AIC CH7 #1080

MESSPROJEKT MAUGWIL

MESSPROGRAMM UND RESULTAT - ÜBERSICHT

Hans Mühlebach
Thomas Baumgartner
Peter Hartmann

EMPA Dübendorf
Abteilung Bauphysik
8600 Dübendorf

A

ZUSAMMENFASSUNG

In der Zeit vom Sommer 1979 bis Sommer 1981 führte die Abteilung Bauphysik der EMPA experimentelle und rechnerische Arbeiten durch im Zusammenhang mit dem Energiehaushalt von Einfamilienhaus-Bauten. Diese Arbeiten erfolgten einerseits als Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz (im Zusammenhang mit den Lüftungsverlusten dieser Bauten) und andererseits des Bundesamtes für Energiewirtschaft (Energieverbrauchs-Untersuchungen im Rahmen des IEA-Forschungsprogramms "Energy Conservation in Buildings and Community Systems").

Die Messungen fanden statt in einem detailliert instrumentierten, unbewohnten Einfamilienhaus ("Messgebäude Maugwil") und in weniger intensiver Form in 60 bewohnten Einfamilienhäusern desselben Element-Haustyps.
In diesem Teil-Beitrag werden die gesamten Projektziele, der Projektablauf und schliesslich einzelne Resultate vom unbewohnten Messgebäude Maugwil dargestellt. Weitere Resultate finden sich im Beitrag "Detail-Untersuchungen der Lüftungsverluste nichtklimatisierter Bauten des Wärmeschutz-Seminars 1980 und in den Beiträgen von I. Marcus und T. Baumgartner zu diesem Seminar.

1. Einführung

Im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz und des Bundesamtes für Energiewirtschaft wurde von der Abt. Bauphysik der EMPA ein freistehendes unbewohntes Gebäude zur detaillierten Untersuchung über den Luftwechsel und den Energiehaushalt gesucht. Aus einer Reihe von Angeboten wurde schliesslich das Gebäude in Maugwil ausgesucht. Der Umstand, dass es sich dabei um ein "Serienprodukt" handelt, welches in dieser oder ähnlicher Form in grösserer Anzahl erstellt wurde, ergab die Möglichkeit die von einem einzelnen unbewohnten Gebäude stammenden Messresultate auf eine Anzahl von bewohnten, gleichartigen Gebäude zu übertragen und daraus Schlüsse über den Einfluss der Bewohner zu ziehen. Im Rahmen der Aufträge des BUS und der BEW wurden folgende Projektziele formuliert:

- Ermittlung des Luftwechsels (Langzeitmessungen) im Messgebäude in Abhängigkeit von den wesentlichen Einflussparametern, im Hinblick auf verbesserte Berechnungsverfahren (in der Regel für das "geschlossene" ungenutzte Haus, in kurzen Perioden auch mit simulierter Nutzung und teilweise geöffneten Fenstern);
- Ermittlung von Innenklima-, Aussenklima-, Energieverbrauchs- und Konstruktionsdaten beim ungenutzten Messgebäude als Referenzdaten für entsprechende Berechnungen mittels des Programmes DOE und weiterer Programme;
- Erprobung spezieller Verfahren zur Ermittlung der thermischen Charakteristiken von Bauteilen, um diese Verfahren später in der Überprüfung von Gebäuden einsetzen zu können (z.B. Luftdurchlässigkeits-Messungen, k-Wert-Messungen, Infrarot-Messtechnik);
- Beschaffung von Energieverbrauchs- und Benützerdaten von 60 gleichartigen, aber bewohnten Einfamilienhäusern um Unterlagen über den Einfluss bestimmter Benützerparameter auf den Energieverbrauch zu gewinnen.

Die Messungen wurden in der zweijährigen Messperiode von Sommer 1979 bis Sommer 1981 durchgeführt. Die Auswertung und die Berichterstattung werden gegen Ende des Jahres 1982 abgeschlossen sein. Die Resultate betreffend der erstgenannten Zielsetzung sind in einem Teilbericht [1] dokumentiert. In diesem Seminarbeitrag sind eine Übersicht über das gesamte Messprogramm und eine Auswahl von Messdaten zu finden. Im Seminarbeitrag von I. Marcus [2] werden die Messdaten berechneten Energieverbrauchsdaten gegenübergestellt und schliesslich berichtet T. Baumgartner im Seminar-Beitrag [3] über die Studie an bewohnten Häusern.

2. Angaben zum Messgebäude

2.1 Beschreibung des Messgebäudes

Gebäudetyp:	Einfamilienhaus 2½-geschossig
Lage:	Südhanglage in Maugwil bei Wil SG, ca. 600 m.ü.M., freistehend, windexponiert
Baujahr:	1979

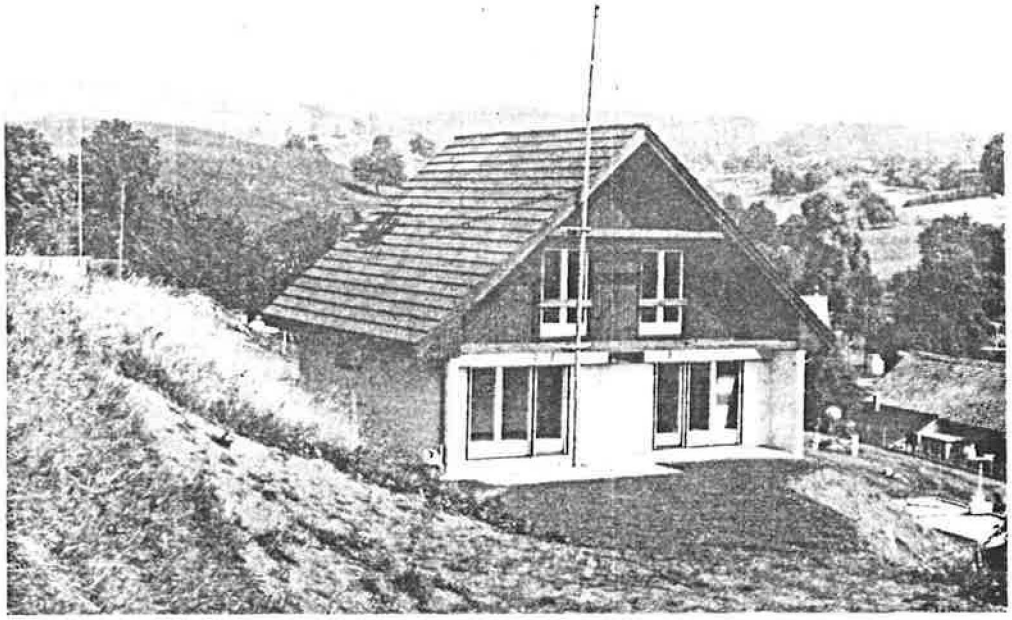


Abb. 1: Westfassade des Messgebäudes

Gebäudedaten:	- Grundfläche	75 m^2
	- Bruttogeschossfläche	215 m^2
	- Gebäudehöhe	10 m
	- beheiztes Gebäudevolumen	440 m^3
	- Oberfläche des beh. Volumens	370 m^2
	- Fensterfläche (Wandöffnungs-Lichtmass)	27 m^2
Konstruktion:	- Kellergeschoss :	Ortsbeton
	- Obergeschosse :	Holz-Ständerkonstruktion mit zusätzlicher Aussenwärmedämmung
	- Fenster:	IV-Holzfenster mit PVC-Dichtungen; (Treppenhausfenster DV ohne Dichtungen).

Wärmetechnische Gebäudedaten:

- mittlerer k-Wert nach SIA 180/1: $k = 0.81\ W/m^2K$
- Heizwärmebedarf nach SIA 384/2: $Q_h = 11.34$ kW
  (Auslegungstemperatur - 11°C)

Heizsystem:

- Oel-Heizkessel für Heizung und Brauchwassererwärmung; installierte Kesselleistung 23.2 kW
- Warmwasser-Verteilsystem; Heizwände und Konvektoren
- inst. Heizkörperleistung bei 90°/70°C 11.2 kW

2.2 Schnittzeichungen und Konstruktionsdetails

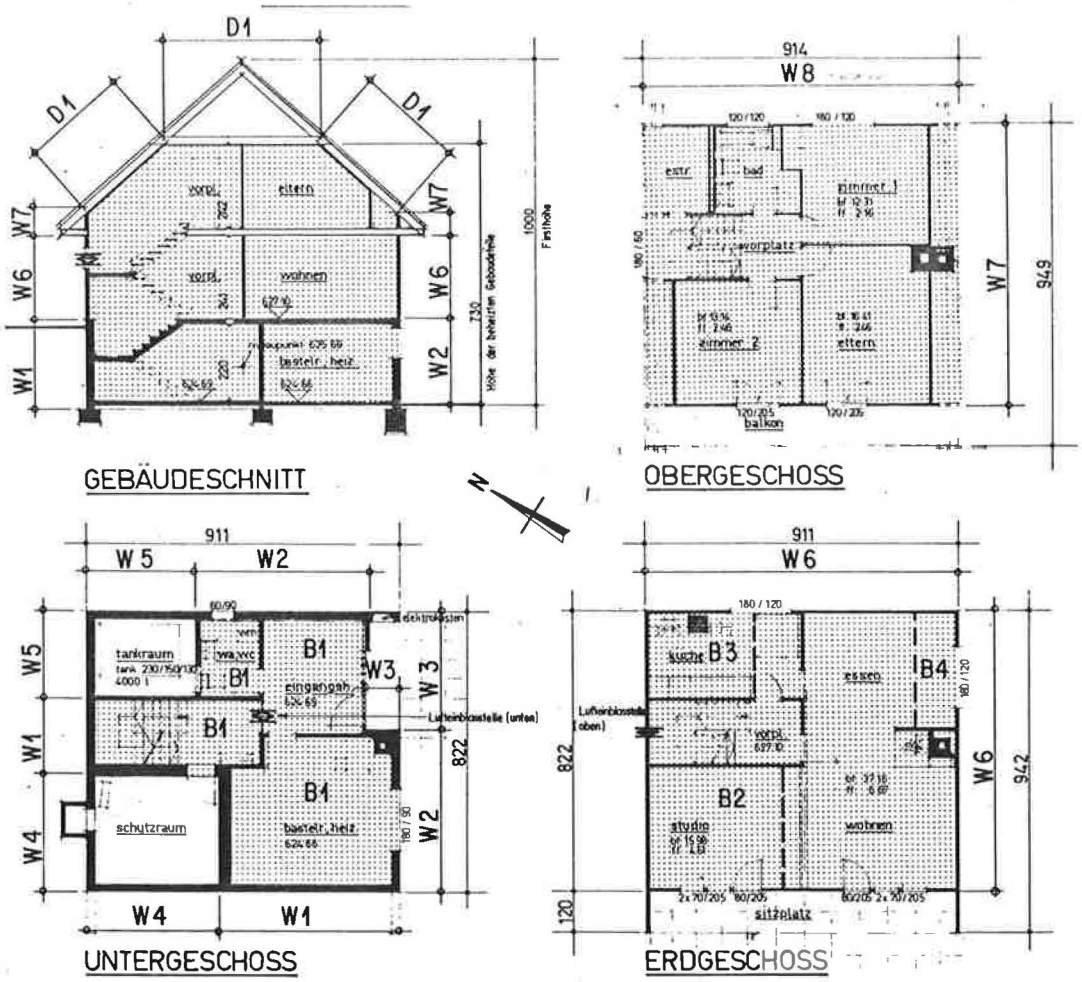


Abb.2 : Geschossgrundrisse und Gebäudeschnitt.

Die schraffierte Fläche gibt den beheizten Gebäudeteil an, d.h. das wärmegedämmte Gebäudevolumen. Die Räume, Eingangshalle, Treppenhaus, Estrich und Kniestockräume wurden nicht aktiv beheizt.
Die Bodenkonstruktionen B(n) und die Wandkonstruktionen W(n) werden in den nachfolgenden Abbildungen detaillierter dargestellt.

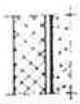
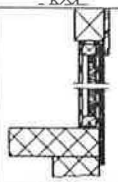
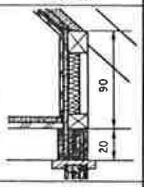
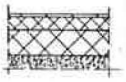
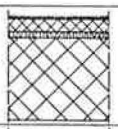
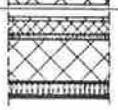
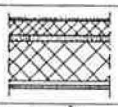
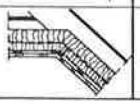
Nr	Aussenfläche	Konstruktion		Fläche [m²]	k - Wert [W/m²K]	Bemerkungen
[illegible]	[illegible]	Beton 25 cm Sickerplatten 5 cm Gerröll, Erde		18,9	3,02	ca. 2,3 m² ohne Sickerplatten und Erdberührung (k = 3,09 W/m² K)
[illegible]	[illegible] (WC und Eingang) [illegible] Südseite	Wärmedämm-Verbundplatte 5 cm Beton 25 cm		23,1	0,61	ca. 5,8 m² erdberührt
[illegible]	Kelleraussenwand	Beton 25 cm		3,17	3,09	
W4	Innenwände Luftschutzkeller	Beton 35 cm		17,3	2,13	
W5	Innenwand Tankraum	KS 12 cm (oben) einseitig verputzt Beton 20 cm (Wanne)		13,7	2,55	
W6	Aussenwände Erdgeschoss	Ständerbau mit Ständern 4x7cm ca alle 50 cm Spanplatte 16 mm Luftspalt 20 mm Glasfasermatte 50 mm Spanplatte 16 mm Polystyrol 20 mm Kunststoffputz 3 mm		65,8	0,45	(an Testelement gemessener k-Wert)
W7	Ausfachung zwischen Balkenlage Geschossdecke und Kniestockwände	Spanplatte 16 mm Polystyrol 30 mm Polystyrol 50 mm (zwischen Balken) Holzausfachung zwischen den Deckenbalken		11,5 7,1	0,62	
W8	Giebelwände	Ständerbau mit Ständern 4 x 7cm ca. alle 50 cm Spanplatte 16 mm Steinwolleplatte 30 mm Weichfaserplatte 15 mm Holzverschalung 20 mm		27,6	0,70	
B1	Kellerboden Eingang, Heizraum, Treppenhaus und WC	Ueberzug oder Platten Beton ca. 10 cm Kiesbett ca. 10 cm		50,9	4,15	
B2	Decke über Luftschutzkeller	Teppich 1,5 cm Ueberzug 5,0 cm Polystyrol 2,0 cm Beton 35,0 cm		13,3	0,80	Heizleitungen in Betondecke verlegt
B3	Decke über Tankraum	Plättli 1,5 cm Ueberzug 5,0 cm Polystyrol 2,0 cm Beton 16 cm Wärmedämm-Verbundplatte 5,0 cm		8,1	0,51	Warmwasserleitungen für Küche im Boden verlegt
B4	Decke über Eingangsnische	Teppich 1,5 cm Ueberzug 5,0 cm Polystyrol 2,0 cm Betondecke 16,0 cm Fastafer 2,0 cm		3,1	0,79	
D1	Doch und oberste Geschossdecke	Polystyrol zwischen Balken 5,0 cm unter Balken 3,0 cm Luftspalt 1,5 cm Fastäfer 1,5 cm		88,8	0,45	

Abb. 3: Konstruktionsdetails

3. Messprogramm

3.1 Kurzbeschreibung

Die durchgeführten Messungen umfassen einerseits die Aufnahme von Gebäudedaten und Betriebsdaten der Heizanlage, anderseits die Erfassung der Innen- und Aussenklimadaten. Während der Heizperiode 79/80 wurden vor allem die Gebäudedaten aufgenommen (k-Werte), Luftdurchlässigkeiten und natürlicher Luftwechsel). Während der zweiten Heizperiode 1980/81 wurden vor allem die Heizungsbetriebsdaten sowie Klimadaten erfasst, und Energiebedarfsberechnungen durchgeführt. Vom September 1980 an bis zum 12. Januar 1981 wurde die Heizung ohne Nachtabsenkung, nachher mit Nachtabsenkung betrieben.

3.2 Messgrössen und Messperioden

Konstruktionskennwerte	
- a-Werte von Fenstern und Aussentüren	Einzelmessungen am Bau im September 79 und im April 81
- k-Werte der Aussenwände und der Fenster	Messung eines Wandelementes und eines Fensters im Labor
- Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle	Einzelmessungen im Mai 1980 umd im Feburar 1981
- natürlicher Luftwechsel im Gebäude	60 Min.-Messwerte während insgesamt 2 Monaten; Nov./Dez.79 und April/Mai 81
Betriebsdaten der Heizanlage	
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	Einzelmessungen im Juni 1979 und April 1981
- Brennerleistung (Oeldurchsatz)	Einzelmessung im April 1981
- Schalthäufigkeit des Brenners	30 Min.-Messwerte während den Heizperioden
- Brennerbetriebszeit	
- Nutzenergie	
Klimadaten	
- Aussen- und Innenlufttemp.	30 Min. Messwerte ganzjährig
- rel. Luftfeuchtigkeit innen aussen	
- Windgeschwindigkeit	integrierte Messwerte über 30 Min. ganzjährig
- Einstrahlung horizontal (global und diffus)	30 Min.-Mittelwerte aus 20 Sek.-Messwerten, ganzjährig.

4. Messresultate

4.1 Konstruktionskennwerte

4.1.1 a-Werte

Die a-Werte der Fenster und Aussentüren lagen bei der Messung vom September 1979 zwischen 0.02 und 0.1 $m^3/h\ m\ Pa^{2/3}$. Ausnahmen bildeten das Treppenhausfenster, wo der Messwert zu diesem Zeitpunkt 0.5 $m^3/h\ m\ Pa^{2/3}$ betrug, sowie die Eingangstüre, deren a-Wert nicht bestimmt werden konnte, da er zu gross war (> 0.9 $m^3/m\ h\ Pa^{2/3}$). Der Mittelwert der anderen Fenster lag bei 0.45 $m^3/h\ m\ Pa^{2/3}$. Im April 1981 wurde der a-Wert des Küchenfensters mit 0.056 und der der Fensters im Elternzimmer mit 0.061 $m^3/h\ m\ Pa^{2/3}$ bestimmt. Diese Werte sind zwar im einzelnen grösser als im September 1979, liegen aber noch innerhalb des Bereiches der Messresultate von damals.

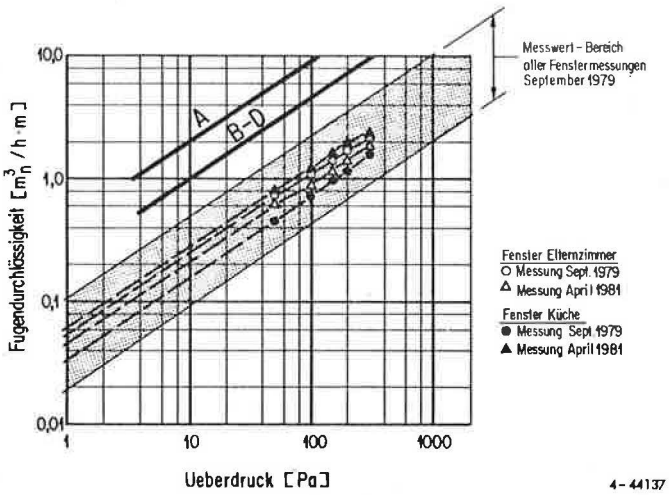


Abb. 4: Luftdurchlässigkeit der Fenster und Aussentüren in Abhängigkeit von der Druckdifferenz.

4.1.2 k-Werte

Die k-Werte der Fenster und Aussenwände wurden an je einem Prüfelement im Labor überprüft. Der k-Wert des Fensters wurde dabei mit 2.44 W/m^2K und derjenige des Wandelementes mit 0.45 W/m^2K bestimmt. Die k-Werte der anderen Einzelbauteile wurden rechnerisch ermittelt (vergl. Abb. 3).

4.1.3 Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

Die Messresultate der Luftdurchlässigkeitsmessung vom 14.5.80 und vom 23.2.81 zeigen eine Verdoppelung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle von der ersten zur zweiten Messung (vergl. Abb. 5). Dieser Unterschied lässt sich mit der Alterung des Gebäudes und der damit verbundenen Austrocknung der Holzkonstruktion, wie auch mit der unterschiedlichen Gleichgewichtsfeuchte im Sommer und im Winter erklären. Beide Effekte traten im Messgebäude verstärkt auf, da dieses unbewohnt war und somit keine Feuchtigkeit an die Raumluft abgegeben wurde.

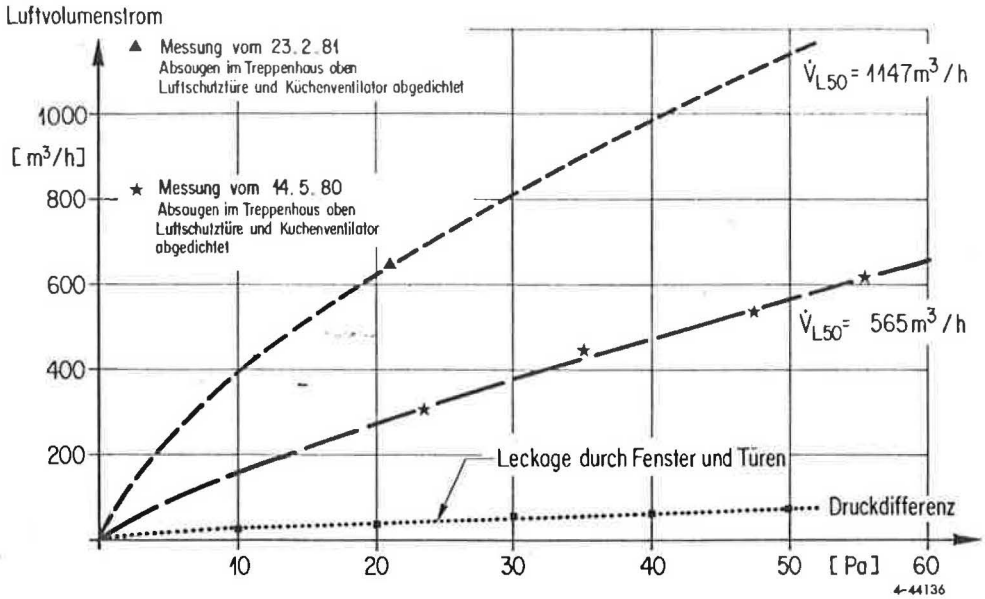


Abb. 5: Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle in Abhängigkeit von der Druckdifferenz.

4.1.4 Natürlicher Luftwechsel im Gebäude

Kontinuierliche Luftwechselmessungen im Gebäude über einen Zeitraum von insgesamt zwei Monaten haben die Abhängigkeit des Luftwechsels von der Windsituation und der Temperaturdifferenz innen/aussen aufgezeigt. Die Messungen bei abgedichtetem Cheminée zeigen, bei vergleichbaren Klimaverhältnissen, einen deutlich geringeren Luftwechsel im Gebäude gegenüber den Messungen bei nicht abgedichtem Cheminée mit "geschlossener" Kaminklappe. Für die Berechnung des Lüftungswärmebedarfes des Gebäudes ergaben sich aus den Messresultaten folgende Ansätze zur Berechnung des Luftwechsels im Gebäude (ohne Benützer).

Gebäude ohne Cheminée:

$$n_L = 0.03 + 0.016 \cdot \Delta\vartheta^{0.8} + 0.0054 \cdot v_W^{1.7} \qquad [h^{-1}]$$

Gebäude mit Cheminée:

$$n_L = -0.1 + 0.05 \cdot \Delta\vartheta^{0.8} + 0.01 \cdot v_W^{1.7} \qquad [h^{-1}]$$

Dabei sind:	n_L	=	natürlicher Luftwechsel im Gebäude	$[h^{-1}]$
	$\Delta\vartheta$	=	Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussenluft	[K]
	v_W	=	Windgeschwindigkeit	[m/s]

Die Abbildung 6 zeigt die gemessenen Luftwechselraten bei Temperaturdifferenzen zwischen 10 und 15 K in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, sowie die rechnerische Approximation.

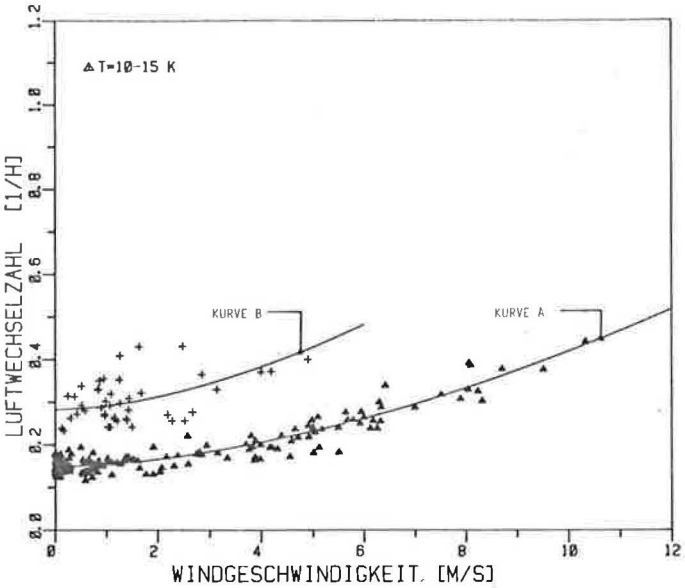


Abb.6: Luftwechselmesswert in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit Bereich der Temperaturdifferenz 10-15 K
Kurve a : Messwerte bei abgedichteten Cheminée
Kurve b : Messwerte bei nicht abgedichtetem Cheminée

4.2 Messresultate der Klimadaten und der Heizungs-Betriebsdaten

In den nachfolgenden Tabellen werden Wochensummen bzw. -mittelwerte der Klimadaten und der Heizsystem-Betriebsdaten aufgeführt. Die Messwerte der Perioden 14 und 18 dürfen für allgemeine Betrachtungen nicht beigezogen werden, da der Heizbetrieb in diesen beiden Wochen gestört war (Ausschaltung bzw. Brennerstörung).

Tabelle 1 <u>Aussenklimadaten</u>

MESSPERIODE				MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)					
	ANFANG	ENDE	DAUER [h]	KLIMADATEN LUFTTEMP. AUSSEN [°C]	REL.LUFTF. AUSSEN [%]	WIND-GESCHWIND. [m/s]	LUFTDRUCK ABSOLUT [mbar]	EINSTRAHLUNG HORIZ. GLOBAL [kWh/m²]	DIFFUS [kWh/m²]
1	13.10.80 0. 0	20.10.80 0. 0	168	6.6	89.6	1.2	933.1	5.6	4.7
2	20.10.80 0. 0	27.10.80 0. 0	168	5.9	90.0	1.4	943.3	14.1	5.8
3	27.10.80 0. 0	29.10.80 13.30	61	8.3	81.1	1.1	950.2	7.7	1.4
4	3.11.80 10.30	10.11.80 0. 0	157	-.0	91.6	2.1	937.7	4.6	3.8
5	10.11.80 0. 0	17.11.80 0. 0	168	.5	89.1	1.3	940.1	6.7	3.9
6	17.11.80 0. 0	24.11.80 0. 0	168	6.8	77.3	1.7	949.6	10.3	4.1
7	24.11.80 0. 0	29.11.80 12.30	132	2.3	89.0	1.7	938.0	5.6	2.7
8	1.12.80 16.30	8.12.80 0. 0	151	-4.2	87.5	3.9	933.2	5.0	3.1
9	8.12.80 0. 0	15.12.80 0. 0	168	-1.4	67.9	1.2	955.4	8.8	5.0
10	15.12.80 0. 0	22.12.80 0. 0	168	.6	93.3	2.0	936.1	3.9	2.7
11	22.12.80 0. 0	29.12.80 0. 0	168	1.4	92.4	2.4	950.0	5.8	3.9
12	29.12.80 0. 0	3. 1.81 13. 0	133	-2.1	89.5	3.5	954.5	4.9	2.9
13	5. 1.81 9.30	12. 1.81 0. 0	158	-4.2	89.3	2.3	948.0	6.5	3.7

MESSPERIODE				MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)					
	ANFANG	ENDE	DAUER [h]	KLIMADATEN LUFTTEMP. AUSSEN [°C]	REL.LUFTF. AUSSEN [%]	WIND-GESCHWIND. [m/s]	LUFTDRUCK ABSOLUT [mbar]	EINSTRAHLUNG HORIZ. GLOBAL [kWh/m²]	DIFFUS [kWh/m²]
14	12. 1.81 0. 0	19. 1.81 0. 0	168	-1.5	98.5	3.8	933.7	8.6	4.2
15	19. 1.81 0. 0	26. 1.81 0. 0	168	-4.9	92.8	.9	948.0	8.0	5.2
16	26. 1.81 0. 0	2. 2.81 0. 0	168	-5.9	92.5	.8	960.3	11.2	5.8
17	2. 2.81 0. 0	9. 2.81 0. 0	168	.8	91.1	2.9	945.4	8.2	5.4
18	9. 2.81 0. 0	16. 2.81 0. 0	168	-2.0	80.8	1.9	944.0	15.3	5.3
19	16. 2.81 0. 0	23. 2.81 0. 0	168	-3.5	78.5	1.7	940.7	13.4	7.4
20	23. 2.81 0. 0	2. 3.81 0. 0	168	-1.7	83.5	1.3	941.2	15.0	8.3
21	2. 3.81 0. 0	9. 3.81 0. 0	168	3.7	87.5	1.4	938.8	13.5	8.2
22	9. 3.81 0. 0	16. 3.81 0. 0	168	8.3	80.2	3.3	938.5	14.2	11.7
23	16. 3.81 0. 0	23. 3.81 0. 0	168	4.1	72.7	1.8	936.4	24.0	4.7
24	23. 3.81 0. 0	30. 3.81 0. 0	168	10.9	69.8	2.9	937.9	27.1	9.5
25	30. 3.81 0. 0	6. 4.81 0. 0	168	9.6	93.1	1.2	939.8	13.4	10.9
26	6. 4.81 0. 0	13. 4.81 0. 0	168	12.3	76.2	1.4	945.7	32.8	14.0

Tabelle 2 Innenklimadaten, Raumlufttemp. der unbeheizten Räume

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE)									
	ANFANG	ENDE	DAUER	RAUMLUFTTEMP. BEHEIZTE RÄUME GEWICHTETE MITTELWERTE			REL. LUFT-FEUCHTIGK. INNEN	RAUMLUFTTEMP. UNBEHEIZTE RÄUME					
				UG	EG	OG		LUFTSCHUTZ-RAUM	TANK-RAUM	ABSTELL-RAUM	KNIESTOCKRÄUME SUEDSEITE	KNIESTOCKRÄUME NORDSEITE	DACHRAUM
			[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	13.10.80 0. 0	20.10.80 0. 0	168	22.7	19.2	18.1	42.1	15.6	14.6	16.1	14.6	16.0	7.4
2	20.10.80 0. 0	27.10.80 0. 0	168	23.5	20.6	19.2	34.4	15.2	14.4	15.7	15.8	17.2	7.8
3	27.10.80 0. 0	29.10.80 13.30	61	24.9	22.2	20.6	31.7	15.5	14.3	16.6	17.6	19.0	9.7
4	3.11.80 10.30	10.11.80 0. 0	157	22.1	18.3	16.4	26.4	12.9	11.4	13.1	12.1	13.2	1.0
5	10.11.80 0. 0	17.11.80 0. 0	168	22.5	20.4	18.5	24.7	12.7	11.9	14.3	14.3	15.8	2.2
6	17.11.80 0. 0	24.11.80 0. 0	168	21.4	21.4	19.7	48.2	13.6	12.4	16.0	16.7	18.4	7.8
7	24.11.80 0. 0	29.11.80 12.30	132	20.9	20.0	18.7	36.0	13.1	11.9	14.7	14.8	16.5	3.8
8	1.12.80 16.30	8.12.80 0. 0	151	20.1	19.1	17.5	21.5	10.1	9.7	12.4	11.9	13.8	-2.3
9	8.12.80 0. 0	15.12.80 0. 0	168	21.2	20.0	19.2	19.4	10.6	10.0	13.2	13.6	15.8	.2
10	15.12.80 0. 0	22.12.80 0. 0	168	22.6	19.8	19.2	25.9	12.6	11.2	14.4	14.3	16.2	2.2
11	22.12.80 0. 0	29.12.80 0. 0	168	23.0	20.2	19.4	33.5	12.7	11.5	14.5	14.9	16.9	2.7
12	29.12.80 0. 0	3. 1.81 13. 0	133	22.2	19.6	18.9	28.5	11.6	10.4	12.9	13.4	15.6	-.6
13	5. 1.81 9.30	12. 1.81 0. 0	158	21.4	19.7	18.9	19.8	10.7	10.1	12.6	13.1	15.5	-1.7

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE)									
	ANFANG	ENDE	DAUER	RAUMLUFTTEMP. BEHEIZTE RÄUME GEWICHTETE MITTELWERTE			REL. LUFT-FEUCHTIGK. INNEN	RAUMLUFTTEMP. UNBEHEIZTE RÄUME					
				UG	EG	OG		LUFTSCHUTZ-RAUM	TANK-RAUM	ABSTELL-RAUM	KNIESTOCKRÄUME SUEDSEITE	KNIESTOCKRÄUME NORDSEITE	DACHRAUM
			[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
14	12. 1.81 0. 0	19. 1.81 0. 0	168	20.8	18.6	17.8	30.4	10.6	9.6	12.2	12.4	14.2	.1
15	19. 1.81 0. 0	26. 1.81 0. 0	168	21.0	19.6	18.0	32.8	9.9	9.4	12.4	12.7	14.4	-1.9
16	26. 1.81 0. 0	2. 2.81 0. 0	168	20.6	20.0	18.2	20.2	9.6	9.0	12.3	12.8	14.5	-2.3
17	2. 2.81 0. 0	9. 2.81 0. 0	168	21.5	20.0	18.6	23.9	10.4	9.4	13.7	13.8	16.1	2.2
18	9. 2.81 0. 0	16. 2.81 0. 0	168	18.7	17.2	15.4	38.4	10.2	9.0	11.2	11.6	12.8	-.1
19	16. 2.81 0. 0	23. 2.81 0. 0	168	21.0	19.7	18.2	20.6	10.2	8.6	12.9	13.1	14.8	-.9
20	23. 2.81 0. 0	2. 3.81 0. 0	168	20.6	19.8	18.2	21.2	10.2	9.1	12.8	13.2	14.5	.4
21	2. 3.81 0. 0	9. 3.81 0. 0	168	21.1	20.2	18.9	27.0	11.5	10.6	14.7	14.7	16.3	4.9
22	9. 3.81 0. 0	16. 3.81 0. 0	168	22.7	20.7	19.5	50.1	13.5	12.5	16.3	16.3	17.8	8.7
23	16. 3.81 0. 0	23. 3.81 0. 0	168	22.9	20.8	19.2	28.6	12.8	12.1	15.0	15.1	16.7	5.4
24	23. 3.81 0. 0	30. 3.81 0. 0	168	23.3	21.8	20.4	33.8	14.6	13.6	17.5	17.9	19.3	12.3
25	30. 3.81 0. 0	6. 4.81 0. 0	168	23.2	21.2	20.1	44.1	15.3	14.3	17.5	17.5	19.0	11.7
26	6. 4.81 0. 0	13. 4.81 0. 0	168	23.8	22.5	21.3	40.0	15.9	15.2	18.9	19.1	20.5	15.8

Tabelle 3 Heizsystem-Betriebsdaten

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)							BERECHNETE WERTE		
	ANFANG	ENDE	DAUER	KLIMADATEN			BETRIEBSDATEN D. HEIZSYSTEMS						
				AUSSEN-LUFTTEMP.	WIND-GESCHWIND.	EINSTRAHL. GLOB. HOR.	OELBRENNER BETRIEBS-ZEIT		SCHALT-HAUFIGKEIT	NUTZENERG. AUS HEIZK.	HEIZOEL-VERBRAUCH	ENDENERGIE HEIZOEL	KESSEL-WIRKUNGS-GRAD
			[h]	[°C]	[m/s]	[kWh/m²]	[h]	[%]	[h⁻¹]	[kWh]	[kg]	[kWh]	[%]
1	13.10.80 0. 0	20.10.80 0. 0	168	6.6	1.2	5.6	20.4	12.1	3.0	467.7	48.3	577.3	81.0
2	20.10.80 0. 0	27.10.80 0. 0	168	5.9	1.4	14.1	22.3	13.3	3.5	494.5	52.8	630.8	78.4
3	27.10.80 0. 0	29.10.80 13.30	61	8.3	1.1	7.7	6.9	11.3	3.0	148.7	16.3	194.8	76.3
4	3.11.80 10.30	10.11.80 0. 0	157	-.0	2.1	4.6	32.2	20.5	5.5	715.6	76.3	911.7	78.5
5	10.11.80 0. 0	17.11.80 0. 0	168	.5	1.3	6.7	35.8	21.3	5.9	784.3	84.8	1013.1	77.4
6	17.11.80 0. 0	24.11.80 0. 0	168	6.8	1.7	10.3	24.4	14.6	3.6	509.8	57.9	692.0	73.7
7	24.11.80 0. 0	29.11.80 12.30	132	2.3	1.7	5.6	22.9	17.4	4.7	502.4	54.3	648.7	77.4
8	1.12.80 16.30	8.12.80 0. 0	151	-4.2	3.9	5.0	39.4	26.1	7.1	678.9	93.5	1116.7	78.0
9	8.12.80 0. 0	15.12.80 0. 0	168	-1.4	1.2	8.8	41.6	24.8	6.8	900.8	98.7	1178.6	76.4
10	15.12.80 0. 0	22.12.80 0. 0	168	.6	2.0	3.9	38.1	22.7	6.4	835.8	90.2	1077.8	77.6
11	22.12.80 0. 0	29.12.80 0. 0	168	1.4	2.4	5.8	34.6	20.6	5.6	746.0	81.9	978.8	76.2
12	29.12.80 0. 0	3. 1.81 13. 0	133	-2.1	3.5	4.9	32.8	24.7	6.8	710.4	77.7	928.2	76.5
13	5. 1.81 9.30	12. 1.81 0. 0	158	-4.2	2.3	6.5	40.8	25.8	7.1	884.3	96.7	1155.3	76.5

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)							BERECHNETE WERTE		
	ANFANG	ENDE	DAUER	KLIMADATEN			BETRIEBSDATEN D. HEIZSYSTEMS						
				AUSSEN-LUFTTEMP.	WIND-GESCHWIND.	EINSTRAHL. GLOB. HOR.	OELBRENNER BETRIEBS-ZEIT		SCHALT-HAUFIGKEIT	NUTZENERG. AUS HEIZK.	HEIZOEL-VERBRAUCH	ENDENERGIE HEIZOEL	KESSEL-WIRKUNGS-GRAD
			[h]	[°C]	[m/s]	[kWh/m²]	[h]	[%]	[h⁻¹]	[kWh]	[kg]	[kWh]	[%]
14	12. 1.81 0. 0	19. 1.81 0. 0	168	-1.5	3.8	8.6	33.4	19.9	5.2	730.9	79.2	946.2	77.2
15	19. 1.81 0. 0	26. 1.81 0. 0	168	-4.9	.9	8.0	41.0	24.4	6.6	895.9	97.1	1160.4	77.2
16	26. 1.81 0. 0	2. 2.81 0. 0	168	-5.9	.8	11.2	41.3	24.6	6.6	892.8	97.8	1167.9	76.4
17	2. 2.81 0. 0	9. 2.81 0. 0	168	.8	2.9	8.2	35.5	21.1	5.7	768.0	84.2	1005.6	76.4
18	9. 2.81 0. 0	16. 2.81 0. 0	168	-2.0	1.9	15.3	26.1	15.6	4.2	580.9	62.0	740.2	78.5
19	16. 2.81 0. 0	23. 2.81 0. 0	168	-3.5	1.7	13.4	40.6	24.2	6.7	865.4	96.3	1150.6	75.2
20	23. 2.81 0. 0	2. 3.81 0. 0	168	-1.7	1.3	15.0	38.6	22.9	6.3	826.3	91.4	1091.3	75.7
21	2. 3.81 0. 0	9. 3.81 0. 0	168	3.7	1.4	13.5	30.7	18.3	4.8	655.2	72.7	868.8	75.4
22	9. 3.81 0. 0	16. 3.81 0. 0	168	8.3	3.3	14.2	23.9	14.2	3.7	506.8	56.7	677.1	74.8
23	16. 3.81 0. 0	23. 3.81 0. 0	168	4.1	1.8	24.0	27.6	16.4	4.4	582.9	65.4	781.2	74.6
24	23. 3.81 0. 0	30. 3.81 0. 0	168	10.9	2.9	27.1	16.9	10.0	2.6	347.5	40.0	477.5	72.8
25	30. 3.81 0. 0	6. 4.81 0. 0	168	9.6	1.2	13.4	16.8	11.2	2.8	389.9	44.5	531.9	73.3
26	6. 4.81 0. 0	13. 4.81 0. 0	168	12.3	1.4	32.8	12.8	7.6	1.9	249.7	30.4	362.5	68.9

5. Auswertungen

5.1. Energiebedarfsberechnungen

Mit den alle 30 Min. gemessenen Innen- und Aussenlufttemperaturen, den berechneten k-Werten für die Aussenbauteile und den entsprechenden Flächen wurde durch Aufsummieren der Bruttoenergiebedarf der beiden Obergeschosse für Auswerteperioden von 7 Tagen bestimmt. Infolge mangelnder Regelbarkeit des Heizsystems oder grosser, nicht nutzbarer Einstrahlungsgewinne traten Raumlufttemperaturen über 21°C auf. Die damit verbundenen grösseren Transmissions- und Lüftungsenergieverluste wurden in der Energiebedarfsberechnung nicht berücksichtigt, indem alle Messwerte der Raumlufttemperaturen über 21°C durch Werte von 21°C ersetzt wurden. Diese Methode zur Bestimmung des Bruttoenergiebedarfes ist zulässig, falls die Auswerteperioden genügend lang gewählt werden, und die klimatischen Verhältnisse von Periode zu Periode nicht wesentlich ändern. Die Periodenlänge von 7 Tagen (ca. 5 mal die Zeitkonstante von 30 h) erwies sich für das Messgebäude als minimal, um den Berechnungsfehler infolge nicht Berücksichtigung der Speicherwärme des Gebäudes kleiner als 5 % zu halten.

5.2 Energie-Bedarfsdeckung

Die vom Heizsystem den beiden Obergeschossen zugeführte Energie wurde gemessen. Die Differenz zwischen dem Bruttoenergiebedarf und der zugeführten Heizwärme ist gleich der nutzbaren freien Wärme (Sonneneinstrahlung, heizwirksamer Stromverbrauch, Wärmeabgabe durch die Bewohner).

Tabelle 4 Energiebedarf und Bedarfsdeckung

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)				BERECHNETE WERTE					
	ANFANG	ENDE	DAUER	KLIMADATEN AUSSEN-LUFTTEMP.	WIND-GESCHWIND.	EINSTRAHL. GLOB.HOR.	INNEN-LUFTTEMP.	HEIZENERGIEBEDARF OBERGESCHOSSE TRANSM.	LÜFTUNG	NUTZENERG-BEZUG OBERGESCH.	EINSTRAHLUNG INS GEBÄUDE TOTAL	NUTZBAR	AUSNUTZ.-GRAD
			[h]	[°C]	[m/s]	[kWh/m²]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
1	13.10.80 0. 0	20.10.80 0. 0	168	6.6	1.2	5.6	18.7	360.6	82.2	380.1	63.9	62.8	98.2
2	20.10.80 0. 0	27.10.80 0. 0	168	5.9	1.4	14.1	20.1	417.5	105.2	407.3	175.6	115.4	65.7
3	27.10.80 0. 0	29.10.80 13.30	61	8.3	1.1	7.7	21.5	134.0	31.8	122.0	92.7	43.8	47.2
4	3.11.80 10.30	10.11.80 0. 0	157	-.0	2.1	4.6	17.6	492.4	152.8	604.1	58.1	41.2	82.2
5	10.11.80 0. 0	17.11.80 0. 0	168	.5	1.3	6.7	19.7	571.7	182.5	672.2	96.9	82.0	84.6
6	17.11.80 0. 0	24.11.80 0. 0	168	6.8	1.7	10.3	20.7	400.4	102.7	418.3	159.0	92.9	58.4
7	24.11.80 0. 0	29.11.80 12.30	132	2.3	1.7	5.6	19.5	405.5	119.2	423.3	98.7	101.4	111.8
8	1.12.80 16.30	8.12.80 0. 0	151	-4.2	3.9	5.0	18.5	615.2	251.6	761.9	91.9	104.8	114.1
9	8.12.80 0. 0	15.12.80 0. 0	168	-1.4	1.2	8.8	19.7	634.0	215.4	783.7	168.0	65.7	39.1
10	15.12.80 0. 0	22.12.80 0. 0	168	.6	2.0	3.9	19.7	572.7	184.2	713.3	55.7	43.6	78.3
11	22.12.80 0. 0	29.12.80 0. 0	168	1.4	2.4	5.8	20.0	558.5	179.7	635.1	95.5	103.2	108.0
12	29.12.80 0. 0	3. 1.81 13. 0	133	-2.1	3.5	4.9	19.4	511.1	199.5	616.9	88.0	93.6	106.4
13	5. 1.81 9.30	12. 1.81 0. 0	158	-4.2	2.3	6.5	19.4	669.1	256.4	779.2	119.8	144.3	122.1

	MESSPERIODE			MESSWERTE (MITTELWERTE BEZW. SUMMEN)				BERECHNETE WERTE					
	ANFANG	ENDE	DAUER	KLIMADATEN AUSSEN-LUFTTEMP.	WIND-GESCHWIND.	EINSTRAHL. GLOB.HOR.	INNEN-LUFTTEMP.	HEIZENERGIEBEDARF OBERGESCHOSSE TRANSM.	LÜFTUNG	NUTZENERG-BEZUG OBERGESCH.	EINSTRAHLUNG INS GEBÄUDE TOTAL	NUTZBAR	AUSNUTZ.-GRAD
			[h]	[°C]	[m/s]	[kWh/m²]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
14	12. 1.81 0. 0	19. 1.81 0. 0	168	-1.5	3.8	8.6	18.0	586.5	216.4	626.9	162.2	175.9	108.5
15	19. 1.81 0. 0	26. 1.81 0. 0	168	-4.9	.9	8.0	19.0	720.6	268.1	792.1	148.2	196.6	132.7
16	26. 1.81 0. 0	2. 2.81 0. 0	168	-5.9	.8	11.2	19.3	757.3	282.2	796.1	205.8	243.4	118.3
17	2. 2.81 0. 0	9. 2.81 0. 0	168	.8	2.9	8.2	19.5	565.3	188.1	653.3	126.9	100.0	78.8
18	9. 2.81 0. 0	16. 2.81 0. 0	168	-2.0	1.9	15.3	16.5	553.3	182.0	505.4	206.1	229.9	111.5
19	16. 2.81 0. 0	23. 2.81 0. 0	168	-3.5	1.7	13.4	19.2	683.7	243.9	757.2	198.5	178.3	85.8
20	23. 2.81 0. 0	2. 3.81 0. 0	168	-1.7	1.3	15.0	19.2	630.2	207.8	714.6	216.8	123.4	56.9
21	2. 3.81 0. 0	9. 3.81 0. 0	168	3.7	1.4	13.5	19.7	484.8	131.5	547.2	151.5	69.1	45.6
22	9. 3.81 0. 0	16. 3.81 0. 0	168	8.3	3.3	14.2	20.2	356.6	92.4	410.9	146.1	40.1	27.4
23	16. 3.81 0. 0	23. 3.81 0. 0	168	4.1	1.8	24.0	20.2	478.8	135.7	489.0	267.6	125.6	46.9
24	23. 3.81 0. 0	30. 3.81 0. 0	168	10.9	2.9	27.1	21.3	297.1	69.8	278.6	275.9	88.2	32.0
25	30. 3.81 0. 0	6. 4.81 0. 0	168	9.6	1.2	13.4	20.8	330.3	68.0	313.8	133.9	84.5	63.1
26	6. 4.81 0. 0	13. 4.81 0. 0	168	12.3	1.4	32.8	22.1	265.2	53.6	199.7	303.6	119.1	39.2

5.3 Einfluss der Nachtabsenkung auf den Heizenergiebedarf

Während der 2. Hälfte der Heizsaison 1980/81 wurde die Heizung mit Nachtabsenkung betrieben. Die Heizungsvorlauftemperatur wurde dabei abends 22.00 Uhr bis morgens 6.00 Uhr um 25°C gegenüber dem Sollwert gesenkt. Sie Sollwerkurve wurde so eingestellt, dass die notwendige Heizleistung gerade noch erbracht werden konnte. Das heisst, bei geringer Sonneneinstrahlung blieben die Heizkörperthermostatventile immer offen. In der Abbildung 7 sind die mittleren wöchentlichen Heizleistungen des Heizkessels in Abhängigkeit von der Aussenluft dargestellt. Das Diagramm zeigt bei Aussenlufttemperaturen unter + 5°C deutlich geringere Werte beim Betrieb mit Nachtabsenkung (Kurve a) gegenüber dem Betrieb ohne Nachtabsenkung (Kurve b). Die gegenüber den Erwartungen eher grösseren Werte bei Aussenlufttemperaturen über + 5°C lassen sich zum Teil mit dem veränderten Regelverhalten der Heizkörperthermostatventile bei niederigen Vorlauftemperaturen erklären (Schliesspunkt 21°C anstelle 20°C).
Zum anderen Teil kann angenommen werden, dass gegen Ende der Heizsaison die Luftwechselraten im Gebäude infolge Austrocknen der Holzkonstruktion grösser sind als am Anfang (verg. Kap. 4.1.3), was zu grösserem spezifischen Heizenergiebedarf führt.

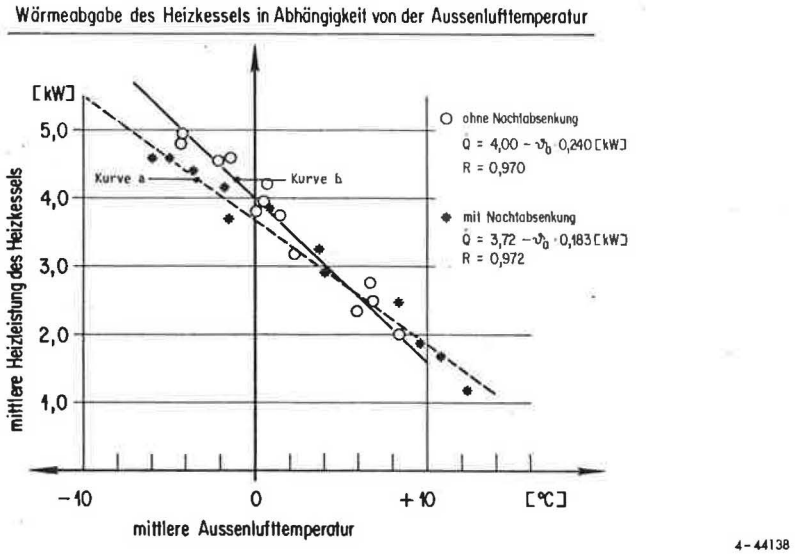


Abb. 7: Wöchentliche mittlere Heizleistung in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur (Heizbetrieb mit und ohne Nachtabsenkung)

5.4 Kesselwirkungsgrad

Aus dem Verhältnis der gemessenen Nutzenergie und der durch die Brennerbetriebszeit und die Brennerleistung bestimmten Endenergie ergibt sich der Kesselwirkungsgrad. Die berechneten Wochenmittelwerte des Kesselwirkungsgrades sind in der Abbildung 8 in Abhängigkeit von der Brennerauslastung dargestellt. Das Diagramm zeigt weiter den mit nachstehender Formel berechnete theoretische Kurvenverlauf. Der Berechnung zugrunde liegen ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad von 88 % (gemessen), die Annahmen für die Strahlungsverluste bei Brennerbetrieb q_v von 1000 W oder 3.53 % der Brennerleistung und für die Standverluste q_s von 500 W oder 1.77 % der Brennerleistung (Endenergie). Letztere erwiesen sich allerdings als sehr unterschiedlich und vom Aussenklima abhängig.

Theoretischer Verlauf des Kesselwirkungsgrades in Abhängigkeit der Brennerauslastung:

$$\eta_K = \frac{\alpha\,(\eta_f - q_v) - q_s\,(1 - \alpha)}{\alpha}$$

Dabei bedeuten:

η_K = Kesselwirkungsgrad [%]

α = Brennerauslastung [%] (Brennerbetriebszeit/Kesselbetriebszeit) · 100

q_v = Strahlungsverlust des Heizkessels während der Brennerbetriebszeit in % der Brennerleistung

q_s = Standverluste des Heizkessels (Strahlungsverluste und innere Auskühlung während des Brennerstillstandszeit) in % der Brennerleistung

Davon abgeleitet werden:

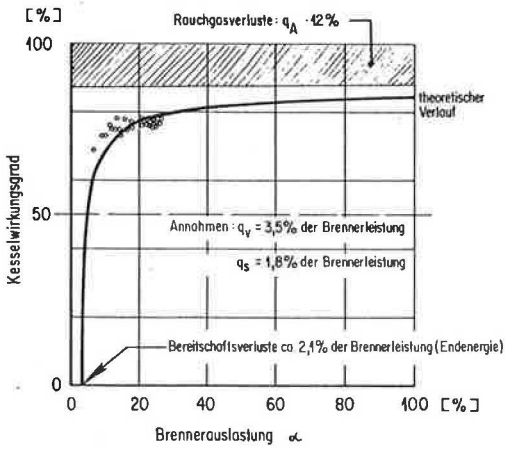
- Die Bereitschaftsverluste q_b bei $\eta_K = 0$:

  $q_b = \alpha \cdot$ Brennerleistung/100

  Brennerleistung = 28,31 kW

  $$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{\eta_f - q_v}{q_s} \rightarrow \alpha = 2.05\ \% \qquad q_b = 580\ W$$

- Der Kesselwirkungsgrad bei $\alpha = 1$: $\eta_F - q_v = 84.5\ \%$



4-44139

Abb. 8: Kesselwirkungsgrad in Abhängigkeit von der Brennerauslastung

5.5 Ausnutzungsgrad der freien Wärme

Die Möglichkeit, freie Wärme (Einstrahlung, Abwärme aus elektrischen Apparaten und Wärmeabgabe durch den Bewohner) zu nutzen, hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab. So spielen unter anderem die Wärmekapazität des Gebäudes, das Heizungs- und Heizungsregelsystem, wie auch das Angebot freier Wärme eine Rolle. Die Ausnutzbarkeit hängt vor allem auch vom Verhältnis zwischen freier Wärme und Bruttoenergiebedarf (Q_f/Q_b) ab.
Die Abbildung 9 zeigt die für das Messgebäude berechneten Ausnutzungsgrade in Abhängigkeit von Q_f/Q_b. Die grosse Streuung der berechneten Werte wird durch Messfehler der Temperatur, der Einstrahlung und der Nutzenergie sowie durch Berechnungsfehler bei den Einstrahlungsgewinnen und dem Bruttoenergiebedarf hervorgerufen. Für die genauere Erfassung des Ausnutzungsgrades sind noch vertieftere Untersuchungen an einem einfacher konzipierten Messobjekt notwendig.

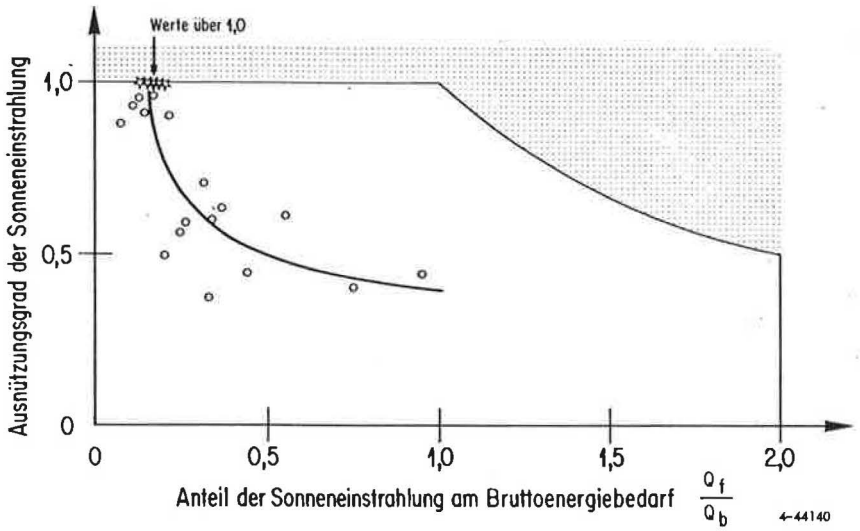


Abb. 9: Ausnutzungsgrad der freien Wärme in Abhängigkeit von Q_f/Q_b.

6. Literaturhinweise

[1] EMPA-Bericht Nr. 39400c, Luftwechsel in Wohnbauten, Langzeituntersuchungen betreffend Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses (Bericht IIIc), Dübendorf, April 1981.

[2] I. Marcus, N. Hopkirk: Comparaison du calcul des besoins d'énergie par le programme DOE-2 avec des mesures sur des bâtiments réels; 2. Schweiz. Status-Seminar, Wärmeschutz-Forschung im Hochbau, Oktober 1982.

[3] T. Baumgartner et.al.: Benützereinfluss auf den Energieverbrauch von 60 gleichartigen Einfamilienhäuser; 2. Schweiz. Status-Seminar, Wärmeschutzforschung im Hochbau, Oktober 1982.