

Gerd Böhm*

Im Mehrfamilienhaus, in Verwaltungsgebäuden, Schulen usw. können starr vorgegebene Heizunterbrechungen Komforteinbußen verursachen, die oft in keinem rechten Verhältnis zu der ohnehin meist überschätzten Energieeinsparung stehen. Es ist deshalb für den Heizungsfachmann wichtig zu wissen, wie die Energieersparnis durch Heizpausen zustande kommt, welche Größenordnung zu erwarten ist und welche heiztechnischen Konsequenzen jede Heizunterbrechung nach sich zieht.

Bei Nichtbedarf die Heizung abschalten ist die naheliegendste aller Energieparmaßnahmen. Kein Hersteller heiztechnischer Regelsysteme verzichtet deshalb darauf, dem Nutzer entsprechende Einstellmöglichkeiten, bis hin zum komplett programmierten Heizbetrieb anzubieten. Damit können über den Tag oder auch die ganze Woche hinweg, Heizungsunterbrechungen in beliebiger Anordnung und Dauer vorgesehen werden. Noch bequemer ist das Abrufen fertiger Heizprofile für die unterschiedlichsten Nutzergruppierungen, wie berufstätige Singles, Rentner, Familien mit Kleinkindern usw. Grundsätzlich ist also nichts gegen einen programmierten Heizbetrieb einzuwenden, besonders dann nicht, wenn der Nutzer jederzeit Eingriffsmöglichkeiten hat und bedarfsweise das Programm auch ganz aufheben kann. Das ist nicht immer der Fall, z. B. im zentral beheizten Mehrfamilienhaus, in Verwaltungsgebäuden, Heimen, Schulen usw. Hier können starr vorgegebene Heizunterbrechun-



Bild und Grafiken: Buderus

Energieersparnis und heiztechnische Konsequenzen

Wie sinnvoll sind Heizpausen?

gen Komforteinbußen verursachen, die den Nutzern einfach zugemutet werden, die aber oft – zusammen mit dem womöglich entstehenden Ärger – in keinem rechten Verhältnis zu der ohnehin meist überschätzten Energieeinsparung stehen. Es ist deshalb wichtig zu wissen, wie die Energieersparnis durch Heizpausen zustande kommt, welche Größenordnung zu erwarten ist und welche heiztechnischen Konsequenzen jede Heizunterbrechung nach sich zieht.

Energieersparnis durch Heizpausen

Heizpausen betreffen die Verluste der Heizungsanlage und die des Gebäudes. Aus dieser Doppelwirkung rührt wohl die im Allgemeinen recht hohe Einsparerwartung. Vielleicht spielt auch die Vorstellung mit, daß sich das Verhältnis Pausendauer/Betriebsdauer in der Brennstoffeinsparung widerspiegelt, daß z. B. 8 Stunden nächtliche Heizunterbrechung im Verlauf des 24-Stunden-Tages – ein Drittel der Zeit – auch ein Drittel Brennstoffeinsparung bewirken. Obwohl als Grenzfall denkbar, ist das in aller Regel weit weg von der Realität, denn mit Abschalten des Heizkessels sind nicht dessen Wärmeverluste und schon gar nicht die des Gebäudes beendet. Solange Heizkessel und Gebäude gegenüber ihrer Umgebung

temperiert sind geben sie Wärme ab – der Kessel an den Aufstellraum und das Gebäude an die Außenluft. Sie kühlen aus und nähern sich mehr oder weniger schnell ihrer jeweiligen Umgebungstemperatur. Der Mechanismus dieses Vorgangs ist für den Kessel und das Gebäude derselbe, für den Kessel aber sehr einfach, auch quantitativ, erfaßbar.

Energieersparnis durch Abschalten des Kessels

Bild 1a zeigt beispielhaft den Auskühlverlauf zweier Heizkessel mit verschiedenen großen thermisch wirksamen Massen (temperierte Gesamtmasse in kg Wasser umgerechnet) aber gleichem Verlustwärmestrom $\dot{Q}_B = 0,1 \text{ kW}$, bezogen auf 40°C mittlere Kesselwassertemperatur (Heizkurve $45^\circ\text{C}/35^\circ\text{C}$). Der massearme Kessel hat nach 4 h nahezu Umgebungstemperatur erreicht und damit sein gesamtes Wärmepotential von $4 \text{ kg} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot (40-20) \text{ K} = 0,093 \text{ kWh}$ abgegeben. Von jetzt an ist er wirklich „außer Betrieb“. Der masserei-

* Dipl.-Ing. Gerd Böhm, Buderus Heiztechnik, 35576 Wetzlar, Telefon (0 64 41) 4 18 16 35, Telefax (0 64 41) 4 18 16 33

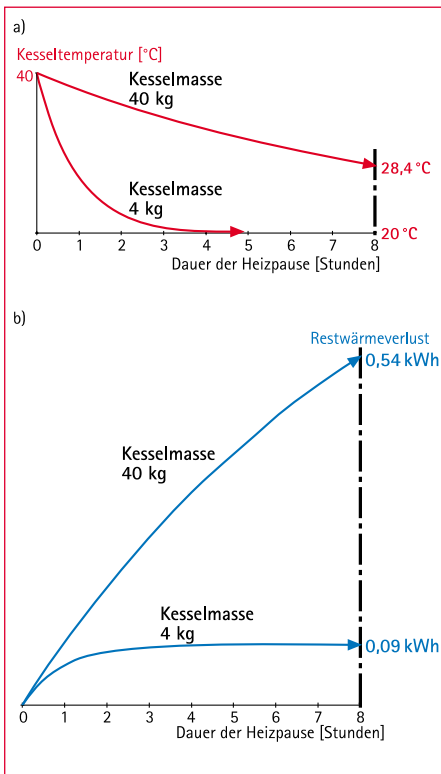


Bild 1 Auskühlverlauf und Restwärmeverlust bei unterschiedlicher thermisch wirksamer Masse

chere Kessel ist auch 8 h nach Abschalten noch temperiert und thermisch aktiv. Von seinem Wärmepotential hat er $40 \text{ kg} \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot (40-28,4) \text{ K} = 0,54 \text{ kWh}$ verloren. Bild 1b gibt diesen „Restwärmeverlust“ über der Zeitachse wieder. Der energetische Gewinn gegenüber durchgehender Temperierung ist nun leicht zu ermitteln. In diesem Fall hätten beide Kessel $0,1 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h} = 0,8 \text{ kWh}$ Wärmeverlust produziert. Es werden somit $0,8 - 0,093 = 0,71 \text{ kWh}$ bzw. $0,8 - 0,54 = 0,26 \text{ kWh}$ je Abschaltvorgang der beschriebenen Art eingespart. Auf 270 Heiztage hochgerechnet würde das etwa 20 l bzw. 7 l Heizöläquivalent ausmachen. Das ist nicht allzu viel. Die reale Ersparnis wird etwas höher sein, weil auch Rohrleitungsverluste zurückgehen. Trotzdem wird es sich kaum lohnen mit der Außerbetriebnahme evtl. verbundenen Ärger in Kauf zu nehmen – z. B. wenn in Mietwohnungen durchgehende Warmwasserversorgung erwartet wird.

Unterbrechung der Gebäudebeheizung

Grundsätzlich läuft der gleiche Vorgang wie in Bild 1 für die Kessel dargestellt, ab. Deren Temperaturgänge (J_t) folgen der Beziehung

$$J_t = \frac{D J_0}{e^{\frac{\dot{Q}_B \cdot t}{m_K \cdot c_K \cdot D J_0}}} + J_u \quad (1)$$

hierbei handelt es sich um die Verknüpfung von Betriebs- und Funktionsparametern. Betriebsparameter sind die Ausgangs-Temperaturdifferenz des Kesselwassers zum Raum ($D J_0$) sowie die Pausendauer (t). Die Konstruktionsparameter sind im Quotienten $\dot{Q}_B / (m_K \cdot c_K)$ enthalten. \dot{Q}_B ist der Verlustwärmestrom des Kessels, beeinflussbar über die Oberflächengröße und Dämmqualität, und $m_K \cdot c_K$, die schon wiederholt genannte „thermisch wirksame“ Masse. Je größer der Quotient, um so steiler der Temperaturverlauf und – wie obige Rechnung belegt – um so deutlicher der mit der Pause erzielte Energiespareffekt. Gleiches kann für das Gebäude gelten. Je größer die Temperaturabsenkung um so deutlicher der energetisch positive Effekt der Pause.

Große Temperaturabsenkung ist entsprechend Gleichung (1) eine Folge geringer thermisch wirksamer Massen, schlechter Dämmqualität, hoher Innentemperatur und niedriger Außentemperatur sowie langer Heizunterbrechung. Der höchste „Pausenspareffekt“ ist deshalb bei einem beheizten Zelt zu erzielen (als zuvor erwähnter „denkbarer Grenzfall“), der geringste mit einem ultrahochgedämmten Haus schwerer Bau-

weise und kleinem A/V-Verhältnis. Bei von diesen Extremen abweichender, üblicher, Bauweise, wird die Temperaturabsenkung während einer 8stündigen Heizunterbrechung auch an sehr kalten Tagen kaum mehr als 1 bis 3 K ausmachen. Bild 2 bildet eine solche Situation bei durchgehender und unterbrochener Beheizung in Form von Energiebilanzen ab. Betrachtet werden die Zeitabschnitte „Beginn bis Ende Heizpause“ und „Ende Heizpause bis zum Wiedererreichen des Ausgangszustands“. Die dicke durchgezogene Linie steht für die Gebäude-Verlustleistung bzw. aufzubringende Heizleistung (kW), die darunterliegende Fläche für die Verlust-Wärmemenge (kWh).

Bei durchgehender Beheizung fällt für die beiden Zeitabschnitte die Verlustmenge $1 + 1 = 2$ an. Mit der Heizpause ist die Heizleistung zwar auf Null gesetzt, der Wärmeabfluß aus dem Gebäude geht aber – mit abnehmender Temperaturdifferenz zur Umgebung kleiner werdend – weiter. Zur Wiederherstellung des thermischen Ausgangszustandes ist zunächst die gerade anliegende „aktuelle“ Gebäude-Verlustleistung zu kompensieren, um das weitere Auskühlen zu beenden, und zusätzlich die während der Pause abgeflossene Wärmemenge einzubringen. Gegenüber a) sind die Flächenanteile jeweils kleiner (< 1) und entsprechend auch die bilanzierte Summe (< 2). Das mit gestrichelter Linie begrenzte stumpfwinklige Dreieck repräsentiert die eingesparte Energiemenge. Rechnerisch ist die Einsparung aus den jeweiligen Temperaturdifferenzen abzuleiten.

Beispiel:

Temperaturdifferenz innere Wandoberfläche 18°C zur Umgebung $-12^\circ\text{C} = 30 \text{ K}$. Mit 3 K Absenkung bis zum Ende der Heizpause – im Mittel also $1,5 \text{ K}$ – ergeben sich $1,5 \text{ K}/30 \text{ K} \rightarrow 5\%$ Minderbedarf für den Zeitraum „Beginn Heizpause“ bis „Ausgangszustand erreicht“. Setzt man hierfür z. B. 16 Stunden und rechnet auf 24 Stunden hoch resultiert die Brennstoffersparnis mit $(16 \cdot 0,95 + 8 \cdot 1)/24 = 0,967$ bzw. 3,3 %.

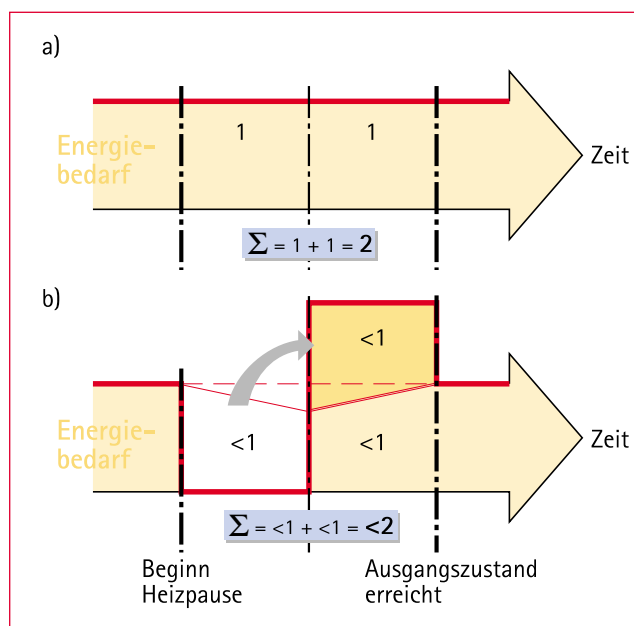


Bild 2 Energiebilanz und Leistungsbedarf bei durchgehender und unterbrochener Beheizung

Heiztechnische Konsequenzen

Bild 2b) zeigt die offensichtliche Konsequenz jeder Heizpause – einen zeitweise erhöhten Leistungsbedarf zum Ausgleich des entstandenen Defizits. Vorgänge dieser Art gibt es in zahlreichen Spielarten. So wird ein Autofahrer, der kurzzeitig „vom Gas“ geht, anschließend das Gaspedal stärker durchtreten, um wieder die Ausgangsgeschwindigkeit zu erreichen, oder jemand der beim Wandern eine Pause macht wird anschließend schneller gehen müssen um die Anderen, die keine Pause machten, wieder zu erreichen.

Leistungs-Mehrbedarf

Der Leistungs-Mehrbedarf kann mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit über einen vom Zeitverhältnis Pausendauer zu Aufheizdauer abhängigen Faktor bestimmt werden

$$f = 1 + \frac{Dt_{(-)}}{Dt_{(+)}} \quad (2)$$

$Dt_{(-)}$ = Pausendauer
 $Dt_{(+)}$ = Aufheizdauer

Danach erfordert eine Heizpause mit anschließender ebenso langer Aufheizdauer das zweifache der gerade aktuellen Gebäudeheizlast zum Wiederherstellen des thermischen Ausgleichs. Steht die doppelte Aufheizdauer zur Verfügung, wird immerhin noch das 1,5fache der Heizlast zum Aufheizen benötigt. Bei acht Stunden nächtli-

cher Heizunterbrechung bedeutet letzteres gerade noch den thermischen Ausgleich bis zur nächsten Pause. Für die Praxis ist von Bedeutung, daß die Mehrleistung nicht nur vom Wärmeerzeuger bereitgestellt werden kann, sie ist vor allem auch in den Raum einzubringen. Dabei spielt die Raumlufttemperatur eine entscheidende Rolle.

Raumlufttemperatur als dynamische Größe

Die Raumlufttemperatur wird – ähnlich wie die „Normheizleistung“ – zumeist als statische Größe angesehen und regeltechnisch behandelt. D. h. Sollwertveränderungen sind zwar auf manueller Basis vorgesehen, nicht aber aufgrund funktioneller Verknüpfungen mit anderen heiztechnisch relevanten Größen. Eine dieser Größen ist die Hüllflächentemperatur, die zusammen mit der Raumlufttemperatur entscheidend für das „thermische Wohlbefinden“ ist. P. O. Fanger untersuchte schon vor langem diesen Zusammenhang. (Bild 3) So wird der durchschnittliche Bewohner in einem Raum mit 16 °C Hüllflächentemperatur bei ständigem Aufenthalt zwischen minimal 22 °C und maximal 27 °C Lufttemperatur benötigen. Die Spanne erscheint relativ groß, bildet man aber den arithmetischen Mittelwert Hüllfläche-/Luft – allgemein definiert als „empfundene Temperatur“ – ergeben sich 19 °C bzw. 21,5 °C. Ist die Hüllfläche aufgrund guter Wärmedämmung oder milder Witterung höher temperiert – z. B. 18 °C – verschiebt sich die als behaglich wahrgenommene Lufttemperatur auf 20 bis 25 °C, was wiederum die arithmetischen Mittel-

werte 19 °C bzw. 21,5 °C ergibt. Statisch ist somit die als behaglich einzustufende „empfundene Temperatur“ nicht aber die Lufttemperatur. Damit ist, selbst unter Ansatz lückenlos durchgehender Beheizung, kaum mit ganzjährig starr vorgegebenen Raumlufttemperaturen auszukommen, vor allem wenn die vom Nutzer vorgenommene Einstellung schon bei milder Witterung an der Minimalgrenze liegt.

Bild 4 zeigt gerechnete Temperaturverläufe eines Gebäudes mit $k = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die Hüllfläche. Bei starr vorgegebenen 20 °C Raumlufttemperatur sinkt die Hüllfläche von 19,3 °C bei +15 °C Außentemperatur auf 14,8 °C bei -15 °C Außentemperatur. Spätestens ab etwa +5 °C dürfte sich zunehmende Unbehaglichkeit bemerkbar machen. Um das Behaglichkeitsfeld zu erreichen, müßte die Raumlufttemperatur witterungsabhängig bis auf etwa 22,5 °C angehoben werden. Damit steigt auch die Hüllflächentemperatur, was die thermische Behaglichkeit weiter verbessert. Da die gängigen Regeleinrichtungen mit statischer Sollwertvorgabe arbeiten (Raumfühler, Thermostatventile) ist die geschilderte Raumluftanpassung manuell vom Nutzer vorzunehmen – was ihm allerdings gesagt werden müßte.

Raumlufttemperatur bei unterbrochener Beheizung

Bei Heizpausen kühlt das Gebäude analog Gleichung (1) ab. Die aktuelle witterungsabhängige Oberflächentemperatur wird somit auch temporär beeinflusst. Mit den Bildern 5a) b) und c) ist eine achtstündige Be-

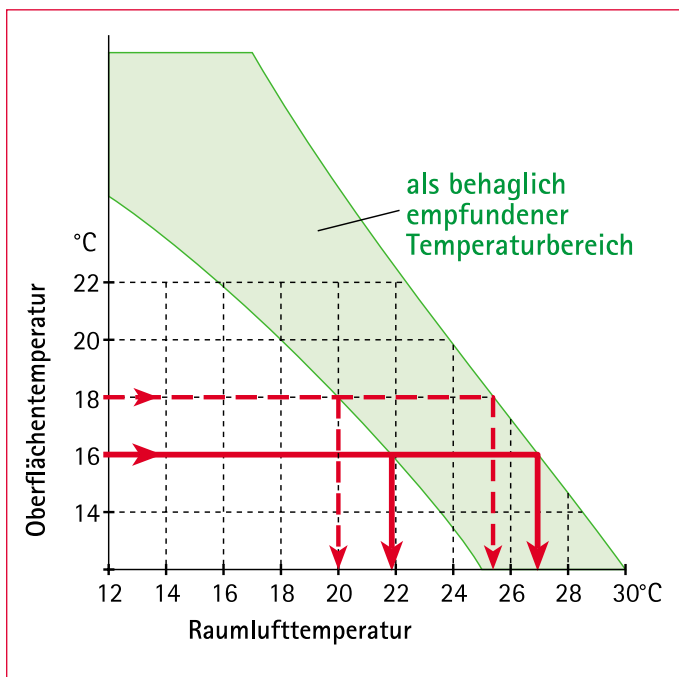


Bild 3 Thermischer Behaglichkeitsbereich (nach P.O. Fanger)

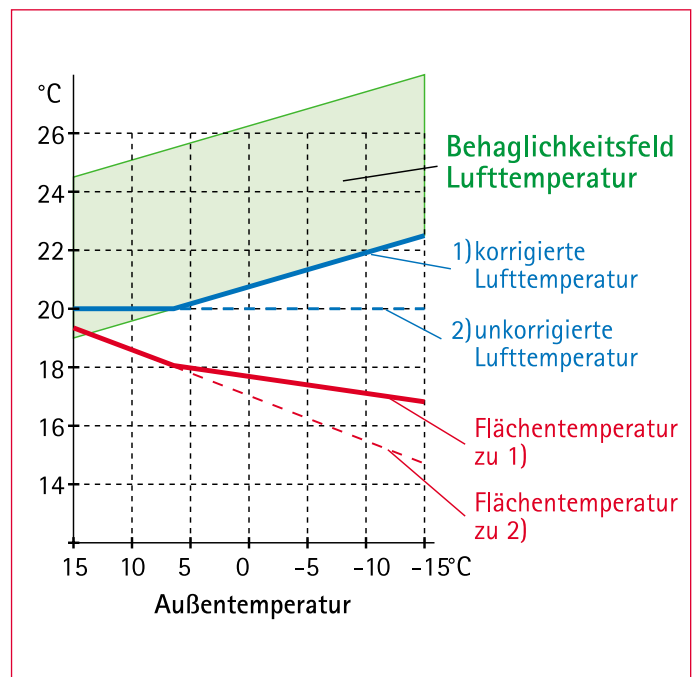


Bild 4 Witterungsabhängige Korrektur der Raumlufttemperatur

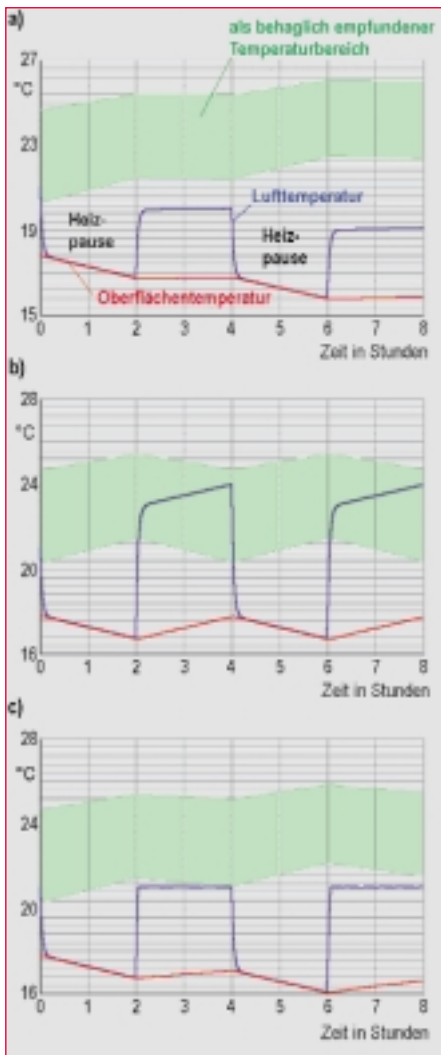


Bild 5 Temperaturgänge einer achtstündigen Betriebsphase mit zwei Heizpausen

a) Aufheizleistung gleich Gebäude-Heizlast; b) Aufheizleistung gleich der zweifachen Heizlast; Lufttemperatur nicht begrenzt; c) wie b) aber Lufttemperatur auf 21 °C begrenzt

triebsphase, unterbrochen durch zwei Heizpausen von jeweils 2 Stunden Dauer dargestellt. Der Pausenabstand beträgt ebenfalls 2 Stunden. Die farbige hinterlegte Fläche markiert den Bereich thermischer Behaglichkeit entsprechend Bild 3. Behaglichkeit ist gegeben, wenn der Temperaturgang der Raumluft innerhalb dieser Fläche verläuft. Den Bildern ist die Hüllflächen-Wärmedurchgangszahl $k = 1,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zugrunde gelegt, was im thermisch ausgeglichenen Zustand bei 21°C Raumlufttemperatur 17,3 °C der Hüllfläche zur Folge hat. Die Außentemperatur beträgt -3 °C. Bild 5a) zeigt die Temperaturgänge mit einer Aufheizleistung gleich der aktuellen Gebäude-Heizlast. Zum Zeitpunkt 0 befindet sich das Gebäude im thermisch ausgeglichenen Zustand. Die Lufttemperatur liegt an der unteren Grenze des Behaglichkeitsfeldes. Es ist zu erkennen, daß die Lufttemperatur das Behaglichkeitsfeld während der nachfolgenden Heizphase unterläuft und sich mit der weiteren Pause noch mehr entfernt. Dauerhafte Unbehaglichkeit ist die Folge. Bild 5b) ist eine Heizleistung gleich der zweifachen aktuellen Heizlast zugrunde gelegt. Die Raumlufttemperatur stellt sich entsprechend der Mehrleistung oberhalb des „Sollwerts“ ein und erreicht in wenigen Minuten das Behaglichkeitsfeld. Innerhalb der zweistündigen Heizphasen ist das thermische Gebäudedefizit jeweils vollständig ausgeglichen. Bild 5c) ist ebenfalls die zweifache Aufheizleistung zugrundegelegt.

Die Raumlufttemperatur ist jedoch regeltechnisch auf statische 21 °C begrenzt. Gegenüber Bild 5b) kommt das dem Abregeln der Aufheizleistung gleich, denn die Erwärmung der Oberflächen erfolgt zum großen Teil über die Lufttemperatur.

Wird anerkannt, daß die „thermische Behaglichkeit“ auf dem Zusammenwirken von Raumluft- und Hüllflächentemperatur beruht, ist die Vorstellung einer ganzjährigen konstant gehaltenen Raumlufttemperatur hinfällig. Dies gilt auch für durchgehende Beheizung und um so mehr, je ökonomischer ohne Komforteinbußen geheizt werden soll. Heizpausen verschärfen die Problemstellung. Grundsätzlich ist aber auch hier entsprechend Bild 5b) Behaglichkeit zu gewährleisten (ausgenommen natürlich während der Heizpause selbst) wenn zwei Bedingungen eingehalten werden:

- Die Aufheizleistung muß grundsätzlich größer sein als die aktuelle Heizlast. Ein Bemessungskriterium kann das Erreichen des vollen thermischen Ausgleichs zwischen zwei Heizpausen sein. Die jeweils zur aktuellen Heizlast erforderliche Mehrleistung ergibt sich aus den Zeitenverhältnissen nach Gleichung (2).
- Das Einbringen der Aufheizleistung erfordert eine Freigabe der Lufttemperatur, zumindest aber deren Hochsetzen während der gesamten Dauer des thermischen Ausgleichs.



Zulassung vorhanden

hat sich unser technischer Vorsprung noch weiter vergrößert.

Die MSH 2000® senkt die Kosten, ist universell einsetzbar, montagefreundlich und ohne aufwendige Tiefbauarbeiten auch nachträglich zu belegen.

ISH ISH 2001
Frankfurt am Main
Internationale
Leitmesse für Sanitär
und Heizung
27.-31. März 2001
Halle 6.1/ Stand B83

Telefon 07321/3000-21
<http://www.hauff-technik.de>
office@hauff-technik.de

Hauff
technik