

Behaglichkeit und sommerliches Wärmeverhalten

Seminar-Skript

Juli 2003

(Kapitel „Sommerliches Wärmeverhalten“)

Der Umdruck ist zum persönlichen, internen Gebrauch bestimmt.

Inhaltsverzeichnis

1	Wärmeverhalten nicht klimatisierter Gebäude im Sommer.....	3
1.1	Meteorologische Grundlagen	3
1.1.1	Lufttemperatur.....	3
1.1.2	Einfluss der Bewölkung	10
1.1.3	Sonnenstrahlung.....	13
1.1.4	Wind.....	15
1.2	Meteorologische Randbedingungen für die Beschreibung des sommerlichen Wärmeverhaltens.....	18
1.3	Wärmebilanz	18
1.3.1	Einfluss der Fenster und der Lüftung	24
1.3.2	Einfluss der Orientierung	27
1.3.3	Einfluss der Bauart	28
1.3.4	Einfluss interner Wärmequellen.....	29
1.4	Einfluss des Wärmeschutzes.....	30
1.5	Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz.....	30
1.5.1	Wärmeschutztechnische Vorschriften	30
1.5.2	Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz.....	31
1.5.2.1	Bestimmung des Sonneneintragskennwertes.....	31
1.5.2.2	Anforderungen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.6	Literatur	36

1 Wärmeverhalten nicht klimatisierter Gebäude im Sommer

1.1 Meteorologische Grundlagen

1.1.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist von mehreren Faktoren abhängig:

Strahlung

Der Wärmehaushalt der bodennahen Luftschicht wird im Wesentlichen durch die kurz- und langwelligen Strahlungseinflüsse bestimmt. Sie erzeugen einen ausgeprägten Tages- und Jahresgang der Lufttemperatur und bewirken deren zonale Verteilung. Die Lufttemperatur hängt folglich u.a. von der geographischen Breite ab.

Höhe

Die Lufttemperatur ist abhängig von der Höhe über NN. Sie nimmt im Mittel je 100 m um 0,6 K ab.

Kontinentalität

Die Meeresoberflächentemperaturen und auch die Lufttemperaturen über den Meeren weisen praktisch keinen Tages- und auch nur schwache Jahresgänge auf. Der Küstenbereich zeichnet sich demgemäß gegenüber dem Binnenland durch milde Winter und entsprechend kühle Sommer aus, während für das Landesinnere wärmere Sommer und kühlere Winter typisch sind.

Geländeexposition

Eine weitere Einflussgröße ist die Geländeexposition. So können gleich hochgelegene Tal- und Kuppenlagen unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Eine Senke oder ein Tal können in der Nacht oder im Winter als Kaltluftsammler wirken. Bei Tag kann ein Tal im Gegensatz zu windexponierten Kuppen eine kräftige Erwärmung erfahren. Gebirge sind Hindernisse der Luftströmung. Die Bewölkungsverhältnisse von Luv- und Leeseite können sich fundamental unterscheiden. Dadurch werden die solare Einstrahlung und letztlich auch die bodennahen Lufttemperaturen beeinflusst. Durch die höhere Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffe und deren meist geringeres Reflexionsvermögen kommt es in größeren Städten zu einer Temperaturerhöhung. Die verminderte Verdunstung im Stadtinneren sowie der zusätzlichen Wärmeabgabe aufgrund anthropogener Prozesse führen zu einer weiteren Temperaturerhöhung, so dass sich in Städten an windschwachen Tagen Wärmeinseln bilden können. Die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland ist abends und nachts am stärksten ausgeprägt und kann bis zu 10 K betragen. Im Jahresmittel liegt der Temperaturunterschied etwa bei 1 K. Im

Winter führt der Wärmeinseleffekt zu einer Verminderung des Heizenergieverbrauchs.

Tabelle 1.1 enthält langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur von sieben ausgewählten Bezugsstationen. Der Jahresgang der Temperatur ähnelt in seinem Verlauf einer Glockenkurve. Durchschnittlich wärmster Monat ist der Juli, durchschnittlich kältester Monat ist der Januar; in List ist es wegen der thermischen Trägheit des Wassers der Februar. Während sich die Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen List und Berlin nur um 0,9 K unterscheiden, beträgt die Jahresamplitude zwischen dem höchsten und niedrigsten Monatsmittel in Berlin 19,2 K, in List dagegen nur 15,5 K. Hierin spiegelt sich die oben beschriebene Kontinentalität wieder. Die niedrigen Mittelwerte an der Wasserkuppe dokumentieren den Einfluss der Höhenabhängigkeit auf die Temperatur. In Bild 1.1 sind vier Stationen exemplarisch aufgetragen. In Tabelle 1.2 und Tabelle 1.3 sind ergänzend die mittleren täglichen Maxima und Minima sowie die absoluten Maxima und Minima der Lufttemperatur für die einzelnen Monate und das Jahr aufgeführt. Auch hier lässt sich der Einfluss der Kontinentalität deutlich erkennen.

Tabelle 1.1 Langjährige Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in °C auf der Grundlage stündlicher Daten von den sieben Bezugsstationen aus Deutschland. Bezugszeitraum: 1961 bis 1990

Stationen Höhe über NN	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
List/Sylt 26 m	0,9	0,8	2,7	6,0	10,8	14,3	15,8	16,3	13,9	10,4	6,1	2,8	8,4
Hamburg- Fuhlsb. 13 m	0,3	0,9	3,6	7,1	11,9	15,2	16,5	16,5	13,5	9,6	5,0	1,7	8,5
Berlin- Tempelhof 48 m	-0,6	0,3	3,9	8,8	13,8	17,2	18,6	18,1	14,7	10,4	4,7	0,9	9,3
Essen 152 m	1,7	2,4	5,0	8,4	12,7	15,5	17,2	17,1	14,4	10,7	5,7	2,8	9,5
Wasserkuppe 921 m	-3,3	-2,9	-0,4	3,4	8,2	11,2	13,0	13,0	10,0	6,1	0,8	-2,2	4,8
Frankfurt- Flugh. 112 m	0,8	2,0	5,4	9,3	13,6	17,1	18,8	18,2	14,8	9,7	5,0	1,5	9,7
München- Riem 527 m	-1,8	-0,4	3,4	7,5	12,0	15,2	17,3	16,8	13,7	8,6	3,1	-0,6	7,9

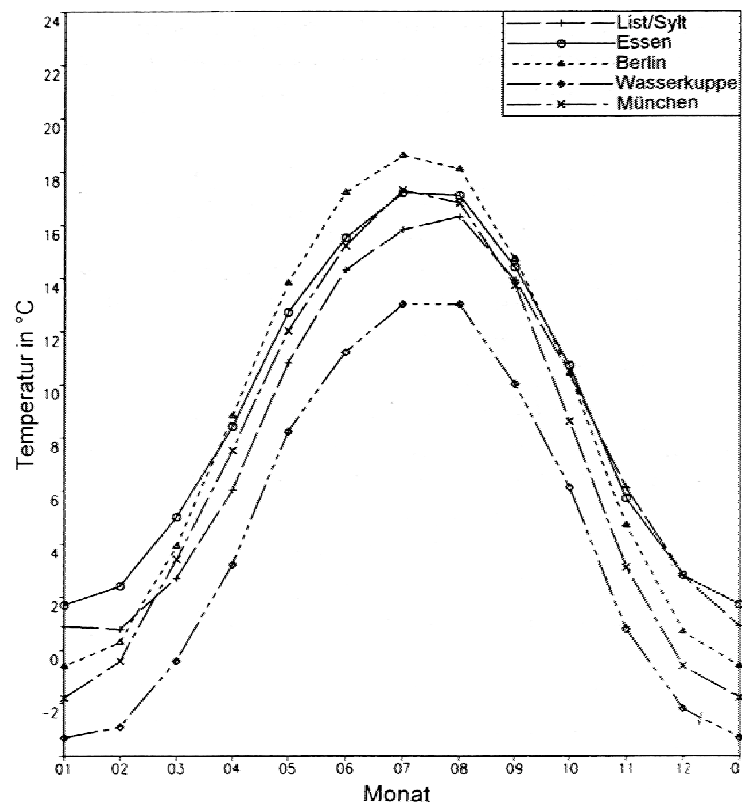


Bild 1.1 Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur von fünf Stationen in Deutschland, Zeitraum: 1961 bis 1990

Tabelle 1.2 Mittleres (jeweils 1. Zeile) und absolutes (jeweils 2. Zeile) monatliches und jährliches Maximum der Lufttemperatur in °C von den sieben Bezugsstationen aus Deutschland. Bezugszeitraum: 1951 bis 1980 für Mittelwert, 1961 bis 1990 für Absolutwert

Stationen	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Höhe über NN													
List/Sylt	2,6	2,2	4,5	8,7	13,7	17,4	18,5	19,1	16,4	12,2	7,7	4,6	10,6
26 m	9,5	10,5	14,9	20,3	26,1	30,6	30,6	32,6	25,8	19,2	14,0	11,0	32,6
Hamburg- Fuhlsb.	2,6	3,3	7,0	11,8	16,8	20,4	21,4	21,3	18,1	13,1	7,5	4,1	12,3
13 m	12,4	16,6	22,9	29,6	28,9	32,7	32,4	34,5	29,6	23,7	20,2	15,4	34,5
Berlin- Tempelhof	1,8	3,2	7,5	12,8	18,0	22,2	23,1	22,8	19,0	13,4	7,2	3,5	12,9
48 m	14,4	18,3	24,4	30,8	29,6	33,6	35,8	35,1	30,5	28,0	20,2	15,5	35,8
Essen	3,7	4,9	8,4	12,5	17,0	20,2	21,4	21,3	18,5	13,8	8,0	4,9	12,9
152 m	13,3	18,4	23,2	28,6	29,4	32,0	34,3	34,1	30,1	25,9	19,2	15,4	34,3
Wasserkuppe	-1,5	-0,7	2,5	7,1	12,0	15,2	16,7	16,4	13,4	8,9	2,9	0,0	7,7
921 m	12,4	13,8	19,3	22,9	24,4	25,8	28,8	29,2	25,7	22,0	16,9	11,6	29,2
Frankfurt- Flugh.	3,0	5,1	9,8	14,4	19,0	22,3	24,0	23,5	20,0	14,0	7,6	4,1	13,9
112 m	12,9	15,4	25,0	29,9	30,7	33,5	35,1	34,8	31,5	25,8	18,5	13,8	35,1
München- Riem	1,4	3,3	8,0	12,6	17,2	20,5	22,4	22,0	19,0	13,3	6,7	2,5	12,4
527 m	15,1	20,8	23,5	27,0	29,8	34,1	36,2	33,6	30,4	26,3	21,9	20,3	36,2

Tabelle 1.3 Mittleres (jeweils 1. Zeile) und absolutes (jeweils 2. Zeile) monatliches und jährliches Minimum der Lufttemperatur in °C von den sieben Bezugsstationen aus Deutschland. Bezugszeitraum: 1951 bis 1980 für Mittelwert, 1961 bis 1990 für Absolutwert.

Stationen	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Höhe über NN													
List/Sylt	-0,9	-1,4	0,4	3,4	7,7	11,6	13,5	13,9	11,8	8,2	4,1	1,1	6,1
26 m	-15,5	-13,7	-11,2	-3,7	0,5	5,3	8,3	9,6	6,5	0,9	-6,8	-13,0	-15,5
Hamburg- Fuhlsb.	-2,2	-2,3	0,0	2,7	6,7	10,2	12,0	11,8	9,1	5,9	2,4	-0,4	4,7
13 m	-18,6	-18,2	-13,9	-6,5	-2,1	0,6	4,4	1,8	0,1	-3,0	-15,4	-19,1	-19,1
Berlin- Tempelhof	-2,8	-2,4	0,3	4,1	8,6	12,6	14,1	13,7	10,4	6,5	2,4	-0,8	5,5
48 m	-20,5	-17,0	-14,4	4,1	0,6	4,5	7,3	6,5	2,1	-2,2	-15,9	-20,3	-20,5
Essen	-0,5	-0,2	2,0	4,5	8,3	11,4	13,1	13,1	10,9	7,5	3,4	0,9	6,2
152 m	-16,9	-15,9	-11,1	-4,6	0,2	1,6	5,7	6,8	3,7	-1,0	-6,5	-16,7	-16,9
Wasserkuppe	-5,6	-5,1	-2,8	0,5	4,6	8,1	9,7	9,6	7,1	3,5	-1,4	-4,2	2,0
921 m	-23,8	-20,8	-16,6	-10,5	-4,8	-1,5	2,2	3,0	0,6	-5,7	-12,6	-19,8	-23,8
Frankfurt- Flugh.	-2,3	-1,7	0,6	3,7	7,6	11,2	12,9	12,4	9,4	5,3	1,7	-1,1	5,0
112 m	-18,4	-14,9	-11,8	-2,5	-1,4	2,4	5,5	4,4	1,2	-1,8	-8,1	-16,7	-18,4
München- Riem	-5,0	-4,0	-0,9	2,7	6,7	10,4	12,2	11,7	8,7	4,1	0,1	-3,6	3,6
527 m	-27,0	-23,0	-22,0	-6,7	-2,4	1,2	4,6	3,9	-1,9	-5,5	-14,5	-22,4	-27,0

Weitere die Temperaturverhältnisse eines Ortes charakterisierende Kenngrößen sind die Anzahl der Sommertage, der Frosttage und der Eistage. Der Sommertag ist definiert als ein Tag, an dem das Temperaturmaximum $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt. An Frosttagen liegt das Temperaturminimum unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, an Eistagen ist auch die maximale Lufttemperatur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tabelle 1.4 enthält die mittlere Anzahl dieser Tage.

Tabelle 1.4: Mittlere Anzahl der Sommertage (jeweils 1. Zeile), Frosttage (jeweils 2. Zeile) und Eistage (jeweils 3. Zeile) von den sieben Bezugsstationen aus Deutschland. Bezugszeitraum: 1951 bis 1980 für Mittelwert, 1961 bis 1990 für Absolutwert.

Stationen	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
Höhe über NN													
List/Sylt	-	-	-	-	0	1	2	1	-	-	-	-	4
26 m	17	17	13	2	-	-	-	-	-	-	3	11	62
	6	7	2	0	-	-	-	-	-	-	0	3	19
Hamburg- Fuhlsb.	-	-	-	0	1	5	6	5	1	-	-	-	18
13 m	19	17	15	6	1	-	-	-	0	2	8	15	82
	8	6	1	-	-	-	-	-	-	1	5	20	
Berlin- Tempelhof	-	-	-	0	2	8	10	9	3	0	-	-	32
48 m	21	18	14	3	0	-	-	-	1	7	16	79	
	9	7	2	-	-	-	-	-	-	1	6	24	
Essen	-	-	-	0	2	4	7	6	2	0	-	-	20
152 m	15	13	9	3	0	-	-	-	0	5	12	57	
	6	4	1	-	-	-	-	-	-	1	4	14	
Wasserkuppe	-	-	-	-	-	0	2	1	0	-	-	-	3
921 m	29	25	22	15	3	0	-	-	0	5	19	26	144
	19	16	10	3	0	-	-	-	1	8	16	72	
Frankfurt- Flugh.	-	-	-	1	3	9	12	10	4	0	-	-	38
112 m	19	17	13	5	1	-	-	-	0	3	10	17	85
	7	3	0	0	-	-	-	-	-	1	5	16	
München- Riem	-	-	-	0	2	6	10	8	3	0	-	-	29
527 m	26	22	17	7	1	-	-	-	0	5	14	23	114
	12	7	2	0	-	-	-	-	-	2	10	33	

Für viele Fragestellungen der Raumluftechnik sind die monatlichen Mittel- und Extremwerte allein nicht ausreichend. Statt dessen werden Häufigkeitsverteilungen der Lufttemperatur benötigt. Tabelle 1.5 zeigt die jährliche Häufigkeitsverteilung für die Station München- Riem. Sie basiert auf stündlichen Messwerten der Lufttemperatur aus den 30 Jahren von 1960 bis 1990. Während dieser Zeit sind Lufttemperaturen zwischen $-27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $36,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufgetreten. Der Spalte mit der relativen Häufigkeit kann entnommen werden, wie sich die Temperatur auf die einzelnen Klassen mit einer Klassenbreite von 1 K verteilt. Die Häufigkeitsverteilung zeigt drei Maxima bei 0 bis $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10,0$ bis $10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $12,0$ bis $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Summenhäufigkeiten lassen sich nach entsprechender Normierung auch graphisch darstellen. Bild 1.2 zeigt die Summenhäufigkeit der Lufttemperatur von München, Hamburg und Essen.

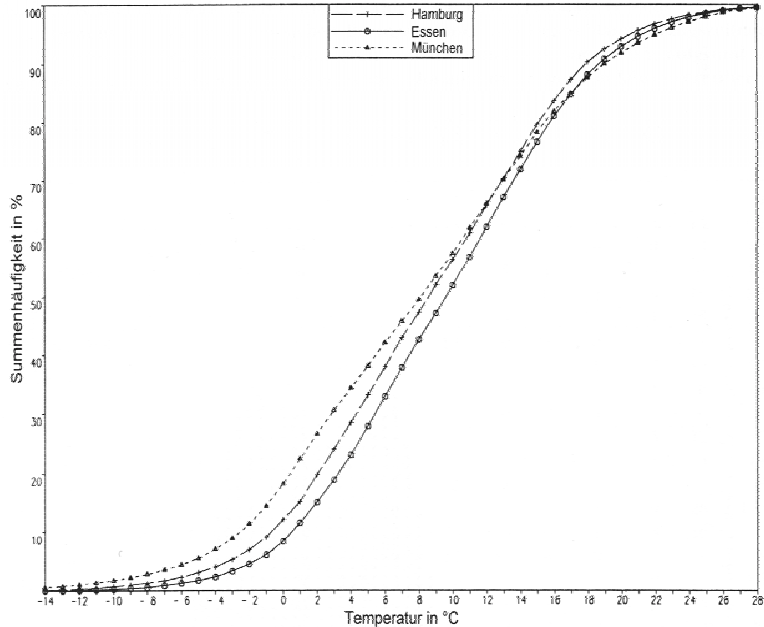
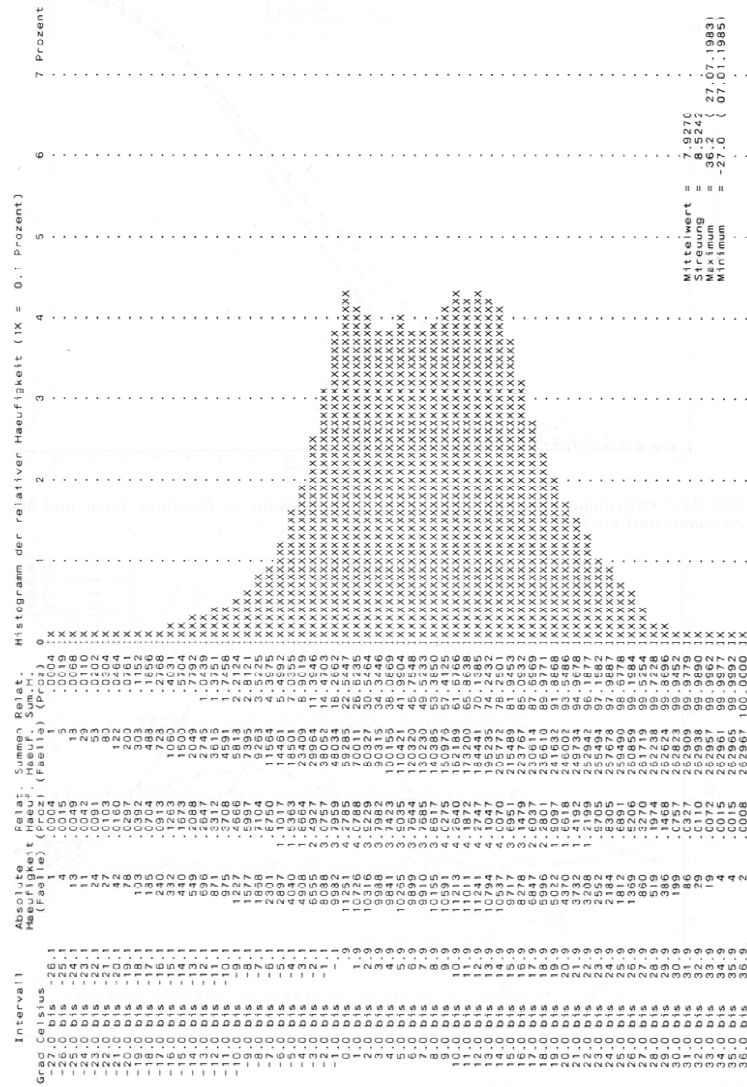
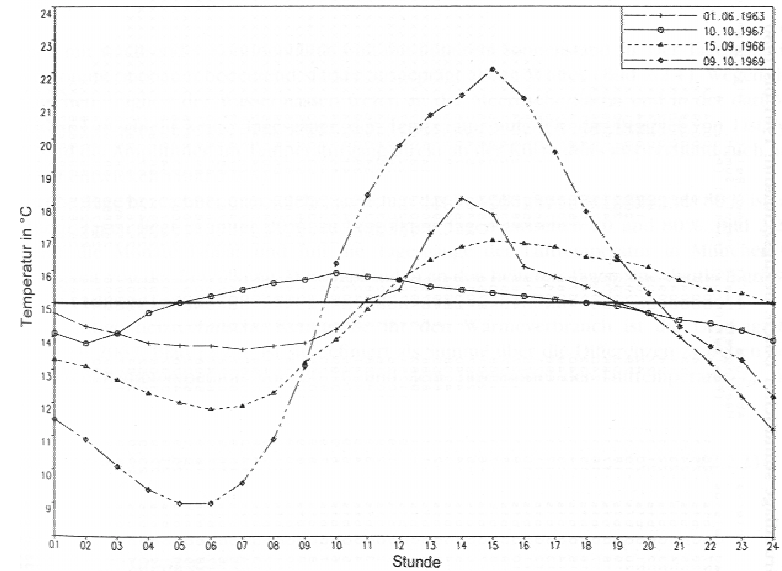


Bild 1.2: Prozentuale Summenhäufigkeit der Lufttemperatur in Hamburg, Essen und München. Zeitraum: 1961 bis 1990



1.1.2 Einfluss der Bewölkung

Sofern nicht durch Luftmassenwechsel kühlere oder wärmere Luft an einen anderen Ort transportiert wird, wird der Tagesgang der Lufttemperatur primär durch die Strahlungsbilanz beeinflusst. Dadurch hängt der Tagesgang stark von der Bewölkung ab. Bild 1.3 zeigt, dass die Lufttemperatur trotz eines konstanten Tagesmittelwerts je nach Wetterverlauf sehr unterschiedliche Tagesgänge aufweisen kann. Bei ungestörten Wetterlagen wird der Temperaturverlauf durch die Eigenschaften des Untergrundes, den Sonnenstand und den Bewölkungsverhältnissen beeinflusst. Das Maximum der Lufttemperatur liegt im Mittel um die frühen Nachmittagsstunden in der Zeit nach dem höchsten Sonnenstand, das Minimum fällt in die frühen Morgenstunden um den Sonnenaufgang. Die mittleren Amplituden der Tagesgänge nehmen mit wachsender Kontinentalität und mit höherem Sonnenstand zu. Der Tagesgang ist in den Sommermonaten deutlich ausgeprägter als in den Wintermonaten (Bild 1.4). Wegen der thermischen Trägheit der Wassermassen treten an der Meeresoberfläche und in der darüber liegenden Luftschicht keine Tagesgänge der Temperatur auf. Wie das Beispiel von List/Sylt zeigt, sind die Amplituden im Temperaturgang direkt an der Küste dementsprechend auch nur schwach ausgebildet (Bild 1.5).



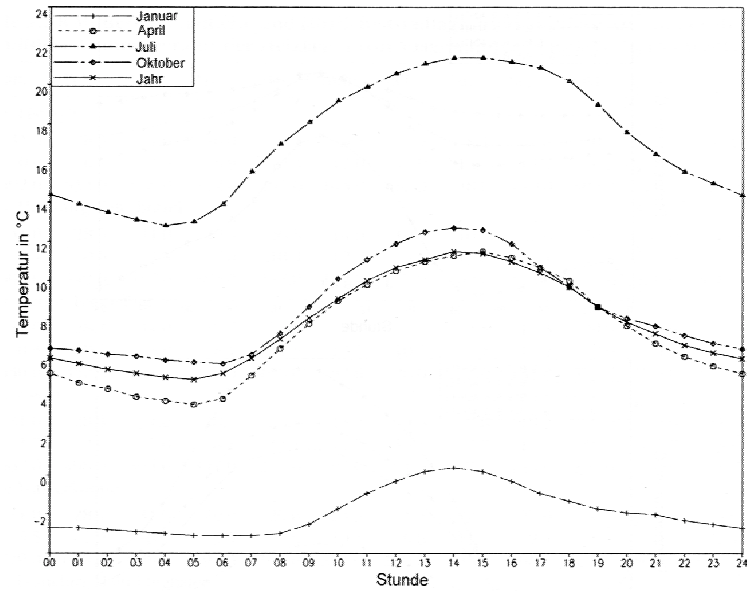


Bild 1.4: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur für das Jahr und ausgewählte Monate in München- Riem. Zeitraum: 1961 bis 1990

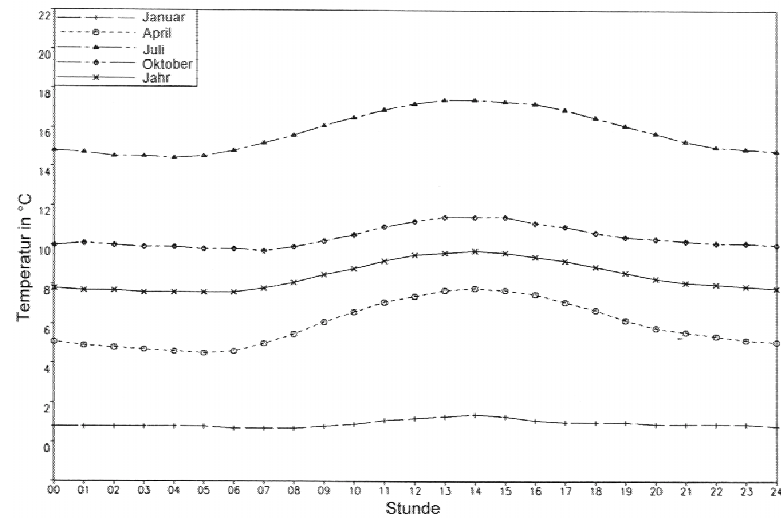


Bild 1.5: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur für das Jahr und ausgewählte Monate in List/Sylt. Zeitraum: 1961 bis 1990

Als trübe Tage bezeichnet man solche, an denen das Bewölkungsmittel größer als 80 % ist; an heiteren Tagen liegt es unter 20 %, an bewölkten Tagen zwischen 20 und 80 %. Bild 1.6 zeigt für die Monate Januar und Juli die Tagesgänge der Lufttemperatur in München in Abhängigkeit von der Bewölkung. Die Amplituden an den heiteren Tagen sind deutlich größer als an den trüben Tagen.

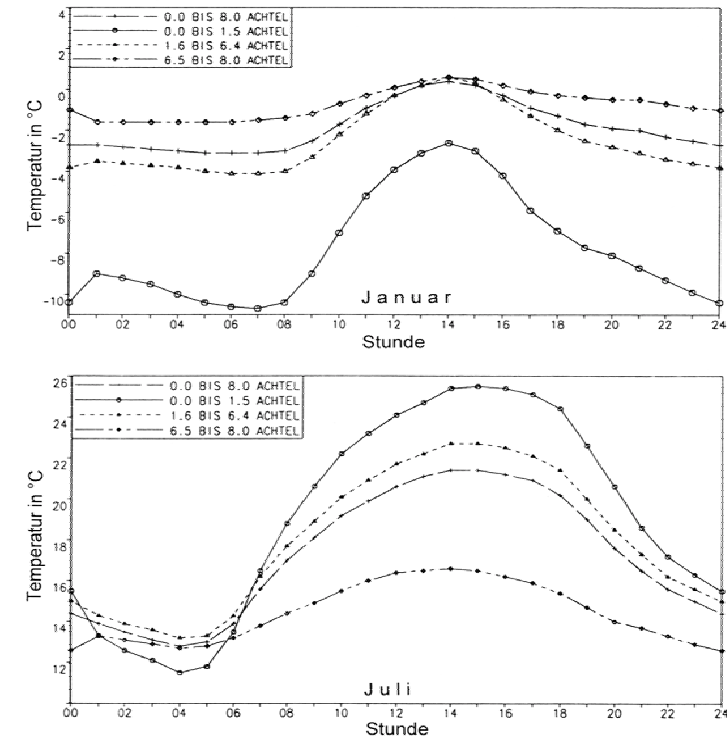


Bild 1.6: Mittlere Tagesgänge der Lufttemperatur in München- Riem in Abhängigkeit von der Bewölkung für den Januar und den Juli. Zeitraum: 1961 bis 1990

1.1.3 Sonnenstrahlung

Die Sonne kann als eigentliche Triebfeder unseres Wettergeschehens betrachtet werden. Zusammen mit der Bewölkung bestimmt der Sonnenstand die von der Sonne momentan eingestrahlte Leistung und das zur Verfügung stehende Tageslicht. Die Sonnenstrahlen gelangen nur z.T. als direkte Sonnenstrahlung (B) - entsprechend dem Sonnenstand - zur Erdoberfläche. Je nach Witterung durchdringt ein beachtlicher Teil der einfallenden Sonnenenergie die Atmosphäre als diffuse Strahlung (D). Diese beiden Einstrahlungen zusammen ergeben die sog. Globalstrahlung (G).

$$G = B + D \quad [\text{W/m}^2]$$

mit G Globale Strahlung
B direkte Strahlung
D diffuse Strahlung

Da mit der Strahlung Energie transportiert wird, gibt man sie als Leistung pro Fläche $[\text{W/m}^2]$ an und spricht von einer Strahlungsstromdichte.

Unter Strahlung versteht man den Transport von Energie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen. Sie benötigt keinen materiellen Träger. Die verschiedenen Strahlungsarten unterscheiden sich in der Wellenlänge. Diese legt ihren Namen und Eigenschaft fest. Der Bereich der Wellenlängen erstreckt sich von über 106 (1000 km) bis unter 10-15 m.

Die Sonnenstrahlung deckt den Bereich der kurzen Wellenlängen von 0,2 bis 3 μm ab. Man unterteilt das Sonnenspektrum üblicherweise in drei Wellenlängenbereiche:

0,2 bis 0,38 μm : Ultraviolett

0,38-0,78 μm : sichtbaren Bereich

über 0,79 μm : Infrarot

Die von der Erdoberfläche ausgesandten Strahlungen liegen etwa in dem Bereich zwischen 3 bis 60 μm . Es zeigt sich, dass die solaren und terrestrischen Spektren fast überhaupt kein Überlappungsbereich haben. Um die beiden Strahlungsbereiche kurz und prägnant zu unterscheiden, bezeichnet man den solaren als den kurzwelligen und den terrestrischen als den langwelligen Bereich.

Die meteorologisch wichtigsten Strahlungsgrößen sind die Sonnenscheindauer und die Globalstrahlung. Die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer hängt

von der geographischen Lage des jeweiligen Ortes ab und variiert darüber hinaus im Verlauf des Jahres von Tag zu Tag. Sie besitzt ihr Maximum während des Sonnenhöchststandes im Juni und ihr Minimum im Dezember (nördliche Halbkugel).

Die tatsächliche Sonnenscheindauer hängt von der Bewölkung ab. Die mittlere jährliche Sonnenscheindauer liegt zwischen knapp 1450 Stunden in Essen und mehr als 1750 Stunden in List/Sylt (Tabelle 1.6). In Übereinstimmung mit den astronomischen Verhältnissen scheint die Sonne im Juni mit mehr als 200 Stunden (Ausnahme: Essen) am längsten, mit ca. 40 Stunden (Ausnahme: Wasserkuppe) im Dezember am kürzesten. Im Winter ist die Bewölkung üblicherweise stärker als im Sommer, wodurch die kurze astronomisch mögliche Sonnenscheindauer weiter reduziert wird.

Tabelle 1.7 enthält die mittleren Monatsmittel der Tagessumme und die mittleren Monatssummen der Globalstrahlung von Berlin, Hamburg und München.

Tabelle 1.6: Mittlere Monats- und Jahressummen der tatsächlichen Sonnenscheindauer von den sieben Bezugsstationen in Deutschland. Bezugszeitraum: 1951 bis 1980

Stationen Höhe über NN	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jahr
List/Sylt 26 m	47,9	72,3	129,4	185,5	245,2	260,7	236,0	223,8	161,8	101,9	50,0	41,2	1755,6
Hamburg- Fuhlsb. 13 m	45,0	61,5	116,0	167,7	217,4	234,8	209,4	198,4	53,6	00,2	47,0	33,2	1584,2
Berlin- Tempelhof 48 m	48,0	69,6	134,2	165,6	221,4	236,2	220,6	209,1	171,5	112,2	47,7	35,7	1671,6
Essen 152 m	42,6	65,2	107,8	151,4	194,7	192,7	176,6	175,8	141,2	107,6	52,2	38,6	1446,4
Wasserkuppe 921 m	50,6	75,0	119,1	155,3	201,9	202,6	203,0	186,4	149,7	124,5	51,5	50,2	1569,8
Frankfurt- Flugh. 112 m	42,4	69,7	126,8	170,2	213,2	213,2	217,8	200,1	159,8	103,7	44,3	35,7	1596,8
München- Riem 527 m	58,8	77,9	135,5	163,5	204,6	213,1	232,7	213,6	177,7	131,2	63,4	47,6	1719,6

Tabelle 1.7: Mittleres Monats- und Jahresmittel der Tagessummen der Globalstrahlung G_T [$\text{Wh/m}^2\text{d}$] und mittlere Monats- und Jahressummen der Tagessummen der Globalstrahlung G_M [kWh/m^2] von Hamburg, Berlin und München. Bezugszeitraum: 1966 bis 1975 bzw. 1960 bis 1974 für München

Monat	Hamburg		Berlin		München	
	G_T	G_M	G_T	G_M	G_T	G_M
Jan.	521	16,15	607	18,82	918	28,46
Feb.	1132	31,70	1135	31,78	1594	44,62
März	2231	69,16	2435	75,49	2665	82,63
Apr.	3553	106,59	3487	104,61	3735	112,04
Mai	4688	145,33	4765	147,72	4542	140,80
Juni	5437	163,11	5436	163,08	5228	156,83
Juli	4820	149,42	5257	162,97	5365	166,31
Aug.	4340	134,54	4580	141,98	4333	134,31
Sep.	2786	83,58	3048	91,44	3400	102,00
Okt.	1489	46,16	1592	49,35	2136	66,21
Nov.	671	20,13	760	22,80	1035	31,05
Dez.	401	12,43	458	14,20	741	22,96
Jahr	2680	978,30	2806	1024,24	2974	1088,22

1.1.4 Wind

Wind lässt sich durch zwei Parameter charakterisieren: Geschwindigkeit und Richtung.

Als Richtung des Windes bezeichnet man diejenige, aus der er kommt. Nordwind kommt aus dem Norden, Westwind aus dem Westen. Der Seewind kommt von der See, Landwind vom Land. Häufig wird die Windrichtung nicht nach der Himmelsrichtung sondern nach einer 360°-Skala angegeben (Bild 1.7). Sie beginnt bei Nord (0grad), läuft über Ost (90°), Süd (180°) und West (270°), bis sie schließlich bei Nord mit 360° wieder endet.

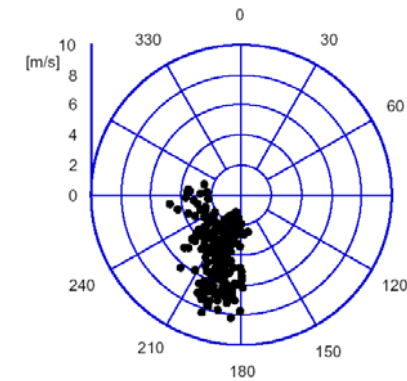


Bild 1.7: Windgeschwindigkeit und -richtung am 25. Dezember 1999. Gemessen vom Fachgebiet Bauphysik, Kassel in 17m Höhe. Daten: 6 min Mittelwerte, 24 h.

Sofern die Luftströmung nicht durch das Geländere relief in andere Windrichtungen gezwungen wird, wehen die Winde in Deutschland am häufigsten aus Südwest bis West. Die höchsten Windgeschwindigkeiten wehen im allgemeinen aus der Hauptwindrichtung. Bodennaher Wind wird über hindernisreichen Oberflächen stärker abgebremst als über einer glatten Fläche. Demgemäß ist die mittlere Windgeschwindigkeit in Innenstädten deutlich geringer als z.B. am Stadtrand. Es ist aber zu beachten, dass aufgrund der Gebäudekonfigurationen auch Lücken-, Düsen- und Umströmungseffekte auftreten können, die örtlich und zeitlich begrenzt zu einer erhöhten Böigkeit führen.

Für die Heizungstechnik ist es bedeutsam, dass die höheren Windgeschwindigkeiten während der kalten Jahreszeit auftreten. Die Windgeschwindigkeiten liegen im Halbjahr November bis April über dem Durchschnitt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die einzelnen Wetterlagen während dieser Zeit mit stärkeren Winden verbunden sind als im Sommerhalbjahr. Die niedrigsten Monatsmittel der Windgeschwindigkeit treten im August/September auf. Für das Küstengebiet kann im Mittel mit einer Windgeschwindigkeit von ca. 6 m/s, im Binnenland mit ca. 3 m/s gerechnet werden. Die Windgeschwindigkeiten können Klassen nach Beaufort zugeordnet werden (Tabelle 1.8)

Tabelle 1.8 Windstärken nach Beaufort

Grad	Bezeichnung	Binnenland	m/s
0	still	Windstille	<0,2
1	leiser Zug	Windrichtung nur durch Rauch angezeigt	0,3 - 1,5
2	leichte Briesse	Wind am Gesicht fühlbar	1,6 - 3,3
3	schwache Briesse	Blätter und dünne Zweige bewegen sich	3,4 - 5,4
4	mäßige Briesse	hebt Zweige und dünne Äste	5,5 - 7,9
5	frische Briesse	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken	8,0 - 10,7
6	starker Wind	starke Äste bewegen sich	10,8 - 13,8
7	steifer Wind	ganze Bäume bewegen sich	13,9 - 17,1
8	stürmischer Wind	bricht Zweige ab	17,4 - 20,7
9	Sturm	kleinere Schäden an Häusern	20,8-24,4

1.2 Meteorologische Randbedingungen für die Beschreibung des sommerlichen Wärmeverhaltens

Je nach Aufgabenstellung werden unterschiedliche meteorologische Randbedingungen benötigt:

- Bestimmter Temperaturwert darf nicht überschritten werden, sonst Bauschäden, Schäden am Lagergut, ...
 - absolute Extremwerte
- Bestimmter Temperaturwert soll nicht überschritten werden, sonst Behaglichkeitseinbußen
 - mittlere Extremwerte, (Summen-) Häufigkeit
- Dimensionierung von Klimaanlage
 - absolute oder mittlere Extremwerte, je nach Klimatisierungsgrund
- Ermittlung des zu erwartenden Kühlenergiebedarfs
- Mittelwerte, "Test Reference Year"

1.3 Wärmebilanz

Das Wärmeverhalten von Gebäuden resultiert aus dem Zusammenwirken verschiedener thermischer Einflussgrößen mit dem Gebäude. Bilanziert man über alle Einflussgrößen, ergibt sich – je nach Aufgabenstellung – im Sommer die Raumlufthtemperatur bzw. die Kühllast und im Winter die Heizlast bzw. die Raumlufthtemperatur. Eine Zusammenstellung aller Einflussgrößen enthält Bild 1.8:

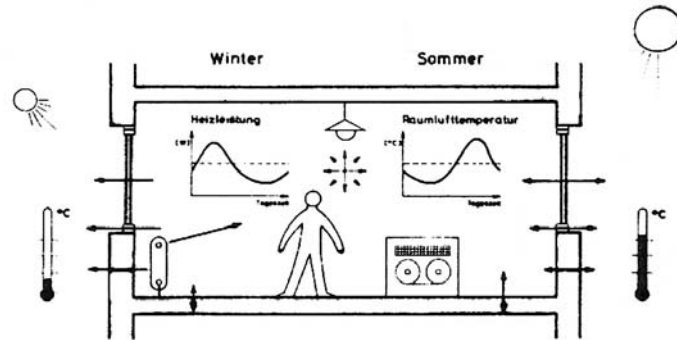


Bild 1.8 Einflussgrößen auf das sommerliche und winterliche Wärmeverhalten.

Im Winter bei schwacher Sonneneinstrahlung und tiefen Außenlufttemperaturen ist die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Raumlufttemperatur erforderliche Heizleistung die entscheidende Größe und im Sommer bei starker Sonneneinstrahlung und hohen Außenlufttemperaturen die sich einstellende Raumlufttemperatur und bei klimatisierten Gebäuden die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Raumlufttemperatur erforderliche Kühlleistung.

Bei nichtklimatisierten Gebäuden beschreibt das sommerliche Wärmeverhalten den Grad der Erwärmung des Gebäudes bzw. einzelner Räume. Dabei sind jeweils unterschiedliche thermische Zustände zu betrachten – der thermische Einschwingvorgang und der thermisch eingeschwungene Zustand. Bild 1.9 enthält eine Beschreibung dieser thermischen Zustände.

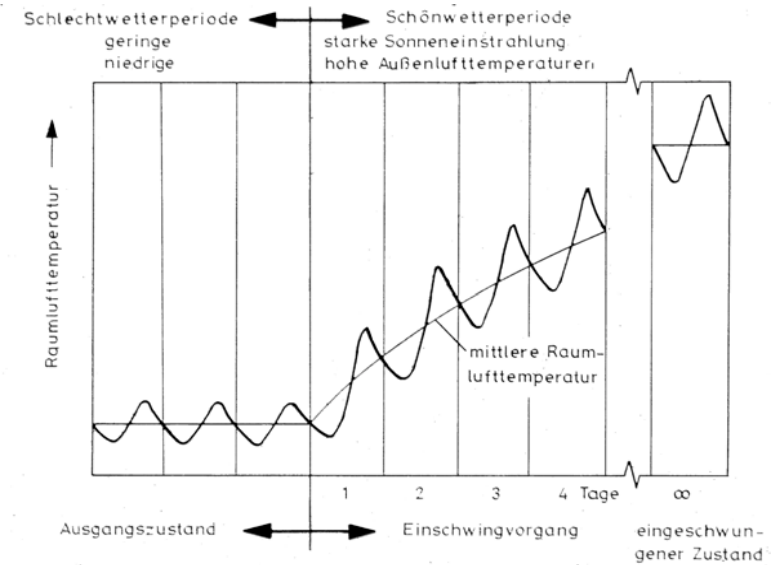


Bild 1.9 Einschwingvorgang

Während der Schönwetterperiode treten hohe Außenlufttemperaturen und Sonneneinstrahlungsintensitäten auf. Den im folgenden dargestellten Ergebnissen liegen die in Bild 1.10 wiedergegebenen Tagesgänge zugrunde.

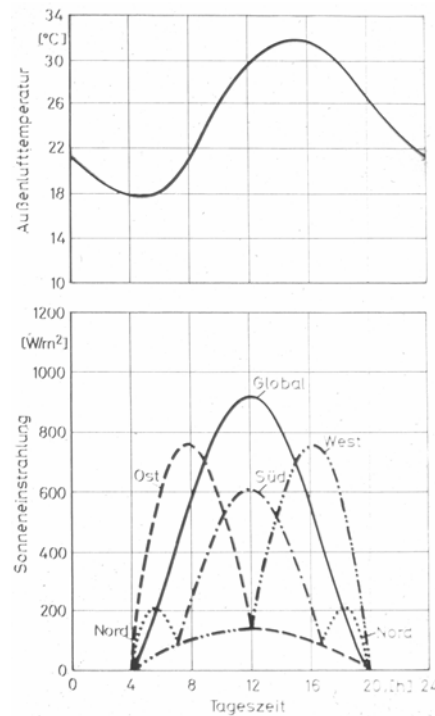


Bild 1.10 Tageszeit und Sonneneinstrahlung/ Außenlufttemperatur

Im thermisch eingeschwungenen Zustand schwankt die Raumlufttemperatur um einen Mittelwert. Zur Verdeutlichung sind in Bild 1.11 die Tagesgänge unterschiedlich orientierter Räume des in Tabelle 1.9 beschriebenen Gebäudes einander gegenübergestellt. Dabei liegen zugrunde: schwere Bauart (vgl. Tabelle 1.9), 40 % Fensterflächenanteil, Klarglas mit Außenjalousie, Luftwechsel $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Die zeitlichen Schwankungen der Lufttemperatur resultieren aus den zeitlichen Schwankungen der einzelnen in die Wärmebilanz des Raumes eingehenden Wärmeströme. Für nach West- bzw. Osten orientierte Räume sind diese Wärmeströme in Bild 1.12 aufgezeigt, wobei jeweils in den linken Diagrammen die Außenbauteile und die Lüftung und in den rechten Diagrammen die Innenbauteile behandelt werden. Der Wärmestrom „Fenster“ beinhaltet nur den konvektiven und langwelligen, strahlungsbedingten Austausch zwischen der innerseitigen Glasoberfläche und dem Raum, nicht etwa den durch das Fenster in den Raum gelangenden Anteil der Sonneneinstrahlung selbst.

Tabelle 1.9 a Beschreibung des zugrunde gelegten Gebäudes mit Zellenbüros

Standort und Lage	Geographische Breite: 50° nördlich Geographische Höhe: 200 m über NN Allseitig freie Lage Orientierung: wird variiert					
Geschosse	Genügend viele Geschosse, damit die Einflüsse des Erdbodens und des Daches vernachlässigbar werden.					
Raumabmessungen	Raumtiefe: 5,50 m Lichte Raumhöhe: 2,80 m Achismaß: 1,80 m Achszahl pro Raum: 2 Flurbreite: 2,00 m					
Fensterflächenanteil	In den Hauptfassaden: wird variiert. In den Stirnflächen (im Bereich der Flure): 13%					
Fensterkonstruktion	Wird, wie in Tabelle 1.10 b aufgeführt, variiert. K = 3,3 W/m² K					
Dach	5	cm	Bekiesung			
			Dachhaut			
	6	cm	Wärmedämmschicht aus Mineralwolle			
			Dampfsperre			
	20	cm	Normalbeton			
	10	cm	Luftabstand			
Außenwände	5	cm	Mineralwolle			
	1,5	cm	Akustikplattenschicht			
	Schwere Bauart (Standardfall)			Leichte Bauart		
	2	cm	Außenputz	0,1	cm	Alu-Blech
Trennwände	30	cm	Mauerwerk	6	cm	Hartschaum
	1,5	cm	Innenputz			
				0,1	cm	Alu-Blech
Decken	Schwere Bauart (Standardfall)			Leichte Bauart		
	11,5	cm	Mauerwerk, beidseitig verputzt	Metallständerkonstruktion mit 10 cm Mineralwollfüllung		
Innentüren	1	cm	Teppichbelag			
	20	cm	Normalbeton			
	10	cm	Luftanstand			
	5	cm	Mineralwolle			
	1,5	cm	Akustikplattenschicht			
Einrichtungsgegenstände	Übliche Ausführung aus Holz (Alle Räume besitzen jeweils zum Flur und zu den Nachbarräumen eine Durchgang.) Einbauschränk entlang der Flurwand 2 Schreibtische 3 Stühle 1 Ablageregal					

Tabelle 1.10 b Beschreibung des zugrunde gelegten Gebäudes – Strahlungsphysikalische Daten der Fenstergläser bzw. Sonnenschutzvorrichtungen

Glas- bzw. Sonnenschutzart	Transmission	Absorption	Reflexion
Klarglas (isolierverglast)	0,65	0,19	0,16
Reflexionsglas (isolierverglast)	0,30	0,40	0,30
Klarglas (isolierverglast) mit außenliegender Jalousie	0,12	0,03	0,85

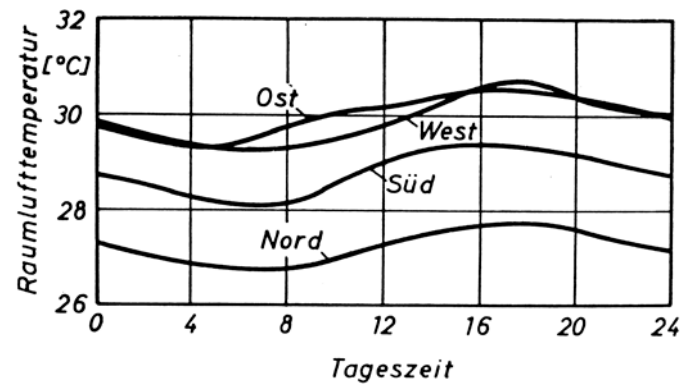


Bild 1.11 Tageszeit / Raumlufttemperatur

Während des thermischen Einschwingvorgangs überlagern die täglichen Schwankungen die mehrtägigen.

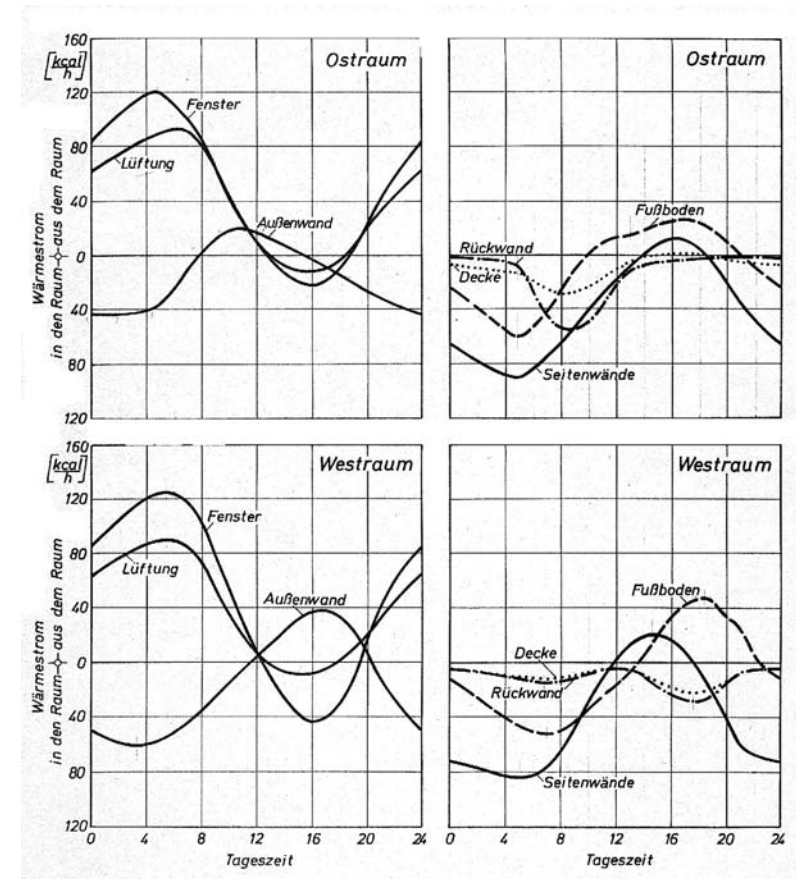


Bild 1.12 Zeitliche Verläufe der Wärmeströme in den verschiedenen Bauteile für unterschiedliche Räume.

1.3.1 Einfluss der Fenster und der Lüftung

Den Einfluss der Fenster – Größe und Verglasungsart bzw. Sonnenschutz (g-Wert) – sowie der Lüftung erkennt man besonders deutlich, wenn man die mittleren Raumlufttemperaturen nach Westen orientierter Büroräume (Gebäudebeschreibung siehe Tabelle 1.9) in Bild 1.13 betrachtet.

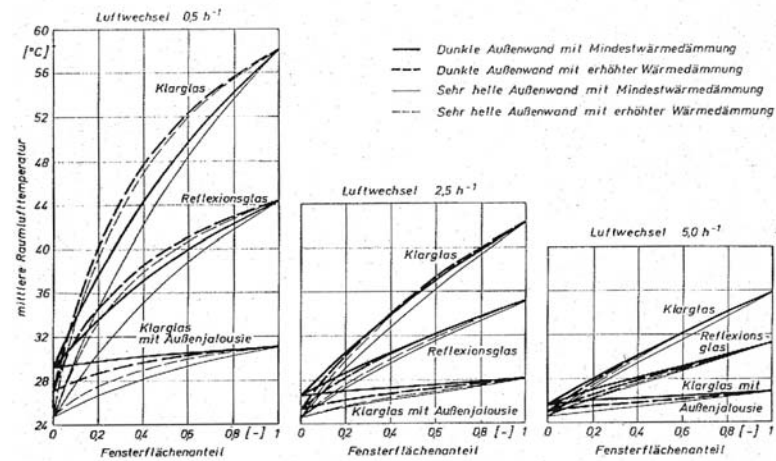


Bild 1.13 Einfluss des Fensterflächenanteils, des Sonnenschutzes, der Lüftung sowie der wärmetechnischen Außenwandausführung auf die mittlere Lufttemperatur von Räumen eines Bürogebäudes bei Sommerverhältnissen.

Die maximal auftretende Raumlufttemperatur kann als annähernd linear abhängig von dem Produkt aus $g \cdot f$ dargestellt werden. Für eine schwere Bauart zeigt Bild 1.14 diese Abhängigkeit.

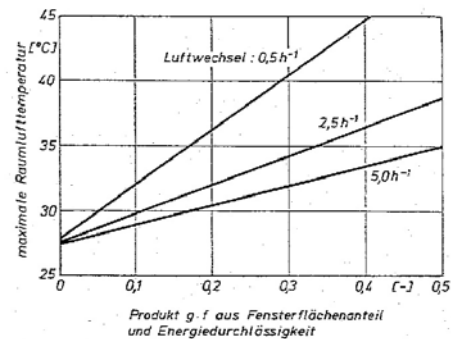


Bild 1.14 Maximale Raumlufttemperatur in Abhängigkeit vom Produkt aus Fensterflächenanteil und Gesamtdurchlassgrad bei unterschiedlichem Luftwechsel.

Auch während des thermischen Einschwingvorganges tritt der Einfluss des Sonnenschutzes zutage, wie Bild 1.15 verdeutlicht.

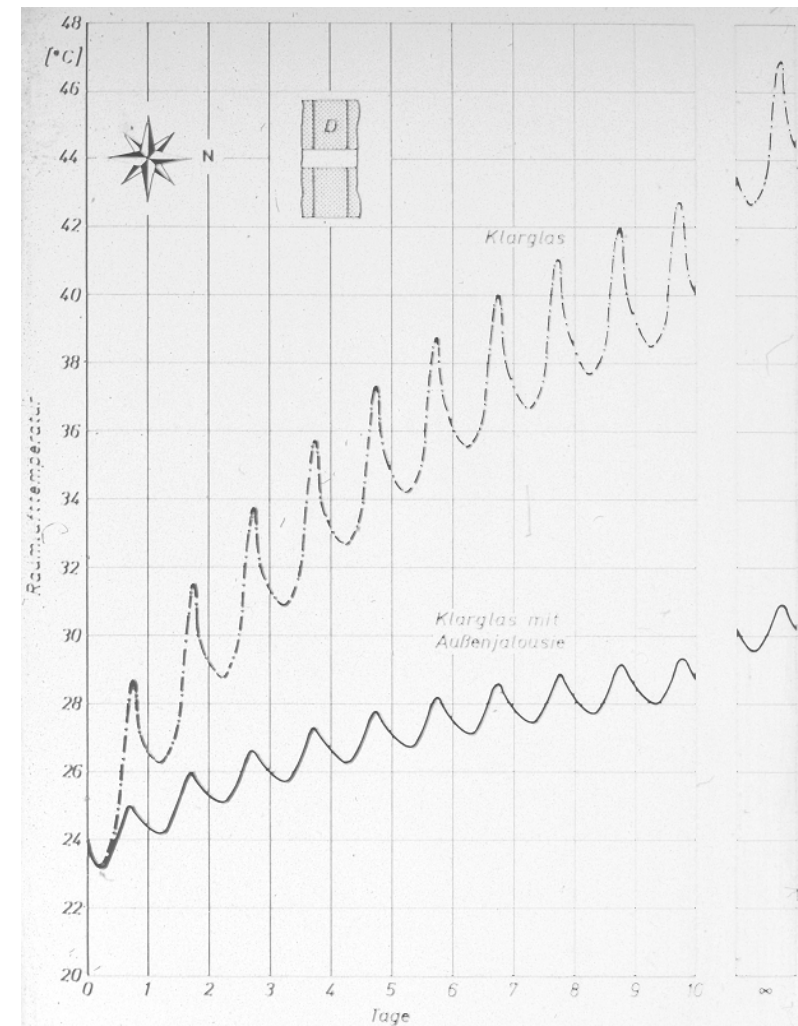


Bild 1.15 Thermisches Einschwingverhalten eines nach Westen orientierten Raumes mit und ohne äußeren Sonnenschutz.

Der Einfluss der Lüftung auf den thermischen Einschwingvorgang bewirkt eine Veränderung der Wertung. Während im eingeschwungenen Zustand ein hoher Luftwechsel zu einem niedrigeren Niveau führt, bewirkt ein hoher Luftwechsel wie Bild 1.16 zeigt, ein unangenehm schnelles Einschwingen.

Bild 1.16 verdeutlicht auch die Bedeutung des Zeitpunkts einer erhöhten Lüftung.

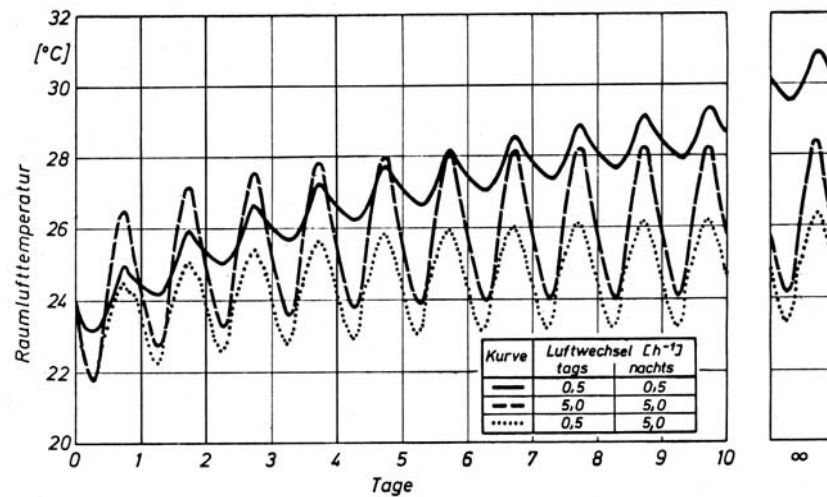


Bild 1.16 Thermisches Einschwingverhalten eines nach Westen orientierten Raumes bei verschiedener Lüftung.

1.3.2 Einfluss der Orientierung

Die Sonneneinstrahlung, die auf die Fassade eines Gebäudes trifft, hängt von der Fassadenorientierung ab (vgl. Bild 1.10) und deshalb auch die sommerliche Raumerwärmung. Bei einem Fensteroberflächenanteil von 40 % und einem Fenster aus Klarglas mit Außenjalousie treten bei einer Schwerbauweise die in Bild 1.17 aufgezeigten maximalen Raumlufttemperaturen in Abhängigkeit der Orientierung auf.

Der Orientierungseinfluss nimmt mit wachsendem Fensterflächenanteil und steigender Energiedurchlässigkeit der Verglasung zu.

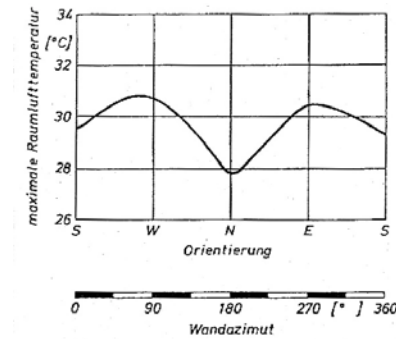


Bild 1.17 Abhängigkeit der maximalen Raumlufttemperatur von der Fassadenorientierung.

1.3.3 Einfluss der Bauart

Die Wärmespeicherfähigkeit der Innenbauteile beeinflusst den gesamten thermischen Einschwingvorgang und im eingeschwungenen Zustand die Temperaturschwankung um den Tagesmittelwert. Bild 1.18 zeigt die Auswirkungen der in Tabelle 1.9 beschriebenen leichten und schweren Bauart während des Einschwingvorgangs und im eingeschwungenen Zustand.

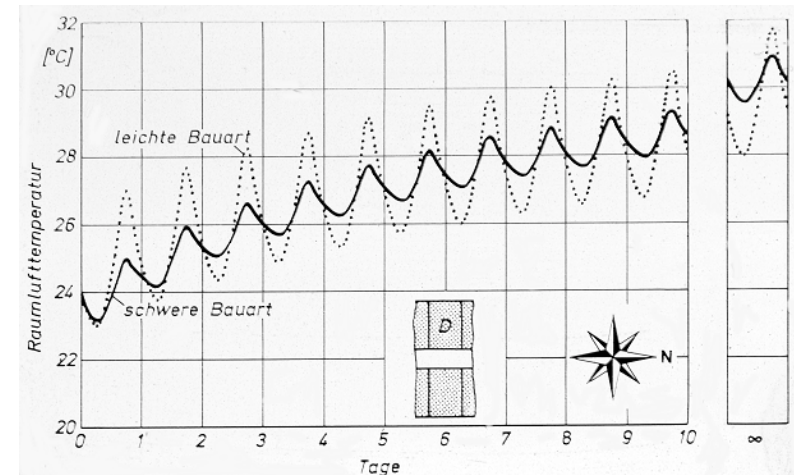


Bild 1.18 Thermisches Einschwingverhalten eines nach Westen orientierten Raumes in leichter und schwerer Bauart.

Der Einfluss der Außenbauteile auf die mittlere Raumlufttemperatur geht aus Bild 1.13 hervor. Der Einfluss der instationären Wärmeleiteigenschaften der Außenbauteile ist im allgemeinen relativ klein.

Eine zusammenfassende Darstellung der Einflüsse des Sonnenschutzes (g-Wert), der Lüftung und der Bauweise enthält Bild 1.19 (Westorientierung). Hier liegen die praktisch größtmöglichen Unterschiede zwischen einer Leicht- und Schwerbauweise vor.

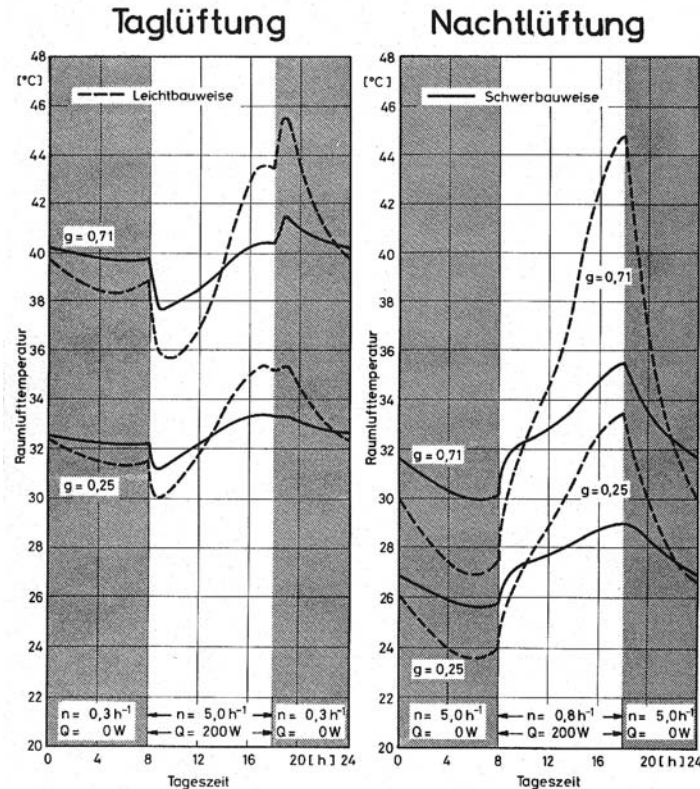


Bild 1.19 Einfluss der Bauweise, des Sonnenschutzes, der Lüftung sowie der internen Wärmequellen auf den Verlauf der Raumlufttemperatur.

1.3.4 Einfluss interner Wärmequellen

Der Einfluss interner Wärmequellen wird anhand der in Bild 1.20 dargestellten Raumlufttemperaturen deutlich. In dem nach Westen orientierten Raum liefert von 7 bis 17 Uhr eine Wärmequelle 1,16 kW. Dadurch entstehen sehr hohe Raumlufttemperaturen. Wird von 7 bis 17 Uhr der Luftwechsel von 0,5 h⁻¹ (schwach) auf 5,0 h⁻¹ erhöht, so fallen die Temperaturen. Sie erreichen jedoch

nicht das Niveau des Falles „ohne Wärmequelle“. Es gibt somit Fälle, in denen auf eine Klimatisierung nicht verzichtet werden kann.

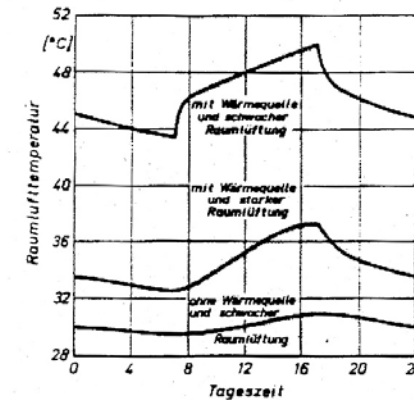


Bild 1.20 Tageszeitlicher Raumlufttemperaturverlauf in Büroräumen mit und ohne interne Wärmequellen.

1.4 Einfluss des Wärmeschutzes

Siehe Artikel: Hauser, G. und Otto, F.: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H. 6, S. 169–176.

1.5 Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz

1.5.1 Wärmeschutztechnische Vorschriften

Die wärmetechnischen Vorschriften im Hochbau wurden in den letzten Jahren wegen der ständig wachsender Bedeutung des Wärmeschutzes immer umfangreicher und schärfer. Sie lassen sich unterteilen in einen

- Mindestwärmeschutz, der in DIN 4104 „Wärmeschutz und Energie-Einsparungen in Gebäuden“ behandelt wird, und in einen
- energiesparenden Wärmeschutz, der in der Energie-Einsparverordnung festgelegt ist.

1.5.2 Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz

Damit zu Wohn- und ähnlichen Zwecken dienende Gebäude im Sommer möglichst ohne Anlagentechnik zur Kühlung auskommen und zumutbare Temperaturen nur selten überschritten werden, darf der raumbezogenen Sonneneintragskennwert den Höchstwert S_{\max} nicht überschreiten. Liegt der Fensterflächenanteil (definiert nach Gleichung (3)) unter den in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angegebenen Grenzen, so kann auf einen Nachweis verzichtet werden.

Tabelle 1.11: Zulässige Werte des Fensterflächenanteils, unterhalb dessen auf einen sommerlichen Wärmeschutznachweis verzichtet werden kann [DIN 4108 -2 Tabelle 6].

Spalte	1	2	3
Zeile	Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster a	Fensterflächenanteil, f [%] b
1	Über 60° bis 90°	Nord-West- über Süd- bis Nord-Ost	10
2		Alle anderen Nordorientierungen	15
3	von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7

ANMERKUNG: Den angegebenen Fensterflächenanteilen liegen Klimawerte der Region B nach DIN V 4108-6 zugrunde.

^a Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenster vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{AG} bestimmend.

^b Der Fensterflächenanteil f ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche (lichte Rohbaumaße) zu der Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z.B. Erker vorhanden, ist f_{AG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

1.5.2.1 Bestimmung des Sonneneintragskennwertes

Für den bezüglich sommerlicher Überhitzung zu untersuchenden Raum oder die Raumgruppe ist der Sonneneintragskennwert S über nachstehende Gleichung zu ermitteln.

$$S = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{\text{total},j})}{A_G}$$

mit

A_W [m²] Fensterfläche, lichte Rohbaumaße
 A_G [m²] Grundfläche des Raumes oder Raumbereiches, lichte Raummaße
 g_{total} [-] der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, einschließlich Sonnenschutz.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_{total} , einschließlich Sonnenschutz, kann vereinfacht nach folgender Gleichung berechnet werden.

$$g_{\text{total}} = g \cdot F_C$$

Dabei ist

g [-] der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung nach DIN EN 410 [49]
 F_C [-] der Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen nach Tabelle 1.12 bzw. nach Prüfzeugnis.

Tabelle 1.12: Anhaltswert für Abminderungsfaktor F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen [44]

Spalte	1	2
Zeile	Beschaffenheit der Sonnenschutzvorrichtung	Abminderungsfaktor F_c
1	Ohne Sonnenschutzvorrichtung ^a	1,0
2	Innen liegend und zwischen den Scheiben liegend ^b	
2.1	- weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz ^c	0,75
2.2	- helle Farben und geringe Transparenz ^c	0,80
2.3	- dunkle Farben und höhere Transparenz ^c	0,90
3	Außen liegend	
3.1	- drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
3.2	- Jalousien und Stoffe geringer Transparenz, hinterlüftet ^c	0,25
3.3	- Jalousien, allgemein	0,40
3.4	- Rollläden, Fensterläden	0,30
3.5	- Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen ^d	0,50
3.6	- Markisen ^d , oben und seitlich ventiliert	0,40
3.7	- Markisen ^d , allgemein ^d	0,50

^a Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.

^b Für innen und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen, da sich erheblich günstigere Werte ergeben können.

^c Eine Transparenz der Sonnenschutzvorrichtungen unter 15 % gilt als gering.

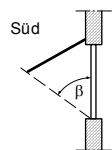
^d Dabei muss näherungsweise sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist der Fall, wenn

- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;

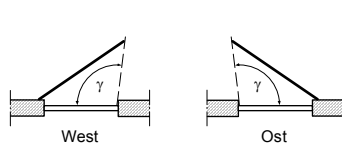
- bei Ost- Westorientierungen der Abdeckwinkel entweder $\beta \geq 85^\circ$ oder $\gamma \geq 115^\circ$ ist.

Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $\pm 22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich.

Vertikalschnitt durch Fassade



Horizontalschnitt durch Fassade



1.5.3 Anforderungen

Der Sonneneintragskennwert S darf den Höchstwert S_{zul} gem. folgender Gleichung nicht überschreiten, d.h.:

$$S \leq S_{zul}$$

Der Höchstwert wird als Summe aus Basiswert und allen zutreffenden Zuschlagswerten mit nachstehendem Ansatz und gem. Tabelle 1.13 nach dem Bonus-Malus-Prinzip ermittelt.

$$S_{zul} = \Sigma S_x$$

Tabelle 1.13: Zuschlagswerte zur Bestimmung des Höchstwertes des Sonneneintragskennwertes [44]

Spalte	1	2
Zeile	Gebäudelage bzw. -Bauart, Fensterneigung und Orientierung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x
1	Klimaregion a	
1.1	- Gebäude in Klimaregion A	0,04
1.2	- Gebäude in Klimaregion B	0,03
1.3	- Gebäude in Klimaregion C	0,015
2.	Bauart ^b	
2.1	leichte Bauart: ohne Nachweis von C_{wirk}/A_G	$0,06 f_{gew}^c$
2.1	mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(\text{K m}^2) \leq C_{wirk}/A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{K m}^2)$	$0,10 f_{gew}^c$
2.2	schwere Bauart: $C_{wirk}/A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{K m}^2)$	$0,115 f_{gew}^c$
3	Erhöhte Nachtlüftung ^d während der zweiten Nachthälfte $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$	
3.1	- bei mittlerer ^b und leichter ^b Bauart	+ 0,02
3.2	- bei schwerer Bauart ^b	+ 0,03
4	Sonnenschutzverglasung ^e mit $g \leq 0,4$	+ 0,03
5	Fensterneigung: $0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)	- 0,12 f_{neig}^f
6	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd von Gebäude selbst verschattet sind	+ 0,10 f_{nord}^g

^a Höchstwerte der monatlichen Außenlufttemperaturen nach DIN V 148-6: 2000-11 nach Tabelle 6.

^b Im Zweifelsfall kann nach DIN V 4108-6 die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für den betrachteten Raum bzw. die Raumgruppe bestimmt werden, um die Bauart einzuordnen; dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen:

- Leichte Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$
mit C_{wirk} wirksame Speicherfähigkeit
 A_G Nettogrundfläche

- Mittlere Bauart liegt vor, wenn
 $50 \text{ Wh/(Km}^2\text{)} \leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$

- Schwere Bauart liegt vor, wenn $C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$

^c $f_{\text{gew}} = (A_W + 0,30 \cdot A_{AW} + 0,1 \cdot A_D) / A_G$

mit f_{gew} die gewichtete Außenfläche bezogen auf die Nettogrundfläche; die Gewichtsfaktoren berücksichtigen die Relation zwischen dem sommerlichen Wärmedurchgang üblicher Außenbauteile

A_W Fensterfläche (einschließlich Dachfenster)

A_{AW} Außenwandfläche (Außenmaß)

A_D wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche nach oben oder unten gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Dach- und Kellerräume (Außenmaß)

A_G Nettogrundfläche (lichte Maße)

^d Bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann in der Regel von einer erhöhten Nachtlüftung ausgegangen werden

^e Als gleichwertige Maßnahme gilt eine Sonnenschutzvorrichtung, die die diffuse Strahlung permanent reduziert und deren $g_{\text{total}} < 0,4$ erreicht.

^f $f_{\text{neig}} = A_{W,\text{neig}} / A_G$

mit $A_{W,\text{neig}}$ geneigte Fensterfläche
 A_G Nettogrundfläche

^g $f_{\text{nord}} = A_{W,\text{nord}} / A_{W,\text{gesamt}}$

mit $A_{W,\text{nord}}$ Nord- Nordost- und Nordwest- orientierte Fensterfläche soweit die Neigung gegen über der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind
 $A_{W,\text{gesamt}}$ Nettogrundfläche

1.6 Literatur

- [1] Häckel, H.: Meteorologie. Eugen Ulmer Stuttgart, 4. Auflage, 1999.
- [2] Nowotny, S. und Feustel, H.E.: Lüftungs- und klimatechnische Gebäudeausrüstung. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1996.
- [3] DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.