

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113 (1995)
Heft: 23

Artikel: Die gebäuderelevante, quantitative Darstellung von Klimata: ein neuartiges Planungs- und Dimensionierungsinstrument. Teil II: Strategische Überlegungen
Autor: Burmeister, Harald / Keller, Bruno
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78728>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Harald Burmeister und Bruno Keller, Zürich

Die gebäuderelevante, quantitative Darstellung von Klimata

Ein neuartiges Planungs- und Dimensionierungsinstrument, Teil II: Strategische Überlegungen

Die heute im Bauwesen gebräuchlichen Klimaangaben gehen nur ungenügend auf die Dynamik des Gebäudes ein. Wie in Teil I gezeigt wurde, stellen die «Klimaflächen» oder die verallgemeinerte Heizgradtag-Funktion ein Instrument dar, welches das thermodynamische Verhalten eines Raumes oder eines Gebäudes auf wenige Parameter reduziert und so den Energiebedarf auf einfache Weise wiedergibt. Auch lassen sich mittels Klimaflächen Klimata und deren Auswirkungen auf Bauten miteinander vergleichen. Die dargestellte Methode bildet ein willkommenes Planungsinstrument, um in frühen Planungsphasen schon grundsätzliche Entscheide und Strategien auf ihre energetischen Folgen hin zu prüfen.

Vorbemerkungen

Wie im Teil I [1] gezeigt wurde, beruhen die Klimaflächen oder verallgemeinerten Heizgradtagfunktionen $\Omega_H(\tau, \gamma)$ auf sehr allgemeingültigen Überlegungen und erlauben deshalb auch weitgehende Aussagen über den Zusammenhang zwischen Bau und Klima, wie nachfolgend dargelegt werden wird.

Allerdings muss dabei beachtet werden, dass energetische Faktoren von zweiter oder dritter Priorität (wie beispielsweise Tageslicht) dabei bewusst vernachlässigt worden sind. Dies hat zur Folge, dass die numerische Präzision beschränkt ist und dass insbesondere bei voraussichtlich sehr niedrigem Heizbedarf (sehr kleine Werte von Ω_H) für genauere Angaben auf komplexere Simulationsprogramme zurückgegriffen werden muss.

Der Parameterbereich von heute realisierbaren Bauten ist in Bild 1 eingezeichnet. Wir haben bewusst die Darstellung viel weitergehend gewählt, da einerseits dies der Ansatz zulässt und andererseits es von Interesse sein kann, zu sehen, wohin man sinnvollerweise für Bauten mit möglichst wenig Energiebedarf zielen soll. So sieht man, dass sowohl für die Süd- wie auch für die Nordseite (siehe Bild 3 aus [1]) Parameterbereiche existieren, für welche der Heizenergiebedarf annähernd Null wird, und dies allein mit rein passiven Massnahmen und mit Zeitkonstanten, welche wesentlich kleiner sind, als einem saisonalen Speichervermögen (8000 h–10000 h) entsprechen würden.

Die in [1] und hier gezeigten Klimaflächen beruhen auf der Auswertung der stündlichen Wetterdaten des Jahres 1986. Für den allgemeinen Gebrauch müssten selbstverständlich mehrere, beispielsweise zehn Jahre ausgewertet und dann wahrscheinlichste Flächen konstruiert werden. Diese Arbeiten sind noch im Gang.

Aus den Gleichungen in [1] ist ersichtlich, dass sich genau analoge Überlegungen und Aussagen zur Kühlenergie respektive Kühlleistung machen lassen. Dies ist insbesondere unter Berücksichtigung von Sonnenschutz und freier Nachtkühlung von Interesse. Die diesbezüglichen Untersuchungen sind noch im Gang und werden später publiziert.

Die relative Bedeutung der Parameter K , G , C respektive τ (β), γ

Ein Grossteil von Bauten oder Räumen heutigen Standards liegt in den Parameterbereichen $10\text{h} \leq \tau \leq 300\text{h}$ und $0,1 \leq \gamma \leq 0,25\text{m}^2\text{K/W}$.

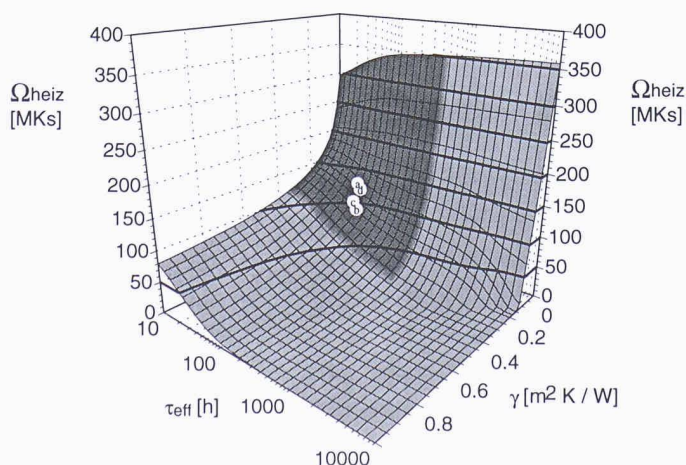


Bild 1.

Parameterbereich von heute realisierbaren Bauten (dunkler Bereich) mit den Raumpunkten (a, b, c, d) aus dem Beispiel des 2. Abschnittes, Heiz-Klimafläche Ω_H als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min}=20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max}=26^\circ\text{C}$, mit Nachtabenkung bis auf minimal 12°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986, Südfassade

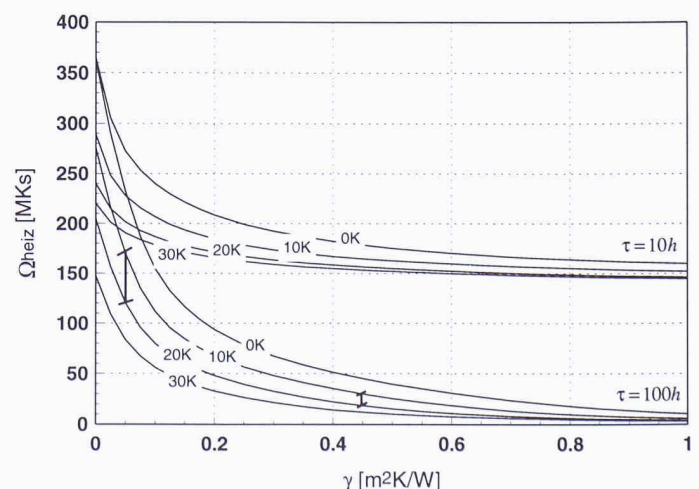


Bild 2.

Innere Quellen: Schnitte der Heiz-Klimafläche als Funktion von γ bei $\tau=10\text{h}$ und $\tau=100\text{h}$, für $P_{\text{int}}/K=0, 10, 20, 30\text{K}$ mit $\vartheta_{\min}=20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max}=26^\circ\text{C}$, ohne Nachtabenkung, mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986, Südfassade.

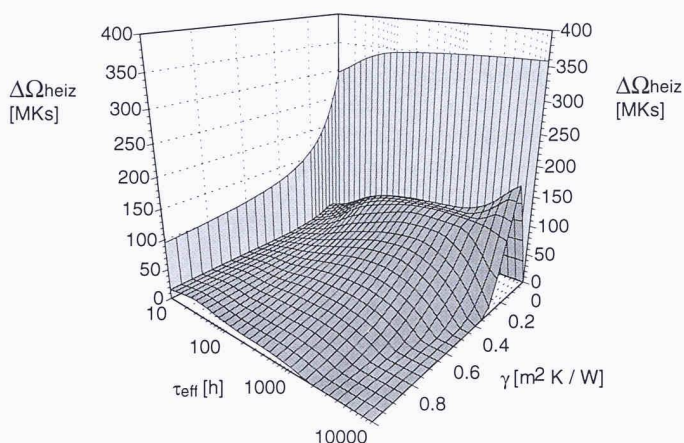


Bild 3.
Orientierungsvergleich:
Differenzfläche ($\Omega_H(\text{Nordfassade}) - (\Omega_H(\text{Südfassade}))$) als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min}=20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max}=26^\circ\text{C}$, mit Nachtabsenkung bis auf minimal 12°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986 (Zum Vergleich sind die Schnittkurven der Heizfläche für die Nordfassade mit den Ebenen $\tau=10\text{h}$ und $\gamma=0\text{m}^2\text{K/W}$ eingezeichnet.)

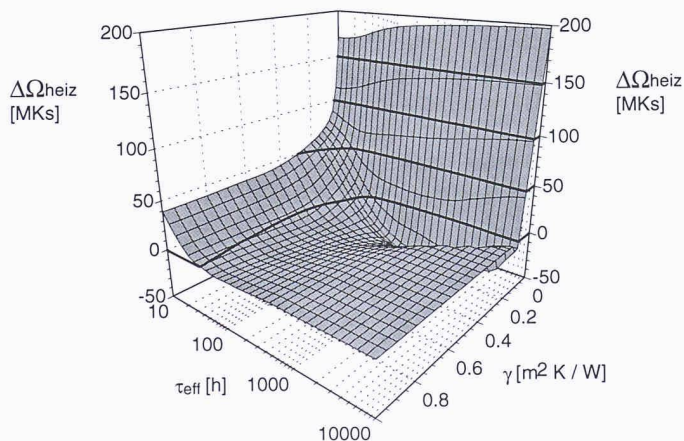


Bild 4.
Klimavergleich I: Differenzfläche ($\Omega_H(\text{Davos}) - (\Omega_H(\text{Zürich}))$) als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min}=20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max}=26^\circ\text{C}$, mit Nachtabsenkung bis auf minimal 12°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für das Jahr 1986, Südfassade

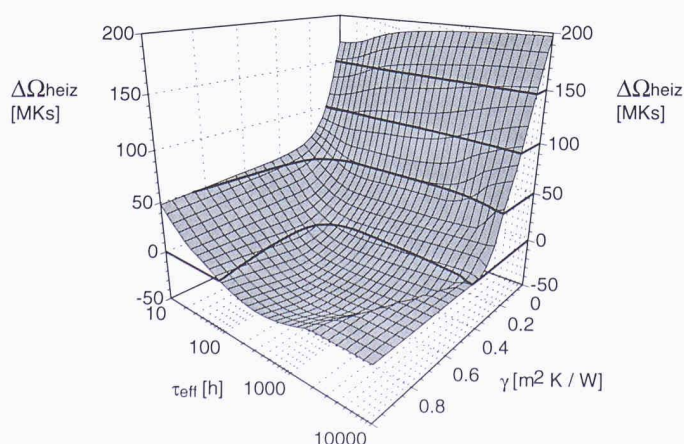


Bild 5.
Klimavergleich II: Differenzfläche ($\Omega_H(\text{Davos}) - (\Omega_H(\text{Zürich}))$) als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min}=20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max}=26^\circ\text{C}$, mit Nachtabsenkung bis auf minimal 12°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für das Jahr 1986, Nordfassade

Wenn man davon einen typischen Punkt herausgreift und die drei Grundparameter K , G , C z.B. je um 20% in Richtung weniger Energieverbrauch verändert, so lassen sich die unterschiedlichen Auswirkungen, dargestellt in Tabelle 1, rasch erkennen (siehe auch Bild 1).

Die Angaben des Energieverbrauchs beziehen sich auf den m^2 Fassadenfläche.

	β [-]	K [W/m²K]	τ [h]	γ [m²K/W]	Süd [MJ/m²a]	Nord [MJ/m²a]
a. Ausgangslage	2,8	2	50	0,15	260 (100%)	380 (100%)
b. Verkleinerung von K um 20%	3,4	1,6	60	0,19	144 (55%)	280 (73%)
c. Vergrößerung von G um 20%	2,8	2	50	0,18	200 (77%)	340 (89%)
d. Vergrößerung von C um 20%	2,8	2	55	0,15	240 (92%)	380 (100%)

Ausgangslage: $K = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $G = 0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$, $C = 700 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

Wie die Zahlenresultate zeigen, wirkt sich die Änderung von K weitaus am stärksten aus: sowohl als gemeinsamer Faktor wie auch als Nenner für die Zeitkonstante und das Gewinn-zu-Verlustverhältnis.

Ob eine Vergrößerung von G oder eine Vergrößerung von C angestrebt werden soll, hängt von der Position auf der Klimafäche ab. Für übliche Bauten mit Werten von $\gamma \leq 0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ zahlt sich eine Vergrößerung von G besser aus als eine Vergrößerung von C . Erst bei relativ grossen Werten von γ empfiehlt sich die Vergrößerung von C . Die übersichtliche Positionierung auf der Klimafäche erlaubt rasch, hier Prioritäten zu setzen. In jedem Fall gilt aber für die transparenten Flächen (beispielsweise Fenster), dass nie das g sondern der Quotient g/k für die energetische Auswirkung relevant ist.

Eine besondere Erkenntnis stellt die Wichtigkeit des Parameters $\beta = 1/K \cdot \lambda/d \cdot A_{\text{Innen}}/A_{\text{Aussen}}$ dar. Der Zusammenhang zeigt, dass das Verhältnis zwischen dem Widerstand nach aussen ($1/K$) und dem Wärmewiderstand in die Speicherschicht hinein eine ausschlaggebende Rolle für die Aufladung der vorhandenen Speichermasse spielt [2]. Es zeigt sich in der Tat, dass bei kleinen Werten von β bereits während des Aufladevorganges der Grossteil der eingestrahnten Energie nach aussen hin entweicht. Der effektiv in den Speicher gelangende Teil ist also kleiner, als man nach einfachen Berechnungsmethoden erwarten würde. Dies hat u.a. Folgen für häufig eingesetzte Elemente der sogenannten «passiven Solararchitektur» wie beispielsweise Wintergärten, Pufferzonen.

Die Auswirkung innerer Quellen

Wie gezeigt wurde, können die inneren Quellen durch entsprechende Klimafächen mit konstantem P_{int}/K berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass nicht die eigentliche Leistung allein, sondern deren Verhältnis zum verallgemeinerten Verlustfaktor von ausschlaggebender Bedeutung ist. Um die Auswirkung innerer Quellen zu verstehen, haben wir in Bild 2 zwei Schnitte parallel zur γ -Achse für zwei Werte von $\tau=10\text{h}$ und $\tau=100\text{h}$ gelegt. Der unterschiedliche Abstand zwischen den Flächen (Kurven) für verschiedene innere Quellen zeigt sehr deutlich, wie für kleine γ -Werte (kleiner Solarbeitrag) die inneren Quellen zu einer relativ grossen Einsparung beim Heizbedarf führen und wie für grosse γ -Werte (grosser Solarbeitrag) sie nur noch zu einer kleinen Einsparung führen.

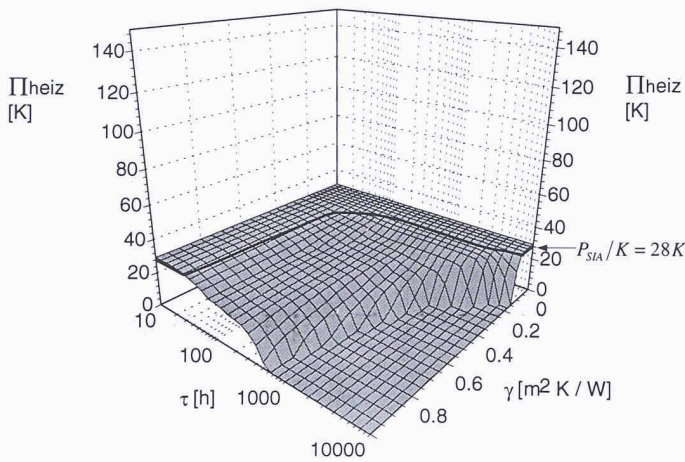


Bild 6.

Spitzenleistungen I: $\Pi_H = P_{\text{Spitze}}/K$ als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min} = 20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max} = 26^\circ\text{C}$, ohne Nachtabsenkung, mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986, Südfassade. (Der Auslegungstemperatur für Massivbauten für Zürich von -8°C (SIA 380/1) entspricht $\Pi_{\text{heiz SIA}} = P_{\text{SIA}}/K = 28\text{K}$)

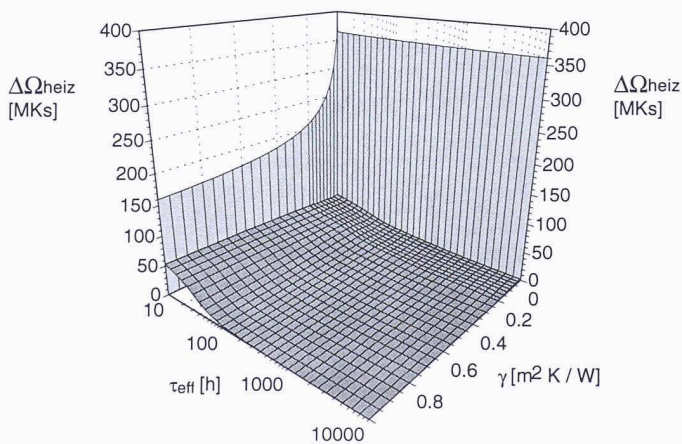


Bild 7.

Auswirkung der Nachtabsenkung I: Differenzfläche ($\Omega_{\text{H}}(\text{ohne Nachtabsenkung}) - (\Omega_{\text{H}}(\text{mit Nachtabsenkung bis auf minimal } 16^\circ\text{C}))$) als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min} = 20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max} = 26^\circ\text{C}$, mit optimaler Sonnenschutzregelung, für das Jahr 1986, Südfassade (Zum Vergleich sind die Schnittkurven der Heizfläche ohne Nachtabsenkung mit den Ebenen $\tau = 10\text{h}$ und $\gamma = 0\text{m}^2\text{K/W}$ eingezeichnet.)

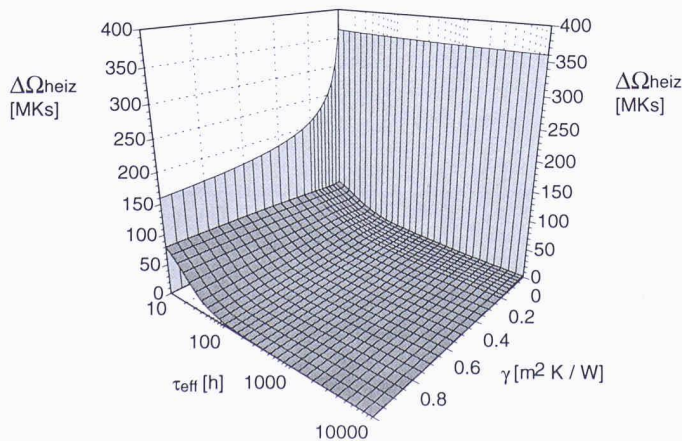


Bild 8.

Auswirkung der Nachtabsenkung II: Differenzfläche ($\Omega_{\text{H}}(\text{ohne Nachtabsenkung}) - (\Omega_{\text{H}}(\text{mit Nachtabsenkung bis auf minimal } 12^\circ\text{C}))$) als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min} = 20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max} = 26^\circ\text{C}$, mit optimaler Sonnenschutzregelung, für das Jahr 1986, Südfassade (Zum Vergleich sind die Schnittkurven der Heizfläche ohne Nachtabsenkung mit den Ebenen $\tau = 10\text{h}$ und $\gamma = 0\text{m}^2\text{K/W}$ eingezeichnet)

Diese Darstellung mit Hilfe der Klimaflächen erlaubt eine zuverlässige und zudem übersichtliche, weil direkt grafisch ablesbare, Berücksichtigung der inneren Quellen. Dies bietet ein ganz anderes Vorgehen als in der SIA 380/1 und neuerdings der Euronorm EN 832. Dort müssen die Ausnutzungswerte für die sogenannten freien Wärmen auf indirekte Weise berechnet werden. Zudem wird mit Monats- und sogar mit Jahresmittelwerten gerechnet, während hier die echte zeitliche Korrelation mit Stundenwerten berücksichtigt wird.

Aus den Flächen mit inneren Quellen ist leicht ersichtlich, dass mit steigenden inneren Quellen die Grenze für Gebäude mit annähernd Nullenergiequalität rasch zu kleineren und damit erreichbaren Werten von τ und γ rutscht. Dies deckt sich mit der Erkenntnis, dass bei sehr gut gedämmten Gebäuden mit gutem Speichervermögen die inneren Quellen zunehmend die tragende Rolle übernehmen und dem Heizsystem nur noch eine ergänzende Funktion zukommt.

Klimavergleiche

Mit den Klimaflächen ist es gelungen, eine anspruchsvolle Beschreibung der Wechselwirkung zwischen Klima und Gebäude auf vier Parameter zu reduzieren. Diese lassen sich zudem in zwei separat behandelbaren Grössen K und β (K als Faktor zwischen Energie und Heizgradtagfunktion und β als Streckungsfaktor auf der τ -Achse) und den einzigen direkt nichtlinearen Zusammenhang, die Klimafläche $\Omega(\tau, \gamma)$, aufteilen. Damit lassen sich Klimata mittels Klimaflächen miteinander vergleichen.

So zeigt beispielsweise die Differenzfläche zwischen der Nord- und der Südseite (Bild 3) von Zürich sofort, für welche Gebäudeparameter ein grosser und für welche nur ein kleiner Unterschied besteht. Oder mit anderen Worten, man kann ablesen, worauf man achten muss, damit der Heizenergiebedarf eines Raumes nur wenig von der Orientierung abhängt.

Analog zeigen beispielsweise die Differenzflächen zwischen Süd- beziehungsweise Nordseite von Zürich und Davos (Bilder 4, 5), inwieweit sich die beiden Klimata gebäuderelevant unterscheiden. Insbesondere ist daraus ersichtlich, dass die Südseite (und sogar auch die Nordseite) in Davos für geeignete Parameterwerte trotz rauherem Klima, aber wegen grösserem Sonnenanteil einen geringeren Energiebedarf als in Zürich aufweist.

Die Leistungsdimensionierung

Bei der numerischen Berechnung der Integrale über die Stundenwerte kann auch festgehalten werden, wie gross die notwendigen zu- oder wegzuführenden Leistungen $\Pi_{H,K} = P_{H,K}/K$ (in Kelvin!) zur Einhaltung der Komfortgrenzen sein müssen. Die auftretende maximal einzusetzende Leistung ergibt eine klimaangepasste und auf die Gebäudeparameter ausgerichtete Dimensionierungsgrösse $\Pi_{H,K}(\tau, \gamma)$. Da $\Pi_{H,K}(\tau, \gamma)$ das Verhältnis $P_{H,K}/K$ darstellt, hat es direkt die Bedeutung der zu beachtenden Auslegungstemperaturdifferenz. $\Pi_{H,K}(\tau, \gamma)$ lässt sich ebenfalls als dreidimensionale Fläche auftragen, und daraus kann die maximal bereitzustellende Leistung P_{Spitze} in Watt abgelesen werden:

$$P_{\text{Spitze}}(\tau, \gamma) = K \cdot \Pi(\tau, \gamma)$$

Die Fläche für die Heizleistungen $\Pi_H(\tau, \gamma)$ ist in Bild 6 dargestellt und zeigt eine interessante Form. Aus einem horizontalen Bereich (d.h. konstante Auslegungstemperatur) erfolgt der Abstieg zum Wert Null in zwei Stufen, die erste etwa bei $\gamma \geq 0,2\text{m}^2\text{K/W}$ und $\tau \geq 40\text{--}50\text{h}$ und die zweite nahe dem Nullenergiebereich. Bei

geeigneter Wahl der Parameter reduziert sich also auch die Auslegungstemperaturdifferenz (z.B. Zürich: $20 - (-8) = 28\text{K}$). Dies hat offensichtlich mit der Statistik der Wetterdaten und mit dem «Gedächtnis» des Gebäudes zu tun und kann für eine überproportionale Leistungsreduktion ausgenutzt werden (investitionsrelevant).

Die Nachtab senkung

Um Sinn oder Unsinn der Nachtab senkung für leichte und schwere Bauten hat es einige Kontroversen gegeben. Mit der Methode der Klimaflächen lässt sich ein Überblick gewinnen. Die Bilder 7 und 8 zeigen je die Differenzflächen zwischen einem Raum mit konstanter Temperatur und einem mit einer Absenkung bis auf minimal 16°C respektive 12°C . Man sieht daraus, dass die Nachtab senkung für Räume mit kleiner Zeitkonstante sehr wohl eine erhebliche Einsparung bringt, diese jedoch für schwer gebaute, gut isolierte Räume fast vernachlässigbar klein wird. Der Grossteil der Einsparung (ungefähr 60%) wird zudem schon durch eine Absenkung auf 16°C erreicht (Klima von Zürich).

Interessant sind die zugehörigen Flächen für die Auslegungsleistung (Bilder 9 und 10): Im Vergleich zu Bild 6 zeigt sich ein starkes Anwachsen der Auslegungsleistung durch die Aufheizspitze am Morgen (Aufheizdauer 1 Stunde) mit einem Maximum für Räume mit einer effektiven Zeitkonstante von 80h bis 100h (Absenkung auf 16°C) und von 30h bis 40h (Absenkung auf 12°C). Diese Flächen darstellungen können im Prinzip dazu benutzt werden, um eine Anlage unter dem Aspekt: «Energieeinsparung gegen Leistungsbe grenzung» zu optimieren.

Schlussfolgerungen

Wir haben im ersten und im zweiten Teil unserer Darlegungen versucht, einen ersten Eindruck von der Handhabbarkeit und der Leistungsfähigkeit der Methode der verallgemeinerten Heizgradtage oder der Klimaflächen zu vermitteln. Es ist klar, dass diese Darlegungen nur eine Vorahnung dessen vermitteln können, was als Potential in dieser Methode steckt. Um dieses voll auszuschöpfen, sind noch eine Reihe weiterer Untersuchungen notwendig und nicht zuletzt auch ein systematischer Vergleich mit effektiv an «normalen» Bauten gemessenen Daten.

Trotzdem glauben wir bereits heute sagen zu können, dass mit dieser Methode ein Planungsinstrument gefunden worden ist, welches eine anschauliche Darstellung und Interpretation der Zusammenhänge zwischen Klima und Gebäude ermöglicht. Obwohl es kaum eine Präzision auf wenige Prozent aufweisen wird, erlaubt es doch bereits in sehr frühen Planungsphasen, grundsätzliche Entschiede auf ihre energetischen Folgen hin zu überprüfen. In Anbetracht dessen, dass auch in wesentlich komplexeren Simulationsprogrammen die Luftinfiltration, das Benutzerverhalten und die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Faktoren nur sehr rudimentär erfasst werden, dürfte die vorgestellte Methode sogar für abschliessende Berechnungen von vergleichsweise genügender Präzision sein. Gegenüber dem nicht sehr übersichtlichen und schwierig zu interpretierenden Vorgehen nach SIA 380/1 und neuerdings EN 832 glauben wir sogar in aller Bescheidenheit, einen gewissen Fortschritt feststellen zu dürfen.

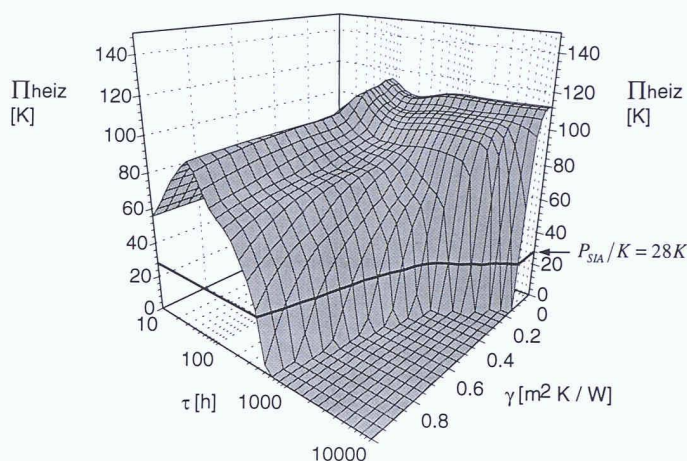


Bild 9.

Spitzenleistungen II: $\Pi_H = P_{\text{Spitze}}/K$ als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min} = 20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max} = 26^\circ\text{C}$, mit Nachtab senkung bis auf minimal 16°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986, Südfassade.

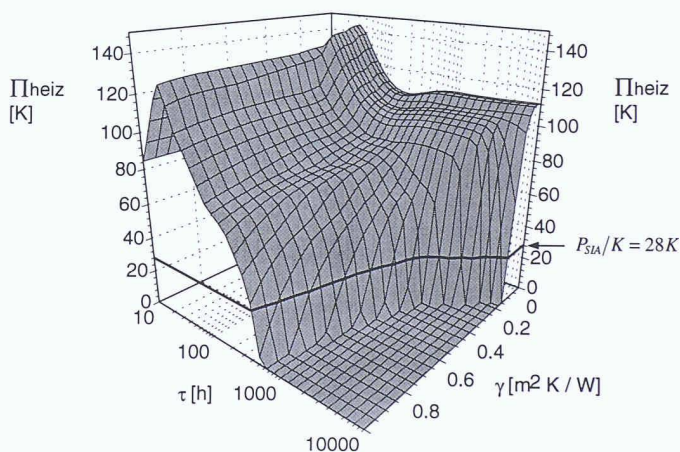


Bild 10.

Spitzenleistungen III: $\Pi_H = P_{\text{Spitze}}/K$ als Funktion von τ und γ , mit $\vartheta_{\min} = 20^\circ\text{C}$ und $\vartheta_{\max} = 26^\circ\text{C}$, mit Nachtab senkung bis auf minimal 12°C , mit optimaler Sonnenschutzregelung, für Zürich 1986, Südfassade.

Literatur

[1]:

Burmeister H., Keller B.: Die gebäuderelevante, quantitative Darstellung von Klimata; ein neuartiges Planungs- und Dimensionierungsinstrument, Teil I: Grundlagen, Berechnungsbeispiele, SI+A Heft 21, 1995

[2]:

Keller B.: Spezialfragen der Bauphysik, Vorlesungen Nrn. 4 und 5, ETH Zürich 1994/95

Adresse der Verfasser:

Havald Burmeister, dipl. Phys. ETH und Bruno Keller, Prof. Dr. sc. nat., Institut für Hochbautechnik, ETH Hönggerberg, 8039 Zürich.