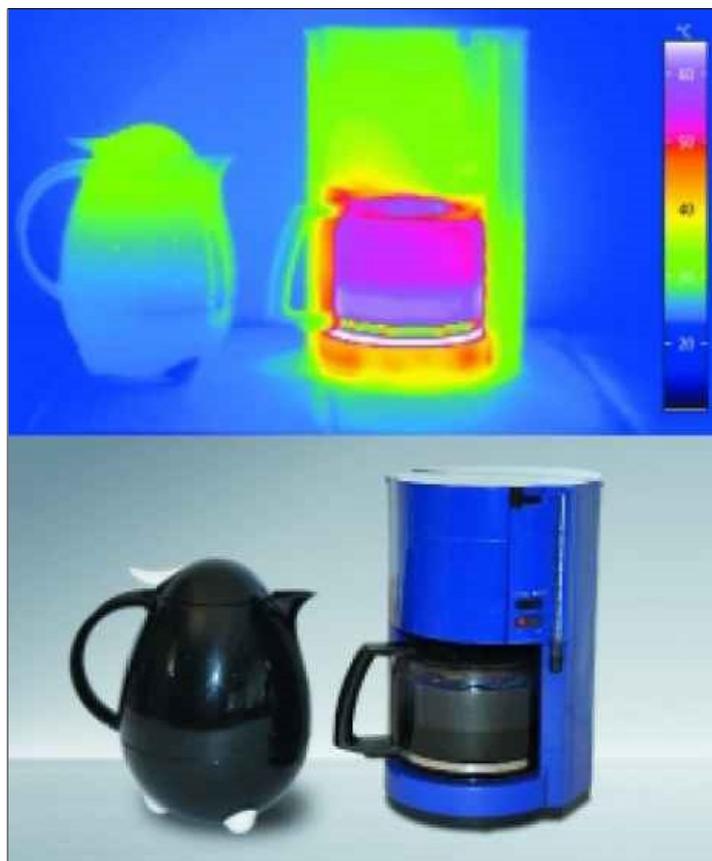


Zu den Seiten
der aktuellen
Passivhaustagung

Isolation ou inertie thermique ?

aufbereitet vom
Passivhaus
Institut



La sauvegarde de la chaleur n'est efficacement utilisable qu'en coopération avec l'isolation:

Le réservoir mal isolé (réceptacle à droite) perd vite beaucoup de chaleur, qui doit être compensé par la plaque chauffante. Le réservoir très bien isolé (thermos, à gauche) permet de garder la chaleur pendant des heures. Dans les bâtiments, c'est pareil. (voir l'image suivante).



Cette thermographie montre à gauche un bâtiment ancien non isolé (derrière les arbres) et à droite une façade très bien isolée après coup (20 cm isolation):

- Côté gauche (coloré): le mur non isolé conduit très bien la chaleur jusqu'à la surface extérieure, qui irradie de la chaleur dans la nature. Ceci est très reconnaissable à la forte température de la surface extérieure, entre 6 et 7 °C.
- Côté droit (bleu sombre): l'isolation réduit le flux de chaleur de l'intérieur à l'extérieur de façon très importante. La

Dans de nombreuses publications (aussi sur Internet), on insiste sur la nécessité de conserver la chaleur. On y affirme qu'une amélioration de l'isolation des murs extérieurs est inutile, voire dangereuse. Apparemment, la science ne prendrait pas suffisamment en compte les effets de l'inertie thermique dans les murs ainsi que les apports de chaleur du soleil. Déjà en 1987 l'auteur de ces lignes a systématiquement répondu sous le même titre à cette question. Entre temps une foison de résultats supplémentaires sont disponibles. Tous valident cette publication. Le résumé ci-dessous peut-être commandé sous sa forme "longue" à l'adresse suivante:

W. Feist: Est-ce que l'inertie thermique est plus importante que l'isolation ?

nouvelle surface en crépi a une température inférieure à 4 °C; Cette température est identique à celle des arbres. Cela montre que les pertes de chaleur sont extrêmement faibles. Les pertes à travers les fenêtres sont elles un peu plus importantes. Et la fenêtre ouverte (en haut, à gauche) prouve, que la maison est pourtant chauffée...

(Thermographie: 17.12.2002, 7:52 W. Feist)



La même photo en lumière normale un peu plus tard. La plateforme qui a été utilisée pour le montage des balcons, vient juste d'arriver. (Photo Digitale: 17.12.2002, 8:36 B. Schulze-Darup)



L'isolation de 20 cm sur la façade pendant la réalisation (rénovation Nuremberg Jean-Paul-Platz). Les plaques d'isolant sont collées sur le vieux crépi et dans la phase suivante seront recouvertes d'un nouvel enduit. Cette technique a largement fait ses preuves. Les économies d'énergie de cette rénovation "modèle" sont supérieures à 85% (voir "La rénovation").

L'équation de conduction de la chaleur dans la forme générale décrit l'évolution temporelle d'un champ de températures $T(x,y,z)$ dans un matériau inerte (par ex. un solide). Les différences de température (gradient "grad", tout à droite du côté droit) génère un flux de chaleur, qui est d'autant plus important, que les composants du tenseur de conduction thermique Λ est grand¹). ($q = -\Lambda \text{ grad } T$ est le flux de chaleur). La divergence négative du flux de chaleur est exactement le changement du contenu de chaleur dans les éléments de volume infinitésimal. Celle-ci est égale à la capacité de chaleur $\rho \text{sdot } c$ multiplié par le changement dans le temps de la température $\partial T / \partial t$ (côté gauche de l'égalité).

1. Les faits essentiels

L'état de la recherche montre sans aucun doute scientifique³) les faits suivants:

- Pour la consommation en énergie de chauffage d'un bâtiment d'habitation en Europe Centrale, ce sont en première ligne l'isolation de l'enveloppe et la ventilation qui sont en les premiers responsables.
- L'ensoleillement des murs extérieurs est en moyenne pendant la période de chauffage normalement d'un effet négligeable avec un faible gain en énergie, qui est en plus relativisé par les déperditions dans l'atmosphère froide. Cependant l'utilisation passive de l'énergie solaire peut-être sensiblement augmentée par l'utilisation de couches sélectives ou encore par une isolation translucide
- En fin de compte, l'influence de la conservation de la chaleur des murs extérieurs est extrêmement faible (moins de 0,5%).
- En revanche, l'inertie thermique des éléments intérieurs a une influence non négligeable sur la stabilité de la température en été. Ce qui est important ce sont avant tout les murs intérieurs et les sous-plafond. Cet effet sera discuté dans un chapitre postérieur.

Les faits suivants sont justifiés dans la version "longue" et expliqués plus en détail. Les résultats principaux:

- Pour les éléments exténes au bâti, c'est de l'isolation que dépend les pertes thermiques. L'isolation est toujours efficace. Quelle soit à l'intérieure ou à l'extérieure. Ce qui est important aussi, c'est la suppression des ponts thermiques ainsi que l'étanchéité à l'air.
- L'inertie thermique des parties extérieures est indifférente.
- Et seulement dans une modeste mesure, le degré d'absorption de l'énergie solaire et le degré d'émission de l'énergie calorifique des surfaces extérieures jouent un rôle

2. Définition de la conservation de la chaleur

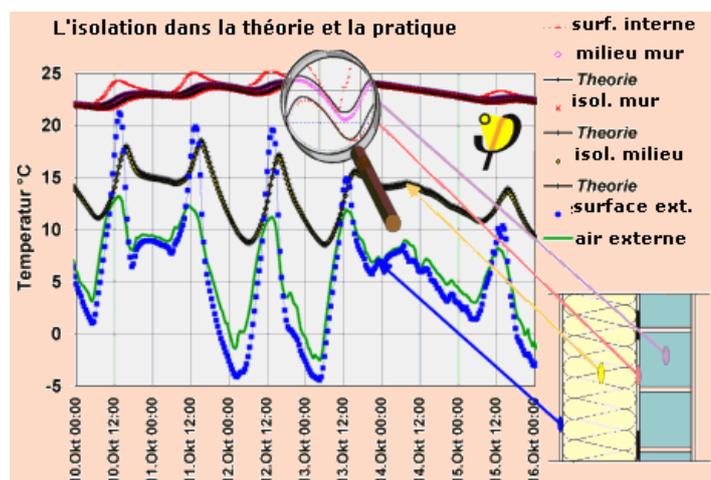
Le pouvoir de conserver la chaleur ou capacité calorifique (c'est la dénomination de la physique) décrit la faculté d'un matériau d'absorber de la chaleur. Nous utilisons l'effet de conservation par ex. depuis longtemps dans les bouillottes, les ballons à accumulation ou les radiateurs à accumulation. La conservation de la chaleur n'est pas une source d'énergie. Toute l'énergie contenue doit être à un moment ou à un autre apportée d'une manière ou d'une autre, par ex. en chauffant l'eau de la bouillotte.

3. Auto-décharge

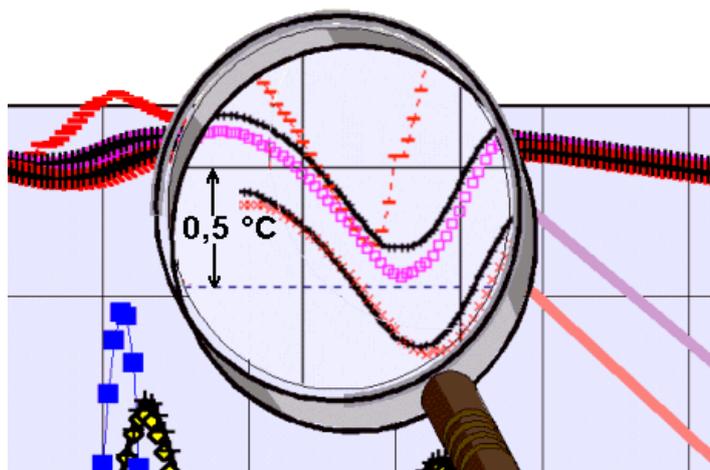
Une bouillotte non isolée (par ex. si elle n'est pas sous la couette) rend son contenu calorifique en peu de temps et n'est plus qu'une bouillotte froide. Ce n'est qu'une bonne isolation qui rend la conservation de la chaleur vraiment efficace. Cela vaut -et de manière nettement plus importante- aussi pour la conservation de la chaleur dans les bâtiments. Ici pourtant la durée de conservation de la chaleur est considérablement plus longue (plus d' ¼ d'année) que pour la bouillotte (8

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = - \operatorname{div} (- \Lambda \operatorname{grad} T)$$

Cette équation a largement fait ses preuves en physique et en technique. Des choses aussi différentes que le transport de la chaleur dans les étoiles, dans les semi-conducteurs, les plaquettes de frein entre autres, se laissent bien calculer avec des résultats vérifiés par la pratique. Dans la physique du bâtiment il n'en va pas autrement. Et de même les résultats sont validés par la pratique. Par ex. dans ce graphique:



Les valeurs mesurées de la température dans le mur sont représentées par des symboles de couleur, les valeurs calculées selon la formule citée plus haut sont les courbes noires ("Theorie"). La théorie et la pratique concordent si bien, que les écarts ne sont pas discernables à cette échelle, mais uniquement sous la loupe. La construction du mur ainsi que les zones de mesures du très sensible Pt100 est documenté en bas à droite. L'épaisseur d'isolation est de 275 mm. A partir de ces résultats de mesure, on en déduit d'autres caractéristiques du mur. Une discussion détaillée se trouve dans [Feist 1987], sur internet voir "l'isolation fonctionne".



Grossissement du diagramme précédent: la plus grande différence entre la courbe théorique (courbe noire) et les valeurs calculées (symbole de couleur) est de 0,2 °C. Cet écart correspond aux erreurs de mesure.²⁾

Remarques:

¹⁾ Ici, on a présenté la formulation la plus générale, pour laquelle la conductivité thermique peut-être différente selon les directions (par ex. dans une brique perforée). Que le matériau conducteur

heures). Comme comparaison, voir le premier graphique dans la colonne de gauche.

4. Conserver la chaleur et isoler sont complémentaires

Tous les deux sont décrits par l'équation du transfert de chaleur. Celle-ci est démontrée expérimentalement en 1822 par Jean-Baptiste-Joseph de Fourier qui établit l'équation générale de conduction de la chaleur. Elle détermine le jeu alterné de la conservation et de la conduction de la chaleur dans un matériau immobile. Aujourd'hui il est possible à l'aide de programmes numériques d'appliquer cette équation différentielle à différents types d'assemblages. Et ainsi de recueillir une description précise de l'évolution des températures. Des programmes comme HEAT2 ou HEAT3 peuvent le faire, d'ailleurs même en deux ou trois dimensions. Les valeurs ainsi calculées se retrouvent ensuite dans la pratique.

Des programmes de simulation (comme par ex. "Dynbil", "Derob", "Transys"), avec lesquels les flux d'énergie dans les éléments du bâti et les bâtiments sont calculés de façon numérique, utilisent tous l'équation générale de conduction de la chaleur de Fourier – ils prennent donc en compte les effets de conservation comme ceux de conduction de la chaleur. C'est avec ces outils numériques qu'ont été atteints les trois résultats importants suivants

- Pour les éléments usuels des bâtiments, il s'avère que l'effet de conservation de la chaleur au bout de quelques jours s'est estompé *herausmittelt* (voir l'explication dans la section suivante)
- Plus importants sont les flux thermique par des "détours" dans les trois dimensions de la pièce. Ces ponts thermiques peuvent occasionner des pertes de chaleur importantes. Ils doivent en conséquence être éliminés de manière minutieuse., si l'on veut que l'isolation soit efficace.
- Grâce aux simulations selon l'équation générale de la chaleur de Fourier, la maison passive a été conçue pour être la solution particulièrement économe en terme d'énergie tout en apportant un grand confort thermique aussi bien l'hiver que l'été. [Feist 1993].

5. Approche stationnaire

Si l'on considère de plus longues périodes, l'apport et les pertes d'énergie de la capacité thermique s'équilibrent d'après le bilan énergétique, puisqu'il doit y avoir autant de chaleur apportée, qu'il y en aura de disponible si les températures au début et à la fin sont identiques.

C'est quoi une "longue période" ? Cela dépend du système considéré. Pour une feuille de papier, une heure c'est déjà "long". Pour une dalle de béton de 160mm, trois jours c'est "long". Cependant, pour une couche de terre de plusieurs mètres d'épaisseur, il faudra attendre 6 ans pour que ce soit "long".

Pour une conservation de la chaleur "entre les saisons", une telle construction massive est pourtant inadaptée. Les recherches qui sont faites pour réaliser la conservation de la chaleur des installations solaires, montrent les masses énormes nécessaires (généralement plusieurs tonnes d'eau) et avant tout les isolations considérables (50 cm et plus) pour éviter une trop grande perte de chaleur. Ici aussi on remarque que

de chaleur soit indépendant de la direction (isotrope), le tenseur Λ peut être remplacé par la valeur scalaire de conduction de la chaleur λ . La capacité de chaleur spécifique $\rho \cdot c$ et la conductivité thermique Λ peuvent être dépendant du lieu, sans que l'équation ne change beaucoup. Que les coefficients dépendent aussi de la température (par ex. pour les gaz), l'équation en devient non-linéaire. La solution numérique livre pourtant encore des résultats utilisables sous certaines conditions.

²⁾ Les mesures ont été faites avec des capteurs Pt100, calibrés en laboratoire, qui ont été montés dans le murs et utilisés pendant de nombreuses années. Les fils de mesure ont été ainsi câblés qu'ils ne pouvaient pas influencer sur le champ de température. La création de chaleur par le capteur étant elle-même négligeable (mesure à 4 conducteurs avec de faibles impulsions électriques seulement pendant la mesure). Le programme de mesure a été financé par la province de la Hesse. Les résultats ont été entre autres publiés dans le rapport Nr. 5 "bilan énergétique et comportement à la chaleur" du groupe de travail "construction économique de maison passives". C'est là aussi que l'on peut trouver des données plus précises quant aux calculs numériques [AkkP 5]. Les différences entre les mesures et les simulations numériques sont causées par les effets suivants:

- restes d'erreurs de calibration (env. +/- 0.15 K)
- restes d'erreurs de positionnement (etwa +/- 2 mm)
- imprécisions dans la construction du mur notamment dûs aux épaisseurs variables de mortier
- influence de ponts thermiques éloignés (le calcul se fait selon l'équation à une dimension)
- effets de l'humidité (qui peut être prise en compte dans les équations liées de transport de chaleur et d'humidité)
- précision limitée de la connaissance des matériaux employés. Toutes ces influences ont été contrôlées aussi précisément que faire se peut; il en résulte une très bonne adéquation entre les valeurs mesurées et celles calculées.

³⁾ De nombreux, on reproche à la science que les lois (notamment celle de la conduction de la chaleur) ne soit pas "pouvée". D'une façon tout à fait stricte, c'est d'ailleurs même vrai. Car la sérieuse science ne peut justifier ses assertions sans se référer à ses principes fondamentaux qui ne sont pas prouvés. *Bien plus, les lois de la science doivent être vérifiées par l'expérimentation.* C'est cela qui définit la science sérieuse et rend le progrès possible. Et cela implique que le niveau des connaissances scientifique a atteint un très haut degré de fiabilité. Il a jusqu'à présent soutenu toutes les vérifications. Cela ne rend pas la connaissance scientifique infaillible. Mais ce niveau permet la meilleure description connue des phénomènes physiques.

Et ces assertions, chacun peut les vérifier par lui-même. Par ex. aussi pour le sujet de l'isolation:

- Qu'est ce qui se passe quand, l'hiver, le chauffage défaille dans une construction ancienne ? L'auteur l'a lui-même vécu: les températures baissent jusqu'au point de congélation. Chez nous même l'eau des vases gélait...
- Et qu'est ce qui se passe quand le chauffage s'arrête dans une maison passive ? Même par les temps les plus froids, la température ne baissera que très lentement dans une maison bien isolée. De deux à quatre jours cela restera confortable. Et même après deux semaines, la température ne baisse pas en dessous de 14°C. Les faibles sources de chaleur intérieures continuent à tempérer la maison.

Dit simplement: *que les équations de conduction de la chaleur ne décrivent pas d'une manière "absolument sûre" les échanges thermiques dans un bâtiment, c'est possible. C'est cependant à peu près aussi sûr que le fait que la Terre tourne autour du*

la conservation de la chaleur n'est possible qu'en liaison avec une bonne isolation. En fin de compte, la méthode qui semble la plus prometteuse est d'utiliser la terre sous la maison pour conserver la chaleur.

Pour les éléments de construction standards, on peut utiliser l'approche stationnaire, quand il s'agit de pertes thermiques tout au long de la période de chauffage. A ce moment là, les températures en début et en fin sont à peu près équivalentes et le bilan net de conservation est nul. Cette approche conduit au coefficient d'isolation thermique U, bien connu par ailleurs (auparavant valeur k). Les calculs qui utilisent la valeur U tout à fait corrects, quel que soit le type de bâtiment. Un exemple en est la méthode simplifiée du "Passivhaus Projektierungs-Paketes" (PHPP); pourtant les résultats concordent bien avec les mesures effectuées sur le terrain. (voir les pages concernant le bilan énergétique).

6. La théorie et la pratique (mesures)

Dans quelle mesure la théorie et la pratique correspondent, c'est montré dans les relevés de températures qui ont été réalisés dans la maison passive "Kranichstein". Les derniers deux graphiques de la colonne de gauche montrent les valeurs mesurées (symboles de couleur). Les résultats des calculs avec les modèles de simulation sont représentés par des lignes noires. La concordance de la théorie et de la pratique est si bonne que les différences ne sont perceptibles que lorsqu'on utilise la loupe. Les différences maximales sont de +/- 0,2 °C.

7. Contre: l'inertie calorifique intérieure a une influence

Qu'est ce qu'on entend par capacité calorifique intérieure ? C'est le réservoir de chaleur qui par le biais des murs intérieurs est contiguë de l'air de la pièce. Elle est située à l'intérieure de l'enveloppe isolante du bâtiment, en ce sens comparable au matériau isolant de la bouteille thermos. Cette capacité thermique atténue les changements de température dans la pièce, par ex. quand les rayons du soleil entrent par les fenêtres. Pendant la période principale de chauffage, c'est plutôt de second ordre. Mais l'été, quand il s'agit d'atténuer les pics de température de la journée avant de retrouver la nuit une possibilité de ventiler, une capacité thermique intérieure est avantageuse. D'ailleurs, l'été aussi une bonne isolation qui empêche l'entrée de la chaleur est tout autant utile.

8. Résumé et exemples

C'est l'isolation qui fait la différence, pas l'inertie thermique. Cela n'est pas uniquement le cas des bâtiments, mais aussi celui de nombreuses situations de la vie de tous les jours:

- Si nous voulons garder le thé ou le café au chaud, nous utilisons une couverte théière ou une thermos. L'alternative à l'isolation ne se situe pas dans l'inertie thermique mais dans le réchauffage (bougie ou chauffe-plat).
- Par temps froid, nous mettons des Pullover, collants, chapeaux,...
- Nos lits, nous les protégeons par des couvertures épaisses ou mieux des édredons en plume d'eider. Bien sûr que l'édredon n'est pas chaud par lui-même, mais il est surtout très isolant, ce qui fait que le corps humain ne perd que très peu

Soleil. La même chose est aussi valable pour la connaissance sur le changement climatique et pour l'état de la recherche sur l'évolution. Pour la science sérieuse, c'est généralement plus "difficile" que pour les fanatiques qui croient dur comme fer à leurs convictions. La science remet constamment en cause ses acquis. Cela lui apporte une double force: non seulement cela garantit un processus constant d'amélioration, mais aussi cela oblige à la tolérance. Personne n'est en possession de la vérité absolue. *Les convictions personnelles ne peuvent être pour personne si importante que la dignité d'autres soit mise en question; les principes d'éthique, comme ceux de la théorie demeurent au dessus de la science.* Puisse cela au moins être enfin reconnu par tous ! (voir Max Born: "De la responsabilité des scientifiques").

d'énergie.

- Les agriculteurs en automne sont régulièrement prévenus de la "gelée au sol". La perte de chaleur dans le ciel clair de la nuit fait que la gelée se produit toujours d'abord sur le sol (malgré inertie thermique et rayons du soleil!). Avec de la paille (isolant) ou des un film plastique (isolation transparente/translucide) l'agriculteur protège ses plantes.

La meilleure preuve de la fonction d'isolation est la maison passive elle-même. Une maison passive reste longtemps chaude l'automne, parce que grâce à l'isolatio et à la récupération de chaleur, elle ne perd que très peu de chaleur. Même lorsqu'on devra chauffer au coeur de l'hiver, les besoins de chaleur restent très faibles. Que cela fonctionne vraiment ainsi, comme le prévoient les lois de la physique du bâtiment, il y a des milliers d'exemples construits qui le prouvent. Une bonne isolation des bâtiments s'est ainsi justifiée de manière implacable. Chacun peut s'en convaincre par lui-même, par ex. au cours de l'excursion organisée pendant les rencontres de la maison passive ou au cours des journées de la maison passive. A cette occasion, les propriétaires de maisons passives ouvrent leurs portes, pour permettre aux visiteurs de se faire leur propre opinion. La cohérence scientifique, chacun peut s'en convaincre soi-même, pas besoin de gourou pour ça. C'est d'ailleurs l'exigence fondamentale de la science: elle doit être vérifiable. Même les mesures doivent se plier à cette condition. Les oconditions aux limites doivent être documentées, les mesures doivent être faites avec suffisamment de précision (avec un thermomètre usuel de maison on peut mesurer les températures avec une précision de 1 à 2 °C). La cohérence de la physique, on n'a pas besoin d'y croire, chacun peut la vérifier soi-même.

Apprendre par le travail et l'action

Le thème qui est présenté ici, est d'ailleurs un sujet d'étude privilégié pour les écoles. Tout autant dans au collège/lycée que dans les classes supérieures, on peut y travailler une compréhension fondamentale des principes physiques, les différences entre grandeurs extensives (contenu calorifique, énergie interne) et intensives (température), tout comme la première loi de la thermodynamique (énergie). De petits modèles (des boites d'isolant pour un récipient avec de l'eau chaude) sont très cvite construits et permettent aux élèves une vérification personnelle des liens. Il y a une connexion forte avec les expériences journalières. Albert Einstein dit à ce propos la chose suivante: "les personnalité ne se forment pas avec ce qu'ils entendent, mais à travers le travail et l'action."

Littérature:

[Feist 1987] **Est ce que l'inertie thermique est plus importante que l'isoaltion ?**

1. Auflage, IWU 1987; 2. Auflage, Passivhaus Institut, 2000 ([Link zur Bestellung der Langfassung](#))

[Feist 1993] **Des maisons passives en Europe Centrale;** Dissertation, Universität Kassel, 1993

[AkkP 5] **Bilan énergétique et comportement de la chaleur;** Protokollband Nr. 5 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser, 1. Auflage, Passivhaus

Institut, Darmstadt 1997 ([Link zur Publikationsliste](#),  [PDF](#), 200kB)

(actualisé le 31.10.2006 Auteur: Dr. Wolfgang Feist © Passivhaus Institut; Reproduction autorisée sans modification et mention de la source. Ces pages sont régulièrement actualisées et augmentées.
Traduction:lamaisonpassive.fr)