MFH - Rechnung Tabellen

1. Gebäudedaten

Mehrfamilienhaus in Wolfenbüttel. 1974 errichtet. 1994 Ersatz des vorher installierten Konstanttemperaturkessel durch einen Niedertemperaturkessel. Keine weiteren Sanierungsmaßnahmen bis 2002. 12 Wohneinheiten mit einer Größe von je 91,5 m². Im Schnitt von je 3 Personen je Wohneinheit.

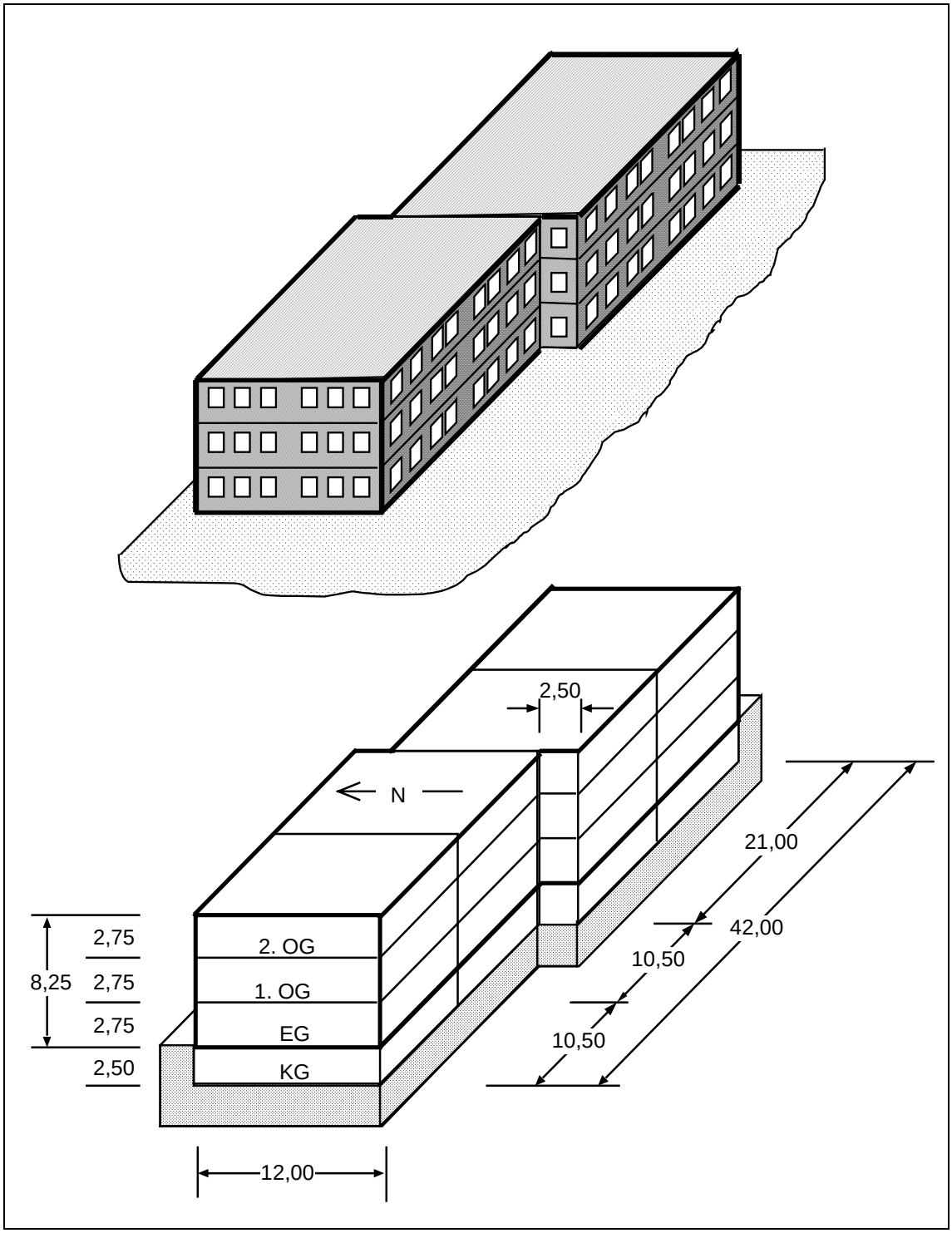

Bild 1.1 Mehrfamilienhaus

2. Bedarfsberechnung mit Gesamtbilanz

Allgemeine Daten

Nutzungstyp:	MFH	Baualtersklasse:	vor 77
Bauweise:	mittelschwer	Sonstiges:	Baujahr 1974

Flächen und Kompaktheit

A_{EB}	=	1098 m²	A_H	=	1940 m²
h	=	2,5 m	A_{Fe}	=	199,9 m²

Kompaktheit:

A_H		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Fensterflächenanteil:

A_{FE}		A_H		A_{FE}/A_H
199,9 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Heizzeit, Temperaturen

ϑ_{HG}	=	17 °C	ϑ_{am}	=	6,3 °C	t_Y	=	365 d/a = 8760 h/a

ϑ_i		f_{ABS}		f_{REG}		ϑ_{im}				
20 °C	×	0,97	×	1,03	=	20 °C	t_{HP}	=	295 d/a	= 7080 h/a

Spezifischer Verteilverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BW}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,055 m/m²	×	8,6 W/m	×	1,0	=	0,473 W/m²	=	0,473 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	3,4 W/m	×	1,0	=	0,619 W/m²	=	0,619 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ1=	1,092 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,109 m/m²	×	18,9 W/m	×	1,0	=	2,060 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ2=	3,152 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:

Σ2		t_Y			$q_{d,W}$
3,152 W/m²	×	8760 h/a	×	0,001=	28 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Verteilung:

Σ1		t_{HP}			$q_{WG,d}$
1,092 W/m²	×	7080 h/a	×	0,001 =	8 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BW}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
							↓	Σ3=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	0,911 l/m²	×	0,26 W/l	×	1,0	=	0,237 W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ4=	0,237 W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:

Σ4		t_Y			$q_{s,W}$
0,237 W/m²	×	8760 h/a	×	0,001 =	2 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Speicherung:

Σ3		t_{HP}			$q_{WG,s}$
0 W/m²	×	7080 h/a	×	0,001 =	0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Trinkwarmwasserbereitung

	a		$e_{g,W}$		$a \cdot e_{gW}$		f_P		$a \cdot e_{gW}\, f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,12	=	1,12	×	1,07	=	1,20
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ5	=	1,12		Σ6	=	1,20

Spezifische Endenergie Wärme der Trinkwarmwasserbereitung

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ5		q_W
(	18 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,12	=	54 kWh/(m²a)

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ6		$q_{W,P}$
(	18 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,20	=	58 kWh/(m²a)

Spezifischer Verteilverlust der Heizung und Lüftung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BH}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,228 m/m²	×	13,9 W/m	×	1,0	=	3,169 W/m²	=	3,169 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	13,9 W/m	×	0,5	=	1,265 W/m²	=	1,265 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ7=	4,434 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,228 m/m²	×	5,9 W/m	×	1,0	=	1,345 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ8=	5,779 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:

Σ8		t_{HP}		$q_{d,H}$
5,78W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =	41 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Verteilung:

Σ7		t_{HP}	=	$q_{HG,d}$
4,43 W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =	31 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust der Heizung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BH}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
						↓		Σ9=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ10=	W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:

Σ10		t_{HP}		$q_{s,H}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Speicherung:

Σ9		t_{HP}	=	$q_{HG,s}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Heizung und Lüftung

	a		e_{gH}		$a \cdot e_{gH}$		f_P		$a \cdot e_{gH} \cdot f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,08	=	1,08	×	1,07	=	1,16
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ11	=	1,08		Σ12	=	1,16

Spezifische Wärmeverluste der Transmission

	U		A		f_{MIN}		
Wand	1,30 W/(m²K)	×	732 m²	×	1,0	=	951,6 W/K
Kellerdecke/ Bodenplatte	0,70 W/(m²K)	×	504 m²	×	0,5	=	176,4 W/K
Fenster	2,55 W/(m²K)	×	200 m²	×	1,0	=	510,0 W/K
Dach/Decke	0,90 W/(m²K)	×	504 m²	×	1,0	=	453,6 W/K
		Σ13 =	1940 m²		Σ14 =		2092 W/K

mittlerer U-Wert:

Σ14		Σ13		U_m
2092 W/K	÷	1940 m²	=	1,08 W/(m²K)

Kompaktheit:

Σ13		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Wärmeverlust durch Transmission:

U_m		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	A_H/A_{EB}	×	t_{HP}	×		=	q_T
1,08 W/(m²K)	× (	20 °C	-	6,3 °C	) ×	1,767	×	7080 h/a	×	0,001	=	185 kWh/(m²a)

Spezifische Wärmeverluste der Lüftung

n_{nat}		n_{Anl}		n_{Rest}				Δn		n
0,61/h	ODER (	1/h	+	1/h	) =	0,6 1/h	+	0,3 1/h	=	0,9 1/h

Wärmeverlust durch Lüftung:

h		$\rho \cdot c_P$		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	n	×	t_{HP}		q_V
2,5 m	×	0,34	× (	20 °C	-	6,3 °C	) ×	0,9 1/h	×	7080 h/a	× 0,001 =	74 kWh/(m²a)

Spezifischer solarer Fremdwärmeanfall

	G		g		A		r		
Süd	560 kWh/(m²a)	×	0,76	×	48 · 1,68 m²	×	0,36	=	12355 kWh/a
Ost	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Nord	210 kWh/(m²a)	×	0,76	×	36 · 1,68 m²	×	0,36	=	3475 kWh/a
West	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Dach	0 kWh/(m²a)	×	0	×	0 m²	×	0	=	0 kWh/a
			Σ15	=	200 m²		Σ16	=	21862 kWh/a

Σ16		Σ15		$G_m\, g_m\, r_m$
218621 kWh/a	÷	200 m²	=	109,3 kWh/m²a

ODER:

G_m		g_m		r_m		$G_m\, g_m\, r_m$
kWh/(m²a)	×		×		=	kWh/m²a

Fensterflächenanteil:

Σ15		A_H		A_{Fe}/A_H
200 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Solarer Fremdwärmeanfall:

$G_m \cdot g_m \cdot r_m$		A_{Fe}/A_H		A_H/A_{EB}		q_S
109,3 kWh/(m²a)	×	0,103	×	1,767	=	20 kWh/(m²a)

Spezifischer innerer Fremdwärmeanfall

Trinkwarmwasserbereitung			Heizung und Lüftung				Σ17
$q_{WG,d}$		$q_{WG,s}$	$q_{HG,d}$		$q_{HG,s}$		
8 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	31 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	=	39 kWh/(m²a)

Innerer Fremdwärmeanfall:

Σ17		$\dot{q}_i$		t_{HP}			q_I
39 kWh/(m²a)	+	3,2 W/m²	×	7080 h/a	×	0,001	=	62 kWh/(m²a)

Fremdwärmenutzungsgrad

	q_I		q_S			q_T		q_V			γ
(	62 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	) ÷ (		185 kWh/(m²a)	+	74 kWh/(m²a)	)	=	0,317

Fremdwärmenutzungsgrad:

f_η						γ			η
0,90	× (	1,0	-	0,2	×	0,317	)	=	0,843

Spezifische Nutzenergie der Heizung und Lüftung

	q_T		q_V		η		q_I		q_S			q_h
(	185 kWh/(m²a)	+	74 kWh/(m²a)	-	0,843	× (	62 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	)	+	190 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie Wärme der Heizung und Lüftung

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$			Σ11		q_H
(	190 kWh/(m²a)	+	41 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	)	×	1,08	=	249 kWh/(m²a)

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$			Σ12		$q_{H,P}$
(	190 kWh/(m²a)	+	41 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	)	×	1,16	=	267 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Wärmeenergien

q_H		q_W		q
249 kWh/(m²a)	+	54 kWh/(m²a)	=	303 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Hilfsenergien

		$\dot{q}_{El}$		t_{El}				a		q_{El}
Trinkwarm-wasser-bereitung	Zirkulation	0,09 W/m²	×	8000 h/a	×	0,001			=	0,720 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	0,09 W/m²	×	500 h/a	×	0,001			=	0,045 kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,20 W/m²	×	350 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,070 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
Heizung und Lüftung	Umwälzpumpe	0,30 W/m²	×	6000 h/a	×	0,001			=	1,800 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,05 W/m²	×	3500 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,175 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Ventilator	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Endenergie der Hilfsenergien:							q_{El}	=	3 kWh/(m²a)
	Primärenergien der Hilfsenergien:					q_{El}	×	$f_{P,El}$	=	$q_{El,P}$
						3 kWh/(m²a)	×	3,0	=	9 kWh/(m²a)

Spezifische Primärenergie

$q_{H,P}$		$q_{W,P}$		$q_{El,P}$		q_P
267 kWh/(m²a)	+	58 kWh/(m²a)	+	9 kWh/(m²a)	=	334 kWh/(m²a)

Tabelle 2.1 MFH Energiebedarf bilanziert mit Gesamtenergiebilanz

3. Verbrauchsberechnung Jahr 2000

Bauweise:	mittelschwer	Sonstiges:	Baujahr 1974

Flächen und Kompaktheit

A_{EB}	=	1098 m²	A_H	=	1940 m²
h	=	2,5 m	A_{Fe}	=	199,9 m²

Kompaktheit:

A_H		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Fensterflächenanteil:

A_{FE}		A_H		A_{FE}/A_H
199,9 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Heizzeit, Temperaturen

ϑ_{HG}	=	17 °C	ϑ_{am}	=	6,9 °C	t_Y	=	365 d/a = 8760 h/a

ϑ_i		f_{ABS}		f_{REG}		ϑ_{im}				
21,0 °C	×	0,97	×	1,03	=	21 °C	t_{HP}	=	284 d/a	= 6816 h/a

Spezifischer Verteilverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BW}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,055 m/m²	×	8,6 W/m	×	1,0	=	0,473 W/m²	=	0,473 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	3,4 W/m	×	1,0	=	0,619 W/m²	=	0,619 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ1=	1,092 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,109 m/m²	×	18,9 W/m	×	1,0	=	2,060 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ2=	3,152 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:						Fremdwärmeanfall aus Verteilung:				
Σ2		t_Y			$q_{d,W}$	Σ1		t_{HP}		$q_{WG,d}$
3,152 W/m²	×	8760 h/a	×	0,001=	28 kWh/(m²a)	1,092 W/m²	×	6816 h/a	× 0,001 =	7 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BW}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
							↓	Σ3=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	0,911 l/m²	×	0,26 W/l	×	1,0	=	0,237 W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ4=	0,237 W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:						Fremdwärmeanfall aus Speicherung:				
Σ4		t_Y			$q_{s,W}$	Σ3		t_{HP}		$q_{WG,s}$
0,237 W/m²	×	8760 h/a	× 0,001 =		2 kWh/(m²a)	0 W/m²	×	6816 h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Trinkwarmwasserbereitung

	a		$e_{g,W}$		$a \cdot e_{gW}$		f_P		$a \cdot e_{gW} f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,12	=	1,12	×	1,07	=	1,20
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ5	=	1,12		Σ6	=	1,20

Spezifische Endenergie Wärme der Trinkwarmwasserbereitung

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ5		q_W
(	19 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,12	=	55 kWh/(m²a)

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ6		$q_{W,P}$
(	19 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,20	=	59 kWh/(m²a)

Spezifischer Verteilverlust der Heizung und Lüftung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BH}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,228 m/m²	×	13,9 W/m	×	1,0	=	3,169 W/m²	=	3,169 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	13,9 W/m	×	0,5	=	1,265 W/m²	=	1,265 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ7=	4,434 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,228 m/m²	×	5,9 W/m	×	1,0	=	1,345 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ8=	5,779 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:

Σ8		t_{HP}		$q_{d,H}$
5,78W/m²	×	6816 h/a	× 0,001 =	39 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Verteilung:

Σ7		t_{HP}	=	$q_{HG,d}$
4,43 W/m²	×	6816 h/a	× 0,001 =	30 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust der Heizung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BH}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
						↓		Σ9=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ10=	W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:

Σ10		t_{HP}		$q_{s,H}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Speicherung:

Σ9		t_{HP}	=	$q_{HG,s}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Heizung und Lüftung

	a		e_{gH}		$a \cdot e_{gH}$		f_P		$a \cdot e_{gH} \cdot f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,08	=	1,08	×	1,07	=	1,16
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ11	=	1,08		Σ12	=	1,16

Spezifische Wärmeverluste der Transmission

	U		A		f_{MIN}		
Wand	1,30 W/(m²K)	×	732 m²	×	1,0	=	951,6 W/K
Kellerdecke/ Bodenplatte	0,70 W/(m²K)	×	504 m²	×	0,5	=	176,4 W/K
Fenster	2,55 W/(m²K)	×	200 m²	×	1,0	=	510,0 W/K
Dach/Decke	0,90 W/(m²K)	×	504 m²	×	1,0	=	453,6 W/K
		Σ13 =	1940 m²		Σ14 =		2092 W/K

mittlerer U-Wert:

Σ14		Σ13		U_m
2092 W/K	÷	1940 m²	=	1,08 W/(m²K)

Kompaktheit:

Σ13		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Wärmeverlust durch Transmission:

U_m		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	A_H/A_{EB}	×	t_{HP}	×		=	q_T
1,08 W/(m²K)	× (	21 °C	-	6,9 °C	) ×	1,767	×	6816 h/a	×	0,001	=	183 kWh/(m²a)

Spezifische Wärmeverluste der Lüftung

n_{nat}		n_{Anl}		n_{Rest}				Δn		n
0,61/h	ODER (	1/h	+	1/h	) =	0,6 1/h	+	0,3 1/h	=	0,9 1/h

Wärmeverlust durch Lüftung:

h		$\rho \cdot c_P$		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	n	×	t_{HP}		q_V
2,5 m	×	0,34	× (	21 °C	-	6,9 °C	) ×	0,9 1/h	×	6816 h/a	× 0,001 =	74 kWh/(m²a)

Spezifischer solarer Fremdwärmeanfall

	G		g		A		r		
Süd	560 kWh/(m²a)	×	0,76	×	48 · 1,68 m²	×	0,36	=	12355 kWh/a
Ost	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Nord	210 kWh/(m²a)	×	0,76	×	36 · 1,68 m²	×	0,36	=	3475 kWh/a
West	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Dach	0 kWh/(m²a)	×	0	×	0 m²	×	0	=	0 kWh/a
			Σ15	=	200 m²		Σ16	=	21862 kWh/a

Σ16		Σ15		$G_m\, g_m\, r_m$
218621 kWh/a	÷	200 m²	=	109,3 kWh/m²a

ODER:

G_m		g_m		r_m		$G_m\, g_m\, r_m$
kWh/(m²a)	×		×		=	kWh/m²a

Fensterflächenanteil:

Σ15		A_H		A_{Fe}/A_H
200 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Solarer Fremdwärmeanfall:

$G_m \cdot g_m \cdot r_m$		A_{Fe}/A_H		A_H/A_{EB}		q_S
109,3 kWh/(m²a)	×	0,103	×	1,767	=	20 kWh/(m²a)

Spezifischer innerer Fremdwärmeanfall

Trinkwarmwasserbereitung			Heizung und Lüftung					Σ17
$q_{WG,d}$		$q_{WG,s}$	$q_{HG,d}$		$q_{HG,s}$			
7 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	30 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	=		37 kWh/(m²a)

Innerer Fremdwärmeanfall:

Σ17		$\dot{q}_i$		t_{HP}				q_I
37 kWh/(m²a)	+	3,5 W/m²	×	6816 h/a	×	0,001	=	62 kWh/(m²a)

Fremdwärmenutzungsgrad

	q_I		q_S			q_T		q_V			γ
(	62 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	) ÷ (		183 kWh/(m²a)	+	74 kWh/(m²a)	) =		0,319

Fremdwärmenutzungsgrad:

f_η					γ		η
0,90	× (	1,0	-	0,2	×	0,319	) =	0,843

Spezifische Nutzenergie der Heizung und Lüftung

	q_T		q_V		η		q_I		q_S			q_h
(	183 kWh/(m²a)	+	74 kWh/(m²a)	-	0,843	× (	62 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	) +		188 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie Wärme der Heizung und Lüftung

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$		Σ11		q_H
(	188 kWh/(m²a)	+	39 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	) ×	1,08	=	245 kWh/(m²a)

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$		Σ12		$q_{H,P}$
(	188 kWh/(m²a)	+	39 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	) ×	1,16	=	263 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Wärmeenergien

q_H		q_W		q
245 kWh/(m²a)	+	55 kWh/(m²a)	=	300 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Hilfsenergien

		$\dot{q}_{El}$		t_{El}				a		q_{El}
Trinkwarm-wasser-bereitung	Zirkulation	0,09 W/m²	×	8000 h/a	×	0,001			=	0,720 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	0,09 W/m²	×	500 h/a	×	0,001			=	0,045 kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,20 W/m²	×	350 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,070 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
Heizung und Lüftung	Umwälzpumpe	0,30 W/m²	×	6000 h/a	×	0,001			=	1,800 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,05 W/m²	×	3500 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,175 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Ventilator	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Endenergie der Hilfsenergien:							q_{El}	=	3 kWh/(m²a)
	Primärenergien der Hilfsenergien:					q_{El}	×	$f_{P,El}$	=	$q_{El,P}$
						3 kWh/(m²a)	×	3,0	=	9 kWh/(m²a)

Spezifische Primärenergie

$q_{H,P}$		$q_{W,P}$		$q_{El,P}$		q_P
263 kWh/(m²a)	+	59 kWh/(m²a)	+	9 kWh/(m²a)	=	331 kWh/(m²a)

Tabelle 3.1 MFH Verbrauchsberechnung 2000 bilanziert mit Gesamtenergiebilanz

4. Verbrauchsberechnung bereinigtes Standardjahr

Bauweise:	mittelschwer	Sonstiges:	Baujahr 1974

Flächen und Kompaktheit

A_{EB}	=	1098 m²	A_H	=	1940 m²
h	=	2,5 m	A_{Fe}	=	199,9 m²

Kompaktheit:

A_H		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Fensterflächenanteil:

A_{FE}		A_H		A_{FE}/A_H
199,9 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Heizzeit, Temperaturen

ϑ_{HG}	=	17 °C	ϑ_{am}	=	6,3 °C	t_Y	=	365 d/a = 8760 h/a

ϑ_i		f_{ABS}		f_{REG}		ϑ_{im}			
21,0 °C	×	0,97	×	1,03	=	21 °C	t_{HP}	=	284 d/a = 7080 h/a

Spezifischer Verteilverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BW}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,055 m/m²	×	8,6 W/m	×	1,0	=	0,473 W/m²	=	0,473 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	3,4 W/m	×	1,0	=	0,619 W/m²	=	0,619 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ1=	1,092 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,109 m/m²	×	18,9 W/m	×	1,0	=	2,060 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ2=	3,152 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:							Fremdwärmeanfall aus Verteilung:					
Σ2		t_Y			$q_{d,W}$		Σ1		t_{HP}			$q_{WG,d}$
3,152 W/m²	×	8760 h/a	×	0,001=	28 kWh/(m²a)		1,092 W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =		8 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust für die Trinkwarmwasserbereitung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BW}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
							↓	Σ3=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	0,911 l/m²	×	0,26 W/l	×	1,0	=	0,237 W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ4=	0,237 W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:						Fremdwärmeanfall aus Speicherung:					
Σ4		t_Y			$q_{s,W}$	Σ3		t_{HP}			$q_{WG,s}$
0,237 W/m²	×	8760 h/a	× 0,001 =		2 kWh/(m²a)	0 W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =		0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Trinkwarmwasserbereitung

	a		$e_{g,W}$		$a \cdot e_{gW}$		f_P		$a \cdot e_{gW} f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,12	=	1,12	×	1,07	=	1,20
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ5	=	1,12		Σ6	=	1,20

Spezifische Endenergie Wärme der Trinkwarmwasserbereitung

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ5		q_W
(	19 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,12	=	55 kWh/(m²a)

	q_w		$q_{d,W}$		$q_{s,W}$		Σ6		$q_{W,P}$
(	19 kWh/(m²a)	+	28 kWh/(m²a)	+	2 kWh/(m²a)	) ×	1,20	=	59 kWh/(m²a)

Spezifischer Verteilverlust der Heizung und Lüftung

		DN		L/A_{EB}		$\dot{q}_L$		f_{BH}				
in der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	10-15	:	0,228 m/m²	×	13,9 W/m	×	1,0	=	3,169 W/m²	=	3,169 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
	nicht ständig durchflossen	10-15	:	0,182 m/m²	×	13,9 W/m	×	0,5	=	1,265 W/m²	=	1,265 W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²	=	W/m²
										↓	Σ7=	4,434 W/m²
außerhalb der gedämmten Hülle	ständig durchflossen	20-32	:	0,228 m/m²	×	5,9 W/m	×	1,0	=	1,345 W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
	nicht ständig durchflossen		:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
			:	m/m²	×	W/m	×		=	W/m²		
									Σ8=	5,779 W/m²		

Wärmeverlust der Verteilung:

Σ8		t_{HP}		$q_{d,H}$
5,78W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =	41 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Verteilung:

Σ7		t_{HP}	=	$q_{HG,d}$
4,43 W/m²	×	7080 h/a	× 0,001 =	31 kWh/(m²a)

Spezifischer Speicherverlust der Heizung

	V_S/A_{EB}		$\dot{q}_{SP}$		f_{BH}				
Innerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²	=	W/m²
						↓		Σ9=	W/m²
außerhalb der gedämmten hülle	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
	l/m²	×	W/l	×		=	W/m²		
						Σ10=	W/m²		

Wärmeverlust der Speicherung:

Σ10		t_{HP}		$q_{s,H}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Fremdwärmeanfall aus Speicherung:

Σ9		t_{HP}	=	$q_{HG,s}$
W/m²	×	h/a	× 0,001 =	0 kWh/(m²a)

Deckungsanteile, Erzeugeraufwandszahlen und Primärenergiefaktoren Heizung und Lüftung

	a		e_{gH}		$a \cdot e_{gH}$		f_P		$a \cdot e_{gH} \cdot f_P$
Erzeuger 1	1,0	×	1,08	=	1,08	×	1,07	=	1,16
Erzeuger 2		×		=		×		=	
Erzeuger 3		×		=		×		=	
			Σ11	=	1,08		Σ12	=	1,16

Spezifische Wärmeverluste der Transmission

	U		A		f_{MIN}		
Wand	1,30 W/(m²K)	×	732 m²	×	1,0	=	951,6 W/K
Kellerdecke/ Bodenplatte	0,70 W/(m²K)	×	504 m²	×	0,5	=	176,4 W/K
Fenster	2,55 W/(m²K)	×	200 m²	×	1,0	=	510,0 W/K
Dach/Decke	0,90 W/(m²K)	×	504 m²	×	1,0	=	453,6 W/K
		Σ13 =	1940 m²		Σ14 =		2092 W/K

mittlerer U-Wert:

Σ14		Σ13		U_m
2092 W/K	÷	1940 m²	=	1,08 W/(m²K)

Kompaktheit:

Σ13		A_{EB}		A_H/A_{EB}
1940 m²	÷	1098 m²	=	1,767

Wärmeverlust durch Transmission:

U_m		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	A_H/A_{EB}	×	t_{HP}	×		=	q_T
1,08 W/(m²K)	× (	21 °C	-	6,3 °C	) ×	1,767	×	7080 h/a	×	0,001	=	199 kWh/(m²a)

Spezifische Wärmeverluste der Lüftung

n_{nat}		n_{Anl}		n_{Rest}				Δn		n
0,61/h	ODER (	1/h	+	1/h	) =	0,6 1/h	+	0,3 1/h	=	0,9 1/h

Wärmeverlust durch Lüftung:

h		$\rho \cdot c_P$		ϑ_{im}	-	ϑ_{am}	) ×	n	×	t_{HP}	×		=	q_V
2,5 m	×	0,34	× (	21 °C	-	6,3 °C	) ×	0,9 1/h	×	7080 h/a	×	0,001	=	80 kWh/(m²a)

Spezifischer solarer Fremdwärmeanfall

	G		g		A		r		
Süd	560 kWh/(m²a)	×	0,76	×	48 · 1,68 m²	×	0,36	=	12355 kWh/a
Ost	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Nord	210 kWh/(m²a)	×	0,76	×	36 · 1,68 m²	×	0,36	=	3475 kWh/a
West	375 kWh/(m²a)	×	0,76	×	21 · 1,40 m²	×	0,36	=	3016 kWh/a
Dach	0 kWh/(m²a)	×	0	×	0 m²	×	0	=	0 kWh/a
			Σ15	=	200 m²		Σ16	=	21862 kWh/a

Σ16		Σ15		$G_m\, g_m\, r_m$
218621 kWh/a	÷	200 m²	=	109,3 kWh/m²a

ODER:

G_m		g_m		r_m		$G_m\, g_m\, r_m$
kWh/(m²a)	×		×		=	kWh/m²a

Fensterflächenanteil:

Σ15		A_H		A_{Fe}/A_H
200 m²	÷	1940 m²	=	0,103

Solarer Fremdwärmeanfall:

$G_m \cdot g_m \cdot r_m$		A_{Fe}/A_H		A_H/A_{EB}		q_S
109,3 kWh/(m²a)	×	0,103	×	1,767	=	20 kWh/(m²a)

Spezifischer innerer Fremdwärmeanfall

Trinkwarmwasserbereitung			Heizung und Lüftung				
$q_{WG,d}$		$q_{WG,s}$	$q_{HG,d}$		$q_{HG,s}$		Σ17
8 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	31 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	=	39 kWh/(m²a)

Innerer Fremdwärmeanfall:

Σ17		$\dot{q}_i$		t_{HP}				q_I
39 kWh/(m²a)	+	3,5 W/m²	×	7080 h/a	×	0,001	=	64 kWh/(m²a)

Fremdwärmenutzungsgrad

	q_I		q_S			q_T		q_V			γ
(	64 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	) ÷ (		199 kWh/(m²a)	+	80 kWh/(m²a)	) =		0,301

Fremdwärmenutzungsgrad:

f_η						γ			η
0,90	× (	1,0	-	0,2	×	0,301	) =		0,846

Spezifische Nutzenergie der Heizung und Lüftung

	q_T		q_V		η		q_I		q_S			q_h
(	199 kWh/(m²a)	+	80 kWh/(m²a)	-	0,846	× (	59 kWh/(m²a)	+	20 kWh/(m²a)	) +		212 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie Wärme der Heizung und Lüftung

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$		Σ11		q_H
(	212 kWh/(m²a)	+	41 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	) ×	1,08	=	273 kWh/(m²a)

	q_h		$q_{d,H}$		$q_{s,H}$		Σ12		$q_{H,P}$
(	218 kWh/(m²a)	+	41 kWh/(m²a)	+	0 kWh/(m²a)	) ×	1,16	=	293 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Wärmeenergien

q_H		q_W		q
273 kWh/(m²a)	+	55 kWh/(m²a)	=	328 kWh/(m²a)

Spezifische Endenergie aller Hilfsenergien

		$\dot{q}_{El}$		t_{El}				a		q_{El}
Trinkwarm-wasser-bereitung	Zirkulation	0,09 W/m²	×	8000 h/a	×	0,001			=	0,720 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	0,09 W/m²	×	500 h/a	×	0,001			=	0,045 kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,20 W/m²	×	350 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,070 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
Heizung und Lüftung	Umwälzpumpe	0,30 W/m²	×	6000 h/a	×	0,001			=	1,800 kWh/(m²a)
	Speicherladepumpe	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 1	0,05 W/m²	×	3500 h/a	×	0,001	×	1,0	=	0,175 kWh/(m²a)
	Erzeuger 2	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Erzeuger 3	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	Ventilator	W/m²	×	h/a	×	0,001	×		=	kWh/(m²a)
	sonstige	W/m²	×	h/a	×	0,001			=	kWh/(m²a)
	Endenergie der Hilfsenergien:							q_{El}	=	3 kWh/(m²a)
	Primärenergien der Hilfsenergien:					q_{El}	×	$f_{P,El}$	=	$q_{El,P}$
						3 kWh/(m²a)	×	3,0	=	9 kWh/(m²a)

Spezifische Primärenergie

$q_{H,P}$		$q_{W,P}$		$q_{El,P}$		q_P
293 kWh/(m²a)	+	59 kWh/(m²a)	+	9 kWh/(m²a)	=	361 kWh/(m²a)

Tabelle 4.1 MFH Energiebedarf nach Modernisierung bilanziert mit Gesamtenergiebilanz

5. Wirtschaftlichkeit

Maßnahme	Beschreibung
Fassadendämmung	Dämmung der Außenfassade mit einem 120 mm Wärmedämmverbundsystem im Rahmen einer sowieso fälligen Außenputzerneuerung.
Dachdämmung	Dämmung des Flachdaches (Warmdaches) mit einer Dämmung der Dämmstoffgruppe 040; Filtervlies und Kiesschüttung
Fenstererneuerung	Ersatz der 28 Jahre alten doppelt verglasten Fenster mit Holzrahmen durch Fenster mit doppelter Wärmeschutzverglasung und Kunststoffrahmen. Die Reparatur eines Teils der Fenster auf der Wetterseite muss wegen Undichtigkeit sowieso stattfinden.
Leitungsdämmung	Nachträgliche Wärmedämmung der bisher unisolierten Steigestränge für die Heizwasserverteilung (250 m) auf EnEV-Niveau. Die in den Ecken der Räume verlaufenden Steigleitungen werden mit Gipskarton verkleidet.
Kesselaustausch	zusätzlich: Berechnung der Wirtschaftlichkeit für den 1994 als Ersatz für den defekten Konstanttemperaturkessel neu installierten Niedertemperaturkessel zu damaligen Preisen. Kesselleistung 100 kW.

Tabelle 5.1 Beschreibung von Sanierungsmaßnahmen im MFH

Maßnahme	Investitionskosten	Energieeinsparung
Fassadendämmung	Die Maßnahme kostet insgesamt 90 €/m² Wandfläche. Die Mehrkosten allein für den Wärmeschutz werden mit 60 €/m² angenommen. Damit belaufen sich die anrechenbaren Gesamtkosten auf rund 44000 €.	86 kWh/(m²a), das heißt 94428 kWh/a.
Dachdämmung	Die Maßnahme kosten etwa 160 €/m² Dachfläche. Die Mehrkosten für den Wärmeschutz betragen Mehrkosten Dämmung 60 €/m². Damit betragen die anrechenbaren Gesamtkosten rund 30000 €.	36 kWh/(m²a), das heißt 39528 kWh/a.
Fenstererneuerung	Die ohnehin fällige Fenstererneuerung kostet 450 €/m² Fensterfläche. Der Anteil, der allein für den zusätzlichen Wärmeschutz anfällt, ist schwer zu definieren. Es wird von 50 €/m² ausgegangen. Dies entspricht 10000 € anrechenbaren Kosten.	39 kWh/(m²a), das heißt 42822 kWh/a.
Leitungsdämmung	Die Gesamtkosten der Maßnahme betragen 17 €/m Rohr. Das bedeutet anrechenbare Kosten von 4250 €.	11 kWh/(m²a), das heißt 12078 kWh/a.
Kesselaustausch	Der Kesselaustausch von Konstant- aus Niedertemperaturkessel wird mit seiner kompletten Summe angesetzt. Somit beträgt die Investition 15500 €. Auf eine Mehrkostenbetrachtung wird bewusst verzichtet.	70 MWh/a.

Tabelle 5.2 Investitionskosten und Energieeinsparung für das MFH

Maßnahme	Kalkulationszins p, in [1/a]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preisteuerung für Wartung und Unterhalt s_u, in [1/a]	Annuität $a_{p,n}$, in [1/a]	Investition I, in [€]	Wartungssatz, in [1/a] von I	heutige Kosten für Wartung und Unterhalt $K_{u,0}$, in [€/a]	Mittelwertfaktor der Preisteuerung m_u, in [-]	mittlere jährliche Kosten für Wartung und Unterhalt $Z = K_{u,m}$, in [€/a]	eingesparte Energie E_O-E_S, in [kWh/a]	äquivalenter Energiepreis k_{EIN}, in [€/kWh]
Fassadendämmung	0,06	30	0,02	0,073	44000	0,010	440	1,27	559	94428	0,040
Dachdämmung	0,06	25	0,02	0,078	30000	0,010	300	1,23	369	39528	0,069
Fenstererneuerung	0,06	25	0,02	0,078	10000	0,015	150	1,23	185	42822	0,023
Leitungsdämmung	0,06	15	0,02	0,103	4250	0,010	43	1,15	49	12078	0,040
Kesselaustausch	0,08	15	0,02	0,117	15500	0,035	543	1,14	618	70000	0,035

Tabelle 5.3 Äquivalenter Energiepreis k_{EIN} für Sanierungsmaßnahmen

	Energiepreis zum Investitionszeitpunkt $k_{e,0}$, in [€/kWh$_{HU}$]	Betrachtungszeitraum n, in [a]	Kalkulationszins p, in [1/a]	Teuerungsfaktor der Energie s_e, in [1/a]	Mittelwert der Energieverteuerung m_e, in [-]	mittlerer jährlicher Energiepreis $k_{e,m}$, in [€/kWh$_{HU}$]
Gas 2002	0,035	30	0,06	min: 0,03	min: 1,44	min: 0,050
				mittel: 0,06	mittel: 2,18	mittel: 0,076
				max: 0,09	max: 3,46	max: 0,121
		25		min: 0,03	min: 1,38	min: 0,048
				mittel: 0,06	mittel: 1,96	mittel: 0,069
				max: 0,09	max: 2,87	max: 0,100
		15		min: 0,03	min: 1,24	min: 0,043
				mittel: 0,06	mittel: 1,54	mittel: 0,054
				max: 0,09	max: 1,94	max: 0,068
Gas 1994	0,030	15	0,08	min: 0,03	min: 1,22	min: 0,037
				mittel: 0,06	mittel: 1,51	mittel: 0,045
				max: 0,09	max: 1,89	max: 0,057

Tabelle 5.4 Mittlerer jährlicher Energiepreis für Sanierungsmaßnahmen

Maßnahme	äquivalenter Energiepreis k_{EIN}, in [€/kWh]	mittlerer jährlicher Energiepreis $k_{e,m}$, in [€/kWh]			Ergebnis
		minimal 3 %/a	mittel 6 %/a	maximal 9 %/a	
Fassadendämmung	0,040	0,050	0,076	0,121	wirtschaftlich
Dachdämmung	0,069	**0,048**	**0,069**	0,100	bei mittlerer und hoher Energiepreisteuerung wirtschaftlich
Fenstererneuerung	0,023	0,048	0,069	0,100	wirtschaftlich
Leitungsdämmung	0,040	0,043	0,054	0,068	bei hoher Energiepreissteigerung wirtschaftlich
Kesselaustausch	0,035	0,037	0,045	0,057	wirtschaftlich

Tabelle 5.5 Überprüfung der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen im MFH

Quelle: Jagnow, Horschler, Wolff;
Die neue Energieeinsparverordnung 2002;
Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002