

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 17

Artikel: Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Oberflächentemperatur und die Wärmeeinströmung durch Aussenwände, Dächer, Fenster und Oberlichter
Autor: Hottinger, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83923>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

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

Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Oberflächentemperatur und die Wärmeeinströmung durch Aussenwände, Dächer, Fenster und Oberlichter

Von Ingenieur M. HOTTINGER, Zürich

1. Grundsätzliches

Zur Berechnung von Klimaanlage, die u. a. im Sommer zur Kühlung der Räume dienen sollen, ist es in erster Linie erforderlich, die Kühllast, d. h. die maximale in der Stunde durch die Anlage abzuführende Wärmemenge zu bestimmen. Diese Wärmemenge setzt sich aus mancherlei Faktoren zusammen. Vor allem ist zu nennen die Wärmezeugung im Hausinnern selber, z. B. durch die anwesenden Personen und die Umsetzung zugeführter elektrischer Energie in Wärme oder durch häusliche Betätigungen wie Kochen, Waschen, Bügeln usw., bei gewerblichen und industriellen Betrieben auch durch gewisse Herstellungsvorgänge u. a. m. Ausserdem kommt im Sommer, wenn es im Freien wärmer als im Hausinnern ist, Wärme durch die von aussen her eindringende Luft sowie infolge Leitung durch die Umfassungswände (einschliesslich Fenster, Aussentüren, usw.) und Dächer hinzu. Dieser letztgenannte Einfluss erfährt bei andauernder Erwärmung der Aussenflächen infolge Sonnenbestrahlung noch eine Steigerung, die sich im Hausinnern umso rascher bemerkbar macht, je weniger isolierend und wärmespeichernd die Wände sind, während er bei dicken, schweren Mauern und kühlen Nächten wenig zur Geltung kommt, weil die tagsüber infolge des Sonneneinflusses von den Aussenmauern aufgenommene Wärme nachts nach dem Freien wieder abgegeben wird¹⁾. Ausserdem kommt bei Sonnenschein aber auch noch die unmittelbare Sonneneinstrahlung durch Fenster, Glaswände, Oberlichter usw. hinzu, die, wenn keine Schutzmassnahmen dagegen getroffen werden, erhebliche Beträge erreichen kann.

Die Wärmezeugung im Gebäudeinnern, der Wärmeeinfluss durch die Umfassungswände durch Leitung und die durch den natürlichen Luftwechsel hinzukommende Wärmeeinströmung lassen sich verhältnismässig leicht und sicher bestimmen. Dagegen gestaltet sich die Feststellung der durch die Sonnenstrahlung bewirkten Steigerung der Kühllast schwieriger.

2. Die mögliche tägliche Bestrahlungsdauer der Hausseiten und Dächer durch die Sonne

Die bei wolkenlosem Himmel mögliche tägliche Bestrahlungsdauer einer horizontalen Fläche, z. B. eines Flachdaches, oder der lotrechten Mauerflächen eines Hauses oder der schief liegenden Flächen eines Schrägdachs ist in erheblichem Masse von der geographischen Lage des Ortes und der Jahreszeit abhängig. In Tabelle 1 sind beispielsweise die Zeiten des Sonnenauf- und -unterganges, bezogen auf die Tage der Tag- und -Nachtgleiche, sowie des längsten und kürzesten Tages, für das Gelände des Kantonsspitals Zürich angegeben²⁾. Die eingeklammerten Zeitangaben sind die astronomischen Zeiten, an denen die Sonne auf- bzw. untergehen würde, wenn keine Bodenerhebungen (Zürichberg, Uto, usw.) vorhanden wären. Weiter sind in Tabelle 2

¹⁾ Vgl. hierzu *Hottinger, M.*: Die Wärme- und Kältespeicherung in schweren, homogenen Gebäudemauern. «Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftg.» Bd. 13 (1946), H. 4.

²⁾ Vgl. *Gutersohn, H.*: Sonnenbestrahlung und Bergschatten auf dem Gebiet der Stadt Zürich. «Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich», Jg. 79 (1934), S. 1.

Tabelle 1. Sonnenauf- und -untergangszeiten

Tag	21. III.	21. VI.	23. IX.	22. XII.
Aufgang	7 ¹⁰ (6 ³⁰)	5 ²⁰ (4 ³⁰)	6 ⁵⁵ (6 ¹⁵)	8 ⁵⁰ (8 ¹⁰)
Untergang	18 ³⁰ (18 ⁴⁰)	20 ²⁰ (20 ²⁵)	18 ¹⁵ (18 ²⁵)	16 ¹⁰ (16 ⁴⁰)

Tabelle 2. Mögliche Dauer der Sonnenbestrahlung

Tag	21. III.	21. VI.	23. IX.	22. XII.
Nordseite	—	5 ²⁰ —8 ⁰¹ und 16 ⁵³ —20 ²⁰ = 6h 08m	—	—
	—	—	—	—
Ostseite	7 ¹⁰ —12 ³³ = 5h 23m	5 ²⁰ —12 ²⁷ = 7h 07m	6 ⁵⁵ —12 ¹⁸ = 5h 23m	8 ⁵⁰ —12 ²⁴ = 3h 34m
	—	—	—	—
Südseite	7 ¹⁰ —18 ³⁰ = 11h 20m	8 ⁰¹ —16 ⁵³ = 8h 52m	6 ⁵⁵ —18 ¹⁵ = 11h 20m	8 ⁵⁰ —16 ¹⁰ = 7h 20m
	—	—	—	—
Westseite	12 ³³ —18 ³⁰ = 5h 57m	12 ²⁷ —20 ²⁰ = 7h 53m	12 ¹⁸ —18 ¹⁵ = 5h 57m	12 ²⁴ —16 ¹⁰ = 3h 46m
	—	—	—	—
Insgesamt mögliche Sonnenscheindauer	11h 20m	15h 0m	11h 20m	7h 20m

an Hand der in Tabelle 1 angegebenen wirklichen Auf- und Untergangszeiten die möglichen Besonnungsdauern der nach den Haupthimmelsrichtungen gelegenen Aussenmauern eines Hauses aufgezeigt. Ausserdem ist darunter die insgesamt mögliche tägliche Sonnenscheindauer, wie sie beispielsweise für Flachdächer in Frage kommt, vermerkt. Dieser Dauer entspricht am 21. 3., 23. 9. und 22. 12. die Besonnungszeit der Südseite, während sie am 21. 6. 15 h gegenüber nur 8 h 52 min auf der lotrechten Südseite beträgt. Zur Zeit der längsten Tage ist die Zeit der Sonnenbestrahlung der Dächer also sehr lang, diejenige der nach Süden gerichteten Hausseiten dagegen verhältnismässig kurz.

Die Besonnungszeiten der vier nach den Haupthimmelsrichtungen gelegenen Hausseiten in den verschiedenen Jahreszeiten geht für den vorstehend genannten Lageort übersichtlich aus Bild 1 hervor³⁾. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass es sich um wolkenlose Tage handelt und die Flächen frei von der Sonne getroffen werden, d. h. keine Abschirmungen durch Vordächer, Erker, Nachbarhäuser, hohe Bäume, usw. vorhanden sind. Wie ersichtlich, ist die Bestrahlungszeit der Südseite zur Zeit der längsten Tage bedeutend kleiner als im Herbst und Frühjahr und zudem steht alsdann die Sonne so hoch am Himmel, dass die Sonnenstrahlen die lotrechte Südwand unter einem kleinen Neigungswinkel treffen. Das hat zur Folge, dass auch die pro m² Wandfläche zugestrahlte Wärme verhältnismässig klein ist. Ausserdem scheint die Sonne dabei nur wenig tief, bei vorspringenden Dächern oder dicken Mauern vielleicht sogar überhaupt nicht durch die Fenster in die Räume hinein. Die nach Süden gelegenen Zimmer sind im Hochsommer in bezug auf die Erwärmung also verhältnismässig günstig gelegen. Die tägliche Bestrahlung der Ost- und Westseite ist zwar um 1 bis 2 Stunden kürzer, die Sonne steht aber am Vor- und Nachmittag tiefer am Himmel, weshalb die Strahlungsintensität auf die Flächen grösser ist. Ganz besonders hoch ist die tägliche Wärmeeinstrahlung jedoch auf das Flachdach, weil hier sowohl die Dauer als auch die Intensität der Bestrahlung gross sind. Am kühlest ist die Nordwand. Zwar erhält auch sie zur Zeit der längsten Tage am Morgen und Abend während insgesamt etwa 6 Stunden Sonnenbestrahlung, doch ist die Strahlungsintensität dabei gering.

3. Die Sonnenstrahlung auf verschieden orientierte Wandflächen

Die unter Abschnitt 2 genannten Umstände bewirken, dass die tägliche Zustrahlung von Sonnenwärme auf verschieden orientierte Flächen in den einzelnen Monaten sehr ungleich ist. Bild 2 orientiert hierüber beispielsweise für Arosa⁴⁾ und zwar links ohne, rechts mit Rücksicht auf die Bewölkung. Die beiden Darstellungen lassen erkennen, dass die Wärmezustrahlung durch die Sonne infolge der Bewölkung in hohem Masse beeinflusst wird. So ergeben sich z. B. im Juli für die waagrechte Fläche, also z. B. ein Flachdach (Kurve 1), nur 3500 statt 7030, für die Südwand 1120 statt 2210, für die Ostwand 1780 statt 3540, für die West-

³⁾ Entnommen aus *Hottinger, M.*: Klima und Gradtage. Verlag Jul. Springer, Berlin 1938.

⁴⁾ Aufgezeichnet nach dem Handbuch der Klimatologie, Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1936. Bd. I, Teil B, *Conrad, V.*: Die klimatischen Elemente und ihre Abhängigkeit von terrestrischen Einflüssen, S. B. 9.

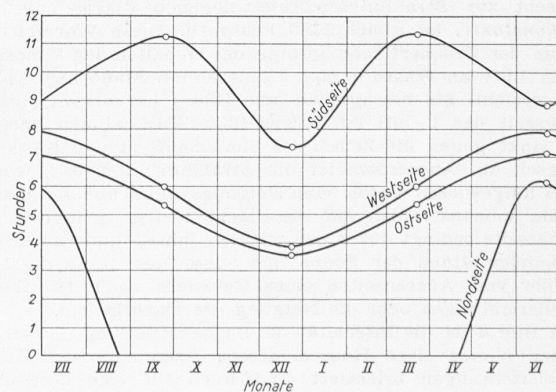


Bild 1. Dauer der täglichen Sonnenbestrahlung bei wolkenlosem Himmel auf die nach den vier Haupthimmelsrichtungen gelegenen Aussenwände eines Hauses auf dem Kantonsspitalareal in Zürich

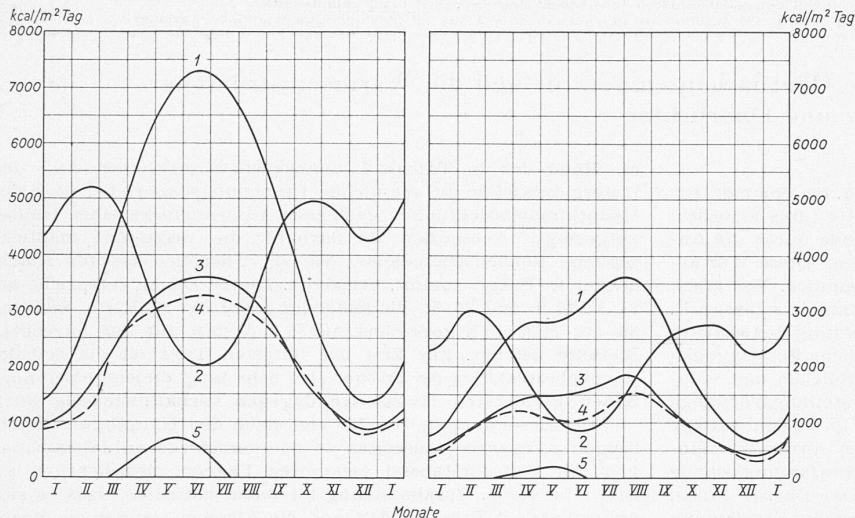


Bild 2. Monatsverlauf der durchschnittlichen täglichen Sonnenstrahlung in kcal/m² auf verschieden orientierte Flächen in Arosa; links bei wolkenlosem Himmel, rechts bei mittlerer Bewölkung (nach Götz). 1 Waagerechte Fläche, 2 Südwand, 3 Ostwand, 4 Westwand, 5 Nordwand (Kurve 5 im Bild rechts sollte wie im Bild links, nicht schon im Juni, sondern erst im Juli die Abszissenaxe erreichen)

wand 1290 statt 3180 und für die Nordwand 60 statt 130 kcal/m². Diese in den einzelnen Monaten zustrahlenden Wärmemengen interessieren ausser in Bezug auf die Klima- und Kühlanlagen für den Sommer insbesondere auch in Hinsicht auf die Heizung im Winter. Ebensovichtig ist jedoch die Kenntnis der stündlichen Höchstwerte. Als Beispiel, wie diese Werte mit der Jahreszeit schwanken, sei Bild 3 wiedergegeben⁵⁾. Ihren Tagesverlauf, beispielsweise am 1. Juli, zeigt Bild 4. Beide Bilder beziehen sich auf *Potsdam-Berlin*. Der 1. Juli wurde mit Rücksicht auf die Klimatechnik herausgegriffen, weil dann nicht nur die Bestrahlungsdauer der Dächer und Seitenwände, mit Ausnahme der Süd- und Westwand, lang ist, sondern ausserdem auch die Lufttemperatur hohe Werte erreicht, also für die Wärmeeinströmung in die Gebäude und damit für die Kühllast der Klimaanlage besonders ungünstige Verhältnisse bestehen. Das Gesagte wird durch Bild 4 überzeugend veranschaulicht. Dass die Zeitdauer der täglichen Bestrahlung, insbesondere der Nord- und Ostwand, in Bild 1 und 4 nicht genau miteinander übereinstimmen, ist darauf zurückzuführen, dass es sich um Orte verschiedener geographischer Lage mit ungleichen, den Sonnenauf- und -untergang beeinflussenden Geländeformationen handelt. Schon in Zürich selber sind diese Zeiten recht verschieden, wenn als Standort z. B. die Kirche Enge statt dem Kantonsspitalareal gewählt wird (vgl. «Schweiz. Bl. f. Heizg. u. Lüftg.» Bd. 11 (1944) H. 2, Zahlen-tafel 1, S. 51). Natürlich kann man die in Bild 4 wiedergegebenen Kurven auch für anders orientierte Flächen aufzeichnen. In Bild 6 ist dies z. B. ausserdem für nach NO, SO usw. gelegene lotrechte Wände und in Bild 7 für Dächer mit 30° Neigung gesehen und zwar ebenfalls wieder für den 1. Juli, in diesen Fällen jedoch für Orte auf 50° nördlicher Breite.

Hinsichtlich der durch die Sonne bewirkten Wärmestrahlung auf die Flächen ist folgendes zu beachten: Die Wärmeeinstrahlung auf eine absolut schwarze, an der Grenze der Atmosphäre senkrecht zur Strahlungsrichtung liegende Fläche, die sog. *Solar konstante*, ist gleich 1160 kcal/m²h. Diese Wärmemenge wird an der Erdoberfläche infolge des Gehaltes der atmosphärischen Luft an Wasserdampf, Kohlensäure, Staub usw. jedoch nicht erreicht. Sie beträgt, wie aus Bild 4 hervorgeht, um die Mittagszeit des 1. Juli nur etwas über 800 kcal/m²h und der Wert sinkt gegen die Zeiten des Sonnenauf- und -unterganges hin rasch ab. Ausserdem ist die Strahlungsintensität, worauf bereits hingewiesen wurde, vom Neigungswinkel abhängig, unter dem die Sonnenstrahlen auf die Fläche treffen. Dieser Winkel ist einerseits bedingt durch den mit den Jahres- und Tageszeiten wechselnden Stand der Sonne und ausserdem durch die Lage z. B. der vier Aussenseiten eines Gebäudes nach den Haupthimmelsrichtungen oder die Neigung der Dachflächen.

In Bild 4 ist die Intensität der Sonnenstrahlung, ausser auf die vier Wände eines Hauses, dessen Axen nach den Haupthimmelsrichtungen orientiert sind, auch für eine horizontale

⁵⁾ Entnommen aus *Bradtko, F.*: Grundlagen für Planung und Entwurf von Klimaanlage. «Z. VDI» Bd. 82 (1938), S. 1473/1480. Auszug in «Heizung und Lüftung» Bd. 13 (1939) H. 1, S. 7/9.

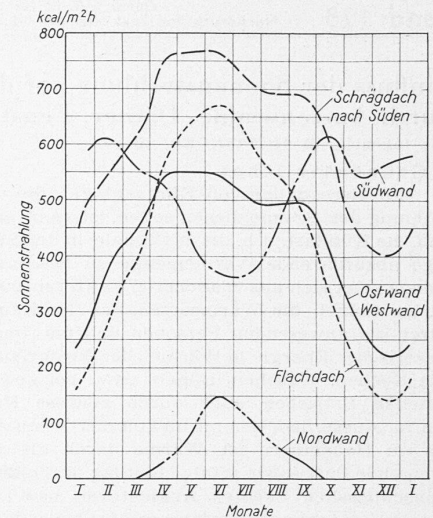


Bild 3. Höchstwerte der Sonnenstrahlung auf nach den Haupthimmelsrichtungen orientierte Wände, Flachdächer und nach Süden geneigte Schrägdächer, abhängig von den Jahreszeiten in kcal/m²h in Potsdam-Berlin

Fläche, z. B. ein Flachdach, angegeben. Da genau waagrecht liegende Flächen nur unter dem Äquator zur Mittagszeit senkrecht zur Strahlungsrichtung liegen und der Neigungswinkel mit zunehmender geographischer Breite kleiner wird, ist leicht verständlich, dass der Wert in *Potsdam* entsprechend Bild 4 nur noch etwas über 700 kcal/m²h beträgt. Bei den lotrechten Seitenwänden des Hauses ist dieser Neigungswinkel noch kleiner und daher ebenso die Wärmezuflussrate. Für die Süd- und Westwand beträgt sie im Maximum um 12 h nur etwa 365 kcal/m²h. In Bezug auf die Ost- und Westwand ist sie wegen des am Vor- und Nachmittag tieferen Sonnenstandes grösser, nämlich etwa um 7.30 h bzw. 16.30 h rd. 535 kcal/m²h, während sie bei der Nordwand etwas vor 6 h und nach 18 h nur 150 kcal/m²h ausmacht. Wie bei der zur Strahlungsrichtung senkrechten Fläche, fallen auch beim Flachdach und den Seitenwänden die genannten Wärmezuflussraten in Abhängigkeit von der Zeit nach links und rechts stark ab.

4. Wärmeabsorption und Oberflächentemperatur

Die aus Bild 4 zu entnehmenden Wärmezuflussraten dürfen nun bei der Lösung praktischer Aufgaben nicht voll in Rechnung gestellt werden, weil die Oberflächen der Wände die Wärme nur zum Teil absorbieren, während der Rest reflektiert wird. Die Absorptionsziffer, mit der die Werte zu multiplizieren sind, liegt nach dem unter Bild 6 erwähnten Arbeitsblatt für schwarze Teerpappdächer bei 0,9, für grauen, roten und grünen Anstrich bei 0,7 und für helle, nicht verstaubte Flächen bei 0,5. Will man die Wärmeeinstrahlung infolge der Sonnenstrahlung möglichst herabmindern, so sind helle Oberflächen vorteilhaft⁶⁾.

Es ist ohne weiteres klar, dass auch die von den Oberflächen angenommenen Temperaturen je nach dem genannten Absorptionsverhältnis verschieden hoch ausfallen, wobei natürlich ausserdem die Lufttemperatur, die Grösse der Luftbewegung im Freien und die Wärmeleitfähigkeit λ der Wand von Einfluss sind. Die Oberflächentemperatur fällt umso höher aus, je wärmer und weniger bewegt die Luft ist und je weniger leicht die von der Oberfläche aufgenommene Wärme durch die Wand nach dem Gebäudeinnern abströmen kann.

Zur Bestimmung der Oberflächentemperaturen von durch die Sonne bestrahlten Wänden und Dächern dient Bild 5. Dieses Diagramm wird folgendermassen benutzt: Man habe mit Bild 6 die pro m² Oberfläche in Betracht kommende stündliche Wärmezuflussrate beispielsweise zu $J = 500$ kcal/m²h festgestellt. Die Oberflächenfarbe (grau) ergebe eine Absorptionsziffer $A = 0,7$. Beträgt weiter die zu erwartende Schattentemperatur im Freien $t_a = 30^\circ\text{C}$, die Wärmedurchgangszahl durch die Wand $k = 1,5$ kcal/m²h⁰ C, so ergibt sich aus Bild 5 die äussere Wandoberflächentemperatur bei einer Innentemperatur von $t_i = 20^\circ\text{C}$ zu $\delta_a = 50^\circ\text{C}$, bei einer Innentemperatur von $t_i = 30^\circ\text{C}$ zu $\delta_a = 51^\circ\text{C}$. Man erhält diese Werte, indem man vom Wert $J = 500$ kcal/m²h auf der Ordinatenaxe der gestrichelt eingetragenen Linie folgend waagrecht nach rechts bis zu der schiefen, der Absorp-

⁶⁾ Vgl. hierzu *Hottinger, M.*: Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf den Wärmeüber- bzw. -durchgang. «Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik», Bd. 12 (1946) H. 5, S. 137/148.

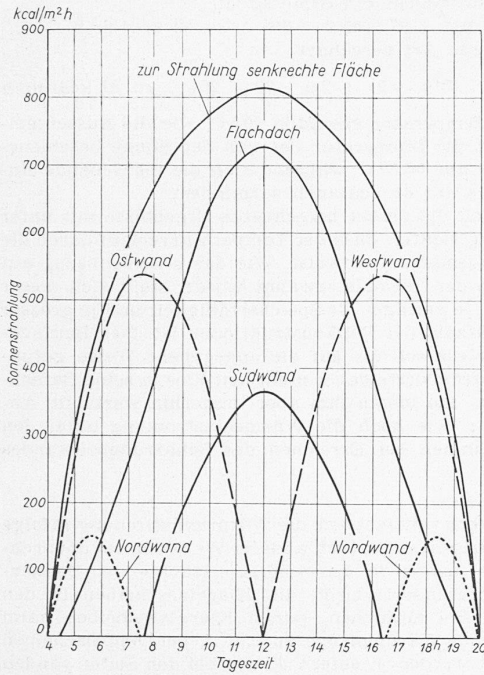


Bild 4. Tagesverlauf der Sonnenstrahlung J bei wolkenlosem Himmel in kcal/m²h auf verschieden orientierte Flächen am 1. Juli in Potsdam-Berlin (Arbeitsblatt 51, Heizung und Lüftung, Heft 8, August 1941)

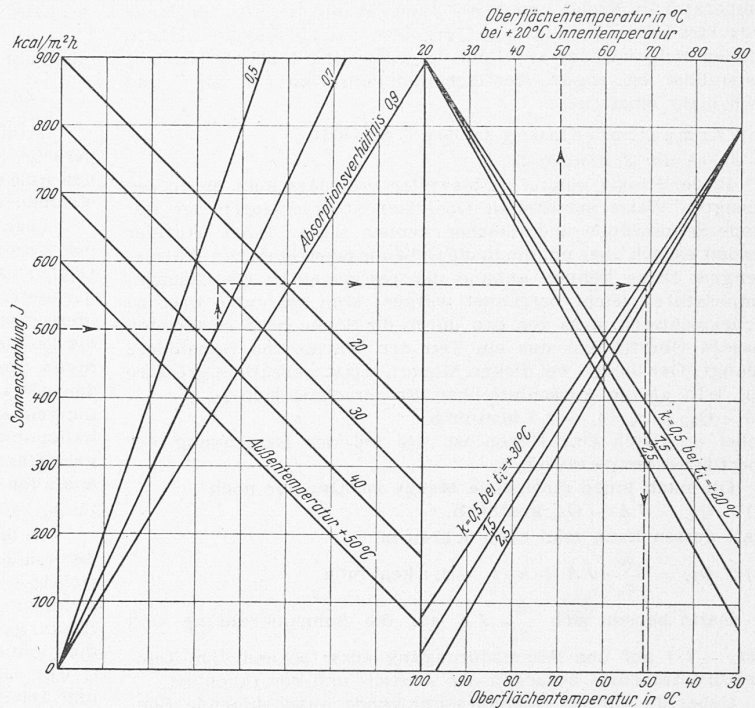


Bild 5. Bestimmung der Temperatur der äusseren Oberfläche einer von der Sonne bestrahlten Wand (Arbeitsblatt 61, Heizung und Lüftung, Heft 7, Juli 1942)

tionsziffer $A = 0,7$ entsprechenden Geraden, dann lotrecht nach oben bis zu der von links oben nach rechts unten verlaufenden Geraden für $t_a = 30^\circ\text{C}$ Aussentemperatur und weiter waagrecht nach rechts bis zu den Linien für $k = 1,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ geht, worauf man für die Innentemperatur von $t_i = 20^\circ$ den genannten Wert oben, für $t_i = 30^\circ\text{C}$ unten findet.

Nach *Bradtke* (vgl. Fussnote 5) ergeben sich die gesuchten Oberflächentemperaturen aus der Gleichung

$$(1) \delta_a = \frac{\alpha_a - k}{\alpha_a} \left(\frac{JA}{\alpha_a} + t_a - t_i \right) + t_i \text{ } ^\circ\text{C}$$

Hierin wurde zur Aufzeichnung von Bild 5 die Wärmeübergangszahl im Freien $\alpha_a = 15 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ angenommen. Wird der Wert mit Rücksicht auf stärkere Luftbewegung im Freien grösser eingesetzt, so fällt die Oberflächentemperatur δ_a kleiner aus, weil die heisse Oberfläche dabei in vermehrtem Mass Konvektions- bzw. Strömungswärme an die Aussenluft abgibt.

Nimmt man z. B. graue Aussenmauer-Oberflächen mit einer Absorptionsziffer $A = 0,7$ und einer Wärmedurchgangszahl von $k = 1,0 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, ferner eine Wärmeübergangszahl $\alpha_a = 15 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, eine Aussentemperatur von 35°C und eine Innentemperatur von 25°C an und entnimmt Bild 6, dass die höchste Sonnenstrahlung J für Ost- und Westwände zu $530 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ und für Südwände zu $370 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ anzusetzen ist, so ergeben sich die nach Gleichung 1 berechneten Höchstoberflächentemperaturen bei der Ost- und Westseite zu 57°C , bei der Südwand zu 50°C . Handelt es sich um dunkle Oberflächen oder Holz, so steigt die Temperatur noch höher. Nach *Cammerer*⁷⁾ haben z. B. Messungen, bezogen auf den 22. Juni, für frisch gehobelte, nach Ost und West gelegene Holzwände Ubertemperaturen über die Luft-

⁷⁾ *Cammerer, J.S.*: Konstruktive Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau. Verlag Jul. Springer, Berlin 1936, S. 58.

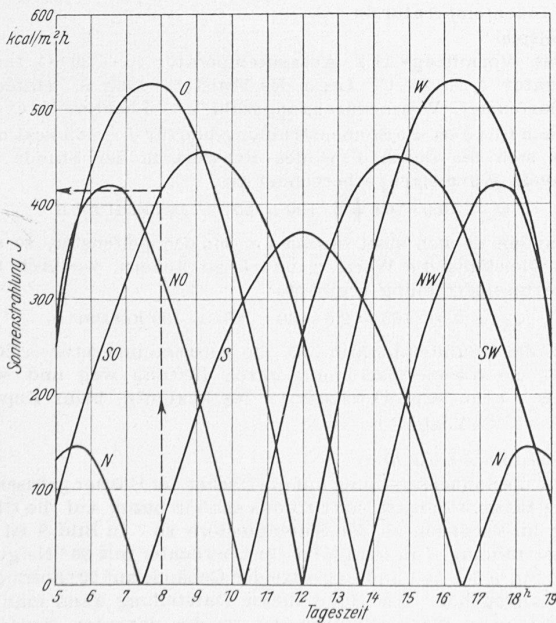


Bild 6. Tagesverlauf der Sonnenstrahlung J bei wolkenlosem Himmel in kcal/m²h auf verschieden orientierte Wände am 1. Juli an Orten auf 50° nördlicher Breite (Arbeitsblatt 62, Heizung und Lüftung, Heft 9, September 1942)



Bild 7. Tagesverlauf der Sonnenstrahlung J bei wolkenlosem Himmel in kcal/m²h auf verschieden orientierte Dächer mit 30° Neigung am 1. Juli an Orten auf 50° nördlicher Breite (Arbeitsblatt 63, Heizung und Lüftung, Heft 9, September 1942)

temperatur im Freien von 35,8 °C und für mit verwitterter Rinde bedecktes Holz sogar von 38,1 °C ergeben. Und an dunkeln Dächern können sich, wie das an Hand der Gleichung 1 ebenfalls leicht feststellbar ist, sogar Oberflächentemperaturen von 80 °C und noch mehr einstellen.

5. Wärmeeinströmung in die Gebäude

a) durch die Seitenwände

In der Praxis kommt es bisweilen vor, dass man die in der gezeigten Weise ermittelten Oberflächentemperaturen der Gebäude-Seitenwände und -Dächer kennen muss. Noch häufiger handelt es sich aber um die in die Gebäude einströmenden Wärmemengen. Diese können anhand der festgestellten Oberflächentemperaturen leicht berechnet werden. Man hat dabei aber zu berücksichtigen, dass von den durch die Sonne hoch erwärmten äusseren Oberflächen nur ein Teil der Wärme ins Hausinnere gelangt. Der übrige, bei dicken Mauern meist wesentlich grössere Teil, tritt an die Aussenluft über. Er berechnet sich zu

$$(2) \quad Q_{ha} = \alpha_a (\delta_a - t_a) \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

wobei α_a gleich einzusetzen ist wie bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen δ_a .

Die nach innen strömende Menge ist also nur noch

$$(3) \quad Q_{hi} = JA - Q_{ha} \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Statt dessen kann man auch schreiben:

$$(4) \quad Q_{hi} = \frac{k}{\alpha_a} JA + k (t_a - t_i) \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Darin bezieht sich $\frac{k}{\alpha_a} JA$ auf die Sonnenstrahlung und $k (t_a - t_i)$ auf den Wärmedurchgang entsprechend dem Temperaturunterschied zwischen der Aussen- und der Innenluft.

Ueber die für die Gebäudeseitenwände anzunehmende Sonnenstrahlung J in kcal/m²h am 1. Juli für Gebäudelagen auf 50 ° nördlicher Breite gibt, wie schon erwähnt, Bild 6 Aufschluss.

Beispiel:

Zeit: Vormittags 8 h, Aussentemperatur $t_a = 30$ °C, Innentemperatur $t_i = 20$ °C, Lage der Wand nach SO, äussere Oberfläche grau, somit nach Abschnitt 4 Absorptionsziffer $A = 0,7$, Wärmedurchgangszahl $k = 2,0$ kcal/m²h °C, äussere Wärmeübergangszahl $\alpha_a = 15$ kcal/m²h °C

Die Sonnenstrahlung beträgt nach Bild 6: $J = 415$ kcal/m²h und die Oberflächentemperatur wird nach Bild 5 oder nach der unter Abschnitt 4 angegebenen Gleichung (1):

$$\delta_a = \frac{15 - 2,0}{15} \cdot \left(\frac{415 \cdot 0,7}{15} + 30 - 20 \right) + 20 = 45,4 \text{ °C}$$

Die nach innen abströmende Wärme ist also:

$$Q_{hi} = 415 \cdot 0,7 - 15 \cdot (45,4 - 30) = \text{rd. } 59 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

oder, auf die zweite Art berechnet:

$$Q_{hi} = \frac{2,0}{15} \cdot (415 \cdot 0,7) + 2,0 \cdot (30 - 20) = \text{rd. } 59 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Ist die Innentemperatur ebenfalls 30 °, wie die Aussentemperatur, so ergibt sich die Temperatur der äusseren Oberfläche zu $\delta_a = 46,8$ ° und die nach dem Gebäudeinnern abströmende Wärme nur noch zu rd. 39 kcal/m²h.

Bei dieser Berechnungsart ist hinsichtlich des Temperaturverlaufs durch die Wände Beharrungszustand vorausgesetzt. Dieser stellt sich aber innerhalb kurzer Zeit nur bei wenig speichernden Wänden mit grossen Temperaturleitfähigkeiten ein, während es bei dicken, schweren Mauern lange dauert, bis die Erwärmung der äusseren Oberfläche durch die Sonne innen zur Geltung kommt. In solchen Fällen kann es sogar vorkommen, dass hiervon überhaupt nichts verspürt wird, weil die nächtliche Abkühlung die tagsüber bis auf eine gewisse Tiefe der Mauer erfolgte Durchwärmung wieder ausgleicht. Diese Zusammenhänge sind in der unter Fussnote 1 erwähnten Arbeit ausführlich behandelt, weshalb ich an dieser Stelle nicht weiter darauf eintreten will.

b) durch Dächer

In gleicher Weise wie bei den Seitenwänden eines Hauses kann die Wärmeeinströmung auch durch die Dächer berechnet werden. Die hierbei anzunehmende Sonnenstrahlung J für nach verschiedenen Himmelsrichtungen gelegene Dächer mit einem Neigungswinkel von 30 °, wieder für den 1. Juli und Gebäudelagen auf 50 ° nördlicher Breite, geht aus Bild 7 hervor.

Beispiel:

Zeit: Vormittags 11 h, Aussentemperatur $t_a = 30$ °C, Innentemperatur $t_i = 20$ °C, Lage des 30 ° geneigten Daches nach W, schwarzes Teerpappdach, somit Absorptionsziffer $A = 0,9$, Wärmedurchgangszahl $k = 2,0$ kcal/m²h °C, äussere Wärmeübergangszahl $\alpha_a = 15$ kcal/m²h °C

In diesem Fall ist die Sonnenstrahlung nach Bild 7: $J = 510$ kcal/m²h, die Oberflächentemperatur somit nach Gleichung (1):

$$\delta_a = \frac{15 - 2,0}{15} \cdot \left(\frac{510 \cdot 0,9}{15} + 30 - 20 \right) + 20 = 55,2 \text{ °C}$$

die nach innen abströmende Wärme somit:

$$Q_{hi} = 510 \cdot 0,9 - 15 \cdot (55,2 - 30) = \text{rd. } 81 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

oder, auf die zweite Art berechnet:

$$Q_{hi} = \frac{2,0}{15} \cdot (510 \cdot 0,9) + 2,0 \cdot (30 - 20) = \text{rd. } 81 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Ist die Innentemperatur ebenfalls 30 °C, wie die Aussentemperatur, so steigt die Temperatur der von der Sonne beschienenen Aussenfläche auf 56,5 °C, während sich die ins Gebäude einströmende Wärme auf 61 kcal/m²h vermindert.

Auch hier sind die derart berechneten Ergebnisse nur unter der Voraussetzung richtig, dass der Temperaturverlauf durch die Dächer Beharrungszustand aufweist. Wie das schon in bezug auf die Seitenmauern der Gebäude erwähnt wurde, stellt sich dieser umso rascher ein, je geringer die Speicherfähigkeit und je grösser die Temperaturleitzahl der Baukonstruktionen ist. Der Baufachmann oder Ingenieur soll die auf die angegebene Weise gefundenen Wärmeeinströmwerte daher nicht kritiklos in seine Berechnungen einsetzen. Sie bieten ihm aber immerhin wertvolle Anhaltspunkte dafür, wie hoch die Wärmeeinströmung unter den getroffenen Annahmen bei Erreichen des Beharrungszustandes ausfallen wird.

c) durch die Fenster

Bei den Fenstern vollzieht sich die Wärmeeinströmung infolge der Sonnenstrahlung in wesentlich anderer Weise als bei undurchsichtigen Wänden, indem die kurzwelligen, leuchtenden Sonnenstrahlen fast unbehindert durch die Klarglasscheiben in den Raum gelangen. Bei einfachen, reinen Klarglasscheiben kann die hindurchgehende Wärmemenge zu $0,9 \cdot J$, bei Doppelscheiben $= 0,81 \cdot J$ gesetzt werden^{*)}, sofern J , wie bei den Seitenwänden und Dächern, wieder die Sonnenstrahlung bedeutet. Ueber die in bezug auf lotrechte Fenster am 1. Juli für Gebäude auf 50 ° nördlicher Breite anzunehmende Sonnenstrahlung J in kcal/m²h gibt Bild 8 Aufschluss.

Die grosse Sonnenstrahlendurchlässigkeit der Klarglasscheiben hat zur Folge, dass sie sich infolge der Sonnenbestrahlung nicht stark erwärmen. Ohne Sonnenbestrahlung weisen einfache Fenster ungefähr die Durchschnittstemperatur zwischen innen und aussen auf, während bei Sonnenbestrahlung der Wert wohl etwas höher ist, denjenigen der Aussenluft aber kaum überschreitet, so dass jedenfalls nicht mit einer wesentlichen Wärmeabgabe von den Scheiben nach aussen zu rechnen ist, wie das bei undurchsichtigen Wänden geschehen muss (vgl. die Abschnitte 5a und b). Die Wärmeeinströmung kann daher für reine Klarglasscheiben gesetzt werden:

$$(5) \quad Q_{hi} = q_s J + k (t_a - t_i) \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Dabei bezieht sich $q_s J$ auf die Sonnenstrahlung; $k (t_a - t_i)$ auf den Wärmedurchgang durch Leitung. Es bedeuten: q_s die vorstehend genannten Werte $= 0,9$ für einfache und $0,81$ für Doppelfenster, J die aus Bild 8 zu entnehmende Sonnenstrahlung in kcal/m²h, k die Wärmedurchgangszahl, $k = 5,0$ für einfache und $2,5$ kcal/m²h für Doppelfenster, t_a die Aussentemperatur in °C, t_i die Innentemperatur in °C.

Beispiel:

Zeit: Vormittags 11 h, Aussentemperatur $t_a = 30$ °C, Innentemperatur $t_i = 20$ °C, Lage des Fensters nach S, einfaches Klarglasfenster, Wärmedurchgangszahl $k = 5$ kcal/m²h °C.

Nach Bild 8 ist die Sonnenstrahlung hierfür $J = 165$ kcal/m²h, sodass sich die durch 1 m² des Fensters in der Stunde einströmende Wärmemenge berechnet zu:

$$Q_{hi} = 0,9 \cdot 165 + 5 \cdot (30 - 20) = 198 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Handelt es sich statt dessen um ein Doppelfenster, so sind in der Gleichung die Werte q_s und k zu ändern, wodurch sich die Wärmeeinströmung ergibt zu:

$$Q_{hi} = 0,81 \cdot 165 + 2,5 \cdot (30 - 20) = 159 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Ist die Raumtemperatur wie die Aussentemperatur $= 30$ °C, so fällt die Wärmeeinströmung durch Leitung weg und wird daher Q_{hi} beim Einfachfenster $= 148$ kcal/m²h, beim Doppelfenster $= 134$ kcal/m²h.

d) durch die Oberlichter

Wie die Sonnenstrahlung auf die Dächer der Häuser grösser als auf die Seitenwände ist, so trifft das auch in bezug auf die Oberlichter im Vergleich zu den Seitenfenstern zu. In Bild 9 ist die Sonnenstrahlung J in kcal/m²h für Oberlichter mit 30 ° Neigung, wieder für den 1. Juli und Lageorte der Gebäude auf 50 ° nördlicher Breite angegeben. An Hand dieser Darstellung kann man die zu erwartende Wärmeeinströmung in die darunter liegenden Räume in gleicher Weise berechnen wie das unter Abschnitt 5c für die seitlichen Fenster gezeigt wurde.

^{*)} Siehe die unter Fussnote 5 erwähnte Arbeit.

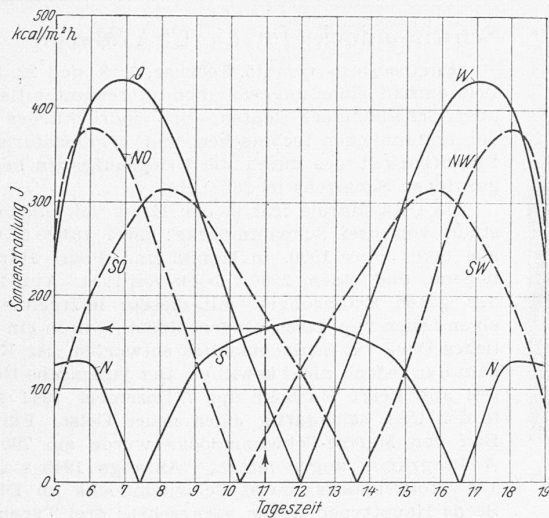


Bild 8. Tagesverlauf der Sonnenstrahlung J bei wolkenlosem Himmel in kcal/m²h auf lotrecht stehende, verschieden orientierte Fenster am 1. Juli an Orten auf 50° nördlicher Breite (Arbeitsblatt 64, Heizung und Lüftung, Heft 11, November 1942)

Beispiel:

Zeit: vormittags 11 h, Aussentemperatur $t_a = 30^\circ \text{C}$, Innentemperatur $t_i = 20^\circ \text{C}$, Lage des 30° geneigten Oberlichtes nach W oder NO, einfaches Klarglasfenster, Wärmedurchgangszahl $k = 5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$.

Sonnenstrahlung nach Bild 9: $J = 425 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$. Die nach innen strömende Wärme ist also:

$$Q_{hi} = 0,9 \cdot 425 + 5 \cdot (30 - 20) = 432 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Auch in diesen Fällen ist bei Doppelscheiben der Wert q_s von 0,9 auf 0,81 und die Wärmedurchgangszahl k von 5 auf $2,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$ zu vermindern, wodurch sich die einströmende Wärmemenge ergibt zu

$$Q_{hi} = 0,81 \cdot 425 + 2,5 \cdot (30 - 20) = 369 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

Ist die Innentemperatur 30 statt 20°C , fällt die Wärme-einströmung durch Leitung also dahin, so ergibt sich bei einfachen Scheiben Q_{hi} zu 382, bei Doppelscheiben zu $344 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$.

6. Massnahmen zur Verminderung der Wärme-einströmung

Die in den vorstehenden Beispielen berechneten Wärme-einströmungen in die Gebäude können herabgemindert werden: Bei den Seitenmauern und Dächern durch helle Oberflächen (weissen Verputz, Anstreichen schwarzer Teerpappdächer z. B. mit Alusol usw.). Bei den Dächern auch durch Wasserberieselung und bei den Fenstern durch äussere (nicht innere) Sonnenstoren oder Läden, Schilfmatten (bei Gewächshäusern) usw., ferner bei Oberlichtern durch Anstriche, bestehend aus Wasser-glas, Kreidepulver und, falls z. B. in Fabriken blaue Färbung erwünscht ist unter Beimischung von etwas Ultramarinblau. Solche Anstriche halten dem Regen stand, können aber trotzdem, wenn sich im Herbst das Bedürfnis nach stärkerer Belichtung und Erwärmung der Räume durch die Sonne bemerkbar macht, leicht wieder abgewaschen werden. Durch derartige Anstriche können die für Klarglasscheiben berechneten Wärme-einströmwerte, ohne dass die Belichtung der Räume allzustark leidet, auf schätzungsweise rd. 60% vermindert werden. Auch bei doppelten Glasoberlichtern sind solche Anstriche zur Herab-minderung der Raumtemperaturen schon mit gutem Erfolg angewendet worden. In einem Kunsthaus wurden zwischen Glas-dach und Staubdecke ohne Anstrich bis zu 65°C , nachher rd. 40°C gemessen⁹⁾. Der Anstrich wird dabei von Zeit zu Zeit erneuert und ist so gewählt, dass die Ausstellungsräume trotzdem genügend hell bleiben. Weiter kommt die Anwendung von Thermoluxglas, das aus zwei Klarglasscheiben mit dazwischenliegender Glasgespinst-einlage besteht oder, in gewissen Fällen, Exuroglas in Frage. Dieses ist schwach grün gefärbt und soll die Wärmestrahlen daher zur Hauptsache absorbieren ohne eine starke Verdunklung zu veran-lassen. Ein weiteres Mittel besteht darin, in Doppel-Oberlichtern bewegliche Vorhänge anzubringen. Ihre Bedienung ist bei wolkigem Himmel und starkem Wechsel in der Bewölkung mühsam. Statt dessen sind zwischen Glasdach und Staubdecke auch schon lot-rechte Wände derart angebracht worden, dass die schief ein-fallenden Sonnenstrahlen verhindert werden, in die Räume

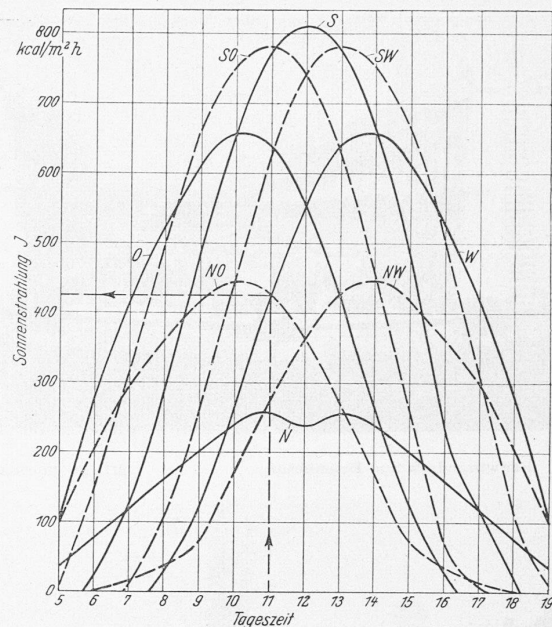


Bild 9. Tagesverlauf der Sonnenstrahlung J bei wolkenlosem Himmel in kcal/m²h auf verschieden orientierte Oberlichter mit 30° Neigung am 1. Juli an Orten auf 50° nördlicher Breite (Arbeitsblatt 65, Heizung und Lüftung, Heft 11, November 1942)

hinunter zu gelangen. Die an den genannten Schutzwänden ent-stehende Wärme ist durch gute Durchlüftung des Hohlräumes bestmöglich zu beseitigen (Kunst- und Kongresshaus Luzern). Dagegen hilft bei Klarglasoberlichtern Wasserberieselung wenig, weil die leuchtenden Sonnenstrahlen die durchsichtigen Wasser-schleier ähnlich leicht durchdringen wie die Klarglasscheiben. Was durch Wasserberieselung jedoch erreicht wird, ist eine Kühlung der Scheiben, somit die Verhinderung des Wärmedurch-ganges durch Leitung, bei Verwendung genügend kalten Wassers sogar eine Umkehrung des Wärmedurchganges. Sehr wirksam ist Kaltwasserberieselung dagegen bei undurchsichtigen Flächen, weil die von der Sonne beschienenen Oberflächen dadurch weit stärker abgekühlt werden als nur durch die unter den Abschnitten 5a und b erwähnte Wärmeabgabe an die Aussenluft. Je m² Dachfläche hat man bei guter Ausführung der Streudüsen mit etwa 0,25 l/min, bei weniger guter Ausführung mit bis zu 0,5 l/min Wasserverbrauch und bei Verwendung von nur mit kleinen Löchern versehenen Röhren mit bis zu 1,0 l/min Wasserver-brauch zu rechnen. Die Verteilung der Düsen derart, dass die ganze Dachfläche gleichmässig berieselt wird, hängt von der Düsenkonstruktion und dem Wasserdruck ab; u. U. reicht die Sprühwirkung bis zu 2 m. Als weitere Massnahme gegen zu starkes Eindringen von Wärme durch die Dächer kommen auch Isolierschichten und unter Flachdächern Hohlräume in Frage, die mit der Aussenluft in Verbindung stehen und daher durch-lüftet werden. In gleicher Weise bilden auch die unbenützten Dachböden in Häusern mit Steildächern einen guten Schutz gegen übermässige Erwärmung der Wohnräume im obersten Stockwerk. Naheliegend ist ferner, dass aus schwerem Mauer-werk erbaute Häuser weniger unter übermässiger Erwärmung zu leiden haben, als solche mit dünnen, leichten, die Wärme gut leitenden Wänden¹⁰⁾. Insbesondere solange die Nächte kühl sind, kann durch gründliche nächtliche Durchlüftung derartiger Gebäude die Speicherwirkung der Mauern in willkommener Weise nutzbar gemacht werden.

Die geschilderten Massnahmen genügen oft, um in den Räumen erträgliche Verhältnisse zu schaffen. Sind sie nicht ausreichend, z. B. weil die unter Abschnitt 1 erwähnte Wärme-erzeugung im Hausinnern sehr bedeutend ist und im Hochsommer durch das Öffnen der Fenster keine Kühlung mehr erzielt werden kann, so sind eben Klimaanlage zu erstellen. Die im Gebäudeinnern entstehenden Wärmemengen können meist leicht berechnet werden und in bezug auf die Wärme-einströmung von aussen unter Berücksichtigung der im Sommer herrschenden hohen Lufttemperaturen und der Sonnenstrahlung geben die vor-stehenden Ausführungen alle erforderlichen Unterlagen. Dadurch ist es nun möglich, die in Frage kommenden Kühllasten mit weitgehender Genauigkeit zu ermitteln, während man früher auf ungefähre Schätzungen angewiesen war.

⁹⁾ Vgl. «Heizung und Lüftung», Bd. 12 (1938), Heft 11, S. 176.

¹⁰⁾ Vgl. hierzu die unter Fussnote 1 erwähnte Arbeit.