Meteorologische Einflüsse auf den Heizbedarf von Gebäuden

Autor(en): **Schneiter, Erich**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 11

PDF erstellt am: **23.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74768

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

Durch versuchstechnische Untersuchungen an einem typischen Bürobau soll diese Überlegung bewiesen werden. In diesem Bau kann auf je ein Stockwerk gleichzeitig unter gleichen Randbedingungen mit kontrollierter Lüftung und mit Fensterlüftung getrennt gearbeitet und gemessen werden.

Versuchsziel: Nachweis, dass kontrollierte Lüftung mit WRG weniger Energie benötigt als Fensterlüftung.

Kühlung mit intensiver Nachtlüftung (INL)

Durch entsprechende Kombination von Gebäudespeichermasse und kontrollierter Lüftung kann bei einem Bürobau sichergestellt werden, dass die Raumlufttemperatur bei heissen Sommerperioden ohne Kältemaschinenbetrieb 4–6 °C unter der jeweiligen Aussentemperatur gehalten werden kann. Es gilt, die theoretischen Rechenprogramme durch Versuche in einem Bürobau zu überprüfen.

Ziel: Dimensionierungsunterlagen zur Raum-Kühlung mit intensiver Nachtlüftung.

Terminprogramm für alle Versuche: Versuchsbeginn: 1982; Versuchsende: ca. 1985.

Mit den Versuchsergebnissen sollen für die Bauherren zukunftsweisende, aber *erprobte* wirtschaftliche Systemlösungen erarbeitet werden. Zum anderen soll ein wesentlicher Forschungsbeitrag zur Weiterentwicklung der Energie- und Haustechnik geleistet werden.

Adresse des Verfassers: Dr. *W. M. Hofmann*, Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Riesbachstr. 61, 8008 Zürich.

Bauherrschaft
Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Zürcherstr. 9, 8401 Winterthur.

Generalunternehmer
Karl Steiner AG, Hagenholzstr. 60, 8050 Zürich.

Architekt + Elektroingenieur
Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Bauabteilung, Zürcherstr. 9, 8401 Winterthur.

Bauingenieur
Hansjörg Schnewlin, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau, Bahnstr. 41, 8400 Winterthur.

Bauphysik
Oswald Mühlebach Ingenieur SIA Stationsstr. 57, 8542 Wiesendangen.

Planung der gesamten haustechnischen Installationen: Heizung/Lüftung/Sanitär/Brandschutz/Regelung
Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Heizung, Klima, Sanitär, 8401 Winterthur.

Meteorologische Einflüsse auf den Heizbedarf von Gebäuden

Von Erich Schneiter, Bern

Allgemeines

Geschockt durch die Ölkrise haben sich schon viele Menschen aufgerafft, ihre Behausungen besser vor Wärmeabstrahlungen nach aussen zu schützen. Um dies optimal zu ermöglichen, müssen jedoch die Grundlagen der Wärmedämmung wesentlich erweitert werden. Ein solches Prozedere ist im vollen Gange. Wir kennen bereits eine Anzahl von Werkstoffen, die sich hiezu eignen, doch sind deren Anwendungsmethodik, ihr Verhalten über Jahrzehnte zu den bisherigen Baustoffen und gegenüber den Witterungseinflüssen noch ungenügend geklärt. Ebenso mangelt es uns an Kenntnissen, welchen Einfluss meteorologische Faktoren bei fortschreitender Wärmedämmung haben. Nachstehend wird versucht, zu diesem Problem etwas beizusteuern.

Vorweggenommen sei die zu erwartende Quintessenz, dass *mit zunehmendem Wärmedämmgrad eines Gebäudes die Einflüsse von Lufttemperatur und Wind an Gewichtigkeit beträchtlich abnehmen, während diejenige der Wärmestrahlung aus dem Sonnenlicht zunimmt.* Wieviel dies betragen kann, wird am Beispiel eines eingebauten Einfamilienhauses im Raume Bern beschrieben. Alle mitgeteilten Meteowerte sind daher auf Bern-Liebefeld bezogen (Automatisches Netz der Eidg. Forschungsanstalt). Für Diskussionsbeiträge und Überlassung von Unterlagen danke ich meinem Freunden PD Dr. *G. Gensler* und Prof. Dr. *M. Schüepp*, sowie Herrn Dr. *P. Valko* (alle Schweiz. Meteorologische Anstalt, SMA).

Im Einfamilienhaus werden während der Beheizungszeit folgende Raumtemperaturen angestrebt: 20 °C in den Wohnräumen, meist auch in der Küche; Nachtabsenkung auf 18 °C; 16 bis 18 °C im Treppenhaus und Schlafzimmer; 22 °C im Badzimmer während der Benützung. Alle Energien für die Beheizung sind in Liter Heizöl umgerechnet. Die Energie für *Warmwasser ist nicht mitgezählt.*

Das Einfamilienhaus wurde in den Jahren 1976 bis 1981 etappenweise saniert und sukzessive wärmegedämmt. Heute liegt die *Energiekennzahl* für die Beheizung E_H bei 94 MJ/m² a. Die genauen Verbrauchsmessungen erlauben auch, den k-Wert des Gebäudes zu berechnen. Infolge der starken Wärmedämmung wird zur Heizenergie ein Teil (ca. ⅓) der indirekt zugeführten Energie addiert. Für die Gesamthülle ergibt das einen Wert von $k = 0{,}4$ W/m² K.

Oft verwendete Symbole

T_m	Mittlere Aussentemperatur eines Tages
HT	Heiztag
HT_{12}	Heiztag mit $T_m \leqq 12$ °C
HT_{10}	Heiztag mit $T_m \leqq 10$ °C
HGT	Heizgradtag = $HT(20 - T_m)$
HGT_{12}	Heizgradtag mit $T_m \leqq 12$ °C
HGT_{10}	Heizgradtag mit $T_m \leqq 10$ °C
HT_{12}^H	Heiztage mit $T_m \leqq 12$ °C und effektiver Heizung
HGT_{12}^H	Heizgradtage mit $T_m \leqq 12$ °C und effektiver Heizung
r. F.	Relative Feuchte
W_H	Hoch-Winter (Monate November bis Februar)
W_{VN}	Vor- und Nach-Winter (Monate September und Oktober sowie März bis August)
IR	Infrarot-Strahlung der Sonne

In den Bildern 1 bis 5 ist über jeder Monatszahl die ganze Monatsquantität eingetragen. Die so erhaltenen Punkte sind durch Linien verbunden.

Tabelle 1. Heiztage (HT_{12}) und Heizgradtage (HGT_{12}) der vier Heizperioden 1977–1981 für Bern

Heiz-periode	HT_{12}	T_m	HGT_{12}	Heiz-periode	HT_{12}	T_m	HGT_{12}	Heiz-periode	HT_{12}	T_m	HGT_{12}	Heiz-periode	HT_{12}	T_m	HGT_{12}
1977/78	238	4,68	3646,6	1978/79	252	3,93	4049,2	1979/80	252	4,72	3848,5	1980/81	223	3,05	3781,0
09. 77	9	8,4	104,3	09. 78	11	10,54	104,1	09. 79	10	8,74	112,6	09. 80	3	11,87	24,4
10.	19	8,7	214,1	10.	31	7,7	381,3	10.	24	8,92	265,9	10.	25	6,64	333,9
11.	28	4,4	437,4	11.	30	2,0	540,0	11.	30	3,0	510,0	11.	30	2,2	534,0
12.	31	1,2	582,8	12.	31	1,2	582,8	12.	31	2,8	533,2	12.	31	-1,6	669,6
01. 78	31	-0,1	623,1	01. 79	31	-2,9	709,9	01. 80	31	-1,8	675,8	01. 81	31	-2,4	694,4
02.	28	0,7	540,4	02.	28	1,9	506,8	02.	29	3,2	487,2	02.	28	-1,5	602,2
03.	31	5,4	452,6	03.	31	4,6	477,4	03.	31	4,6	477,4	03.	27	5,68	386,7
04.	28	7,06	362,3	04.	30	5,8	426,0	04.	30	5,8	426,0	04.	20	7,41	251,8
05.	17	9,19	183,7	05.	14	7,16	179,7	05.	22	9,52	230,6	05.	16	9,03	175,5
06.	9	11,18	79,4	06.	5	9,46	52,7	06.	8	10,54	75,7	06.	7	10,81	64,3
07.	3	10,67	28,0	07.	3	10,37	28,9	07.	6	10,97	54,2	07.	5	11,16	44,2
08.	4	10,38	38,5	08.	7	11,49	59,6	08.	0		0	08.	0		0

Quelle: bis Juni 1978 Messungen von Bern (Universität, Physikalisches Institut)
ab Juli 1978 Messung von Bern-Liebefeld

Vergleich: Mittelwerte der Jahre 1935–1965: $HT_{12} = 233$; $T_m = +3{,}4$ °C; $HGT_{12} = 3870$. Nach [10, 11, 12]

Mittlere Raumtemperatur: 20 °C; mittlere Aussentemperatur: T_m °C

Tabelle 2a. Heiztage (HT_{12}) und Heizgradtage (HGT_{12}). Mittel der vier Heizperioden 1977–1981, berechnet aus den Meteodaten von Bern

Monat	Heiztage (HT_{12})				Heizgradtage (HGT_{12})			
	Mittel	Max.	Min.	in % der Monatstage	Mittel	Verteilung %	Max.	Min.
Sept.	8,3	11	3	27,7	86,4	2,3	112,6	24,4
Okt.	24,8	31	19	80,0	298,8	7,8	381,3	214,1
Nov.	29,5	30	28	98,3	505,4	13,2	540,0	437,4
Dez.	31	31	31	100,0	592,1	15,5	669,6	533,2
Jan.	31	31	31	100,0	675,8	17,6	709,9	623,1
Febr.	28,3	28,3	28,3	100,0	534,2	13,9	602,2	487,2
März	30	31	27	96,8	448,5	11,7	477,4	386,7
April	27	30	20	90,0	366,5	9,6	426,0	251,8
Mai	17,2	22	14	55,5	192,4	5,0	230,6	175,5
Juni	7,3	9	5	24,3	68,0	1,8	79,4	52,7
Juli	4,3	6	3	13,9	38,8	1,0	54,2	28,0
Aug.	2,8	7	0	9,0	24,5	0,6	59,6	0,0
Jahrestotal	241,5	267,3	209,3	66,1	3831,4	100	4342,8	3214,1
Δ in %	100	+10,7	−13,3		100		+13,3	−16,1

Tabelle 2b. Heiztage (HT_{10}) und Heizgradtage (HGT_{10}). Mittel der vier Heizperioden 1977–1981, berechnet aus den Meteodaten von Bern

Monat	Heiztage (HT_{10})				Heizgradtage (HGT_{10})			
	Mittel	Max.	Min.	in % der Monatstage	Mittel	Verteilung %	Max.	Min.
Sept.	4,3	8	0	14,3	51,0	1,4	96,0	0,0
Okt.	20	26	14	64,5	257,0	7,3	335,4	179,3
Nov.	28,3	30	24	94,3	492,3	14,0	540,0	394,6
Dez.	30,8	31	30	99,4	592,1	16,8	669,6	533,2
Jan.	31	31	31	100,0	675,8	19,2	709,9	623,1
Febr.	28,3	28,3	28,3	100,0	534,2	15,1	602,2	487,2
März	28,5	31	25	91,9	434,9	12,3	477,4	369,0
April	22,5	27	16	75,0	325,2	9,2	399,3	216,5
Mai	10,2	13	8	32,9	128,6	3,6	148,5	101,9
Juni	2,3	3	2	7,7	24,9	0,7	34,5	20,7
Juli	0,8	1	0	2,6	8,1	0,2	11,1	0,0
Aug.	0,5	2	0	1,6	5,2	0,2	20,9	0,0
Jahrestotal	207,5	231,3	178,3	56,8	3529,2	100	4044,6	2925,5
Δ in %	100	+11,3	−14,2		100		+14,6	−17,1

Einwirkung der Lufttemperatur

Kriterien der Beheizung

Nicht gut wärmegedämmte Häuser müssen in der Regel künstlich beheizt werden, sobald die mittlere Tagestemperatur (T_m) der Aussenluft 12 °C erreicht oder unterschreitet. Solche Tage werden daher als *Heiztage (HT)* bezeichnet. Sie sind in der Tabelle 1 für die letzten vier Heizperioden (1977/78, 78/79 79/80, 80/81) erstmals für jeden Monat und das Jahr als HT_{12} ($T_m \leqq 12$ °C) berechnet und eingetragen worden. In der Tabelle 2a sind die entsprechenden Mittelwerte aufgeführt, ergänzt durch die HT_{10} ($T_m \leqq 10$ °C), vgl. Tabelle 2b. Gegenüber 241,5 HT_{12} ergeben sich 207,5 HT_{10}, also eine Differenz von − 14,1%. Als Heizperiode wurde die Zeit vom 1. September bis zum 31. August des Folgejahres gewählt. Graphische Verteilkurven von Heiztagen, Heizgradtagen (*HGT*) und Energieverbrauch zeigen dann einen symmetrischen Verlauf (Bild 1).

Aus der Tab. 1 ist erkennbar, dass die Anzahl Heiztage in den Vor- plus Nachwintermonaten W_{VN} beträchtliche Schwankungen aufweisen, die von 0 bis 31 variieren. Dagegen haben die Hochwintermonate W_H fast durchgehend gleich viele HT_{12} wie Monatstage.

Das bedeutet, dass Gebäude ausserhalb der Hochwinterzeit mit stark schwankenden Energiemengen beheizt werden müssen. Deren verhältnismässige Quantität lässt sich in etwa aus den *Heizgradtagen* (HGT_{12}, eingetragen in Tab. 1 und 2) abschätzen. Es handelt sich dabei um eine Wertgrösse, die auch die gewünschte Raumtemperatur im Gebäude einschliesst. Letztere wird in diesem Bericht mit 20 °C angenommen. Die Berechnung lautet dann:

Tabelle 3. Vergleich der Heizgradtage (HGT_{12}) der ganzen Heizperiode (W_T) zu denjenigen des Hochwinters (W_H) und des Vor- plus Nachwinters (W_{VN}). Angaben der Veränderung (V) gegenüber dem Vorjahr (+ wärmer, − kälter)

Heizperiode	HGT_{12} pro Jahr		HGT_{12} pro Jahr		HGT_{12} pro Jahr		HGT_{12} pro Monat			$W_H : W_{VN}$
	W_T	V [%]	W_H	V [%]	W_{VN}	V [%]	W_T	W_H	W_{VN}	
1977–1981 Mittelwert aus Tab. 2	3831	–	2307	–	1524	–	319	577	191	3,02
1977/78	3647	–	2183	–	1464	–	304	545	183	2,97
1978/79	4049	−11	2339	− 7,2	1710	−16,8	337	585	213	2,75
1979/80	3849	+ 5	2206	+ 5,7	1643	+ 3,9	321	552	205	2,69
1980/81	3781	+ 1,8	2499	−13,3	1282	+22,0	315	625	160	3,90

$HGT_{12} = n\,HT_{12} \cdot (20 - T_m)$
(n = Anzahl der verrechneten HT_{12})

In dieser Grösse sind leider die wichtigen Meteoelemente Wind und Wärmestrahlung der Sonne nicht berücksichtigt. Deren Einfluss ist in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Während der Hochwintermonate schwankte die Zahl der Heizgradtage HGT_{12} in den letzten vier Heizperioden zwischen 437 und 710 (Mittel 577). Das bedeutet, dass in einem kalten Hochwintermonat bis zu 62% mehr Heizenergie aufgewendet werden musste als in einem relativ warmen. Die Tabelle 3 gibt Aufschluss über die Unterschiede benötigter Heizmengen während des

ganzen Jahres W_T
Hochwinters W_H
Vor- und Nachwinters W_{VN}

Ihr darf folgendes entnommen werden:

1. Die Gesamtheit der Hochwintermonate (W_H) enthält 1,5 bis 2mal mehr Heizgradtage (HGT_{12}) als die Gesamtheit der Vor- plus Nachwintermonate (W_{VN}); vgl. hiezu auch den Kurvenverlauf der HGT_{12} im Bild 1.
2. Ein einzelner Hochwintermonat kann 2 bis 4mal mehr HGT_{12} aufweisen als der Mittelwert der Vor- plus Nachwintermonate.
3. Veränderungen gegenüber dem Vorjahr können in der Hochwinterzeit wesentlich anders verlaufen als in der Vor- plus Nachwinterzeit. So war die ganze Heizperiode 1980/81 zwar um 1,8% wärmer als die Vorperiode. Der Hochwinter zeigte sich jedoch um 13,3% kälter, während die Vorplus Nachwinterperiode um 22% wärmer ausfiel (vgl. Bild 2).

Erzielen von Spareffekten

Der Hausbesitzer möchte den jeweiligen Energieverbrauch für die Beheizung nach jeder Heizperiode mit der vorhergehenden vergleichen können, damit er allfällige Spareffekte möglichst bald erkennen würde. Ein solcher Vergleich ist aber nach dem soeben

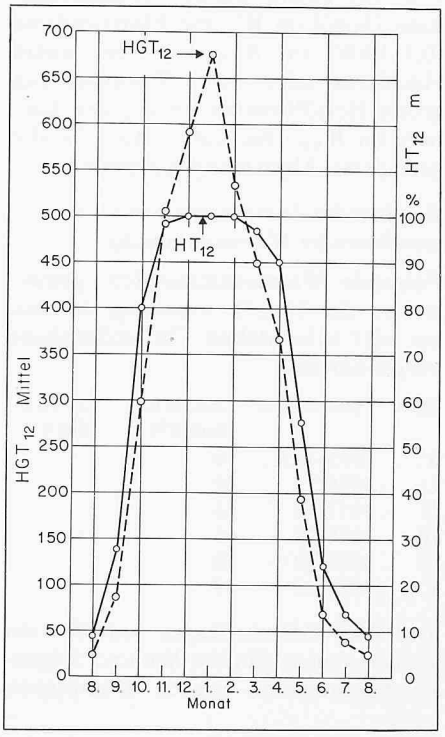


Bild 1. Verteilung der Heiztage (HT_{12}) und der Heizgradtage (HGT_{12}) auf die Heizperiode (Sept. bis Aug.). Eingetragen ist das Mittel aus den Heizperioden 1977/78, 78/79, 79/80, 80/81. Meteodaten für Bern

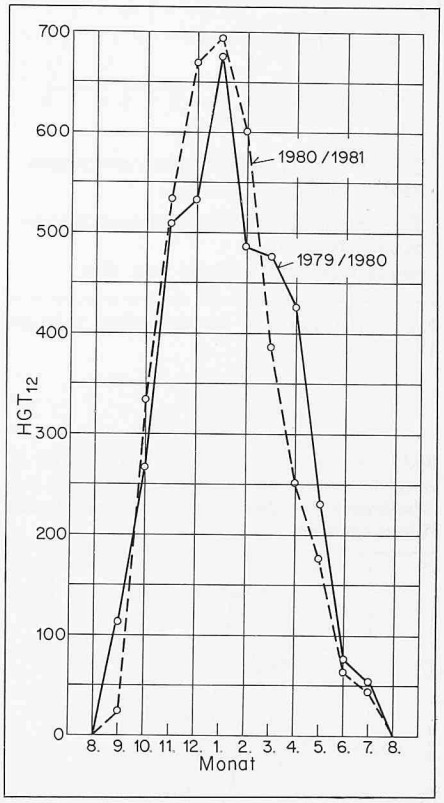


Bild 2. Monatliche Verteilung der Heizgradtage HGT_{12}. Meteodaten für Bern

Mitgeteilten, aber auch aus den nachstehend angeführten Gründen nicht ganz einfach auszurechnen. Als mitbestimmende Faktoren sind nämlich noch zu beachten:

Eignung des Heizsystems

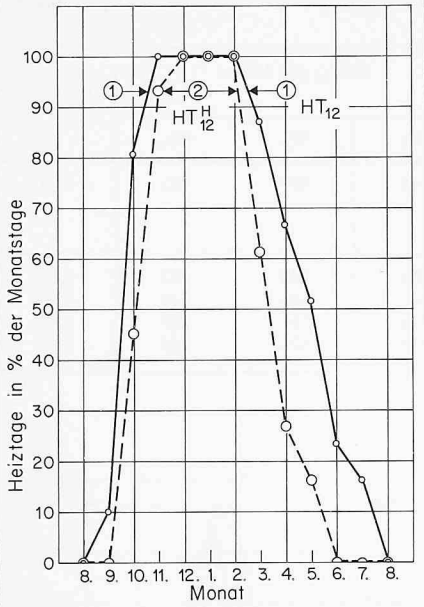
Nicht jedes Heizsystem lässt sich den variablen Bedürfnissen zwischen W_H und W_{VN} einerseits und den besonders stark wechselnden Bedingungen während des W_{VN} andererseits optimal anpassen. War ein Haus zudem zusätzlich wärmegedämmt worden, ohne dass auch das Heizsystem neu angepasst wurde, erhöht sich die Diskrepanz beträchtlich.

Beispiel: Ein Haus mit 50% Heizölreduktion wegen vorgenommener Wärmedämmung verbraucht noch 1500 l/Jahr. Der eingebaute Brenner weist eine Last von min. 2 bis max. 6 kg Heizöl/h auf. Dieser Brenner war 1980/81 im Betrieb:

Im W_H bei min. Last berechnet
17,5% = 6fache Überdimensionierung
bei max. Last berechnet
5,8% = 17,5fache Überdimensionierung

Im W_{VN} bei min. Last berechnet
6% = 16fache Überdimensionierung
bei max. Last berechnet
2% = 50fache Überdimensionierung

Ein Ölbrenner mit einer 6 bis 50fachen Überdimensionierung muss zu oft und jedesmal zu lang stillstehen. Das bedeutet ständige Abkaltungen und viel zu lang dauernde Wiederaufheizungen, also miserabler Wirkungsgrad mit zuviel Heizölverbrauch. Zudem kann noch das Kamin versotten und versäuern (schweflige Säure). Im W_{VN} ist



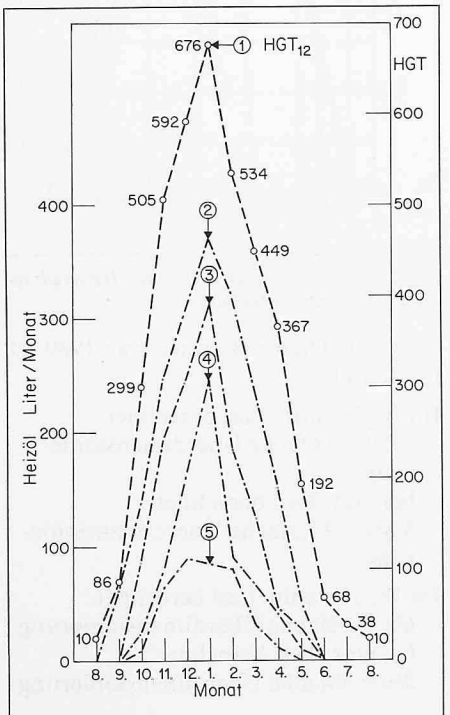
① —— Kurve der meteorologisch errechneten Heiztage ($HT_{12} \leqq 12°C\ T_m$)

② --- Kurve der effektiven Heiztage, Wärmedämmstufe V (HT^H_{12})

Heizperiode: Sept. 1980 bis Aug. 1981

Bild 3. Heiztage in % der Monatstage, Heizperiode 1980/81, Bern

Bild 4. Heizgradtage HGT_{12} (Mittel wie Bild 1), berechnet aus den Meteodaten von Bern, und Heizölverbrauch in Abhängigkeit der zunehmenden Wärmedämmung



① Heizgradtage HGT_{12}

② Heizölverbrauch 1977/1978 (Wärmedämmgrad II)

③ Heizölverbrauch 1978/1979 (Wärmedämmgrad III)

④ Heizölverbrauch 1979/1980 (Wärmedämmgrad IV)

⑤ Heizölverbrauch 1980/1981 (Wärmedämmgrad V)

der Verlustölverbrauch relativ am grössten. Die «conditio sine qua non» lautet daher: *Wer ein Haus wärmedämmt, muss gleichzeitig das Heizsystem anpassen.*

Dabei sollte angestrebt werden, möglichst ununterbrochen mit hoher Grundlast des verkleinerten Brennertyps zu fahren. Im Hochwinter müsste die Grundlast etwa dreimal grösser sein als im Vor- und Nachwinter. Das liesse sich am besten mit einem Zweistufen-Heizsystem bewerkstelligen. Je nach Grössenordnung der beheizten Liegenschaft könnten hiezu verschiedene Energiesysteme kombiniert werden, z. B. bei einem kleinen Einfamilienhaus Heizöl im W_H und Elektrowärme (0,3–1 kW) im W_{VN}, bzw. bei einem Hochhaus oder einer Wohnsiedlung grosse Heizölbrenner im W_H und kleinere im W_{VN}. Das Kamin wäre für die geringeren Abgasmengen anzupassen.

Einfluss der Aussentemperatur bei zunehmender Wärmedämmung

Folgende Wärmedämmstufen, gemessen an der Heizöleinsparung, wurden am hier behandelten Einfamilienhaus vorgenommen:

Stufe	Heizperiode	Einsparung Heizöl %	Kurve in Bild 4
0	1973–1976	0	–
I	1976/77	39	–
II	1977/78	43	2
III	1978/79	63	3
IV	1979/80	78	4
V	1980/81	89	5

Die Wärmedämm-Stufen bedeuten am beschriebenen Einfamilienhaus folgende Massnahmen (neben Dampfsperren):

0 Vor 1976: Nach Beanstandung der Hausbewohner wurde 1946 unter den Ziegeln eine Schicht von 2 cm Durisolplatten, unverfugt, angebracht. Vorher war das Durchziehen kalter Luft unerträglich gewesen.

I 1976: Giebeldachboden: 120 mm Vetroflex + 16 mm Novopan

II 1977: Keller: Decken mit 80–120 mm Styropor versehen, z. T. Innenseiten der Aussenwände mit 40–80 mm Styropor belegt.

III 1978: Seiten-Estriche: 80 mm Vetroflex gegen Innenwände, 60 mm Vetroflex + 16 mm Novopan auf Böden. Bad + Küche: 20 mm Vetroflex + 6 mm Kachelplatten an Innenseiten der Aussenwände. Kellerfenster + Lichtschächte: 5 mm Thermo-clear + 6 mm Glas + 6 mm Acrylglas. Korridordecke heruntergezogen: 40 mm Styropor + 20 mm Vetroflex + 16 mm Novopan. Seitenestriche: Kniewände 40 mm Vetroflex + 19 mm Novopan.

IV 1979: Fenster P, SSW: Faglas 4 + 4 mm (vorher 1,5 + 1,5 mm). Unter Ziegeln: 60 mm Vetroflex.

V 1980: Fenster P + I, NNE: Thermopane 4 + 4 + 4 mm. Zwei Wohnzimmer P: Innenseite der Aussenwände 20–30 mm Vetroflex + 19 mm Novopan + 6 mm Täferplatte. Lukarnen I N + S: Innendecke 20–40 mm Vetroflex + 16 mm Novopan, Fenstersturz aussen 80 mm Vetroflex, innen 20–30 mm Vetroflex + 19 mm Novopan + 6 mm Täfer. Fensterläden P: Thermo-clear-Platten 5 mm. Schlafzimmer I: 5 mm Sempatap. Korridordecken: 17 mm Weichpavatex-Platten.

VI 1981: Fenster I, SSW: Thermopane 4 + 4 + 4 mm. Haustüre auf 750 mm aufgedoppelt und mit Thermopane 5 + 5 +5 mm versehen. Seitenestrich N: Boden zusätzlich mit 20 mm Vetroflex belegt (total 80 mm + 16 mm Novopan + Spannteppich). Estrich-Giebelwände: 40 mm Vetroflex.

VII 1982: Vorgesehen sind: Waschküche, Decke und Innenseite der Aussenwand; Lagerkeller, Innenseite der Aussenwand wärmedämmen. Küche: oberer Teil der Innenseite der Aussenwand wärmedämmen. Estrich-Giebelwände fertig abdekken.

Ab 1979/80 konnte wegen zu schlechtem Wirkungsgrad nicht mehr mit Heizöl geheizt werden, sondern nur noch elektrisch.

Sobald das ursprünglich schlecht isolierte Haus soweit wärmegedämmt war, dass der anschliessende Heizölverbrauch auf etwa ¼ sank, zeigte sich folgendes:

1. An Heiztagen HT_{12} muss in der Regel nur dann noch beheizt werden, wenn die mittlere Aussentemperatur $T_m \leqq 10$ °C beträgt, also:

   1979/80 keine Beheizung an 77 HT_{12} = 30,7% aller HT_{12}
   1980/81 keine Beheizung an 59 HT_{12} = 26,5% aller HT_{12}

   Die Beheizungszeit wurde so um etwa 2 Monate gekürzt, eine beträchtliche Einsparung mit Umweltbelastung Null. Über das genaue «Verhältnis vom meteorologisch berechneten HT_{12} zu den Tagen mit effektiver Heizung» orientiert die Tabelle 4. Für 1980/81 s. Bild 3.

2. *Sind einzelne Heiztage HT_{12} zwischen Tagen mit höheren Mitteltemperaturen eingebettet, so kann meist auf eine Beheizung verzichtet werden,* da die Innentemperaturen während des kalten Tages zu wenig absinken. Aus diesem Grund war es möglich, in den letzten beiden Vor- + Nachwinterperioden

   vom 10. Mai bis 11. Oktober 1980 und
   vom 6. Mai bis 21. Oktober 1981

   ohne Heizenergie auszukommen, vgl. hiezu Bild 4, Kurven 4 + 5 und Tab. 5a. Im Bild 4 wurden die Massstäbe so gewählt, dass Heizgradtage und Heizölverbrauch ein analoges Bild ergeben (vgl. auch Bild 3).

3. Aus einer Heizölverbrauchskurve mit ausgeprägter und breiter Hoch-

Tabelle 4. Verhältnis von meteorologisch berechneten Heiztagen (HT_{12}) zu den Tagen mit effektiver Heizung (HT_{12}^H) im beschriebenen Einfamilienhaus

Monat	Heizperiode 1979/80						Heizperiode 1980/81					
	HT_{12}	HT_{12}^H	HT_{12}^H: HT_{12} %	T_m der HT_{12}^H °C	HGT_{12}^H	HGT_{12}^H: HGT_{12} %	HT_{12}	HT_{12}^H	HT_{12}^H: HT_{12} %	T_m der HT_{12}^H °C	HGT_{12}^H	HGT_{12}^H: HGT_{12} %
Sept.	10	1	10	7,1	12,9		3	0	0	–	0	
Okt.	24	4	16,7	5,43	58,3		25	14	56	6,36	191	
Nov.	30	21	70	1,43	390	Nov. bis	30	28	93,3	1,85	508,2	Nov. bis
Dez.	31	31	100	2,8	533,2	Febr.	31	31	100	–1,6	669,6	Febr.
Jan.	31	31	100	–1,8	675,8	94,6%	31	31	100	–2,4	694,4	99,0%
Febr.	29	29	100	3,2	487,2		28	28	100	–1,5	602,2	
März	31	29	93,5	4,4	452,4	Sept.+	27	19	70,3	4,4	296,2	Sept.+
April	30	24	80	4,98	360,5	Okt. +	20	8	40	2,89	136,9	Okt. +
Mai	22	5	22,7	9,0	55	März bis	16	5	31,3	7,02	64,9	März bis
Juni	8	0	0	–	–	Aug.	7	0	0	–	0	Aug.
Juli	6	0	0	–	–	57,2%	5	0	0	–	0	53,8%
Aug.	0	0	0	–	–		0	0	0	–	0	
Jahr	252	175	69,4	2,71	3025,3	78,6%	223	164	73,5	0,71	3163,4	83,7%

HGT_{12}^H = Heizgradtage (berechnet aus Heiztagen HT_{12}^H): $HGT_{12}^H = HT_{12}^H (20 - T_m)$
1979/80: nicht geheizt an 77 HT_{12}; 1980/81: nicht geheizt an 59 HT_{12}

winterspitze, dauernd vom Oktober bis April (Nr. 2, Bild 4), entstand eine abgeflachte und schmalere, dauernd nur noch vom November bis Februar (Kurven 4 + 5, Bild 4). *Die Hochwinterzeit wird also mit zunehmender Wärmedämmung kürzer* (gültig für Bern).

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass bei guter Wärmedämmung nicht mehr ab mittleren Tagestemperaturen von 12 °C, sondern erst ab 10 °C ($T_m \leq 10$ °C), evtl. bei noch tieferen Temperaturen überhaupt beheizt werden muss. Aus diesem Grunde wurden in Tabelle 2b für die behandelten vier Heizperioden auch alle Mittelwerte für HT_{10} ($T_m \leq 10$ °C) und der HGT_{10} berechnet. Daraus ist zu entnehmen, dass 1977–1981 im Mittel 241,5 HT_{12} bzw. 207,5 HT_{10} auftraten, also 34 HT_{10} weniger als HT_{12}.

Nun war es aber gelungen an 77, bzw. an 59 HT_{12} nicht zu beheizen. Woher die Diskrepanz? Der eine Grund sind die «eingebetteten» Heiztage, der andere die Wirkung der Wärmestrahlung von der Sonne und der Wind, s. Kapitel 3.

Abschliessend sei zu diesem Kapitel vermerkt: Will ein Hausbesitzer feststellen, wie seine *Beheizungsbilanz* für zwei Heizperioden auf Grund des Aussentemperatur-Verlaufes aussehen müsste, sollte er beachten:

1. Heizanlage und Beheizungstechnik müssen gleich geblieben sein.
2. Der Wärmedämmzustand darf sich nicht verändert haben.
3. Je besser wärmegedämmt worden war, desto mehr ist der Heizölverbrauch entsprechend den Untergruppen A und B (Bild 5) zu berücksichtigen.

Sind Änderungen vorgenommen worden (Heizanlage, Wärmedämmung), dann sollten erst dann wieder Vergleichsrechnungen aus dem Meteoablauf anberaumt werden, wenn 2 Perioden im gleichen Anlagezustand des Gebäudes vorliegen.

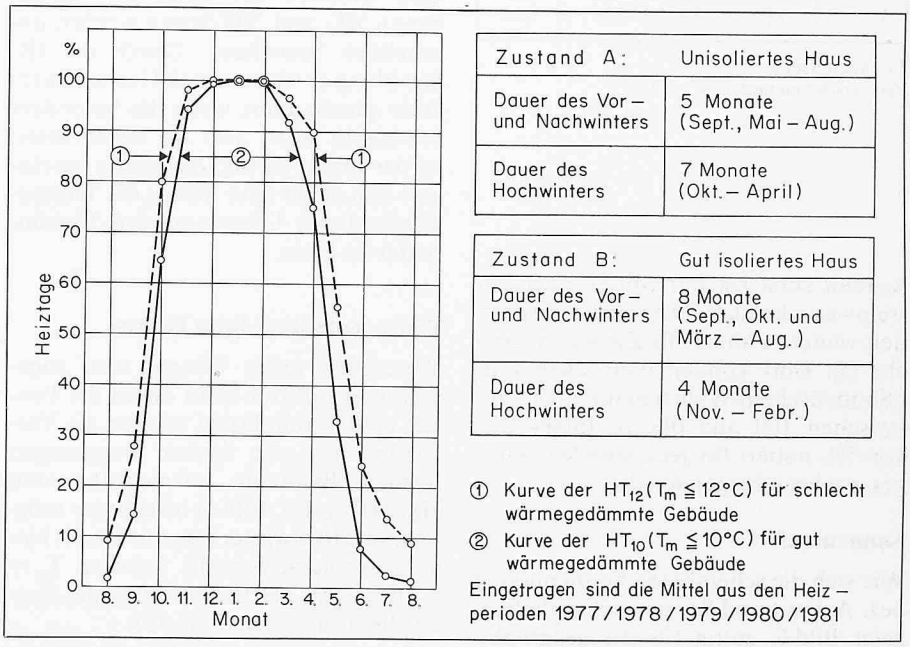


Bild 5. Monatliche Verteilung der Heiztage in % der Monatstage. Vergleich zwischen schlecht und gut wärmegedämmtem Haus

In gut wärmegedämmten Zustande sind nicht mehr die Heiztage HT_{12}, sondern die HT_{10} als Grundlage auszurechnen. Dasselbe gilt für die Heizgradtage. Die Verteilung der letzteren auf die einzelnen Monate ist in Tabelle 2b berechnet. Bild 5 zeigt die Reduktion der HT infolge Wärmedämmung. In den Hochwintermonaten ergeben sich kaum Unterschiede, hingegen treten in den Vor- und Nachwintermonaten zwischen Zustand A und B beträchtliche Differenzen auf. Die Verteilung der HGT_{10} dürfte in zukünftigen Teil-Heizkostenabrechnungen (bei Umzug eines Mieters) eine Rolle spielen.

Einheizen durch die Infrarot-Strahlung (IR) der Sonne

Vereinfachungen

An Stelle der IR-Strahlung sind die Zahlen der senkrecht einfallenden Globalstrahlung eingesetzt. Beim unten behandelten Schönwetter bilden sie ein genügend genaues Vergleichsmass. Verschiebungen der verschiedenen Strahlenarten treten ein bei zunehmendem Wasserdampf (Wolken, Nebel) und beim Strahlenverlauf durch lange Luftschichten (Morgen, Abend). Verbesserte Berechnungsgrundlagen werden dann gegeben sein, wenn die SMA (Dr. P. Valko) die Werte über schräg, bzw. senkrecht einfallende Strahlenteile (z. B. auf Hausmauern) veröffentlicht haben wird. Für die übrigen Angaben

Tabelle 5a. Eingebettete Heiztage

Datum 1981	T_m °C	Sonne h	Wohnzimmer T_{min} [°C]
16.6.	18,4	2,5	25
17.	12,6	0,5	25
18.	9,5*	0,2	23,5
19.	10,5*	0	23
20.	12,2	1,7	22
21.	11,1*	0,9	22

* Keine Beheizung nötig, obwohl $T_m < 12$ °C

Tabelle 5b. Heiztage im W_H. Keine Beheizung nötig

Datum 1981	T_m* °C	Sonne h	Wohnzimmer T_{min} °C	Wohnzimmer T_{max} °C
1.11.	9,1	8,4	19	21
2.	8,8	8,4	20	21
3.	8,3	8,3	20	22
4.	7,8	8,1	20	21,5
5.	7,0	3,8	20	20,5

* Lokalmessung
Fensterflächen nach SSW: 5,2 m²

wurden zunächst nur Mittel- oder Extremwerte benützt. Demnächst erscheinen weitere Zahlen für Zwischenbereiche [5]. Dort können dann auch z. B. Sonnenschein-Wahrscheinlichkeiten zwischen 100 und 0%, in Intervallen von 5%, notiert für jede Stunde des Tages, nachgeschlagen werden.

Sonnenlauf

Wie sich die scheinbaren Sonnenhöhen bez. Azimut und Sonnenzeit verhalten, zeigt Bild 6, gültig für die geographische Breite von Zürich-Kloten (47° 27'/440 m/M). Darnach steigt die Sonne über Mittag: Am 22. Dezember nicht ganz auf 20°, am 22. Juni aber auf 66°. Der tägliche Wert der Globalstrahlung steigt dabei von 2,17 MJ/m² im Dezember bzw. auf 21 MJ/m² im Julimittel (Max. nicht im Juni, weil mehr Bewölkung), vgl. Tabelle 5 unter S_G. Im Dezember wird also nur 10% der Julimenge eingestrahlt (in Davos zur gleichen Zeit aber 22%).

Verhältnisse an der Hausmauer

Ein Haus, dessen Wohnfront nach SSE, S oder SSW gerichtet ist und vor dem weder schattenbildende Pflanzen (leider oft der Fall), noch Dachvorsprünge oder andere Hindernisse liegen, könnte vom grössten Teil der wärmenden Sonnenstrahlen profitieren. E- und W-Seiten erhalten partielle Anteile (auch hier sind Arbeiten der SMA in Ausführung). NE- und NW-Seiten werden unerheblich beeinflusst. Durch die IR-Strahlung erwärmen sich Hausmauern. Aber gerade dann, wenn das besonders erwünscht wäre, also im Hochwinter, ist der Effekt gering. Immerhin verringert sich dabei über Mittag die Wärmeabgabe durch -Leitung aus dem Hausinneren ins Freie.

Wärmeaufnahme beim Fenster

Wesentlich mehr Wärme vom zugestrahlten Infrarot kann durch die Fenster eindringen. Dabei müssen die Vorhänge, auch die feinen, weggezogen werden. Beim gut wärmegedämmten Haus (Kurve 5, Bild 4) ist es sogar möglich, im Hochwinter (etwa 1. bis 10. November und ab etwa 15. Februar, T_m = 7–10 °C) mit der IR-Strahlung der Sonne allein zu heizen (Tab. 5b).

Auch in den Vor- und Nachwinterzeiten ist das Haus ab $T_m \geq 7$ °C allein durch die IR-Strahlung aufheizbar, sofern Windstille herrscht und die Sonne scheint (Tab. 5a). Im Intervall Mai bis Juni darf der Himmel dabei sogar mit Cirren (Ci) oder dünnem Altostratus (As) überzogen sein. Die dann noch durchdringenden IR-Anteile genügen zum Heizen.

Mindestmenge der Strahlung und günstige Aufheizzeit

Herrscht am kürzesten Tag Schönwetter und Windstille und sinkt die Aussentemperatur nicht unter −5 °C, so reicht die IR-Strahlung zwischen 11–13 h gerade zum Halten der Wohnzimmertemperatur bei abgestellter Heizung. Daraus darf erwartet werden, dass bei etwa 0,44 MJ/m² h die untere Grenze der positiven Heizbeeinflussung liegt. In Tabelle 5c ist deshalb unter S_H berechnet, innert welchen täglichen Zeitintervallen eine solche Mindestmenge im Laufe eines Jahres auftritt. Während dieses Zeitintervalls scheint beispielsweise im Dezember an 4,2 Tagen pro Monat die volle Sonne (S_{HV} = 13,5%). Selbstverständlich ist auch dann eine IR-Heizwirkung zu erkennen, wenn die Sonne nicht während der ganzen Intervallzeit scheint.

In der Tabelle 5c ist unter $S_{HV10/15}$ noch eingetragen, wie oft, in % aller Tage pro Monat, eine *günstige Aufheizzeit* zwischen 10 und 15 h vorkommt. Im Dezember ist das höchstens bei 11,7% der Fall. Da aber gleichzeitig die Globalstrahlung in diesem Monat am geringsten ist, nämlich nur etwa 0,44 MJ/m² h, ergibt das nur kleine Wärmekapazitäten. Dagegen ist auffallend, dass ein anderer Hochwintermonat, nämlich der Februar mit 24% einen recht hohen $S_{HV10/15}$-Wert aufweist, ein Betrag, der in den Monaten Oktober und März bis Mai gar nicht stark überschritten wird.

Bild 6. Scheinbare Höhe und Azimut des Zentrums der Sonnenscheibe im Laufe des Jahres, berechnet für Zürich (zusammengestellt von Ing. A. E. Lehmann, EMPA Zürich)

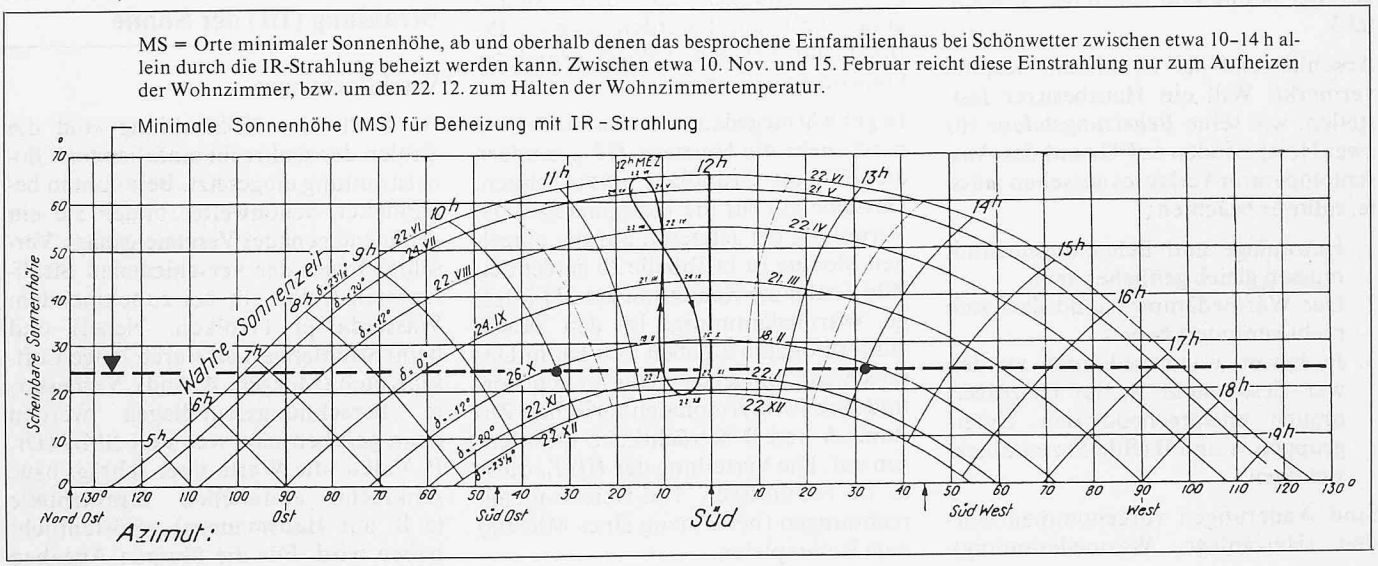


Tabelle 5c. Sonnenschein-Intensität und -Dauer, sowie mögliche Gebäude-Einheizung durch Sonnenstrahlen

Monat	S_m		S_o		S_G		$S_{G10/15}$		S_H	S_{HV}	$S_{HV10/15}$
	h/d	%	d/Monat	mehr als im Juli	MJ/m² d	%	MJ/m² d	%	Zeit	%	%
Sept.	6,0	74,1	2,8	2,2 mal	12,49	59,3	8,15	70,6	07–17	22,8	40,1
Okt.	3,8	46,9	6,8	5,2 mal	7,13	33,8	5,24	45,4	09–16	24,8	29,3
Nov.	2,1	25,9	12,0	9,2 mal	3,41	16,2	2,70	23,4	10–14	15,7	15,5
Dez.	1,4	17,3	15,1	11,6 mal	2,17	10,3	1,81	15,7	11–13	13,5	11,7
Jan.	1,9	23,5	12,4	9,4 mal	2,95	14,0	2,39	20,7	10–14	13,4	13,4
Febr.	3,3	40,7	7,1	5,5 mal	5,78	27,4	4,31	37,3	09–16	19,6	24,0
März	4,7	58,0	5,5	4,2 mal	9,54	45,3	6,35	55,0	08–16	29,8	33,9
April	5,5	67,9	3,8	2,9 mal	13,59	64,5	8,24	71,4	07–17	26,6	29,3
Mai	6,3	77,8	2,8	2,2 mal	17,70	84,0	9,94	86,1	06–18	22,2	28,5
Juni	7,8	96,3	1,7	1,3 mal	19,82	94,0	10,82	93,8	06–18	27,1	35,8
Juli	8,1	100	1,3	0	21,08	100	11,54	100	06–18	31,1	40,3
Aug.	7,4	91,4	1,5	1,2 mal	15,98	75,8	9,39	81,4	07–18	25,1	40,2
Jahr	4,9*	60,5	72,8**	-	11,42*	54,2*					

* Monatsmittel ** Anzahl Tage pro Jahr

S_m	Mittlere Sonnenscheindauer in Bern, Mittel aus den Jahren	1921–1950 [1]
S_o	Sonnenlose Tage in Bern, Mittel aus den Jahren	1921–1950 [2]
S_G	Globalstrahlung in Zürich, Mittel aus den Jahren	1963–1972 [3]
$S_{G10/15}$	Globalstrahlung in Zürich von 10–15 h, Mittel aus den Jahren	1963–1972 [4]
S_H	Zeitintervall in dem die Sonne einheizen könnte, M. a. d. J.	1963–1972 [4]
S_{HV}	Volle Sonne während dem Zeitintervall S_H in % aller Tage, Bern	1931–1970 [5]
$S_{HV10/15}$	Volle Sonne zwischen 10–15 h in % aller Tage, Bern (S_H bei ≧ 0,44 MJ/m² h, gültig für Bern)	1931–1970 [5]

Dies macht verständlich, dass gerade im Februar ein gut wärmegedämmtes Haus bei Schönwetter erheblich durch die IR-Strahlen aufgewärmt werden kann. Als weiterer Vorteil kommt hinzu, dass der Februar am wenigsten sonnenlose Tage (S_0 in Tab. 5c) des Hochwinters aufweist, nämlich nur 7.

Ist einmal erkannt, welche Einstrahlungsmenge pro Stunde ausreicht, um ein Haus ohne innere Beheizung aufzuwärmen (z. B. zwischen 10–15 h bei $T_m \geqq$ 7 °C, 0,44 MJ/m² h), so lässt sich dasjenige Kalenderdatum aussuchen, für das die Sonne erstmals diesen Wert erreicht. Im Bild 6 kann dann dort eine Parallele zur Abszisse gezogen werden, auf der nun alle Orte gleicher Sonnenhöhe liegen, die zum Beheizen des Hauses unter den erwähnten Umständen gerade noch genügen. Eine solche Linie ist in Bild 6 punktiert eingetragen.

Windeinfluss

Grundsätzlich muss deutlich unterschieden werden zwischen dem Strömen von Aussenluft durch ein Haus und dem verstärkten Abkühlen der Gebäudehülle durch Wind von tieferer Temperatur als diejenige im Gebäudeinneren. Das Durchströmen darf mit *Abdichten* nur beschränkt verringert werden, denn die für die Bewohneraktivitäten (z. B. Atmen, Verbrennungsvorgänge) benötigte selbsttätige Lufterneuerung muss gewährleistet bleiben. Ebenso sollen Pufferräume (z. B. Estriche, Keller) wenigstens bei Wind schwach durchlüftet werden. Im Gegensatz dazu darf das *Abkühlen der Bauhülle* in beliebig grossem Ausmass durch Wärmedämmung an den sowieso wenig oder völlig undurchlässigen Baumaterialien verkleinert werden. Diese Unterscheidung zwischen einem vernünftigen Abdichten einerseits und einem beliebigen Wärmedämmen andererseits muss dem Laien jeweils deutlich vor Augen geführt werden, denn hier entstehen die meisten Diskussions-Missverständnisse.

Je intensiver wärmegedämmt worden ist, desto eher darf eine Undichtigkeit im oben erwähnten Ausmass in Kauf genommen werden, ist doch die Wärmekapazität der Luft klein (c_p (20 °C) = 1005 J/kg·°C). So lassen sich mit nur 0,01 l Heizöl etwa 14,5 m³ Luft von 0 °C auf 20 °C aufwärmen. Dieselbe Menge kann auch ein Bewohner innert 1 h mit seiner Körperwärme aufheizen.

Abkühlungseffekte durch den Wind werden umso grösser, je stärker er weht, je kälter er ist (im Winter bringen N- bis NE-Winde oft die kältesten Luftmassen), je mehr Flächen, speziell Fensterflächen eines Gebäudes freistehen, je mehr Wärmebrücken (z. B. Betonböden von Terrassen mit Eisenprofilen bis tief in die Mauer) vorhanden sind und je schlechter die Isolation ist. Im hier besprochenen Einfamilienhaus konnten früher bei NE-Wind, 5 m/s, −5 °C, trotz Verbrauch von 2,4 l Heizöl/h die Wohnzimmer nicht über 18 °C erwärmt werden. Mit einer Zusatzheizung von 2 kW (= 0,2 l Heizöl/h) gelang dann in einem Wohnzimmer eine Erwärmung auf 20 °C. Für das ganze Haus hätte das 50% Mehrheizung bedeutet. Nach der Wärmedämmstufe 5 waren für dieselben Bedingungen und das ganze Haus nur 10%, d. h. 0,165 l Heizöl/h nötig. Ein besonderer Vorteil zeigt sich jetzt dem im Wohnzimmer still Sitzenden: Es ist keine abkühlende Luftströmung an den Beinen zu verspüren wie früher.

Im Sommer kann ein Haus, sofern erwünscht, tagsüber durch wärmere Winde aufgeheizt werden, sofern die relative Feuchte 50% nicht überschreitet. *Im gut wärmegedämmten und günstig abgedichteten Gebäude verlieren kalte Winterwinde stark an Effizienz.*

Luftfeuchtigkeit

Allgemeines

Von allen meteorologischen Elementen bereitet die Luftfeuchte die grössten Probleme. Auch hier sind zwei Gesichtspunkte zu beurteilen:

Da ist auf der einen Seite das *Wohlbefinden des Menschen,* das neben der Lufttemperatur, den Luftströmungen und der Dynamik bei Luftmassenwechseln (z. B. Föhn, elektr. Ladungen) stark von der Luftfeuchte abhängt.

Zum andern weist jedes *Gebäude* eine Reihe von offen erkennbaren, aber leider auch versteckten Stellen auf, die je nach Luftfeuchte austrocknen (auch Möbel), stabil bleiben oder feucht bis durchnässt werden. Im letzteren Fall kann dies sowohl zu Schädlingsbefall (Ungeziefer, Pilze) als auch zur Verrin-

Tabelle 6. Relative Feuchte (r. F.) der Aussenluft

Monat	Relative Feuchte (r. F.)							
	Mittelwert	$r.\ F._{min}$	bei den Tageszeiten					
	[%]	[%]	00 h	06 h	12 h	15 h	18 h	21 h
Sept.	81	43	90	94	69	64	74	86
Okt.	85	47	94	96	78	73	85	92
Nov.	87	54	94	95	83	81	89	91
Dez.	87	57	92	93	86	85	89	91
Jan.	84	54	91	92	85	83	87	90
Febr.	80	46	88	90	76	71	78	84
März	79	35	85	89	67	62	68	79
April	71	31	82	88	61	56	62	74
Mai	72	31	83	88	59	55	61	74
Juni	72	33	85	88	62	58	64	77
Juli	72	36	83	88	60	56	62	75
Aug.	75	36	88	92	64	59	66	80
Jahr	78	42	88	91	71	67	74	83

$r.\ F._{min}$ = Mittlere Minima der r. F. [6]

gerung der Baustatik, ja sogar bis zur Zersetzung von Baumaterialien führen. Dazu kommt, dass manche Feuchteschäden erst nach jahrelanger Einwirkung erkennbar werden. Bei diesem zweiten Aspekt handelt es sich geradezu um eine Seiltänzerbalance: Auf jeder Seite droht der Abgrund und das macht das Bauen so schwierig.

Das Feuchteproblem bildet der Hauptgrund, warum Vorschriften und Gesetze über das Abdichten, Wärmedämmen und Entziehen von Energie im und um das Haus (Kellerluft für Wärmepumpen, Sonnenkollektoren auf Dächern usw.) *nur soweit verschärft werden dürfen, wie gesicherte Erkenntnisse über folgenloses Feuchteverhalten von Gebäuden vorliegen. Das bedingt zwangsläufig genügend viele Vorversuche.*

Zur Messung der Luftfeuchte wurde das Schleuderpsychrometer verwendet, das recht genaue Resultate liefert.

Luftfeuchteverhalten in der Aussenatmosphäre

Im Verlaufe eines Tages schwankt die relative Feuchte (r. F.) im Durchschnitt so, dass gegen 06 h die höchsten (91% in Bern) und gegen 15 h die niedrigsten (67%, Jahresmittel in Bern, vgl. Tab. 6) Werte erreicht werden.

Zieht ein Gewitter auf, dann steigt die r. F. oft auf über 95%. Das Umgekehrte tritt ein bei S-Föhn auf der Alpennordseite, bzw. bei N-Föhn auf der Alpensüdseite. Braust der Föhn bis in die Täler, so kann die r. F. z. B. im Reuss- oder Tessintal innert wenigen Minuten sogar auf unter 20% sinken (eigene Messungen 1940–1945). Im Mittelland sinkt bei S-Föhn die r. F. nicht so stark, aber doch oft gegen 30%. In Altdorf gibt es im Jahr etwa an 30–80 Tagen S-Föhn mit 11–13 Stunden Dauer pro Föhntag im Frühling oder Herbst und etwa 10 Stunden im Winter [7]. Über dem Gotthardmassiv gibt es nur wenige Tage im Jahr, an denen weder ein S-, noch ein N-Föhn zu erkennen ist (eigene Messungen). Im nördlichen Alpenvorland sind es dagegen nur etwa 2–10 Tage/a.

Feuchteunterschiede beim Eindringen von Aussenluft in Gebäude

Aus Tabelle 6 lässt sich entnehmen, dass nachts mit meist recht feuchter Aussenluft zu rechnen ist. Beim Eindringen in ein Gebäude wird sie:

- Noch feuchter, wenn dort niedrigere Temperaturen herrschen
- Trockener, wenn dort höhere Temperaturen existieren.

Hierzu ein Zahlenbeispiel: In Tabelle 7 ist unter $-W$ eingetragen, wieviel g Wasser aus 1 m³ Luft von 80% r. F. kondensiert werden könnte, wenn eine Abkühlung um 5 °C erfolgen würde. Daraus geht hervor: Je wärmer die Aussenluft ist, desto mehr und zwar zunehmend mehr Wasser könnte sich abscheiden, z. B.

- Aussenluft + 30 °C, gekühlt auf 25 °C, $-W$ = 1,2 g/m³, also 10% mehr als bei
- Aussenluft + 25 °C, gekühlt auf 20 °C, $-W$ = 1,0 g/m³

Vor Gewittern ist die Aussenluft im Sommer oft besonders warm und feucht. Dringt solche Luft z. B. in Kellerräume, so kondensiert dort speziell an nicht isolierten, freihängenden Kaltwasserleitungen recht viel Wasser.

In Tabelle 7 ist auch das umgekehrte Verhalten von *eindringender Aussenluft* aufgeführt: Eine kältere Luftmasse mit r. F. 80% wird trockener

- Aussenluft + 10 °C, erwärmt auf 20 °C ergibt nur noch 41,6% r. F. und
- Aussenluft − 10 °C, erwärmt auf 20 °C ergibt nur noch 5,9% r. F.

Tagsüber sinkt die r. F. der Aussenluft gegenüber der Nacht meist beträchtlich. Während des Hochwinters werden dabei mittlere r. F. von 46–57% (vgl. Tab. 6) erreicht, in den Monaten März bis August sinken sie unter 36%, um im September und Oktober wieder gegen 43–47% anzusteigen. Bei Föhn fallen die r. F., speziell in den Föhntälern, auf unter 30%.

Dringt Aussenluft mit r. F. < 50% in ein Gebäude, so muss sie schon beträchtlich abgekühlt werden, bis eine Wasserkondensation eintritt, z. B.:

- Aussenluft 30 °C, erst Wasserkondensation bei Kühlung auf ≦ 15 °C
- Aussenluft 25 °C, erst Wasserkondensation bei Kühlung auf ≦ 12 °C
- Aussenluft 20 °C, erst Wasserkondensation bei Kühlung auf ≦ 8 °C

Bei konstanten Innentemperaturen von 20 °C ist unter solchen Verhältnissen keine Wasserkondensation zu befürchten.

Beim Eindringen von Aussenluft in ein Gebäude wird in der Regel *nicht* die gesamte Innenluftmasse ausgetauscht. Es entsteht vielmehr ein ständig wechselndes Mischverhältnis zwischen vorhandener und neu zufliessender Luft. Das bedeutet, dass sich Veränderungen (Feuchterwerden bzw. Trockenerwerden der Gesamtluft), hervorgerufen durch eindringende Aussenluft, *nur verzögert* auswirken.

Veränderung der Luftfeuchtigkeit durch Bewohneraktivitäten

Die Gebäudeluft kann durch die Bewohneraktivitäten erheblich beeinflusst werden:

Der Zustand wird feuchter:

- Bei der Körperpflege: Waschen < Duschen < Baden < Aufhängen nasser Badetücher.
- Durch Ausdünsten bis Schwitzen beim Stillsitzen < Herumlaufen < Fitness. Zusätzliche Verstärkung bei warmem und feuchtem Wetter.
- Beim Waschen und Trocknen von Wäsche (offene Kleinwäsche, Trocknen im Hausinneren).
- Beim Kochen: Dampfkochtopf < offene Pfanne < Backen von Früchtekuchen.
- Beim längeren Öffnen von Fenstern und Türen, besonders wenn die Aussenluft sehr feucht und wärmer als die Innenluft ist.

Der Zustand wird trockener:

- Bei der Körperpflege: Haartockner
- Durch Abgabe von Körperwärme,

etwa 100 W / Person beim Stillsitzen und mehr bei Körperbetätigungen.
- Beim Kochen ohne Wasserdampfabgaben, beim Bügeln, Staubsaugen.
- Beim Einsatz von elektrischen Kleinheizern, IR/UV-Lampen, Licht, Radio, TV.
- Beim Heizen mit Brennstoffen. Die angesaugte Kaltluft wird im Haus umso trockener, je länger der Weg vom Ansaugort bis zum Ofen ist.
- Beim längeren Öffnen von Fenstern und Türen, besonders wenn die Aussenluft sehr trocken und kälter als die Innenluft ist.

Folgende Bewohner-Aktivitäten verbessern die Feuchtesituation:

- Nicht baden, sondern duschen (dabei wird Energie gespart, z. B. nur 14 l, statt 140 l Warmwasser) und das Wasser mit einem Gummizieher in den Ablauf führen. Badezimmer nach Duschen und Aufhängen nasser Badetücher im Winter einige Male kurz lüften (eindringende Kaltluft wird trockener), in der übrigen Zeit lüften, wenn die Tagesfeuchte am geringsten ist (in der Regel 12–15 h)
- Dampfkochtöpfe benützen. Kleinwäsche vermeiden.
- Das nicht beheizte Haus dann intensiv durchlüften, wenn die Aussenluft wärmer und möglichst trocken ist (in der Regel zwischen 12–15 h)
- Wäschetrocknen im Winter im Hausinneren mit Luftentfeuchter (etwa 6 kWh pro Wäsche).

Veränderung der Luftfeuchte bei zunehmender Wärmedämmung

Hier sind zwei Situationen zu betrachten: Die eine mit und die andere ohne Beheizung.

Situation mit Beheizung

Mit zunehmender Wärmedämmung wird derjenige Raum (z. B. Keller), in dem sich die Ölheizanlage befindet, immer weniger miterwärmt. Da gleichzeitig auch weniger Kaltluft angesogen wird (je noch Dämmgrad 50–90% weniger), wird die Luft im Heizraum nicht mehr so trocken sein und kälter bleiben. Zugleich verringert sich die Abgasmenge. Damit vermindert sich die Strömungsgeschwindigkeit im nun zu grossen Kamin. Die Abgase kühlen sich deshalb stärker ab. Sie scheiden Teerprodukte aus (Versottung) und Wasser kondensiert in den oberen Teilen des Kamins. Darin löst sich Schwefeldioxid und die so entstehende schweflige Säure greift das Wandmaterial an. Mit abnehmendem Heizbedarf, also abnehmender Rauchgasmenge, muss daher auch das *Kamin* auf einen entsprechend *kleineren Durchmesser* gebracht werden, z. B. durch Einzug von rostfreien Stahlrohren mit Isolierschicht bis zur alten Kaminwand.

Die übrigen Räume eines zentral beheizten Hauses werden mit zunehmender Wärmedämmung immer weniger stark trockene Luft aufweisen. Die *relative Feuchtigkeit steigt* von etwa 20–40% auf 40–60%, was für das Wohlbefinden des Menschen vorteilhafter ist.

Je dicker das neu aufgebrachte Wärmedämmaterial ist, desto weniger wird Luft an Innenwänden von Aussenfassaden abgekühlt. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich dort Wasser kondensieren könnte, wird sehr stark gemindert. In Ecken, vorwiegend meist in Küche und Badzimmer, entstehen daher keine schwarzen Beläge mehr (herrührend von Staub und Schimmelpilzen wie Aspergillus niger). Aus diesem Grunde darf die Luft nach der Wärmedämmung ohne Gefahr etwas feuchter sein.

Durch *vorteilhaftes Bewohnerverhalten* wird die Innenluft nur unwesentlich feuchter. Kochen, Einsatz von Glühlampen u. ä. bewirken nicht nur trockenere Luft. Sie bilden mit der Körperwärme von Personen beim zunehmend gedämmten Haus auch einen zunehmenden Beitrag zur Beheizung, der bei starker Wärmedämmung so erheblich wird, dass er an manchen kalten Tagen zum alleinigen Beheizen ausreicht.

Situation ohne künstliche Beheizung

Überschreiten die mittleren Aussentemperaturen den Wert von 10 °C, so muss das gut wärmegedämmte Haus nicht mehr künstlich beheizt werden. Es genügt die durch Bewohneraktivitäten abgegebene Wärme, allfällig begünstigt durch die IR-Strahlung der Sonne. Im Hausinneren schwanken dann die Feuchtegehalte von 40% bis etwa 65% r. F.

Eine Aufwärmung durch die Aussenluft ist möglich, sobald sie den Wert von 20 °C erreicht oder überschreitet. Solange dies nur tagsüber der Fall ist, wird sich das Luftfeuchteverhalten im Hausinneren nicht gross ändern, da um diese Tageszeiten in der Regel mit geringen Luftfeuchten zu rechnen ist: 55–73% r. F. Mittel um 15 h, 31–47% mittlere Minima (vgl. Tab. 6).

Eine neue Situation tritt dann ein, wenn auch nachts Aussentemperaturen > 20 °C vorliegen, denn diese Luft ist bedeutend feuchter (83–96% r. F., vgl. Tab. 6). Ist sie in das jetzt kältere Gebäude eingedrungen, so können sich dort die Feuchtewerte noch erhöhen. Speziell im Kellerbereich könnte das zu Wasserabscheidungen führen. Deshalb müssen auch, als eine der ersten Wärmedämmassnahmen, alle offen geführten Kaltwasserrohre im Keller gut isoliert werden. Im Keller sollte unter solchen Umständen nachts keine Lüftung erfolgen.

Tabelle 7. Veränderung der relativen Feuchte bzw. Wasserausscheidung beim Eindringen von Aussenluft in ein Haus

Aussentemperatur [°C]	W_{max} [g/m³]	80% von W_{max} [g/m³]	$r.F._{Lwarm}$ [%]	$-W$ [g/m³]
−20	0,88	0,7	3,5	0,15
−15	1,38	1,1	5,6	0,2
−10	2,14	1,7	5,9	0,3
− 5	3,24	2,6	13,8	0,5
0	4,86	3,9	21,0	0,6
+ 5	6,81	5,4	29,7	0,6
+10	9,41	7,5	41,6	0,7
+15	12,84	10,2	57,7	0,8
+20	17,32	13,8	80,0	1,0
+25	23,06	18,4	-	1,1
+30	30,38	24,2	-	1,2

W_{max} Maximal mögliche Menge Wasserdampf in feuchter Luft
$r.F._{Lwarm}$ r. F. nach Erwärmen von kalter Aussenluft (80% r. F.) auf 20 °C
$-W$ Wasserausscheidung von Luft mit 80% r. F. nach Abkühlung um 5 °C

Grundsätzlich sei noch erwähnt, dass wir *Menschen* auf die Feuchteunterschiede in der Natur programmiert sind (etwa 20%–98% r. F.). Der Mittelwert liegt etwa bei 78% r. F. (vgl. Tab. 6). Kurzfristig niedrige oder hohe Feuchten schaden uns nicht.

Im Hausinnern darf die Feuchte jedoch nicht längere Zeit Werte von etwa 70% r. F. überschreiten, da sonst die Gefahr schädlicher Einflüsse auf das Baumaterial erheblich erhöht würde. Hiezu ein typisches Beispiel: Die im N gelegene Haustüre wurde zusätzlich isoliert und beidseitig mit Holzplatten aufgedoppelt. Nach kurzer Zeit, im Laufe des Novembers, zeigten sich auf der lackierten Aussenseite eine Reihe punktförmiger Herde des Schimmelpilzes Aspergillus niger. Wie war so etwas möglich? Während über 30 Jahren war vorher nie eine Verschimmelung erkennbar gewesen. Der Grund war folgender: Die jetzt sehr gut wärmegedämmte Türe (Dicke 7,5 cm) wird im Winter nicht mehr von innen nach aussen angewärmt. Die nun stets recht kalte Aussenfläche wird besonders nachts durch die feuchte Aussenluft befeuchtet und bildet einen idealen Nährboden für Schimmelpilze. Die Türaussenteile müssen nun mit schimmeltötendem Anstrich behandelt werden.

Türschloss, Türfallen an Haustüren

Ungelöst ist immer noch das Problem der extrem gut wärmeleitenden Türschlösser und -fallen. Aussenteile von nachträglich eingebauten Sicherheitsschlössern wurden früher nur mit einem Rechteckkant von 2×7 mm ver-

bunden. Zylinder moderner Schlösser haben aber einen Durchmesser von 22 mm (im Türinneren noch grösser). Ihre Wärmeübertragungsfläche ist 27mal grösser. Türfallen sind mit Vierkanteisen von z. B. 9×9 mm verbunden. Bei tiefen Aussentemperaturen wird die Innenluft an solchen kalten Flächen oft so stark gekühlt, dass dort Wasserkondensation auftritt. Durch Montieren von wegdrehbaren Polyacrylplättchen lässt sich diese Wärmeübertragung etwas verkleinern. Aber richtiger wäre eine Konstruktion mit Kunststoff-Verbindungsgliedern zwischen aussen- und innenliegenden Teilen. Bei den heute erhältlichen harten und zähen Kunststoffmaterialien sollte eine solche Lösung möglich sein.

Luft aus Kellern für Wärmepumpen

In manchen Prospekten wird empfohlen, Kellerluft als Energieträger für Wärmepumpen zu verwenden. Im wärmegedämmten Haus ist diese Methode nicht brauchbar: Kellerluft ist weniger warm, eingesogene Aussenluft würde ungenügend angewärmt und die Ausstossluft nach der Pumpe würde die Umgebung durchnässen.

Schnee auf dem Schrägdach

Mit zunehmender Wärmedämmung bleibt Schnee wesentlich länger auf dem Dach liegen, ganz besonders auf der N-Seite. Schneebelag wirkt bei Aussentemperaturen < 0 °C wärmedämmend, darüber aber kühlend. Kalter Wind hat weniger Einfluss, dagegen kann Sonne nicht wärmend durch das Dach wirken. Schmilzt etwas Schnee tagsüber und gefriert das Waser nachts wieder, entstehen grössere Eisplatten als vor der Wärmedämmung. Bei Temperaturanstieg können solche Eisplatten von Lukarnendächern auf Ziegel des Unterdaches fallen und diese zerschlagen. Über dem Hauseingang muss die Sicherheitseinrichtung gegen Schneerutsche durch eine Latte oder Rundholz gegen Eisabrutsch verstärkt werden.

Bleibt Schnee auf dem ganzen Dach gleichmässig über einige Tage liegen, so bedeutet das, dass die Wärmedämmung überall gleich gut wirkt. *Vorzeitiges Abschmelzen an einzelnen Stellen,* meist zwischen der Brand- oder Endmauer und dem nächsten Dachbalken (dort oft nur wenige cm Abstand), deutet darauf hin, dass die Dämmequipe nur die breiten Abstände zwischen den Dachbalken (60–80 cm) mit Isoliermaterial versehen hat. Sie muss dann zum Nachdämmen angehalten werden (Garantiearbeit). Dies war bei 3 Nachbarn notwendig, ein Zeichen, dass die Methodik noch nicht perfekt ist.

Zusammenfassung

Mit zunehmender Wärmedämmung lässt sich die *Beheizungsenergie* (Heizgas, Heizöl, Holz + Kohle, Elektrizität) für ein Gebäude beträchtlich senken. Reduktionen von 50–90% sind möglich. Dabei werden die Heizbeiträge aus den Bewohneraktivitäten (z. B. Körperwärme, Kochen, Licht) und aus der Infrarotstrahlung der Sonne so erheblich, dass an etwa 60 Heiztagen (HT_{12}, $T_m \leqq 12$ °C) nicht mehr beheizt werden muss. Es kann sogar auf eine Beheizung verzichtet werden, sobald die mittlere Aussentemperatur eines Tages den Wert von 10 °C überschreitet. Es wird daher vorgeschlagen, für gut wärmegedämmte Häuser den Heiztag HT_{10}, $T_m \leqq 10$ °C einzuführen.

Parallel mit einer zunehmenden Wärmedämmung müssen *Heizanlage* und *Kamin* an die verringerten Mengen der Beheizungsenergie und der Abgase angepasst werden. Die Hersteller von Heizölfeuerungsanlagen sollten für die Belange des Einfamilienhauses kleinere Einheiten als bisher bauen, sinkt doch der Verbrauch auf etwa:

0,23 l Heizöl/h bei $T_m = -15$ °C
0,10 l Heizöl/h bei $T_m = 0$ °C
0,02 l Heizöl/h bei $T_m = +8$ °C

Der *Einfluss des Windes* als Abkühlungsgrösse wird bei zunehmender Wärmedämmung stark vermindert. Bei den Abdichtungsmassnahmen muss jedoch eine selbsttätige Durchlüftung, die den Bewohneraktivitäten genügt (Atmen, Luft für Beheizung), gewährleistet bleiben.

Mit zunehmendem Wärmedämmgrad steigt die *relative Feuchte* im Haus. Im Winter ist eine Erhöhung gegenüber der bisher zu trockenen Luft erwünscht. Um in der übrigen Jahreszeit nicht zu hohe Feuchtwerte zu erhalten, muss das *Lüften,* unter Mitberücksichtigung der relativen Feuchte der Aussenluft, gezielter erfolgen.

Noch eine Bemerkung: Wärmedämmungen werden einzig nach einer fristgerechten Amortisation beurteilt. Dies scheint mir ungenügend, denn die *erhöhte Behaglichkeit,* die damit gewonnen wird, verbunden mit einer geringeren Gefahr, Erkältungskrankheiten oder Rheuma zu erhalten, dürfte auch einen erhöhten finanziellen Einsatz rechtfertigen.

Literatur

[1] *Schüepp M.* (1962): «Sonnenscheindauer». Klimatologie der Schweiz. Beiheft zu den Annalen der SMA, Heft 3 I/31
[2] *Schüepp M.* (1962): «Sonnenscheindauer». Klimatologie der Schweiz. Heft 3 I/26
[3] *Ambrosetti F., Valko P.* (1980): «Strahlung 2. Teil». Klimatologie der Schweiz. Heft 26 I/22
[4] *Ambrosetti F., Valko P.* (1980): «Strahlung 2. Teil». Klimatologie der Schweiz. Heft 26 I/24
[5] *Valko P.:* Meteoplanheft über Sonnenscheindauer. Verlag Hallwag, Bern. Im Druck
[6] *Schüepp M., Urfer Ch.* (1971): «Luftfeuchtigkeit». Klimatologie der Schweiz. Heft 11 D/6 + 21
[7] *Gensler G.* (1974): «Föhn und Wetterfühligkeit». Klimatologie der Schweiz. Heft 13 M/121
[8] *Valko P.* (1979): «Technische Meteorologie». Schweiz. Technische Zeitschrift. Juli, Heft 15
[9] *Geiger W., Gertis K., Schäfer U., Valko P.* (1977): «Klimagerechtes Bauen». Die Bautechnik. Heft 9, S. 304
[10] *Ginsberg Th.* (1970): «Klimaforschung und Planung». Neue Zürcher Zeitung. 23. März
[11] Norm SIA 180/3 (1980): «Jährlicher Wärmeverbrauch in Bauten». Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
[12] Norm SIA 180/1 (1980): «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau». Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
[13] *Mühlebach H.* (1979): «Untersuchungen zum Luftwechsel in Wohnbauten». Teilbericht IIIa, Eidg. Material-Prüfungsanstalt, Dübendorf
[14] Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern. «Musterhaftes Einfamilienhaus in Bern». Energiesparnachrichten Nr. 22, Bern 1981
[15] *Wick, B.:* «Energie im Mehrfamilienhaus: Verbrauchswerte und Sparpotential». Schweiz. Ingenieur und Architekt, Heft 5, Seite 50, 1982

Adresse des Verfassers: Dr. *E. Schneiter,* Jaunweg 4, 3014 Bern.