Zur Berechnung von Kennwerten für stationäres und instationäres Temperaturverhalten von Wand- und Deckenkonstruktionen: ein praktisches Verfahren

Autor(en): **Giovanoli, Enrico**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 4

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-73327

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

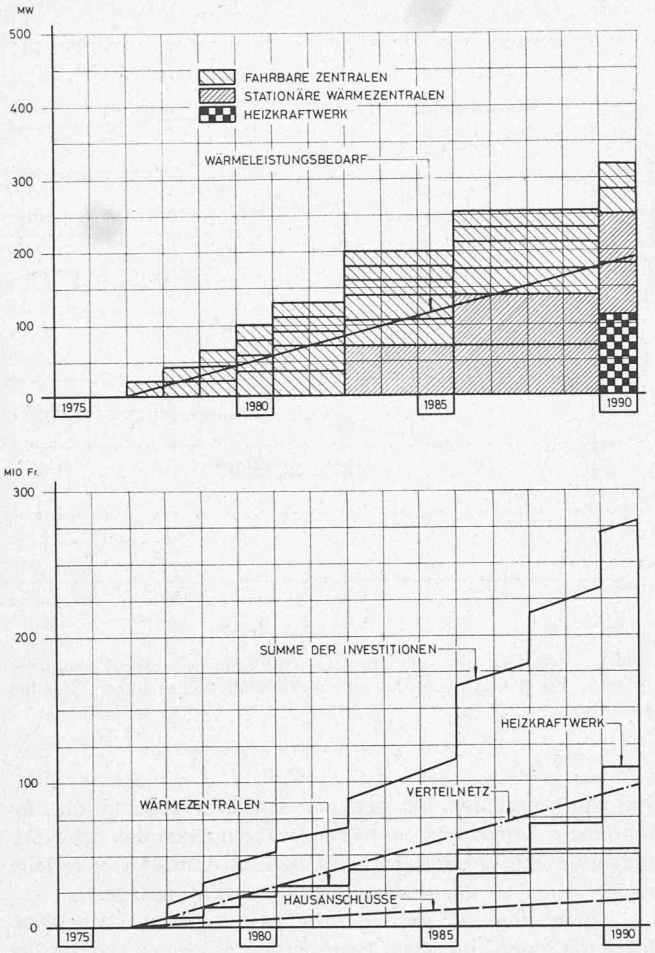


Bild 7. Ausbauprogramm (oben) für die Investitionskosten (unten)

wird sich dann die konstruktiv und wirtschaftlich günstigste herauskristallisieren. Anhand von Kosten-Nutzen-Analysen ergibt sich ein Ausbauprogramm, das für die endgültige Fassung den finanziellen Investitionsmöglichkeiten angepasst werden kann (Bild 7). Für Neubaugebiete bedeutet eine Zentralisierung der Wärmeversorgung hauptsächlich eine plangemässe Verwendung von Investitionsmitteln, die sowieso benötigt werden. Als Resultat bekommen wir somit eine Karte des betrachteten Gebietes, aus der ersichtlich wird, wo die verschiedenen Wärmeversorgungsarten und die entsprechenden Brennstoffe optimal eingesetzt werden können.

Die Verwirklichung einer solchen Studie bringt neben rein technischen Problemen, eine Vielzahl von anderen Fragen, wie z.B. Organisations- und Rechtsfragen des Betriebes, Anschlusszwang und die damit konsequenterweise verbundene Frage der Entschädigung der Eigentümer von Einzelheizungen, wie aber auch erlaubter SO_2-Ausstoss bei Einzelheizungen, Durchgangsrecht bei Grundeigentümern sowie tarifpolitische Überlegungen.

Der *Anschlusszwang* verliert natürlich an Bedeutung, wenn es gelingt, aus der Fernheizung gleich teure oder sogar billigere Wärme als aus den Einzelheizungen zu beziehen. Um dieser nicht unwesentlichen Forderung zu genügen, kann man in einer ersten groben Annäherung festhalten, dass für das Leitungsnetz nur soviel investiert werden kann, wie aus der Preisdifferenz des Energieverbrauches von Grossanlagen zu den Einzelheizungen resultiert.

Grundsätzlich wird ein Fernheizsystem in neuen Gebieten nach dem *Baukastenprinzip* aufgebaut. Zuerst werden einige Blöcke an fahrbare Heizzentralen angeschlossen; diese werden dann in Quartieren zusammengefasst und an stationäre Anlagen angeschlossen. Diese Quartiere werden dann wiederum zu grösseren Stadtteilen, die durch eine Grossanlage versorgt werden, zusammengefügt.

Erst jetzt ist es auch möglich, Wärme von einem Kernkraftwerk in die Fernheizung einzuspeisen, oder Grossanlagen für kombinierte Wärme-Krafterzeugung zu bauen. Bei der Ausarbeitung eines Fernheizkonzeptes ist darauf zu achten, dass die rasche Entwicklung auf dem Sektor der Fernheiztechnologie in die neu entwickelten Verteilnetze eingebaut werden kann. In dieser Hinsicht ist die Vorlauftemperatur speziell zu berücksichtigen. Eine niedrige Vorlauftemperatur begünstigt in der Wärme-Kraft-Kopplung die Stromerzeugung.

Abschliessend noch einige Gedanken zur *Kernenergie* in Fernheizsystemen. Obwohl es prinzipiell von Vorteil sein kann, die Wärme eines Kernkraftwerkes als *Grundlast* in das Fernheiznetz einzuleiten und damit eine umweltgerechte Wärmeversorgung unter Berücksichtigung einer optimalen Diversifikation der Energieträger erreicht werden kann, ist doch zu bedenken, dass vorerst ein Netz und die notwendigen Abnehmer von Wärme vorhanden sein müssen. Die notwendigen konventionellen Wärmezentralen können jedoch nicht eingespart werden, da sie für die Spitzenabdeckung und während Renovationszeiten im Kernkraftwerk zu verwenden sind. Hingegen kann man an fossilen Brennstoffen wesentlich einsparen. Auch das Kühlproblem des Kernkraftwerkes wird durch eine angeschlossene Fernheizung nur wenig berührt. Es ist auch zu bedenken, dass die Wärme für die zentrale Wärmeversorgung aus der Turbine eines Kernkraftwerkes abzuleiten ist, was eine Anpassung der Turbinenkonstruktion erfordert. Somit sind Anschlussmöglichkeiten an Kernkraftwerken nur bei Neuerstellungen eines solchen oder bei einer Generalrevision der Turbine möglich.

Adresse des Verfassers: *D. Ernst*, dipl. Ing. ETH, c/o Gruneko AG, Nauenstrasse 7, 4002 Basel.

Zur Berechnung von Kennwerten für stationäres und instationäres Temperaturverhalten von Wand- und Deckenkonstruktionen

Ein praktisches Verfahren

Von **Enrico Giovanoli**, Stäfa

Physikalische Gesetze sind Gedanken, die in logisch zusammenhängender Form beschreiben, was in der Natur beobachtet wird. Die Wahrheit solcher Gedanken muss stets *am Objekt nachgeprüft* werden. Ein Gesetz ist nicht mehr wahr, wenn sich ein Ding anders verhält, als gedacht. Dann müssen die Methoden der Voraussage, vielleicht sogar die grundlegenden Vorstellungen über das Objekt nachgeprüft und geändert werden. In dieser Weise entwickeln sich Wissenschaft und Technik und damit auch die Berechnungsmethoden, die möglichst praxisbezogen, d.h. mit minimalem Aufwand zu bewältigen sein sollen.

Seit über zwei Jahrzehnten wird versucht, das Temperaturverhalten von Wandkonstruktionen und ganzer Gebäude [3, 4] unter periodisch wechselnden Wärmeeinwirkungen rech-

nerisch zu erfassen, damit Materialien und Konstruktionen zweckentsprechend eingesetzt werden können. Der Praktiker sollte sich bei dieser Aufgabe auf einfach zu interpretierende Vergleichszahlen stützen können, die mit wenig Aufwand berechenbar sind. Die folgenden Ausführungen sollen einen Weg zeigen, wie dies ohne direkte Anwendung höherer Mathematik aussagekräftig möglich ist. Auf die mathematisch-physikalische Ableitung wird verzichtet, findet sich doch in der *Heindl'schen Originalarbeit* [1] sowie in der Arbeit von *Haferland* [2] alles Wesentliche, wenn auch nicht durchwegs leicht lesbar.

Eigenschaften von Klimabarrieren

Aussenwände und Dächer sollen Klimabarrieren bilden. Hierzu bedürfen sie folgender Eigenschaften:

1. *Niederschläge* müssen wirksam abgehalten und abgeleitet werden.

2. *Wind* darf nicht eindringen.

3. Die *Sonnenstrahlung* soll sowohl abgedeckt als auch eingelassen werden können.

4. Während der Heizperiode dürfen *keine zu hohen Wärmeverluste* entstehen; die innere Oberflächentemperatur darf zuträgliche Werte nirgends unterschreiten.

5. Die *äusseren Temperaturschwankungen* dürfen innen nur gedämpft erscheinen (Temperaturamplitudendämpfung); Heizungsunterbrüche dürfen nicht zum raschen Absinken der Temperatur führen, die Sonneneinstrahlung nicht zum raschen Temperaturanstieg (Phasenverschiebung).

6. Weder *Wasserdampfdiffusion* noch Undichtigkeiten gegen Luftdurchgang von innen her dürfen zu schädlichen Kondensaten führen.

7. Die Innenflächen müssen *Feuchtigkeit* aufnehmen und zeitweiliges Oberflächenkondensat *speichern* können.

Konstruktive Möglichkeiten

Geht man die konstruktiven Möglichkeiten durch, zeigt sich bald einmal, wie beschränkt die Anzahl tauglicher Konstruktionen ist: Bauphysikalische Gründe, die Wirtschaftlichkeit oder ungenügende Stoffeigenschaften engen die Auswahl erheblich ein. Nähere Untersuchungen zeigen auch: Die Forderung nach hinreichender Wärmeisolation – kleiner k-Wert – darf *allein* nicht ohne Vorschrift für die Dämpfung der Konstruktion gestellt werden: Die *integrale Wirkung als Klimabarriere muss Gegenstand von einzuhaltenden Grenzwerten sein,* keinesfalls bloss Einzelaspekte, wenn andere Wirkungen direkt oder indirekt damit zusammenhängen. Beispiel: Die Punkte 4, 5 und 6 lassen sich nicht getrennt betrachten: Man kann beispielsweise der Forderung 4 durch eine reine Isolierschicht nachkommen, womit indes Punkt 5 nicht erfüllbar ist: «Barakkenklima».

Das selbe gilt auch für den Feuchtigkeitshaushalt: Wenn etwa behauptet wird, Innenwände brauchen kein Feuchteaufnahmevermögen, mag dies im Sommer zutreffen. Im Winter indes, wenn gelüftet wird, muss die frische Luft beim Aufwärmen Feuchtigkeit aufnehmen können, d.h. es muss ein ausgleichendes Reservoir, das durch seinen wechselnden Feuchtigkeitsgehalt keinen Schaden erleiden kann, vorhanden sein. Dass Oberflächenkondensate möglichst vermieden werden sollten, versteht sich von selbst. In der Praxis wird häufig die allfällige Möblierung an Aussenwänden übersehen, welche die Temperaturverhältnisse im Wandquerschnitt derart ändern kann, dass Schäden möglich werden: Oft genügt bereits ein Bild, um dahinter Schimmelbildung oder gar Tapetenablösung zu verursachen.

Die *Forderung nach sehr hoher Wärmeisolation bei Aussenwänden* mag vom Standpunkt des Energieverbrauchs her richtig sein. Falsch ist indessen, durch diesbezüglich hoch angesetzte Vorschriften die allgemein zu knappe Isolation der Fenster kompensieren zu wollen, indem ein durchschnittlicher Höchst-k-Wert für die gesamte Aussenhaut gefordert wird. Welche unabschätzbaren volksgesundheitlichen und -wirtschaftlichen Schäden durch solche nicht den tatsächlichen menschlichen Klimabedürfnissen angepassten, nicht ausgewogenen Forderungen entstehen, beweisen eindringlich die häufigen Rheumafälle bei in Fensternähe Arbeitenden. In gleicher Richtung wirken auch die viel zu kleinen Scheibenabstände.

Durch *hinreichend dämpfende Konstruktionen* kann meistens auf Klimaanlagen und das damit verbundene Verschwenden von Raum, Material und Energie verzichtet werden. Die Einsparungen übersteigen in jedem Fall bei weitem die Mehrinvestitionen in eine vernünftige Bauweise, wobei hierzu auch die Wahl des Gebäudestandortes gehört.

Manche Schadenfälle illustrieren die Wirkungen ungenügender Temperaturamplitudendämpfung, indem unzulässige Spannungen innerhalb inhomogener Konstruktionen trotz hinreichender Gesamtisolation entstehen können. Ebenso sind Risse in Täfern oder Möbelstücken an Aussenwänden häufige Folge ungenügender Dämpfung der Aussenwände.

Berechnungsmethoden

Die *Berechnung der dämpfenden Wirkung von Wand- und Deckenkonstruktionen* ist nicht einfach. Die von *Sklover* 1952 gemachten Berechnungsansätze, die von anderen Autoren (z.B. *Eichler* [3]) weiterentwickelt und in der Praxis weitgehend Eingang gefunden haben, werden den Beobachtungen und Erfahrungen an zahlreichen Beispielen berechneter und realisierter Konstruktionen nicht gerecht und können daher nur beschränkt Gültigkeit haben.

Nachdem *Heindl* vor 10 Jahren allgemein anwendbare Berechnungsmethoden angegeben hat, mag man erstaunt sein, wie selten das Temperaturwechselverhalten von Aussenwänden und -Decken untersucht oder höchstens mit unzweckmässiger Methode berechnet wird und die Heindl'schen Grundlagen (als zu kompliziert?) kaum Anwendung finden.

Für die Berechnung der *Gesamtdämpfung und Phasenverschiebung* einer Konstruktion ist es einerlei, ob von aussen nach innen oder umgekehrt gerechnet wird. Von aussen nach innen werden wohl einige Rechenoperationen eingespart, es lohnt sich aber, von innen her zu rechnen und die wenigen einfachen Operationen durchzuführen. Denn damit fallen auch die Dämpfungs- und Phasenverschiebungswerte aller Zwischenschichten mit an. Sie dienen beispielsweise der exakten Erfassung von thermisch bedingten Spannungen oder Bewegungen innerhalb des Wand- oder Deckenaufbaus.

Für praktische Durchführung einer solchen Berechnung (Temperaturamplitudendämpfungsfaktor ν und Phasenverschiebung η) muss rechnerische Disziplin eingehalten werden. Um diese Disziplin anzuregen und während des ganzen Berechnungsganges aufrecht zu erhalten, ist vom Verfasser z.B. für den nicht klimatisierten Fall ein *Berechnungsformular* (vgl. Tabelle) ausgearbeitet worden, auf welchem möglichst lückenlos jede Operation in logischer Abfolge erscheint. Der Rechner kann sich ganz auf die Fehlerlosigkeit der Zahlen konzentrieren, ohne durch theoretische und methodische Fragen verunsichert zu sein. Ein wenig Vertrautheit mit der Anwendung elementarer algebraischer Ausdrücke und dem Gebrauch von Zahlentafeln genügt.

Im einzelnen sind folgende Schritte zu machen:

1. Für jede Stoffschicht der Konstruktion werden die Grunddaten in den Kolonnen 1 bis 5 (Art der Schicht, Schichtstärke d in m, Wärmeleitzahl λ in kcal/mhK bzw. W/mK, Dichte ρ in kg/m³, spezifische Wärme in kcal/kgK bzw. Wh/kgK) fest-

Tabelle: *Berechnungsbeispiel für Flachdachkonstruktion. Beton 14 cm, Isolation 4 cm, Deckenputz 1 cm*

Rechenschema für wärmetechnische Kennwerte von Wand- oder Deckenkonstruktionen nach E. Giovanoli. (SI-Einheiten)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Schichtenfolge von innen nach aussen	d m	λ W/mK	ρ kg/m³	c Wh/kg K	R = d/λ	x	Z (x) $x = 0{,}3618 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{\lambda}}$	Matrizenelemente	Bestimmung der Kenngrössen Θ und Φ	Dämpfung der Aussentemperaturschwankung bis äussere Schichtgrenzen	Verzögerung der Aussentemperaturschwankung bis äussere Schichtgrenzen
Übergang innen	α_i = 8				$1/\alpha_i$ = 0,125		Vorzeichen und Indizes beachten!				
Schicht A *Deckenputz*	0,01	0,7	1200	0,26	0,014	0,076	Z_1 = 1 = A_1 Z_2 = 0,006 = A_2	$\sqrt{A_1^2 + A_2^2} = \Theta_A$ = ____	↓ Vorzeichen $\frac{A_2}{A_1} = \frac{\bigcirc}{\bigcirc}$ = ____ ∴ Φ_A = ____ h	$\frac{\nu}{\Theta_A} = \nu_A$ = ____	$\eta - \Phi_A = \eta_A$ = ____ h
							Z_5 = 0 | Z_5/R = 0 = A_5 Z_6 = 0,012 | Z_6/R = 0,857 = A_6				$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\bigcirc}{\bigcirc}$ = ____
Schicht B *Isolation PS*	0,04	0,035	30	0,38	1,143	0,261	Z_1 = 0,999 = b_1 Z_2 = 0,068 = b_2 Z_3 = 1 | $R \cdot Z_3$ = 1,143 = b_3 Z_4 = 0,023 | $R \cdot Z_4$ = 0,026 = b_4	$B_1 = A_1b_1 - A_2b_2 - A_5b_3 - A_6b_4$ = 0,976 $B_2 = A_1b_2 + A_2b_1 - A_5b_4 + A_6b_3$ = 1,054	$\sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \Theta_B$ = ____ $\frac{\nu}{\Theta_B} = \nu_B$ = ____	∴ Φ_B = ____ h $\eta - \Phi_B = \eta_B$ = ____ h
							Z_5 = 0,003 | Z_5/R = 0,0026 = b_5 Z_6 = 0,136 | Z_6/R = 0,119 = b_6	$B_3 = A_1b_5 + A_2b_6 + A_5b_1 + m_6b_2$ = 0,062 $B_4 = A_1b_6 - A_2b_5 - A_5b_2 + A_6b_1$ = 0,975			$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\bigcirc}{\bigcirc}$ = ____
Schicht C = *N* *Betonplatte*	0,14	1,80	2400	0,29	0,078	0,996	Z_1 = 0,836 = c_1 Z_2 = 0,981 = c_2 Z_3 = 0,967 | $R \cdot Z_3$ = 0,075 = c_3 Z_4 = 0,329 | $R \cdot Z_4$ = 0,026 = c_4	$C_1 = B_1c_1 - B_2c_2 - B_3c_3 - B_4c_4$ = −0,248 $C_2 = B_1c_2 + B_2c_1 - B_3c_4 + B_4c_3$ = 1,910	$\sqrt{C_1^2 + C_2^2} = \Theta_C$ = 1,93 $\frac{\nu}{\Theta_C} = \nu_C$ = ____	∴ Φ_C = ____ h $\eta - \Phi_C = \eta_C$ = ____ h
							Z_5 = 0,653 | Z_5/R = 8,372 = c_5 Z_6 = 1,919 | Z_6/R = 24,6 = c_6	$C_3 = B_1c_5 + B_2c_6 + B_3c_1 + B_4c_2$ = 35,11 $C_4 = B_1c_6 - B_2c_5 - B_3c_2 + B_4c_1$ = 15,94			$\frac{D_2}{D_1} \frac{\bigcirc}{\bigcirc}$ = ____
Schicht D							Z_1 = ____ = d_1 Z_2 = ____ = d_2 Z_3 = ____ | $R \cdot Z_3$ = ____ = d_3 Z_4 = ____ | $R \cdot Z_4$ = ____ = d_4	$D_1 = C_1d_1 - C_2d_2 - C_3d_3 - C_4d_4$ = ____ $D_2 = C_1d_2 + C_2d_1 - C_3d_4 + C_4d_3$ = ____	$\sqrt{D_1^2 + D_2^2} = \Theta_D$ = ____ $\frac{\nu}{\Theta_D} = \nu_D$ = ____	∴ Φ_D = ____ h $\eta - \Phi_D = \eta_D$ = ____ h
							Z_5 = ____ | Z_5/R = ____ = d_5 Z_6 = ____ | Z_6/R = ____ = d_6	$D_3 = C_1d_5 + C_2d_6 + C_3d_1 + C_4d_2$ = ____ $D_4 = C_1d_6 - C_2d_5 - C_3d_2 + C_4d_1$ = ____			
äusserste Schicht N							Z_1 = ____ = n_1 Z_2 = ____ = n_2	$N_1 = ___1 n_1 - ___2 n_2 - ___3 n_3 - ___4 n_4$ = ____ $N_2 = ___1 n_2 + ___2 n_1 - ___3 n_4 + ___4 n_3$ = ____	N = B, C, D, E usw. je nach Schichtzahl	$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\bigcirc}{\bigcirc}$ ____
bzw. einzige Schicht, wobei dann gilt: $N_{1-4} = n_{1-4}$							Z_3 = ____ | $R \cdot Z_3$ = ____ = n_3 Z_4 = ____ | $R \cdot Z_4$ = ____ = n_4 Z_5 = ____ | Z_5/R = ____ = n_5 Z_6 = ____ | Z_6/R = ____ = n_6	$N_3 = ___1 n_5 + ___2 n_6 + ___3 n_1 + ___4 n_2$ = ____ $N_4 = ___1 n_6 - ___2 n_5 - ___3 n_2 + ___4 n_1$ = ____ $N_5 = N_1 - N_3/\alpha_a{}^*$ = −1,775 $N_6 = N_2 + N_4/\alpha_a{}^*$ = 2,603	$\sqrt{N_1^2 + N_2^2} = \Theta_N$ = ____ $\frac{\nu}{\Theta_N} = \nu_N$ = ____ $\sqrt{N_5^2 + N_6^2} = \nu$	∴ = Φ_N = ____ h $\eta - \Phi_N \eta_N$ = ____ h $\frac{N_6}{N_5} = \frac{\oplus}{\ominus}$ = 1,47 ∴
Übergang aussen	α_a = 23				$1/\alpha_a$ = 0,043						
$\alpha_a{}^*$ = 14 (Wand), 23 (Dach) (für Kolonne 10)					ΣR = 1,404 m² K/W		Kennwert: Wärmedurchgangszahl (stationär) (k-Wert)	$\frac{1}{\Sigma R} = k$ = 0,71 $\frac{W}{m^2K}$	Kennwerte: (instationär)	ν = 3,15	η = 8,3

gehalten, und zwar von innen nach aussen. Ist lediglich *eine einzige* Schicht vorhanden, wird sie als «äusserste Schicht N» eingetragen.

2. In Kolonne 6 («R») werden die Wärmedurchlasswiderstände $R = d/\lambda$ eingetragen. Aus der sog. Wärmeeindringzahl $b\sqrt{\rho c \lambda}$ hat man direkt $x = 0{,}3618 \cdot R \cdot b$ (b in $W/h^{1/2}/m^2K$, R in m^2K/W).

3. Deren Summe plus Übergangswiderstände aussen und innen geben den reziproken k-Wert (Wärmedurchgangswiderstand), hieraus k.

4. Für Kolonne 7 («x») werden die Argumente

$$x = d\sqrt{\frac{\pi\rho c}{24\,\lambda}} = 0{,}3618 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c}{\lambda}}$$

errechnet und eingetragen.

5. Für die Kolonne 8 («$Z\,(x)$») sind die Funktionswerte

$Z_1 = \cosh x \cdot \cos x$ (= $G_1\,(z)$ bei *Haferland* [2])

$Z_2 = \sinh x \cdot \sin x$ (= $G_2\,(z)$ [2])

$Z_5 = (\cosh x \cdot \sin x - \sinh x \cdot \cos x) \cdot x$ (= $G_5\,(z)$ [2])

$Z_6 = (\cosh x \cdot \sin x + \sinh x \cdot \cos x) \cdot x$ (= $G_6\,(z)$ [2])

$Z_3 = \dfrac{Z_6}{2\,x^2}$ (= $G_3\,(z)$ [2])

$Z_4 = \dfrac{Z_5}{2\,x^2}$ (= $G_4\,(z)$ [2])

zu bestimmen. Sie können Tafeln entnommen (*Haferland* [2], Anhang) oder nach obigen Formeln (wissenschaftlicher Elektronenrechner mit Speicher sehr brauchbar) errechnet werden (x ist Bogenmass, Vorzeichen!).

6. Kolonne 9 enthält die weiter benötigten Faktoren $R \cdot Z_3$, $R \cdot Z_4$ bzw. Z_5/R und Z_6/R. Vorzeichen sind zu berücksichtigen! Es ist auch: $RZ_3 = RZ_6/2x^2$ und $RZ_4 = RZ_5/2x^2$.

Da *Baustoffe* meist in nur beschränkter Anzahl abgestufter Schichtdicken verwendet werden, ist die Möglichkeit gegeben, fertig gerechnete Werte für die Kolonnen 8 und 9 mit Stoff und Dicke als Argument tabellarisch zu notieren.

Für *Luftschichten* wird n_1 ($n = a, b, c\ldots$ je nach Lage der Schicht) $= 1$, $n_3 = (d/\lambda)_{\text{Luft}}$ und $n_2 = n_4 = n_5 = n_6 = 0$ eingesetzt.

7. Die Werte $A_1\ldots B_1\ldots$ usw. sind gemäss den in Kolonne 10 stehenden Produktesummen zu errechnen. Vorzeichen! Bei einer einzigen Schicht ist ohne weitere Rechnung $N_1 = n_1$, $N_2 = n_2$, $N_3 = n_3$, $N_4 = n_4$. Hieraus direkt N_5 und N_6 sowie ν und η.

8. Aus den in Kolonnen 11 und 12 zuunterst stehenden Formeln werden N_5 und N_6, hieraus ν berechnet sowie η bestimmt. Die leeren Kreise dienen zur Aufnahme der Vorzeichen, die nach

$$\eta = \frac{1}{15}\,\text{deg}\,\tan\frac{N_6}{N_5}$$

den Quadranten und damit den Wert von η festlegen.

Zur Bestimmung von η (analog auch für die Zwischenwerte Φ_A, Φ_B usw.) findet man z.B. bei *Haferland* [2] Seite 96 eine Tafel, wobei für die Zähler A_2, $B_2\ldots N_2$, N_6 dort $v = s$, für die Nenner A_1, $B_1\ldots N_1$, N_5 dort $u = r$ steht. Ausser einem Elektronenrechner kann auch ein Rechenschieber in bekannter Weise benützt werden, allerdings mit vermehrter Gefahr von Irrtümern (Quadrant!).

Der Ausdruck

$$\frac{1}{15}\,\text{deg}\,\tan\frac{N_2}{N_1}$$

wird indes am zweckmässigsten graphisch dargestellt.

Beispiel: Abbildung. Abszisse: Absolutwert N_2/N_1 logarithmisch, Ordinate Φ in Stunden, aufgeteilt nach Vorzeichen (Quadranten). Die Genauigkeit einer solchen Darstellung ist mehr als ausreichend und erleichtert die Berechnung ganz wesentlich.

9. Die Dämpfungsfaktoren ν_N an jeder einzelnen Schichttrennfläche bei mehrschichtigen Konstruktionen bzw. bei zerlegter homogener Einzelschicht sowie die zugehörigen Phasenverschiebungen η_N bezüglich der aussen auftretenden periodischen Temperaturänderungen (Periode: 1 Tag) ergeben sich aus den weiteren Formeln der Kolonnen 11 und 12. Diese Zwischenwerte lassen sich erst errechnen, wenn ν und η der Gesamtkonstruktion ermittelt sind. Die Wirkung des äusseren Wärmeüberganges kann weggelassen werden. Dann sind die Kennwerte der Wand: $\nu = \Phi_N$, $\eta = \Phi_N$. Dies hat den Vorteil, vom Wert $\alpha_a{}^*$ unabhängig zu sein, d.h. Kennzahlen für die reinen Konstruktionen miteinander vergleichen zu können. In den Formeln für N_5 und N_6 kann $\alpha_a{}^* = 14$ für Wände, $\alpha_a = \alpha_a = 23$ für Dächer eingesetzt werden (Sommerverhältnisse).

Zur Sicherung gegen Fehler mögen zusätzliche Hilfsblätter aufgestellt werden: Die algebraischen Ausdrücke der Kolonne 10 in Kolonnenform zur Aufsummierung darstellen, versehen mit Gedächtnisstützen für die Vorzeichen in Form leerer Kreise. Je nach Schichtzahl wird man ein oder mehrere Hilfsblätter benützen.

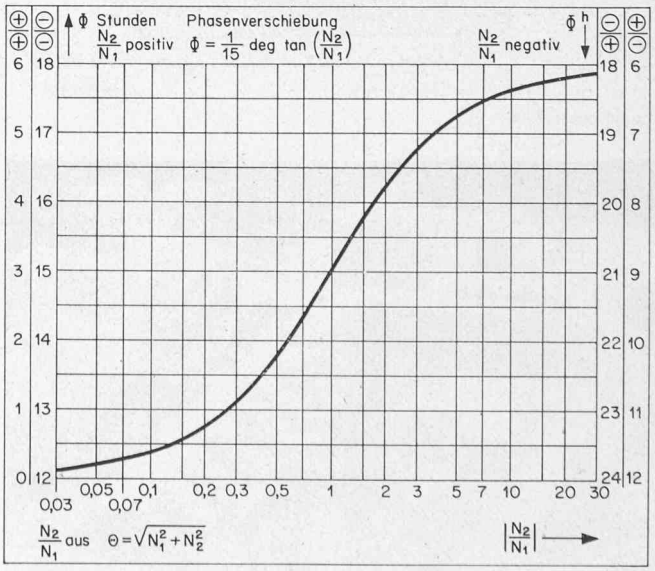
Mittels solcher Formulare ist es ohne weiteres möglich, Hilfskräfte für die Berechnungen einzusetzen, wenn sie nur zuverlässig genug arbeiten. Für den klimatisierten Fall können analog aufgebaute Formulare aufgestellt werden. Als Beispiel folgt die Rechnung für eine Deckenkonstruktion (Tabelle). Berechnet man dieses Beispiel nach *Eichler* [3], ergibt sich:

Dämpfung $\nu = 35{,}6$

Verzögerung $\eta = 5{,}5$ h

Interpretation unrealistischer Zahlen

Diese Zahlen bedeuten zunächst eine gute Deckenkonstruktion. Die Daten, nach *Heindl* errechnet, ergeben indes ein anderes Bild: ungenügende Dämpfung ($\nu \sim 3$ bzw. ~ 2 bei Weglassen des äusseren Wärmeüberganges). Dies entspricht vollkommen der Erfahrung. Das Beispiel stellt einen in praxi aufgetretenen «Schadenfall» dar: Die Bewohner klagten über unzumutbare Hitze im oberen Stockwerk eines Einfamilienhauses (Schlafräume), vor allem an klaren Sommertagen.



Graphik zur Bestimmung der Phasenverschiebung

Der Grund für die unrealistischen Zahlen nach *Eichler* liegt in der dort getroffenen Voraussetzung konstanter Innentemperatur. Die Charakterisierung der Eichler'schen Berechnungsmethode in der SIA-Empfehlung 271, Fussnote Seite 13, ist als «Näherungslösung» deshalb irreführend.

Hierzu: *Friedrich Haferland* [2], Anmerkung Seite 88. Die dargestellte Methode setzt nur voraus, dass der Wärmestrom von der Wandinnenoberfläche zur Raumluft und umgekehrt über die betrachtete 24stündige Periode gleich Null sei, was in guter Annäherung der Wirklichkeit entsprechen dürfte: Tagsüber Wärmeabgabe Luft–Wand, nachts Wand–Luft, oder umgekehrt.

In jedem Bauwerk sind Vorgänge wirksam, die sich gegenseitig beeinflussen oder teilweise bedingen. Die wichtigsten davon hat die Bauphysik zu verstehen und rechnerisch zu erfassen versucht, mit dem Ziel, Bauschäden aufzuklären und dem Bauschaffenden mängel- und schadenfreies Bauen zu ermöglichen. Methode und Inhalt bauphysikalischer Berechnungen wurzeln in der wissenschaftlichen Mathematik und Physik. Diese Wurzeln sind im allgemeinen dem Praktiker unbekannt, teils aus Vergessen von einst Gelerntem, vorwiegend aber, weil an den Fachschulen viel zu wenig darauf eingegangen werden kann, und der Lernende zu seinem Schaden nur wenig Interesse dafür aufbringt. Daher werden in praktisch-technisch orientierten Kreisen wissenschaftliche Ergebnisse nicht selten in ihrer Tragweite und ihren Grundlagen unverstanden nutzbar gemacht, wobei oft eine Überschätzung der Zuverlässigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse sowie das Ignorieren der zugrundeliegenden Randbedingungen und vielfältiger Zusammenhänge mit anderen Wissensgebieten leicht zu Fehlschlüssen führen kann und oft geführt hat.

Die korrekte und kritische Anwendung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse bedingt beim Praktiker Verfügungsvermögen über ein Mindestmass an naturwissenschaftlichen Kenntnissen. *Bauphysikalisch fehlerlose Konstruktionen müssen auf Grundlage einwandfreier Theorien entworfen werden.* Ungenügende Kenntnisse solcher Theorien beim Planer und Ausführenden können zu Bauschäden führen, die gar nicht selten Beträge von Hunderttausenden von Franken nutzlos verschlingen – ein Mehrfaches dessen, was gezielte Bildungsanstrengungen kosten würden.

Sinn dieser Ausführungen war, dem Praktiker vor dem Angehen dieser wohl unbestritten komplizierten bauphysikalischen Berechnung die Scheu mindestens teilweise zu dämpfen. Auch wollen sie als Beitrag zur bevorstehenden Normung des sommerlichen Wärmeschutzes verstanden werden.

Literaturverzeichnis

[1] *W. Heindl:* Der Wärmeschutz einer ebenen Wand. Ziegelindustrie, Hefte 18, 1966, und 1 und 18, 1967. Neue Methode zur Beurteilung des Wärmeschutzes im Hochbau. Ziegelindustrie, Hefte 4, 5 und 6, 1967.

[2] *Friedrich Haferland:* Das wärmetechnische Verhalten mehrschichtiger Aussenwände. Bauverlag Wiesbaden, 1970.

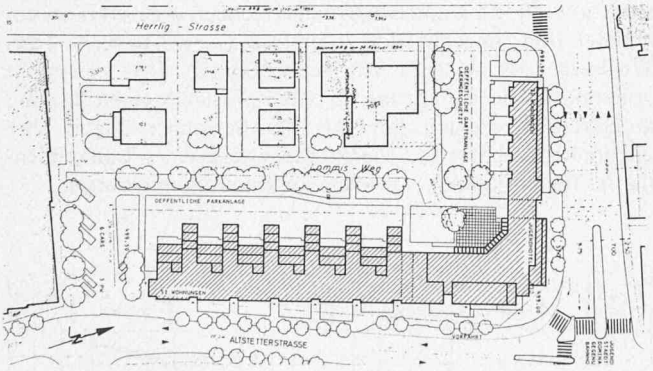
[3] *Friedrich Eichler:* Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 1. Verlag R. Müller, Köln, 1973.

[4] *Haferland, Heindl, Fuchs:* Berichte aus der Bauforschung, Heft 99: Verfahren zur Ermittlung des wärmetechnischen Verhaltens ganzer Gebäude. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, 1975.

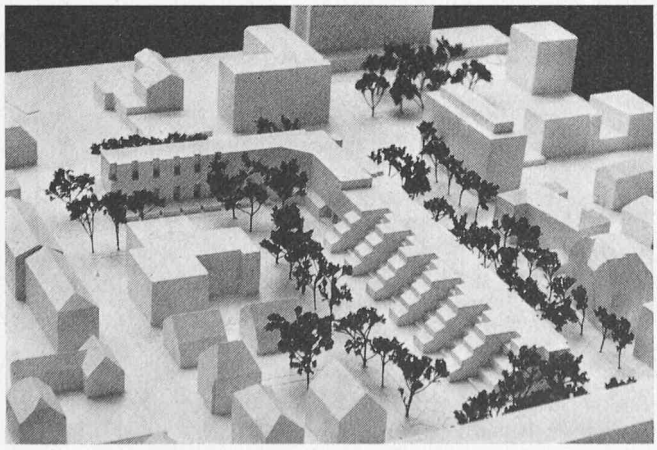
Adresse des Verfassers: *E. Giovanoli,* Bauphysiker, Laubstenstr. 41, 8712 Stäfa.

Wettbewerb Jugendhotel und Wohnungsbau am Lommisweg in Zürich-Altstetten

1. Preis: (6500 Fr.) **Max Baumann** und **Georges J. Frey,** Zürich.



Lageplan 1:2500



Im Frühjahr 1976 veranstaltete der Stadtrat von Zürich unter 12 eingeladenen Architekten einen Projektwettbewerb für ein Jugendhotel und kommunalen Wohnungsbau in Zürich-Altstetten. Das 9000 m² umfassende Areal liegt in unmittelbarer Nähe des Bahnhofes Altstetten. Mit der Erstellung des Jugendhotels sollen Bedürfnisse des Sozialtourismus erfüllt werden. Da der Tourismus stark saisonabhängig ist, waren verschiedene Nutzungsmöglichkeiten vorzusehen. Das Programm schrieb für das Jugendhotel 200 Betten vor, aufgeteilt in verschiedene Zimmereinheiten, ferner Gemeinschaftsräume, ein Restaurant mit Selbstbedienung für 60 Personen, einen Mehrzweckraum, der auch den Bedürfnissen der Quartiervereine dienen sollte, und Nebenräume. Für den kommunalen Wohnungsbau richtete sich die Anzahl der Wohnungen nach den Gegebenheiten des Projektes. – Drei Projekte mussten wegen schwerwiegender Verstösse gegen Programmbestimmungen von der Preisverteilung ausgeschlossen werden. Fachpreisrichter waren A. Wasserfallen, Stadtbaumeister, Zürich, H. Graf, St. Gallen, Th. Hotz, Zürich, Prof. P. Steiger, Zürich.

Aus dem Bericht des Preisgerichts

Das Projekt basiert auf einer städtebaulich vorteilhaften Randbebauung mit einfacher Gliederung der Baukörper. Das günstig gelegene Jugendhotel am Strassenkreuz weist eine gute Beziehung zum Altstetterplatz auf. Dank der Randbebauung entsteht ein grosszügiger, ruhiger Innenhof. Anlieferung, Vorfahrt, Einstellhalle, Carparkplätze sind gut disponiert. Die Organisation des Hotels ist in Ordnung. Interessant gestaltet ist die galerieartige Hotelhalle mit Ausblick in den Innenhof. Die 1½-Zimmer-Wohnungen sind gut konzipiert. Die 4½-Zimmer-Wohnungen mit Winkelgrundrissen besitzen eine hohe Wohnqualität. Die übrigen Wohnungsgrundrisse erreichen diese Qualität nicht. Das Hotel trifft den Charakter eines einfachen Jugendhotels, ist vorteilhaft in die Gesamtsituation eingeordnet und sinnvoll von den Wohnbauten differenziert. Die kubische Gestaltung ist von hoher Qualität. Die Fassadengestaltung ist nicht ausgereift. Das Projekt ist wirtschaftlich.