l'air ambiant intérieur.

#### Asymétrie des températures radiante

Les asymétries de la température radiante demeurent bien inférieures aux valeurs admissibles ( $10 \text{ K}$  entre deux faces) cela même sans surfaces de chauffage compensatrices.

#### Gradients de température de l'air

Des gradients verticaux de température de l'air ne sont souvent pratiquement pas mesurables, cela aussi bien lors des mesures dans une chambre de mesure des écoulements d'air que dans des logements habités. Dans les maisons passives, même en cas d'apport de chaleur dans la partie supérieure, la différence atteint souvent à peine de  $1 \text{ K}$  sur la totalité de la hauteur de la zone occupée. Même avec des constructions ouvertes sur deux étages il n'apparaît pas de gradients plus importants (cf. paragraphe 4.6). Selon la norme [SIA 180] entre  $0.1$  et  $1.1 \text{ m}$  de hauteur des gradients de température de l'air de  $3 \text{ K/m}$  sont admissibles.

### **Sur- et sous-dépassement des tolérances de confort de la température ambiante**

En été, il faut prendre dans les maisons passives elles aussi les mesures usuelles contre une surchauffe. Durant la période de transition et en hiver, sans protection solaire suffisante, les gains solaires peuvent conduire plus rapidement à une surchauffe que dans les bâtiments conventionnels (voir aussi puissance de chauffage nécessaire). On relèvera encore qu'il est possible de mieux tirer profit de l'énergie solaire si l'on admet de légères surtempératures dans certaines zones de l'habitation.

### **Confort thermique – risques de courants d'air**

Les températures superficielles élevées des éléments de construction donnant sur l'extérieur, l'exigence d'une construction exempte de ponts thermiques et étanche à l'air préviennent l'apparition de phénomènes de courants d'air dus à des courants d'air froid le long des murs extérieurs. Ce n'est que

sur les vitrages d'une hauteur supérieure à un étage que des mesures de prévention (au niveau de la construction) sont éventuellement nécessaires.

Même l'apport d'air soufflé dans les pièces ne provoque pas de risques de courants d'air inacceptables. Sur ce point la limitation usuelle dans les maisons passives de l'apport d'air au minimum exigé sur le plan de l'hygiène joue un rôle important. Les exigences de confort n'imposent quasiment aucune limite au type et à l'emplacement des bouches d'air soufflé dans la pièce. D'autres aspects peuvent avoir une priorité dans la décision: minimisation de la longueur des gaines, acoustique, esthétique, etc. (cf. paragraphes 4.4 et 4.7).

### **Rendement de renouvellement d'air**

Le type et la position des diffuseurs n'exercent pas non plus d'influence importante sur le rendement de renouvellement d'air dans la pièce. Il est toutefois nécessaire d'éviter les écoulements «en court-circuit». La disposition des bouches d'air soufflé et évacué à une même hauteur sur des parois opposées est plus critique qu'une disposition côté à côté sur la même paroi.

Les rendements de renouvellement d'air se situent pratiquement toujours dans le domaine de 0.45 à 0.55, ce qui est le signe d'un mélange complet de l'air ambiant (cf. paragraphes 4.5 et 4.7).

### **Zonage / réduction du chauffage durant la nuit**

Dans une maison passive il n'y a pratiquement pas de différences de température entre les différentes pièces. Le bâtiment ne réagit que très lentement aux variations de la puissance thermique. De ce fait, un zonage ou une réduction du chauffage durant la nuit ne permet pratiquement plus de réaliser des économies d'énergie. Bien que cela ne soit physiologiquement pas nécessaire, certaines personnes désirent une température plus basse dans leur chambre à coucher. Le paragraphe 3.5 décrit comment y parvenir et aussi comment obtenir une température plus élevée dans les salles de bain.

### **Débits d'air et chauffage à air**

Les exigences posées à une maison passive sont fixées de telle manière que, en règle générale, la faible puissance thermique nécessaire peut être assurée par un réchauffement de l'air soufflé (température aller max. 50°C sur le registre de chauffage) avec les débits d'air correspondant aux exigences de qualité de l'air.

#### Débits d'air

Le débit d'air est déterminé par les exigences d'hygiène (24 à 30 m<sup>3</sup>/h.personne). Si la puissance thermique nécessaire ne peut pas être assurée avec ces débits d'air, il faut prévoir un chauffage d'appoint (p. ex. un radiateurs dans la salle de bain). Il faut aussi relever que, suivant les circonstances, le chauffage nécessaire ne peut pas être assuré si l'on réduit de débit d'air lorsque l'air est trop sec.

Ces exigences contraires – débits d'air élevés pour assurer la puissance thermique nécessaire, faibles débits d'air pour lutter contre un taux d'humidité trop bas – peuvent encore être juste respectées dans une maison

passive avec un climat hivernal pas trop sec (Plateau suisse). Les bâtiments présentant un standard d'isolation moins élevé demandent un chauffage d'appoint. On peut aussi envisager une installation avec recirculation de l'air; ces installations sont toutefois plus coûteuses et peuvent conduire à l'apparition de problèmes de qualité de l'air par effet de redistribution (cf. paragraphe 2.2 et chapitre 7).

Un chauffage d'appoint peut aussi être nécessaire dans une maison passive lorsque l'énergie de chauffage disponible présente un niveau de température inférieur à 50°C (capteurs solaires, pompe à chaleur).

### **Humidité**

Avec des températures superficielles internes aussi proches de celle de l'air et avec un renouvellement continu de l'air assuré par une installation de ventilation mécanique, l'apparition de températures inférieures au point de rosée est pratiquement exclue, ce qui élimine aussi une cause importante de dommages dans les bâtiments.

En hiver, l'humidité absolue de l'air frais est très basse. Pour éviter que l'air intérieur ne soit trop sec, le débit d'air doit être réduit au minimum nécessaire pour assurer l'hygiène de l'air (voir plus haut). Les débits d'air devraient autant que possible être adaptés au taux d'occupation momentané des locaux. En cas de besoin, les occupants devraient avoir la possibilité de réduire encore le débit d'air, jusqu'à 18 m<sup>3</sup>/h.personne si les locaux sont occupés, et jusqu'à la ventilation minimale lorsque le bâtiment est inoccupé (cf. paragraphe 2.3).

### **Puissance thermique nécessaire**

Les gains solaires et les gains internes ne sont pas négligeables pour la détermination de la puissance thermique nécessaire dans une maison passive. Le «paquet de projet maison passive» (Passivhaus-Projektierungspaket) [PHPP 02/03] donne une méthode validée pour le calcul de la puissance thermique nécessaire et de la puissance thermique disponible de l'air soufflé. La norme suisse «Puissance thermique à installer dans les bâtiments» [SIA 384/2] est en cours de révision de sorte qu'il n'existe actuellement pas de méthode de calcul adaptée aux conditions suisses pour les bâtiments à faible consommation d'énergie.

Ainsi la description des travaux devrait mentionner que l'application de la norme SIA 384/2 est exclue jusqu'à ce qu'une nouvelle version ait été publiée.

Comme la puissance thermique disponible de l'air soufflé ne suffit d'une manière générale pas à (re)chauffer une maison qui s'est refroidie, les maisons passives devraient être continuellement chauffées en hiver même en cas d'absence (prolongée). Des économies d'énergie par réduction de la puissance de chauffage ne sont là plus guère possibles et le réchauffement du bâtiment dure soit très longtemps soit demande une puissance thermique plus élevée.

Une panne du système de chauffage pour une journée ne pose pas de problème dans une maison passive car la température ne s'abaisse que très lentement du fait des faibles déperditions calorifiques du bâtiment.

En cas de nécessité, des appareils de chauffage d'appoint peuvent être utilisés pour amener le bâtiment à température: le plus souvent il suffit p. ex. de mettre la cuisinière en service durant un moment. Pour le chauffage lors de la première occupation ou pour accélérer le séchage du bâtiment, il est possible de faire appel à des appareils de chauffage mobiles (cf. paragraphe 2.2).

### **Déperditions de chaleur des gaines de ventilation**

Sur les installations de ventilation avec chauffage de l'air, les différences de température entre la gaine et son environnement peuvent être importantes et cela même à l'intérieur du périmètre isolé. Ainsi, suivant l'épaisseur de l'isolation thermique des gaines, un flux thermique important peut apparaître à travers leurs parois.

Sur les gaines non isolées, l'air amené chaud peut céder jusqu'à 1/3 de sa chaleur à l'air ambiant sur une longueur de 5 m. Une isolation de 1 cm d'épaisseur réduit ces déperditions de moitié. Avec des gaines libres ou montées dans des plafonds suspendus, la température de l'air à la sortie des bouches d'air soufflé réagit de manière rapide aux variations de la puissance thermique. Avec des gaines posées sans isolation dans le béton, les variations de température sont retransmises avec une certaine inertie à la sortie des diffuseurs de même qu'à la surface des éléments de construction. Avec une faible isolation des gaines de ventilation dans les éléments de construction, le chauffage réagit de manière étonnamment lente; un découplage peut cependant aussi être obtenu par une isolation ciblée. Si la gaine d'amenée pour la chambre à coucher est conduite sans isolation à travers la salle de bain, ceci permet d'abaisser la température dans la chambre à coucher et de l'augmenter dans la salle de bain (cf. paragraphe 3.3).

### **Distribution de chaleur dans l'habitation, création de zones de température**

Le transport de chaleur entre une pièce équipée uniquement d'une bouche d'air soufflé et une pièce voisine s'effectue environ pour moitié à travers la cloison de séparation et pour moitié par l'air qui s'écoule entre les deux pièces. Dans les maisons présentant une structure ouverte et d'une manière plus générale lorsque les portes de communication sont ouvertes, les échanges de chaleurs s'effectuent principalement par les courants de convection naturels. Ce flux de chaleur, qui peut être dix fois plus élevé que les deux autres mentionnés en début du paragraphe, assure un équilibrage rapide des températures à l'intérieur de l'habitation.

Ceci permet de renoncer à un système de distribution de la chaleur coûteux; un système de chauffage «simple» suffit. Inversement cela signifie qu'il est nécessaire de prendre des mesures particulières lorsque les locaux d'une habitation doivent présenter des températures différentes (cf. paragraphe 3.5).

### **Commande et possibilités de réglage**

Le débit d'air et la température consigne doivent pouvoir se régler séparément. Le réglage de l'apport de chaleur s'effectue au travers de la température de l'air soufflé. La sonde de température ambiante est placée de manière centrale dans l'habitation.

Dans les immeubles plurifamiliaux aussi, le débit d'air, et en règle générale aussi la température, doivent pouvoir être réglés de manière individuelle par appartement. Le réglage de la ventilation devrait présenter au minimum les paliers arrêt, ventilation de base, normal, selon besoin (cf. paragraphe 3.6).

### **Poêle à bois**

La puissance de chauffe minimale des poêles à bois est limitée par la nécessité d'assurer une combustion efficace et propre. La chaleur diffusée dans la pièce dépend de la puissance de chauffe et de l'inertie thermique du poêle. Même les plus petits poêles disponibles sur le marché sont en fait surdimensionnés pour le chauffage des appartements d'une maison passive. Les poêles qui peuvent céder une partie de leur chaleur au réservoir d'eau chaude à travers un échangeur de chaleur présentent sur ce point un avantage.

Avec les portes de communication intérieures ouvertes, la convection permet à la chaleur d'un poêle à bois placé dans une pièce de se répartir dans l'habitation. Si une maison passive est chauffée durant une longue période uniquement avec un poêle à bois placé dans une pièce, il s'établit des différences de températures de 2 à 4 K entre les pièces. Les poêles à accumulation doivent toutefois présenter des pouvoirs de restitution de chaleur très faibles afin d'éviter une surchauffe à court terme des pièces. Le pouvoir de restitution de chaleur maximum ne devrait pas dépasser 2 kW (dans un appartement de 130 m<sup>2</sup>). Avec les poêles à bûches, la masse d'accumulation doit être dimensionnée de manière à ce que la diffusion de chaleur s'effectue sur (au moins) 24 heures ou le chauffage doit être réparti sur la journée en au minimum deux allumages du poêle. Les poêles à granulés de bois présentent certes de meilleures possibilités de réglage mais là aussi le problème est celui de la faible puissance demandée.

### **Systèmes de ventilation**

#### Ventilateurs / équilibrage

On utilise de préférence des moteurs à courant continu à commande électronique qui présentent une très faible consommation d'énergie. Les débits d'air soufflé et évacué doivent être égaux pour tous les états de fonctionnement (installation équilibrée). Cet équilibrage exige en principe une commande par flux massiques que toutefois seuls quelques rares fabricants offrent déjà actuellement. Le plus souvent le réglage est à flux volumique. Mais avec un tel réglage, le flux massique dépend de la température : A une différence de température de 10 K, les écarts sont d'environ 3 à 4%.



### Fuites

Les fuites les plus importantes sont avant tout celles des échangeurs de chaleur, car elles provoquent une diminution du rendement de récupération effectif et qu'elles peuvent aussi porter atteinte à la qualité de l'air.

### Besoins de ventilation accrus

Du fait débits d'air évacués nécessaires et de la forte charge en polluants de l'air évacué il n'est pas judicieux de raccorder les hottes de cuisine au système de ventilation. Ces hottes devraient être à recirculation d'air.

Les hottes avec évacuation d'air et ouverture d'amenée d'air séparées peuvent aussi entrer en ligne de compte mais elles sont toutefois plus critiques sur le plan de l'exploitation et de l'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment.

Une courte aération (env. 10 min, de préférence aération traversante) est aussi appropriée dans les maisons passives pour évacuer efficacement un air fortement vicié (cf. paragraphe 6.1).

### **Mise en service, réception**

Pour les ventilations avec fonction de chauffage, la documentation ne donne pas d'informations particulières. Le bon fonctionnement des installations de ventilation avec fonction de chauffage présuppose un fonctionnement parfait de la partie ventilation de l'installation.

Les points particulièrement importants à vérifier pour la fonction chauffage sont les suivants:

- Taux de récupération et débits d'air de l'échangeur de chaleur
- Puissance du registre de chauffage
- Température d'injection sur les bouches d'air soufflé
- Température des pièces durant une période froide

(cf. paragraphe 6.8).

