



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz - Dr. Hartmann - Dr. Werdin - Prof. Felsmann

Wegweiser zum Einsatz von Systemen zur Heizung und Trinkwassererwärmung im Wohngebäude mit den Anforderungen von EnEV 2009 und EEWärmeG

Teil 2a – Systembeispiele mit elektrischen Anlagenvarianten

Auftraggeber: BDEW- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.
ZVEH- Zentralverband der Deutschen Elektro- und
Informationstechnischen Handwerke
ZVEI- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Dresden, den 29. Oktober 2010

Inhalt

1	Einhaltung von EnEV 2009 und EEWärmeG beim Einsatz elektrischer Systeme	3
2	Systemvarianten Mehrfamilienhaus.....	8
2.1	MFH EnEV-Referenz: Öl/Gas-Brennwert-Kessel mit solarer Unterstützung der TWE und Abluftanlage	8
2.2	Modell A: Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	10
2.3	Modell B: Sole-E-WP + dezentrale TWE (DLE)	12
2.4	Modell C: Sole-Wasser-Wärmepumpe	14
2.5	Modell D: Gas-BW + solare TWE + dezentrale TWE (DLE)	16
2.6	Gegenüberstellung der Systemvarianten	18
3	Systemvarianten Einfamilienhaus	20
3.1	EFH EnEV-Referenz: Öl/Gas-Brennwert-Kessel mit solarer Unterstützung der TWE und Abluftanlage	20
3.2	Modell E: Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	22
3.3	Modell F: Sole-Wasser-Wärmepumpe.....	24
3.4	Modell G: Gas-BW + solare TWE + E-Heizstab	26
3.5	Modell H: Zentrale Lüftungsanlage mit WRG + Abluft-Zuluft/Trinkwasser-Wärmepumpe + elektrische Direktheizung.....	28
3.6	Gegenüberstellung der Systemvarianten	31
4	Zusammenfassung.....	33
5	Anhang.....	35
	Anhang A: Begriffsdefinitionen.....	35
	Anhang B: Abkürzungsverzeichnis	35
	Anhang C: Normenübersicht.....	36

1 Einhaltung von EnEV 2009 und EEWärmeG beim Einsatz elektrischer Systeme

Die Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009) regelt die Anforderungen an neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude. Gleichzeitig gilt im Neubau das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) mit der Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes im Neubau.

Daraus ergeben sich für neue Wohngebäude Anforderungen entsprechend EnEV 2009 an den:

- zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf und den
- zulässigen spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen, Transmissionswärmeverlust

sowie durch das EEWärmeG eine:

- Nutzungspflicht erneuerbarer Energien bzw.
- Einhaltung von Ersatzmaßnahmen.

Für verschiedene elektrische Systemvarianten werden Beispielrechnungen so durchgeführt, dass immer die Anforderungswerte der EnEV 2009 und des EEWärmeG gerade eingehalten werden. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz. Die Anforderungen der EnEV 2009 werden bei allen Systemen durch die Einhaltung des Höchstwertes des zulässigen Primärenergiebedarfes erfüllt:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude} \leq q_{P,Referenz}$$

bzw. bei Systemen mit elektrischer Trinkwassererwärmung:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektr.TWE} \leq q_{P,Referenz,elektr.TWE} - 10,9\ kW/m^2a$$

und des zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverlustes:

$$H'_{T,geplantes\ Gebäude} \leq H'_{T,max}$$

Eine genaue Definition des Begriffes „elektrische Trinkwassererwärmung“ ist in der EnEV nicht vorhanden. Man kann jedoch davon ausgehen, dass damit eine ausschließliche Trinkwassererwärmung durch elektrische Widerstandsheizungen zu verstehen ist, also beispielsweise durch elektrische Durchlauferhitzer und/oder Speicher.

Die Einhaltung des EEWärmeG erfolgt durch die Mindestdeckung des Wärmeenergiebedarfes durch erneuerbare Energien bzw. wahlweise durch die Erfüllung von Ersatzmaßnahmen.

Erfolgt die Einhaltung des EEWärmeG über die Ersatzmaßnahme Unterschreitung der EnEV-Anforderungen, so gilt bezüglich des Primärenergiebedarfes:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude} \leq q_{P,zulässig} - 15\%$$

bzw. bei Systemen mit elektrischer Trinkwassererwärmung:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektr.TWE} \leq q_{P,Referenz,elektr.\ TWE} - 15\%$$

und bezüglich des spezifischen Transmissionswärmeverlustes:

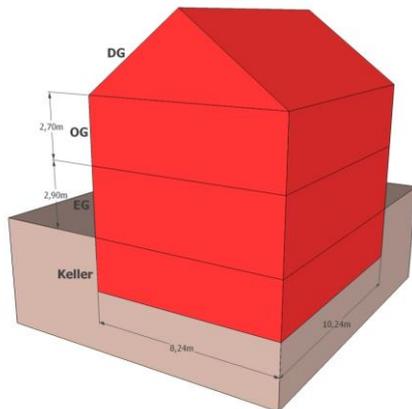
$$H'_{T,geplantes\ Gebäude} \leq H'_{T,max} - 15\%$$

Bei der Erfüllung des EEWärmeG über die Ersatzmaßnahme „Unterschreitung der EnEV-Anforderungen“ erfolgt bei Systemen mit elektrischer Trinkwassererwärmung zur Festlegung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs nach EnEV parallel keine Verringerung des Gebäudereferenzwertes um den Korrekturwert 10,9 kWh/m²a.

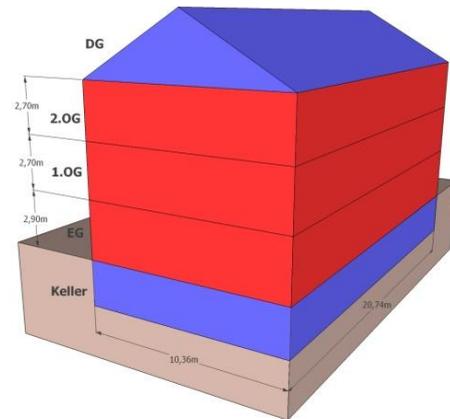
Die Einhaltung von EnEV 2009 und EEWärmeG durch anlagentechnische bzw. bauliche Maßnahmen wird bei jeder Variante einzeln erläutert.

Die Betrachtungen erfolgen für verschiedene Systemvarianten jeweils für ein Einfamilienhaus und für ein 6-Familienhaus.

EINFAMILIENHAUS



6-FAMILIENHAUS



EINFAMILIENHAUS	
Thermische Hülle	Keller innerhalb
A_N	255,5m ²
$A_{\text{Wohnfläche}}$	ca. 180 m ²
V_e	798 m ³
A / V_e	0,64 m ⁻¹

6-FAMILIENHAUS	
Thermische Hülle	Keller außerhalb
A_N	605m ²
$A_{\text{Wohnfläche}}$	ca. 500 m ²
V_e	1.891 m ³
A / V_e	0,52 m ⁻¹

Folgende Systemvarianten werden betrachtet:

VARIANTE		BESCHREIBUNG	WÄRMEÜBERGABE	AUFSTELLUNG WÄRMEERZEUGER	LAGE DER HORIZONTAL EN VERTEILLEITUNGEN	ZIRKULATION
Referenz 1	Mehrfamilienhaus	Gas-BW + solare TWE + Abluftanlage	HK 55/45°C	außerhalb thermischen Hülle	innerhalb thermischen Hülle	vorhanden
Modell A		Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	FBH 35/28°C	außerhalb thermischen Hülle	außerhalb thermischen Hülle	keine
Modell B		Sole-Wasser-WP + dezentrale TWE (DLE)	FBH 35/28°C	außerhalb thermischen Hülle	außerhalb thermischen Hülle	vorhanden
Modell C		Sole-Wasser-WP (Heizung und TWE)	FBH 35/28°C	außerhalb thermischen Hülle	außerhalb thermischen Hülle	vorhanden
Modell D		Gas-BW + solare TWE + dezentrale TWE (E-DLE) ¹	HK 55/45°C	außerhalb thermischen Hülle	außerhalb thermischen Hülle	keine
Referenz 2	EINFAMILIENHAUS	Gas-BW + solare TWE + Abluftanlage	HK 55/45°C	innerhalb thermischen Hülle	innerhalb thermischen Hülle	vorhanden
Modell E		Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	FBH 35/28°C	innerhalb thermischen Hülle	innerhalb thermischen Hülle	keine
Modell F		Sole-Wasser-WP (Heizung und TWE)	FBH 35/28°C	innerhalb thermischen Hülle	innerhalb thermischen Hülle	vorhanden
Modell G		Gas-BW + solare TWE + dezentrale TWE (E-DLE) ¹	HK 55/45°C	innerhalb thermischen Hülle	innerhalb thermischen Hülle	keine
Modell H		Zentrale Lüftungsanlage mit WRG (WÜT) + Abluft-Zuluft/Trinkwasser-WP + Wärmege winnung aus der Außenluft	-	-	-	vorhanden

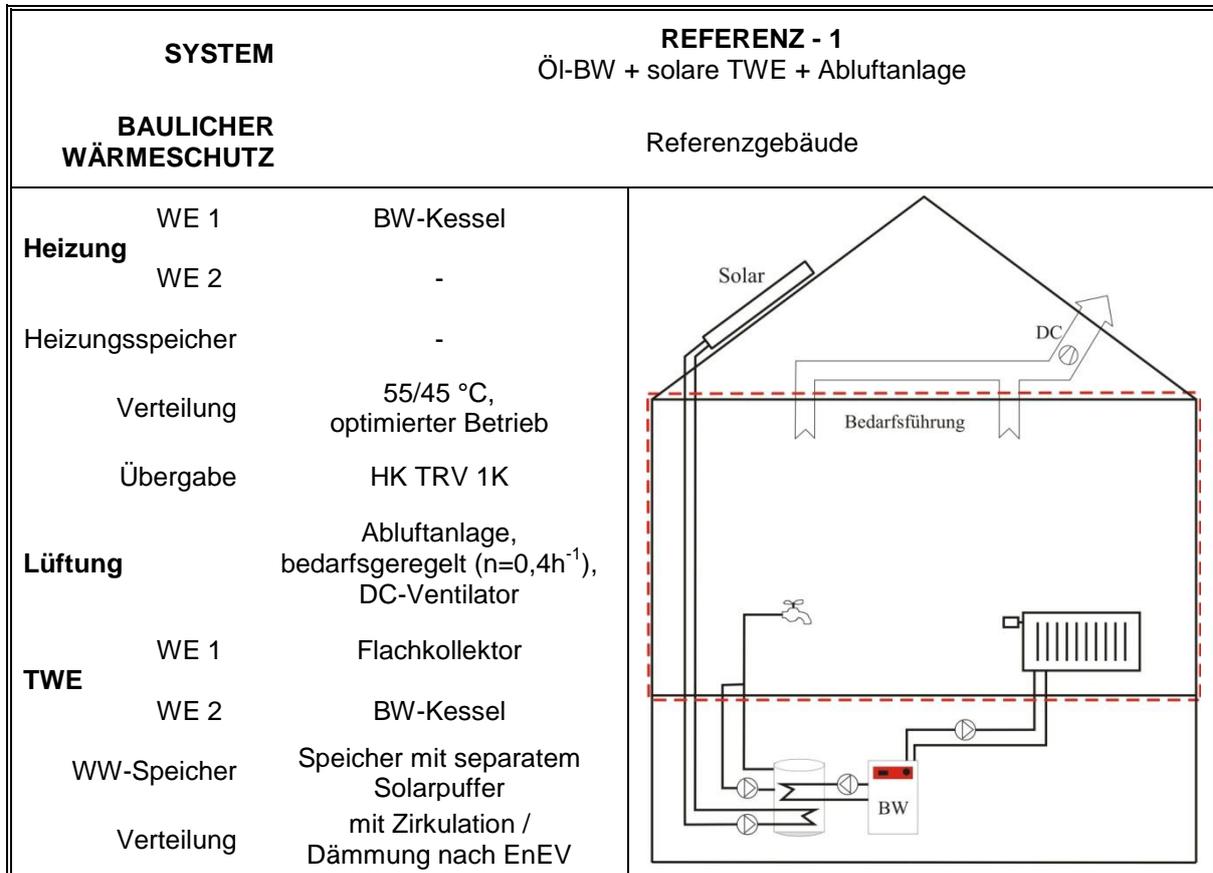
¹ Dieses System ist mit dem Standardverfahren der DIN V 4701-10 nicht abbildbar. Die Berechnung der Energiekennwerte erfolgt näherungsweise für solare TWE mit elektrischer Nachheizung mittels E-Heizstab. Der tatsächliche Energiebedarf bei dezentraler Nachheizung des Warmwassers ist infolge geringerer Speicher- und Verteilverluste etwas niedriger als mit zentraler elektrischer Nachheizung.

Für die Berechnung nach EnEV 2009 können sowohl die Standardwerte nach DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18599, als auch spezifische Produktkennwerte bzw. eine detaillierte Auslegungsplanung zu Grunde gelegt werden. Die Beispielrechnungen werden in allen Varianten mit den Standardwerten nach DIN V 4701-10 durchgeführt. Die Verwendung (besserer) spezifischer Produktkennwerten in der Berechnung verringert den Jahresprimärenergiebedarf. Damit können die Anforderungen der EnEV i.d.R. leichter erfüllt werden, beispielsweise mit einem verringerten baulichen Wärmeschutz.

Nachfolgend werden die betrachteten Systeme beschrieben, die Ergebnisse der energetischen Berechnung nach DIN V 4701-10/DIN V 4108-6 dargestellt und die Einhaltung der EnEV 2009 und des EEWärmeG nachgewiesen.

2 Systemvarianten Mehrfamilienhaus

2.1 MFH EnEV-Referenz: Öl/Gas-Brennwert-Kessel mit solarer Unterstützung der TWE und Abluftanlage



Der Wärmeschutz der Gebäudehülle entspricht dem Referenzwärmeschutz nach EnEV 2009. Die Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung leistet keinen Beitrag zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes. Die Referenzanlage der EnEV 2009 wird entsprechend der Auslegung zur Energieeinsparverordnung² mit einem Anlagenluftwechsel von $0,4h^{-1}$ bilanziert. Für das reale Gebäude mit bedarfsgeführter Abluftanlage kann nach DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18599 ein verminderter Luftwechsel von $0,35h^{-1}$ angesetzt werden.

Bei der Referenzanlage von Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten befinden sich Wärmeerzeuger und Warmwasserspeicher außerhalb der thermischen Hülle, die horizontalen Verteilleitungen dagegen sind generell innerhalb der thermischen Hülle angeordnet. Für die betrachteten Systemvarianten ist dies nicht der Fall. Der Wärmeerzeuger sowie die horizontalen Verteilleitungen

befinden sich im Keller und damit außerhalb der thermischen Hülle, so ergeben sich gegenüber dem Referenzsystem höhere energetische Anforderungen.

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: MFH Referenz-1				Öl/Gas-BW + solare TWE + Abluftanlage			
		$A_N =$	605,1	m ²	Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h		44,2	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$		25.915	0	6.266
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E		32.181		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}		1.577		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p		1,1		
	Hilfsenergie	-	f_p		2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_p		39.499		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_p		65,3		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_p		65,3		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H_T		0,39		
	zulässig	W/(m ² K)	H_T		0,50		
Einhaltung EnEV 2009					EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG							
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a			26.455	0	12.326
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a			38.781		
Kollektorfläche		m ²					15,1
solare Deckungsrate TWE		%					54,9%
Anteil Deckung Solarthermie		%			17,4%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%			116,0%		
Einhaltung EEWärmeG					EEWärmeG erfüllt		

*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 18.
 **) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$

Die Berechnung des Referenzgebäudes mit Referenzanlagentechnik zur Bestimmung des Höchstwertes des Jahresprimärenergiebedarfes erfolgt mit Standardwerten nach DIN V 4701-10 (Kollektorfläche/Neigung/Ausrichtung) für die Solaranlage und mit einer zentralen bedarfsgeführten Abluftanlage mit geregelter Gleichstrom(DC)-Ventilator. Beim EnEV-Nachweis eines konkreten Gebäudes muss ggf. eine Anpassung an die tatsächlich geplante Anlage (z.B. bezüglich Kollektorfläche/Neigung/Ausrichtung) erfolgen.

Das EEWärmeG wird durch die Nutzung von solarer Strahlungsenergie erfüllt. Der Deckungsanteil am Gesamt-Wärmeenergiebedarf ist mit 17,4% höher, als die geforderte Mindestdeckung von 15%. Die Kollektoren müssen außerdem die Zertifizierung "Solar Keymark" aufweisen.

2.2 Modell A: Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)

SYSTEM		MODELL A Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		deutlich erhöhter baulicher Wärmeschutz	
Heizung	WE 1	BW-Kessel	
	WE 2	-	
	Heizungsspeicher	-	
Verteilung	35/28 °C, optimierter Betrieb		
Übergabe	FBH 0,5K		
Lüftung		-	
TWE	WE 1	Elektro-DLE	
	WE 2	-	
	WW-Speicher	-	
Verteilung	wohnungszentral		

Für dieses System mit elektrischer Trinkwassererwärmung wird das Referenzgebäude ebenfalls mit einer elektrischen Trinkwassererwärmung bilanziert. Die Einhaltung des EEWärmeG erfolgt über die Ersatzmaßnahme Unterschreitung der EnEV-Anforderungen um 15%. Somit gilt für den zulässigen Primärenergiebedarf:

$$q_{P, \text{geplantes Gebäude, elektr. TWE}} \leq q_{P, \text{Referenz, elektr. TWE}} - 15\% = 91,4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}} - 15\% = 77,7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}}$$

Da der Primärenergiebedarf durch das EEWärmeG vermindert wird, erfolgt keine zusätzliche Korrektur von $Q_{P, \text{Referenz, elektrische TWE}}$ um den Wert $10,9 \text{ kWh/m}^2 \text{a}$.

Für den zulässigen, spezifischen Transmissionswärmeverlust gilt:

$$H'_{T, \text{geplantes Gebäude}} \leq H'_{T, \text{max}} - 15\% = 0,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} - 15\% = 0,425 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: Modell A				Öl/Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)		
				$A_N = 605,1 \text{ m}^2$	Heizung	Lüftung
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	34,7	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	20.765	0	-
	2.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	-	-	8.478
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	29.243		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	719		
Primärenergiefaktor	Wärme 1.WE	-	f_p	1,1		
	Wärme 2.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär-energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	46.754		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	77,3		
	Referenz	kWh/(m ² a)	q_P	91,4		
spez. Transmissionswärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,28		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,50		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Anforderungswert	kWh/(m ² a)	q_P	77,7			
Ersatzmaßnahme EnEV-15%	W/(m ² K)	H'_T	0,43			
Wärmeenergiebedarf**	kWh/a		21.983	-	8.478	
Wärmeenergiebedarf gesamt	kWh/a		30.461			
Unterschreitung von $q_P / H'_{T,max}$	%		15,4%	44,0%		
Erfüllung Nutzungspflicht	%		102,7%			
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		

*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 18.
 **) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$

Bei diesem System können die Anforderungen von EnEV in Verbindung mit dem EEWärmeG nur bei sehr gutem baulichem Wärmeschutz eingehalten werden, es ist damit besonders für Gebäude geeignet, bei denen ohnehin ein höherer Wärmedämmstandard als im Referenzfall angestrebt wird. Neben der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes wird die Anlageneffizienz durch abgesenkte Systemtemperaturen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung weiter optimiert.

2.3 Modell B: Sole-E-WP + dezentrale TWE (DLE)

SYSTEM		MODELL B Sole-Wasser-Wärmepumpe + dezentrale TWE (DLE)	
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		Mindestanforderung	
Heizung	WE 1	Sole-Wasser-WP	
	WE 2	-	
	Heizungsspeicher	Pufferspeicher	
	Verteilung	35/28 °C, optimierter Betrieb	
	Übergabe	FBH 0,5K	
Lüftung		-	
TWE	WE 1	Elektro-DLE	
	WE 2	-	
	WW-Speicher	-	
	Verteilung	wohnungszentral	

Für dieses System mit elektrischer Trinkwassererwärmung wird das Referenzgebäude nach EnEV ebenfalls mit einer elektrischen Trinkwassererwärmung bilanziert und dieser Wert entsprechend um 10,9 kWh/m²a verringert. Die Einhaltung des EEWärmeG erfolgt über die anteilige Deckung des Wärmeenergiebedarfs aus erneuerbarer Energie in Form von Geothermie. Somit gilt für den zulässigen Primärenergiebedarf:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektr.TWE} \leq q_{P,Referenz,elektr.TWE} - 10,9 \frac{kWh}{m^2a} = 91,4 \frac{kWh}{m^2a} - 10,9 \frac{kWh}{m^2a} = 80,5 \frac{kWh}{m^2a}$$

und für den zulässigen, spezifischen Transmissionswärmeverlust:

$$H'_{T,geplantes\ Gebäude} \leq H'_{T,max} = 0,50 \frac{W}{m^2K}$$

Für die Einhaltung des EEWärmeG muss neben dem Mindestdeckungsanteil der Wärmepumpe, eine Gesamt-Mindest-Jahresarbeitszahl eingehalten werden:

EINHALTUNG MINDEST-JAHRESARBEITSAHZAHL	E-WP LUFT	E-WP SOLE	GAS-WP
nur Heizung	3,50	4,00	1,20
Heizung und TWE	3,30	3,80	1,20

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: Modell B				Sole-Wasser-Wärmepumpe + dezentrale TWE (DLE)		
		$A_N = 605,1 \text{ m}^2$		Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	58,7	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	8.461	0	8.478
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	16.939		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	1.349		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	47.549		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	78,6		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	80,5		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H_T	0,50		
	zulässig	W/(m ² K)	H_T	0,50		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		36.790	-	8.478
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		45.268		
Anteil Wärmepumpe		%		100,0%		0,0%
Anteil Deckung Wärmepumpe		%		81,3%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		162,5%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		
*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 18.						
**) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$						

Die Anforderungen der EnEV können bei diesem System bereits bei Minstdämmung erfüllt werden.

Die Einhaltung des EEWärmeG erfolgt durch den Deckungsanteil der Sole-Wasser-Wärmepumpe am Wärmeenergiebedarf von 81,3%. Da die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung nachweislich 35°C nicht übersteigt, muss die Sole-Wasser-Wärmepumpe nicht über die sonst geforderten Wärmemengen- und Stromzähler verfügen. Die Berechnung der Gesamt-Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl erfolgt nach VDI 4650 unter Verwendung der Standardwerte nach DIN V 4701-10:

BERECHNUNG JAHRESARBEITSAHLE		HEIZUNG	TWE
Deckung durch Wärmepumpe	%	100%	0%
nutzbare Wärmemenge durch Wärmepumpe	kWh/m ² a	60,80	
Erzeugeraufwandszahl nach DIN V 4701-10	e	0,23	
Jahresarbeitszahl	β	4,35	
Anteil an der gesamt durch WP nutzbaren Wärme	X/Y	1,00	0,00
Vorgabe EEWärmeG		4,0	
Gesamt-Jahresarbeitszahl (Standort Würzburg)	erfüllt	4,35	

2.4 Modell C: Sole-Wasser-Wärmepumpe

SYSTEM		MODELL C Sole-Wasser-Wärmepumpe	
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		Mindestanforderung	
Heizung	WE 1	Sole-Wasser-WP	
	WE 2	-	
	Heizungsspeicher	Pufferspeicher	
	Verteilung	35/28 °C, optimierter Betrieb	
	Übergabe	FBH 0,5K	
Lüftung		-	
TWE	WE 1	Sole-Wasser-WP	
	WE 2	-	
	WW-Speicher	indirekter Speicher	
	Verteilung	mit Zirkulation / Dämmung nach EnEV	

Für die Einhaltung des EEWärmeG muss neben dem Mindestdeckungsanteil der Wärmepumpe, eine Gesamt-Mindest-Jahresarbeitszahl eingehalten werden:

EINHALTUNG MINDEST-JAHRESARBEITSZAHL	E-WP LUFT	E-WP SOLE	GAS-WP
nur Heizung	3,50	4,00	1,20
Heizung und TWE	3,30	3,80	1,20

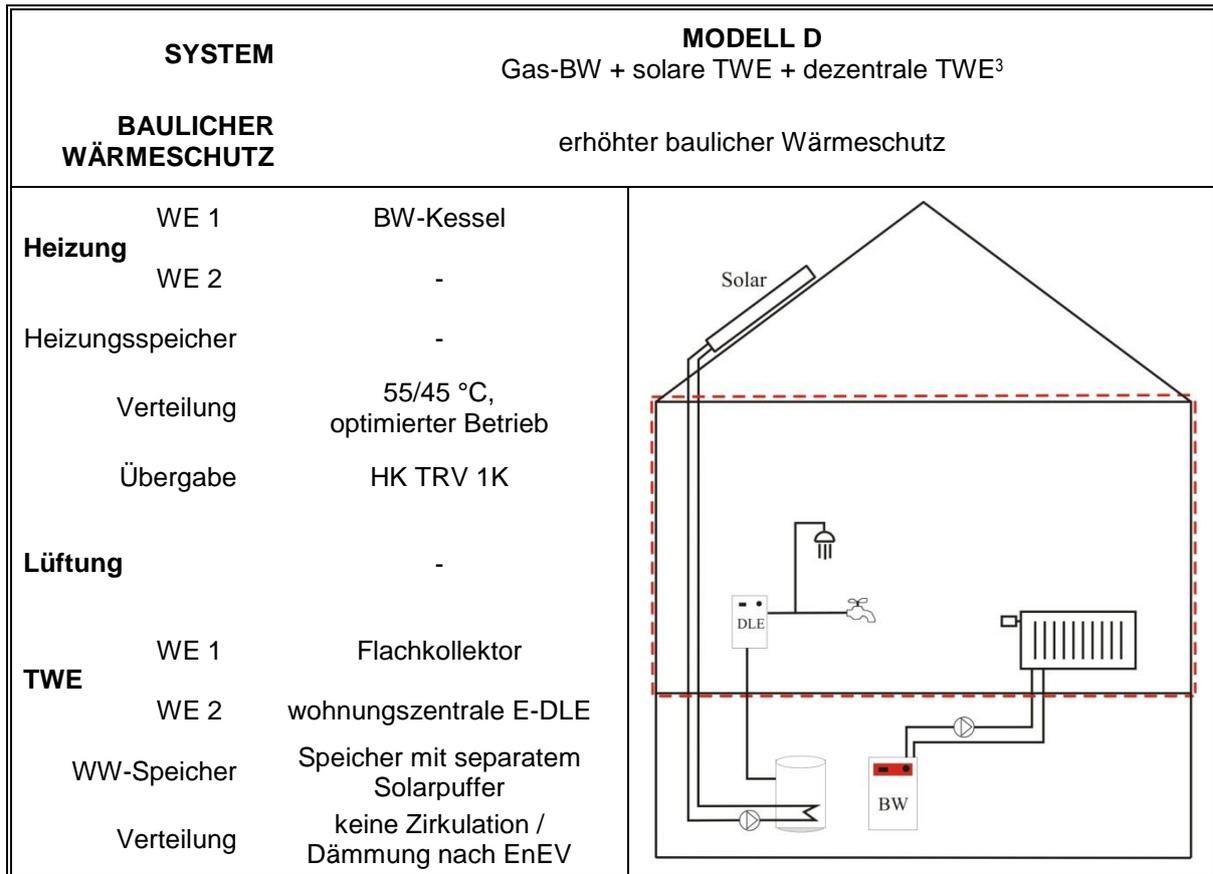
Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: Modell C				Sole-E-Wärmepumpe (Heizung und TWE)		
		$A_N = 605,1 \text{ m}^2$		Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	58,7	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	8.291	0	3.461
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	11.752		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	1.710		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	35.001		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	57,8		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	65,3		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,50		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,50		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		36.052	-	12.701
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		48.753		
Anteil Wärmepumpe		%		100,0%		100,0%
Anteil Deckung Wärmepumpe		%		100,0%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		200,0%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		
*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 18.						
**) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$						

Infolge des effizienten Anlagensystems können die Anforderungen der EnEV bereits bei notwendiger Mindestdämmung ($H'_{T,max}$) eingehalten werden. Die Sole-Wasser-Wärmepumpe wird monovalent betrieben, damit wird der Wärmeenergiebedarf zu 100% aus Geothermie im Sinne des EEWärmeG gedeckt. Da die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung nachweislich 35°C nicht übersteigt, muss die Sole-Wasser-Wärmepumpe nicht über die sonst geforderten Wärmemengen- und Stromzähler verfügen. Die Berechnung der Gesamt-Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl erfolgt nach VDI 4650 unter Verwendung der Standardwerte nach DIN V 4701-10:

BERECHNUNG JAHRESARBEITSAHLE		HEIZUNG	TWE
Deckung durch Wärmepumpe	%	100%	100%
nutzbare Wärmemenge durch Wärmepumpe	kWh/m ² a	59,58	20,99
Erzeugeraufwandszahl nach DIN V 4701-10	e	0,23	0,27
Jahresarbeitszahl	β	4,35	3,70
Anteil an der gesamt durch WP nutzbaren Wärme	X/Y	0,74	0,26
Vorgabe EEWärmeG		3,8	
Gesamt-Jahresarbeitszahl (Standort Würzburg)		erfüllt	4,2

2.5 Modell D: Gas-BW + solare TWE + dezentrale TWE (DLE)



Die Trinkwassererwärmung erfolgt mittels Solarthermie und wohnungsweiser elektrischer Nachheizung mit einem Durchlauferhitzer ohne Zirkulationsleitung. Energetisch gleichwertig könnten die Wärmeerzeuger im Dachgeschoss aufgestellt werden, dadurch kann die Leitungsführung optimiert werden (Solarleitung zwischen Kollektor und Speicher, Abgasleitung BW-Kessel).

Der zulässige Primärenergiebedarf entspricht dem des „normalen“ Referenzgebäudes mit zentraler Trinkwassererwärmung durch Solaranlage und Brennwertkessel, die teilweise elektrische Trinkwassererwärmung wirkt sich nicht auf den Anforderungswert nach EnEV aus, vgl. Abschnitt 1.

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

³ Dieses System ist mit dem Standardverfahren der DIN V 4701-10 nicht abbildbar. Die Berechnung der Energiekennwerte erfolgt näherungsweise für solare TWE mit elektrischer Nachheizung mittels E-Heizstab. Der tatsächliche Energiebedarf bei dezentraler Nachheizung des Warmwassers ist infolge geringerer Speicher- und Verteilverluste etwas niedriger als mit zentraler elektrischer Nachheizung.

Variante: Modell D				Gas-BW + solare TWE + dezentrale DLE		
				Heizung	Lüftung	TWE
		$A_N = 605,1 \text{ m}^2$				
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	39,6	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	25.290	0	-
	2.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	-	-	3.844
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	29.134		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	627		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p	1,1		
	Wärme 2.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	39.444		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	65,2		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	65,3		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H_T	0,32		
	zulässig	W/(m ² K)	H_T	0,50		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		25.808	-	10.069
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		35.876		
Kollektorfläche		m ²				15,1
solare Deckungsrate TWE		%				61,8%
Anteil Deckung Solarthermie		%		17,4%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		115,7%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		
*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 18.						
**) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$						

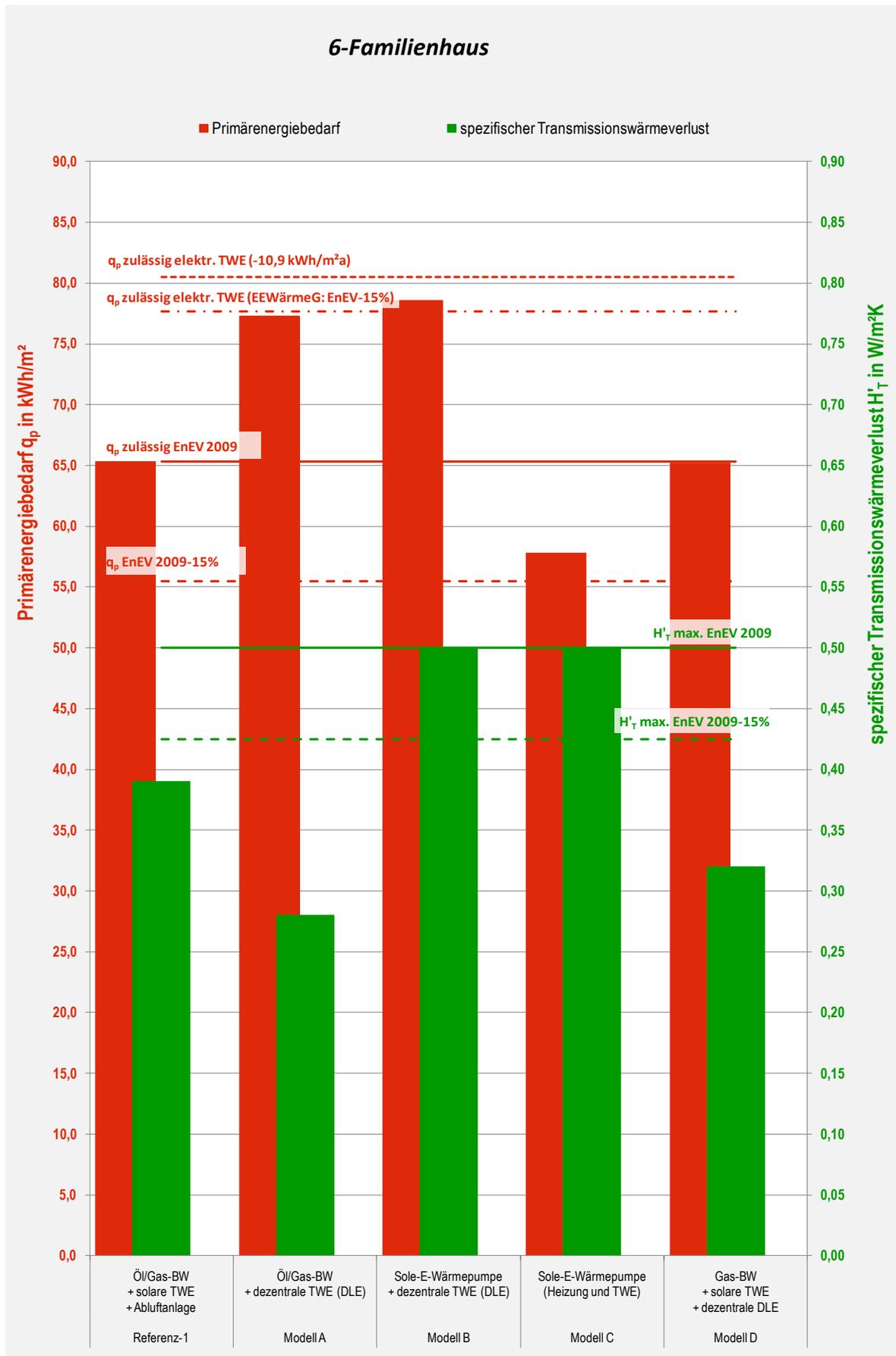
Der zulässige Primärenergiebedarf wird durch verbesserten baulichen Wärmeschutz eingehalten. Eine erhöhte Anlageneffizienz könnte durch verringerte Systemtemperaturen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung erzielt werden, welche einen anteiligen Beitrag zur Einhaltung des Primärenergiebedarfes leisten würde.

Das EEWärmeG wird durch die Nutzung von solarer Strahlungsenergie erfüllt. Der Deckungsanteil am Gesamt-Wärmeenergiebedarf ist mit 17,4% höher, als die geforderte Mindestdeckung von 15%. Die Kollektoren müssen außerdem die Zertifizierung "Solar Keymark" aufweisen.

2.6 Gegenüberstellung der Systemvarianten

6-Familienhaus				Referenz-1	Modell A	Modell B	Modell C	Modell D
				Öl/Gas-BW + solare TWE + Abluftanl.	Öl/Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	Sole-E-WP + dezentrale TWE (DLE)	Sole-E-WP (Heizung / TWE)	Gas-BW + solare TWE + dez. DLE
baulicher Wärmeschutz				EnEV-Referenz	deutlich erhöht	Mindest- anforderung	Mindest- anforderung	erhöht
Bauteil U-Wert	Außenwand		W/m ² K	0,28	0,20	0,47	0,47	0,23
	Fenster		W/m ² K	1,30	0,80	1,40	1,40	1,10
	oberste Geschossdecke		W/m ² K	0,20	0,20	0,25	0,25	0,17
	Kellerdecke		W/m ² K	0,35	0,20	0,39	0,39	0,20
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden	H _{T, vorhanden}	W/m ² K	0,39	0,28	0,50	0,50	0,32
	zulässig	H _{T, zulässig}	W/m ² K	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Primärenergie- bedarf	vorhanden	Q _{p, vorhanden}	kWh/(m ² a)	65,30	77,30	78,60	57,80	65,20
	zulässig	Q _{p, zulässig}	kWh/(m ² a)	65,30	77,70	80,50	65,30	65,30
Nutzung Erneuerbarer Energie				Solarthermie TWE	Ersatzmaßnahme EnEV -15%	Erdwärme nur Heizung	Erdwärme Heizung/TWE	Solarthermie TWE

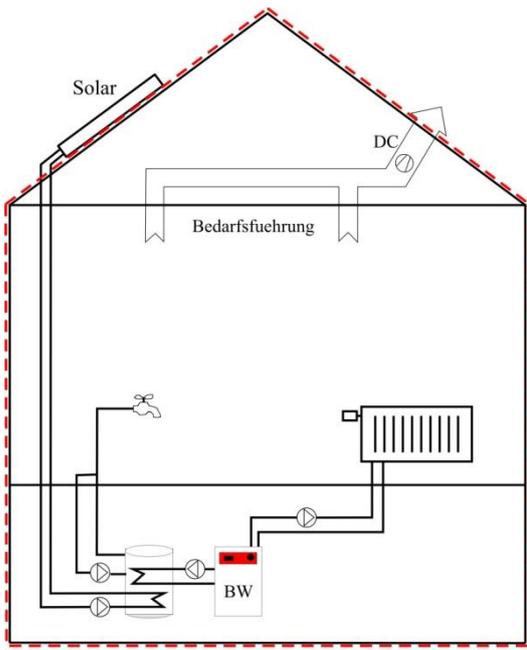
Beispielhaft werden die U-Werte der Außenbauteile der einzelnen Systemvarianten angegeben. Der jeweilige spezifische Transmissionswärmeverlust kann auch durch andere Kombinationen von U-Werten erreicht werden.



3 Systemvarianten Einfamilienhaus

3.1 EFH EnEV-Referenz: Öl/Gas-Brennwert-Kessel mit solarer Unterstützung der TWE und Abluftanlage

SYSTEM		REFERENZ - 2
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		Referenzgebäude
Heizung	WE 1	BW-Kessel
	WE 2	-
	Heizungsspeicher	-
	Verteilung	55/45 °C, optimierter Betrieb
	Übergabe	HK TRV 1K
Lüftung		Abluftanlage, bedarfsgeregelt ($n=0,4h^{-1}$), DC-Ventilator
TWE	WE 1	Flachkollektor
	WE 2	BW-Kessel
	WW-Speicher	bivalenter Solarspeicher
	Verteilung	mit Zirkulation / Dämmung nach EnEV



Der Wärmeschutz der Gebäudehülle entspricht dem Referenzwärmeschutz nach EnEV 2009. Erneuerbare Energie im Sinne des EEWärmeG wird durch solare Strahlungsenergie zur Trinkwassererwärmung genutzt. Die Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung leistet keinen Beitrag zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes. Die Referenzanlage der EnEV 2009 wird mit einem Anlagenluftwechsel von $0,4h^{-1}$ bilanziert. Für das reale Gebäude mit bedarfsgeführter Abluftanlage kann nach DIN V 4701-10 bzw. DIN V 18599 ein verminderter Luftwechsel von $0,35h^{-1}$ angesetzt werden.

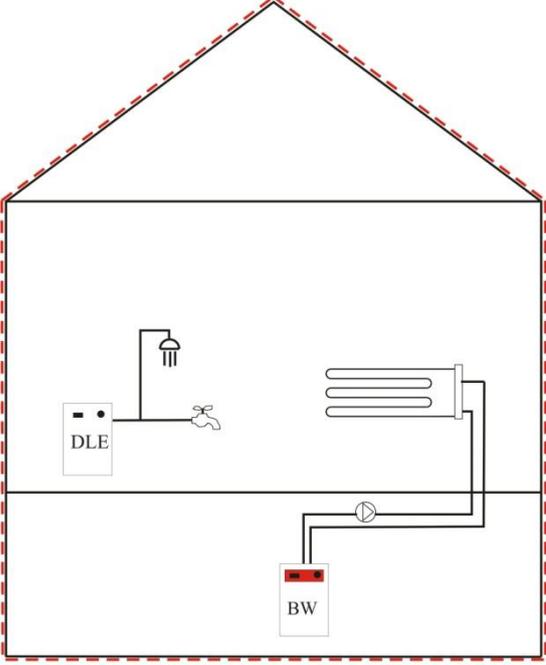
Die folgende Tabelle zeigt wesentliche Berechnungsergebnisse für das betrachtete System.

Variante: EFH Referenz-2				Öl/Gas-BW + solare TWE + Abluftanlage		
		$A_N = 255,5 \text{ m}^2$		Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	46,8	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,F}$	11.137	0	3.076
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	14.213		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	890		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p	1,1		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	17.948		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	70,2		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	70,2		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,37		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,40		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		11.554	0	5.532
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		17.085		
Kollektorfläche		m ²				7,6
solare Deckungsrate TWE		%				52,3%
Anteil Deckung Solarthermie		%		16,9%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		112,7%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		
*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 31.						
**) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$						

Das EEWärmeG wird erfüllt, da die Deckung des Wärmeenergiebedarfes durch Solarthermie mit 16,9% höher ist, als die geforderte Mindestdeckung von 15%. Die Kollektoren müssen außerdem die Zertifizierung "Solar Keymark" aufweisen.

Die Berechnung des Referenzgebäudes mit Referenzanlagentechnik zur Bestimmung des Höchstwertes des Jahresprimärenergiebedarfes erfolgt mit Standardwerten nach DIN V 4701-10 (Kollektorfläche/Neigung/Ausrichtung) für die Solaranlage und mit einer zentralen bedarfsgeführten Abluftanlage mit geregelter Gleichstrom(DC)-Ventilator. Beim EnEV-Nachweis eines konkreten Gebäudes muss ggf. eine Anpassung an die tatsächlich geplante Anlage (z.B. bezüglich Kollektorfläche/Neigung/Ausrichtung) erfolgen.

3.2 Modell E: Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)

SYSTEM		MODELL E	
		Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		deutlich erhöhter baulicher Wärmeschutz	
Heizung	WE 1	BW-Kessel	
	WE 2	-	
	Heizungsspeicher	-	
	Verteilung	35/28 °C, optimierter Betrieb	
	Übergabe	FBH 0,5K	
Lüftung		-	
TWE	WE 1	Elektro-DLE	
	WE 2	-	
	WW-Speicher	-	
	Verteilung	wohnungszentral	

Für dieses System mit elektrischer Trinkwassererwärmung wird das Referenzgebäude ebenfalls mit einer elektrischen Trinkwassererwärmung bilanziert. Die Einhaltung des EEWärmeG erfolgt über die Ersatzmaßnahme Unterschreitung der EnEV-Anforderungen um 15%. Somit gilt für den zulässigen Primärenergiebedarf:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektr.TWE} \leq q_{P,Referenz,elektr.TWE} - 15\% = 95 \frac{kWh}{m^2a} - 15\% = 80,7 \frac{kWh}{m^2a}$$

Da der Primärenergiebedarf durch das EEWärmeG vermindert wird, erfolgt keine zusätzliche Korrektur von $q_{P,Referenz,elektrische\ TWE}$ um den Wert $10,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Für den zulässigen, spezifischen Transmissionswärmeverlust gilt:

$$H'_{T,geplantes\ Gebäude} \leq H'_{T,max} - 15\% = 0,40 \frac{W}{m^2K} - 15\% = 0,34 \frac{W}{m^2K}$$

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: Modell E				Öl/Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)		
				$A_N = 255,5 \text{ m}^2$	Heizung	Lüftung
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q _h	36,8	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	Q _{H,E}	9.074	0	-
	2.WE	kWh/a	Q _{H,E}	-	-	3.579
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q _E	12.653		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q _{aux}	491		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f _p	1,1		
	Wärme 2.WE	-	f _p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f _p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q _p	20.563		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q _p	80,5		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q _p	95,0		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H' _T	0,28		
	zulässig	W/(m ² K)	H' _T	0,40		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Anforderungswert		kWh/(m ² a)	q _p	80,7		
Ersatzmaßnahme EnEV-15%		W/(m ² K)	H' _T	0,34		
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		9.645	-	3.580
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		13.225		
Unterschreitung von q _p / H' _{T,max}		%		15,2%	30,0%	
Erfüllung Nutzungspflicht		%		101,3%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		

*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 31.
 **) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes q_{h,L}

Bei diesem System können die Anforderungen von EnEV in Verbindung mit dem EEWärmeG nur bei sehr gutem baulichem Wärmeschutz eingehalten werden, es ist damit besonders für Gebäude geeignet, bei denen ohnehin ein höherer Wärmedämmstandard als im Referenzfall angestrebt wird. Neben der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes wird die Anlageneffizienz durch abgesenkte Systemtemperaturen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung weiter optimiert.

3.3 Modell F: Sole-Wasser-Wärmepumpe

SYSTEM		MODELL F Sole-Wasser-Wärmepumpe	
BAULICHER WÄRMESCHUTZ		Mindestanforderung	
Heizung	WE 1	Sole-Wasser-WP	
	WE 2	-	
	Heizungsspeicher	Pufferspeicher	
	Verteilung	35/28 °C, optimierter Betrieb	
	Übergabe	FBH 0,5K	
Lüftung		-	
TWE	WE 1	Sole-Wasser-WP	
	WE 2	-	
	WW-Speicher	indirekter Speicher	
	Verteilung	mit Zirkulation / Dämmung nach EnEV	

Für die Einhaltung des EEWärmeG muss neben dem Mindestdeckungsanteil der Wärmepumpe, eine Gesamt-Mindest-Jahresarbeitszahl eingehalten werden:

EINHALTUNG MINDEST-JAHRESARBEITSAHLE	E-WP LUFT	E-WP SOLE	GAS-WP
nur Heizung	3,50	4,00	1,20
Heizung und TWE	3,30	3,80	1,20

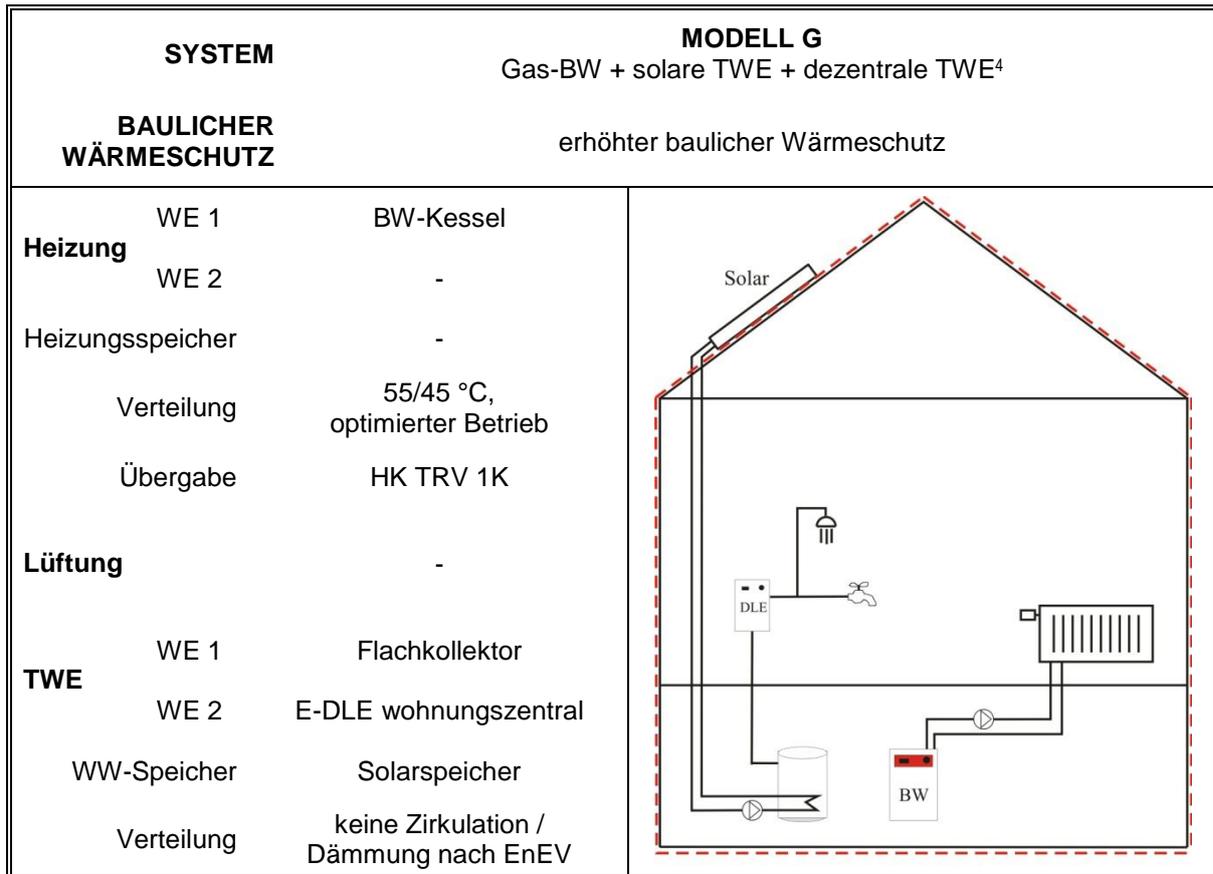
Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

Variante: Modell F				Sole-Wasser-Wärmepumpe		
		$A_N = 255,5 \text{ m}^2$		Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	53,7	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	2.959	0	1.573
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	4.532		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	948		
Primärenergiefaktor	Wärme 1.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär-energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	14.248		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	55,8		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	70,2		
spez. Transmissionswärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,40		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,40		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		12.867	-	5.774
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		18.641		
Anteil Wärmepumpe		%		100,0%		100,0%
Anteil Deckung Wärmepumpe		%		100,0%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		200,0%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		
*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 31.						
**) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$						

Infolge des effizienten Anlagensystems können die Anforderungen der EnEV bereits bei notwendiger Mindestdämmung ($H'_{T,max}$) eingehalten werden. Die Sole-Wasser-Wärmepumpe wird monovalent betrieben, damit wird der Wärmeenergiebedarf zu 100% aus Geothermie im Sinne des EEWärmeG gedeckt. Da die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung nachweislich 35°C nicht übersteigt, muss die Sole-Wasser-Wärmepumpe nicht über die sonst geforderten Wärmemengen- und Stromzähler verfügen. Die Berechnung der Gesamt-Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl erfolgt nach VDI 4650 unter Verwendung der Standardwerte nach DIN V 4701-10:

BERECHNUNG JAHRESARBEITSAHLE		HEIZUNG	TWE
Deckung durch Wärmepumpe	%	100%	100%
nutzbare Wärmemenge durch Wärmepumpe	kWh/m ² a	50,36	22,60
Erzeugeraufwandszahl nach DIN V 4701-10	e	0,23	0,27
Jahresarbeitszahl	β	4,35	3,70
Anteil an der gesamt durch WP nutzbaren Wärme	X/Y	0,69	0,31
Vorgabe EEWärmeG		3,8	
Gesamt-Jahresarbeitszahl (Standort Würzburg)	erfüllt	4,1	

3.4 Modell G: Gas-BW + solare TWE + E-Heizstab



Die Trinkwassererwärmung erfolgt mittels Solarthermie und wohnungsweiser elektrischer Nachheizung mit einem Durchlauferhitzer ohne Zirkulationsleitung. Energetisch gleichwertig könnten die Wärmeerzeuger im Dachgeschoss aufgestellt werden, dadurch kann die Leitungsführung optimiert werden (Solarleitung zwischen Kollektor und Speicher, Abgasleitung BW-Kessel).

Der zulässige Primärenergiebedarf entspricht dem des „normalen“ Referenzgebäudes mit zentraler Trinkwassererwärmung durch Solaranlage und Brennwertkessel, die teilweise elektrische Trinkwassererwärmung wirkt sich nicht auf den Anforderungswert nach EnEV aus.

Für das System ergeben sich folgende wesentliche Berechnungsergebnisse.

⁴ Dieses System ist mit dem Standardverfahren der DIN V 4701-10 nicht abbildbar. Die Berechnung der Energiekennwerte erfolgt näherungsweise für solare TWE mit elektrischer Nachheizung mittels E-Heizstab. Der tatsächliche Energiebedarf bei dezentraler Nachheizung des Warmwassers ist infolge geringerer Speicher- und Verteilverluste etwas niedriger als mit zentraler elektrischer Nachheizung.

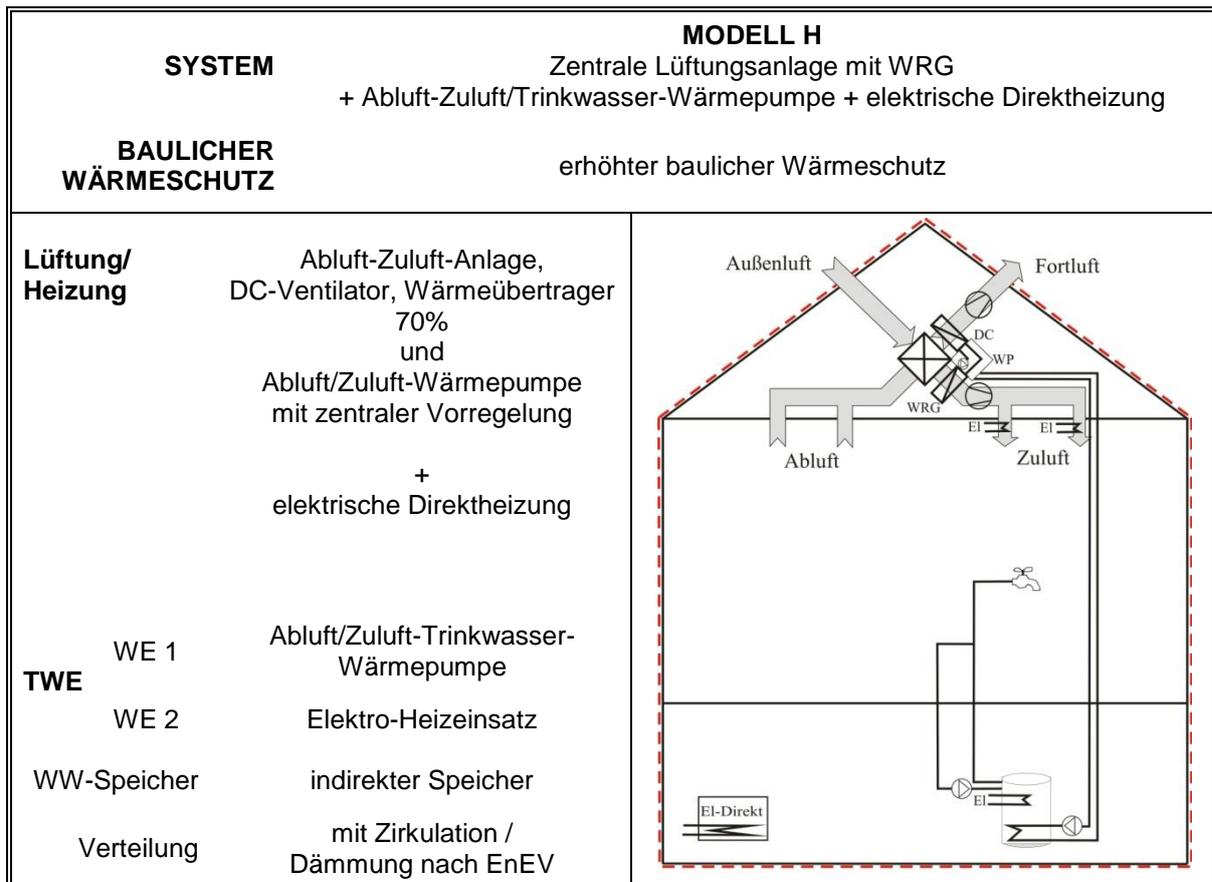
Variante: Modell G				Gas-BW + solare TWE + dezentrale E-DLE		
		$A_N = 255,5$	m^2	Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	44,3	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	10.992	0	-
	2.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	-	-	1.764
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	12.756		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	463		
Primärenergie- faktor	Wärme 1.WE	-	f_p	1,1		
	Wärme 2.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär- energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	17.881		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_P	70,0		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_P	70,2		
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,33		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,40		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		11.416	-	4.433
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		15.849		
Kollektorfläche		m ²				7,6
solare Deckungsrate TWE		%				60,2%
Anteil Deckung Solarthermie		%		16,8%		
Erfüllung Nutzungspflicht		%		112,0%		
Einhaltung EEWärmeG						

*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 31.
 **) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$

Der zulässige Primärenergiebedarf wird durch verbesserten baulichen Wärmeschutz eingehalten. Eine erhöhte Anlageneffizienz könnte durch verringerte Systemtemperaturen in Verbindung mit einer Fußbodenheizung erzielt werden, welche einen anteiligen Beitrag zur Einhaltung des Primärenergiebedarfes leisten würde.

Das EEWärmeG wird durch die Nutzung von solarer Strahlungsenergie erfüllt. Der Deckungsanteil am Gesamt-Wärmeenergiebedarf ist mit 16,8% höher, als die geforderte Mindestdeckung von 15%. Die Kollektoren müssen außerdem die Zertifizierung "Solar Keymark" aufweisen.

3.5 Modell H: Zentrale Lüftungsanlage mit WRG + Abluft-Zuluft/Trinkwasser-Wärmepumpe + elektrische Direktheizung



Aus ökonomischen und ökologischen Gründen ist dieses System (mono-energetisch) nur in hochwärmegedämmten Gebäuden mit einem Deckungsanteil der Abluft-Zuluft-Wärmepumpe incl. Wärmeübertrager größer 85% einzusetzen. Es eignet sich daher insbesondere für Gebäude, bei denen ohnehin ein hoher Wärmedämmstandard und der Einsatz einer Lüftungsanlage geplant werden.

Die Nachweisführung nach EEWärmeG für kombinierte Systeme aus Abluft-Zuluft-Wärmepumpe und vorgeschaltetem Wärmeübertrager ist bisher nicht eindeutig geregelt. Durch die Kombination von Wärmeübertrager und Abluft-Wärmepumpe wird mehr Wärme rückgewonnen, als beim Einsatz von Wärmeübertrager oder Abluft-Wärmepumpe. Damit ergibt sich auch ein höherer Deckungsanteil am Wärmeenergiebedarf. Eine Berechnung des Deckungsanteils ist auch bei solchen Systemen mit den EnEV-Normen möglich. Für die Einhaltung der technischen Nebenanforderungen gibt es im EEWärmeG jedoch keine geeigneten Vorgaben. Die marktgängigen Kombisysteme erfüllen die Anforderungen an einzelne Wärmeübertrager bzw. Wärmepumpen nicht, trotzdem wird in der Kombination ein hoher Deckungsanteil erzielt. Daher sollte die Nachweisführung ggf. mit der zuständigen

Behörde abgestimmt werden.

Ohne Abstimmung mit der Behörde sind folgende Möglichkeiten der Nachweisführung zur Einhaltung des EEWärmeG denkbar:

- a) mindestens 50%ige Deckung des Wärmeenergiebedarfes aus Kombination von Abwärmenutzung durch Abluft-Wärmepumpe und Wärmeübertrager (Einhaltung der Wärmepumpen Mindest-Jahresarbeitszahl, Einbau Wärmemengen- und Stromzähler, Wärmeübertrager: WRG-Grad $\geq 70\%$, Leistungszahl ≥ 10)
- b) mindestens 50%ige Deckung des Wärmeenergiebedarfes durch Abwärmenutzung mittels Abluft-Wärmepumpe, dazu muss jedoch die Einhaltung der Wärmepumpen Mindest-Jahresarbeitszahl nachgewiesen werden, der Einbau von Wärmemengen- und Stromzähler ist obligatorisch; in diesem Fall gibt es keine Anforderung an den Wärmerückgewinnungsgrad des Wärmeübertragers
- c) Kombination aus anteiliger Deckung des Wärmeenergiebedarfes durch Abwärmenutzung mittels Wärmeübertrager (WRG-Grad $\geq 70\%$, Leistungszahl ≥ 10) und Unterschreitung der EnEV-Anforderungen (q_p , $H'_{T,max}$) durch verbesserte Energieeffizienz infolge Abluft-Wärmepumpe und erhöhtem baulichen Wärmeschutz, in diesem Fall gibt es keine Anforderung an die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe
- d) Maßnahmen zur Einsparung von Energie zur Unterschreitung der EnEV-Anforderungen um 15% durch verbesserte Energieeffizienz infolge Abluft-Wärmepumpe mit vorgeschaltetem Abluft-Zuluft-Wärmeübertrager und weiter erhöhtem Wärmeschutz (hochwärmegeämmte Gebäude).

Die folgende Tabelle zeigt wesentliche Berechnungsergebnisse für das betrachtete System. Der Nachweis der Einhaltung des EEWärmeG erfolgt beispielhaft über die Kombination von:

- Abwärmenutzung mittels Wärmeübertrager (WRG-Grad $\geq 70\%$, Leistungszahl ≥ 10) und
- Unterschreitung der EnEV-Anforderungen durch verbesserte Energieeffizienz infolge Abluft-Wärmepumpe und weiter erhöhten baulichen Wärmeschutz.

Variante: Modell H				Lüftungsanlage mit WRG + Abluft-Zuluft/Trinkwasser-WP		
		$A_N = 255,5$	m^2	Heizung	Lüftung	TWE
bezogener Bedarf		kWh/(m ² a)	q_h	43,7	-	12,5
Endenergie	1.WE	kWh/a	$Q_{H,E}$	1.693	1.910	1.903
Σ Wärme Endenergie		kWh/a	Q_E	5.506		
Hilfsenergie	Summe	kWh/a	Q_{aux}	835		
Primärenergiefaktor	Wärme 1.WE	-	f_p	2,6		
	Hilfsenergie	-	f_p	2,6		
Primär-energiebedarf	absolut	kWh/a	Q_P	16.487		
	vorhanden	kWh/(m ² a)	q_p	64,5		
	zulässig	kWh/(m ² a)	q_p	70,2		
spez. Transmissionswärmeverlust	vorhanden*	W/(m ² K)	H'_T	0,32		
	zulässig	W/(m ² K)	H'_T	0,40		
Einhaltung EnEV 2009				EnEV 2009 erfüllt		
Nachweis Einhaltung EEWärmeG						
Anforderungswert		kWh/(m ² a)	q_p	59,7		
Ersatzmaßnahme EnEV-15%		W/(m ² K)	H'_T	0,34		
Wärmeenergiebedarf**		kWh/a		1.694	10.026	5.774
Wärmeenergiebedarf gesamt		kWh/a		17.494		
Deckung durch RLT mit WRG		kWh/a		4.144		
Anteil Deckung Abwärme		%		23,7%		
Unterschreitung von $q_p / H'_{T,max}$		%		8,1%	20,0%	
Erfüllung Nutzungspflicht		%		101,4%		
Einhaltung EEWärmeG				EEWärmeG erfüllt		

*) Die Auflistung der U-Werte für die Außenbauteile findet sich auf Seite 31.
 **) Wärmeenergiebedarf Lüftung = Anteil der Lüftungsanlage zur Deckung des Wärmeenergiebedarfes $q_{h,L}$

Die Erfüllung des EEWärmeG erfolgt durch die Kombination von Ersatzmaßnahmen:

$$\frac{23,7\% \text{ aus Abwärme}}{50\% \text{ Mindestanteil}} + \frac{8,1\% \text{ Unterschreitung EnEV} - \text{Anforderungen}}{15\% \text{ Mindestanteil}} > 100\%$$

$$47,4\% \text{ aus Abwärme} + 54\% \text{ aus Unterschreitung EnEV} = 101,4\% > 100\%$$

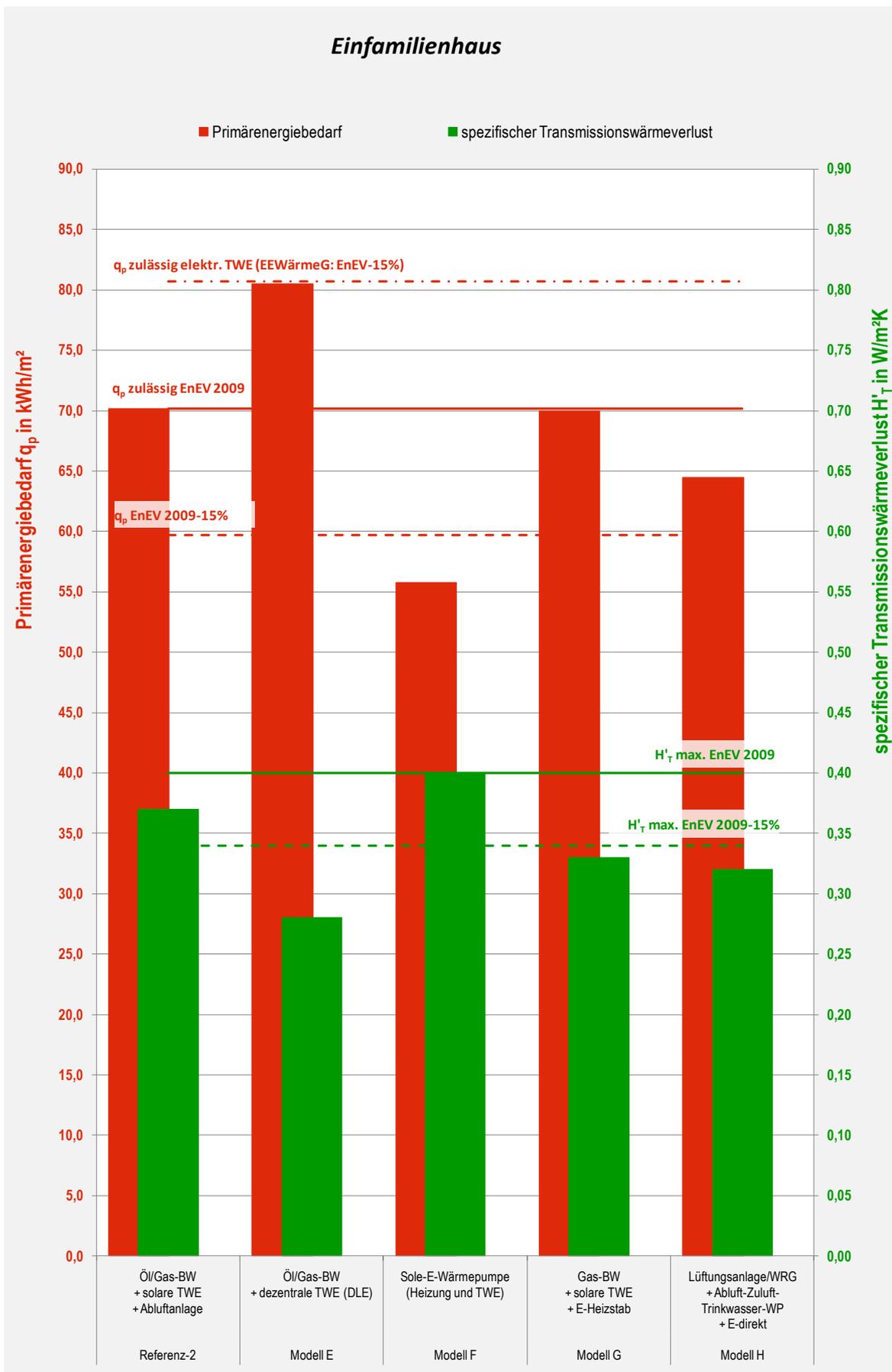
⇒ EEWärmeG erfüllt

Eine ggf. vorhandene Zuluftvorwärmung mittels Erdreich-Luft-Wärmeübertrager liefert ebenfalls einen Beitrag zur Erfüllung des EEWärmeG durch Nutzung Erneuerbarer Energien (Geothermie), er entspricht mindestens dem eingesparten Stromaufwand für den Frostschutzbetrieb.

3.6 Gegenüberstellung der Systemvarianten

Einfamilienhaus				Referenz-2	Modell E	Modell F	Modell G	Modell H
				Öl/Gas-BW + solare TWE + Abluftanlage	Öl/Gas-BW + dezentrale TWE (DLE)	Sole-E-WP (Heizung / TWE)	Gas-BW + solare TWE + dez. DLE	Lüftung/WRG + Abluft-Zuluft- TW-WP + E-direkt
baulicher Wärmeschutz				EnEV-Referenz	deutlich erhöht	Mindest- anforderung	erhöht	erhöht
Bauteil-U-Wert	Außenwand	W/m ² K	0,28	0,20	0,31	0,26	0,23	
	AW gegen Erdreich	W/m ² K	0,35	0,26	0,35	0,30	0,23	
	Fenster	W/m ² K	1,30	1,00	1,30	1,20	1,20	
	Dachfenster	W/m ² K	1,40	1,00	1,40	1,20	1,20	
	Dach	W/m ² K	0,20	0,15	0,26	0,16	0,19	
	Bodenplatte	W/m ² K	0,35	0,22	0,45	0,22	0,27	
spez. Transmissions- wärmeverlust	vorhanden	H ^T , vorhanden	W/m ² K	0,37	0,28	0,40	0,33	0,32
	zulässig	H ^T , zulässig	W/m ² K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Primärenergie- bedarf	vorhanden	Q _P , vorhanden	kWh/(m ² a)	70,20	80,50	55,80	70,00	64,50
	zulässig	Q _P , zulässig	kWh/(m ² a)	70,20	94,98	70,20	70,20	70,20
Nutzung Erneuerbarer Energie				Solarthermie TWE	Ersatzmaßnahme: EnEV -15%	Erdwärme Heizung/TWE	Solarthermie TWE	Ersatzmaßnahme: Abwärmenutzung + Unterschreitung EnEV

Beispielhaft werden die U-Werte der Außenbauteile der einzelnen Systemvarianten angegeben. Der jeweilige spezifische Transmissionswärmeverlust kann auch durch andere Kombinationen von U-Werten erreicht werden.



4 Zusammenfassung

Im Zusammenspiel von EnEV 2009 und EEWärmeG bietet sich eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten bei der Kombination von Anlagentechnik und baulichem Wärmeschutz. Dabei sind die Nutzung von Erneuerbaren Energien und die Einsparung von Energie durch energieeffiziente Anlagensysteme und/oder hohen baulichen Wärmeschutz als Ziel durch Gesetz und Verordnung vorgegeben.

In den angeführten Beispielen für ein Einfamilienhaus wird die Einhaltung von EnEV 2009 und EEWärmeG ausgehend vom Referenzfall für verschiedene *elektrische Anlagensysteme* untersucht. Dabei unterscheidet sich die Bestimmung des zulässigen Primärenergiebedarfes entsprechend EnEV je nach gewähltem Anlagensystem für Heizung und Trinkwassererwärmung sowie gewählter Option zur Erfüllung des EEWärmeG:

- allgemein:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude} \leq q_{P,Referenz}$$

- mit elektrischer Trinkwassererwärmung:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektrische\ TWE} \leq q_{P,Referenz,elektrische\ TWE} - 10,9 \frac{kWh}{m^2a}$$

- mit elektrischer Trinkwassererwärmung und paralleler Erfüllung des EEWärmeG ganz oder anteilig durch die Ersatzmaßnahme Unterschreitung der EnEV-Anforderungen:

$$q_{P,geplantes\ Gebäude,elektrische\ TWE} \leq q_{P,Referenz,elektrische\ TWE} - 15\%$$

Eine genaue Definition des Begriffes „elektrische Trinkwassererwärmung“ ist in der EnEV nicht vorhanden. Man kann jedoch davon ausgehen, dass damit eine ausschließliche Trinkwassererwärmung durch elektrische Widerstandsheizungen zu verstehen ist, also beispielsweise durch elektrische Durchlauferhitzer und/oder Speicher.

Für die betrachteten Systemvarianten können folgende Ableitungen getroffen werden:

- Erfolgt die Heizung über einen Gas/Öl-Brennwertkessel und die Trinkwassererwärmung dezentral elektrisch, muss das EEWärmeG über die Ersatzmaßnahme Unterschreitung der EnEV-Anforderungen erfüllt werden (Modell A und Modell E). Der damit zulässige Jahresprimärenergiebedarf kann nur bei deutlich erhöhtem baulichem

Wärmeschutz ggf. in Verbindung mit geringeren Systemtemperaturen zur Verbesserung der Anlageneffizienz eingehalten werden. Dieses System ist damit vordergründig für Gebäude geeignet, bei denen ohnehin ein höherer Wärmedämmstandard als im Referenzfall angestrebt wird.

- Beim Einsatz von elektrischen Wärmepumpen für Heizung und Trinkwassererwärmung können die Anforderungen der EnEV unter Einhaltung der Mindest-Jahresarbeitszahl entsprechend EEWärmeG bereits beim baulichen Mindestwärmeschutz eingehalten werden (Modell C und Modell F).
- Erfolgt nur die Heizung über die Wärmepumpe unter Einhaltung der Mindest-Jahresarbeitszahl entsprechend EEWärmeG und die Trinkwassererwärmung elektrisch, gilt ein korrigierter zulässiger Primärenergiebedarf (Modell B). Dieser kann ebenfalls bereits bei baulichem Mindestwärmeschutz eingehalten werden.
- Beim System Öl/Gas-Brennwertkessel für die Heizung und solare Trinkwassererwärmung mit elektrischer Nachheizung wird das EEWärmeG über die Nutzung solarer Strahlungsenergie (Modell D und Modell G) erfüllt. Die Anforderungen der EnEV werden durch verbesserten baulichen Wärmeschutz eingehalten.
- Das kombinierte System zentrale Lüftungsanlage mit WRG über Wärmeübertrager und Abluft-Zuluft/Trinkwasser-Wärmepumpe sowie elektrischer Direktheizung ist insbesondere für Gebäude geeignet, bei denen ohnehin ein hoher Wärmedämmstandard und der Einsatz einer Lüftungsanlage geplant werden. Der Nachweis zur Einhaltung des EEWärmeG ist bei solchen kombinierten Systemen nicht eindeutig geregelt. Die Abwärmenutzung ist durch die Kombination von Wärmeübertrager und Abluft-Wärmepumpe höher als bei Systemen, die nur Wärmeübertrager oder Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung nutzen. Die Nachweisführung zur Einhaltung des EEWärmeG kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Solange es keine offizielle Klarstellung zur Nachweisführung bei kombinierten Systemen gibt, sollte diese im Einzelfall mit der nach Landesrecht zuständigen Behörde abgestimmt werden.

5 Anhang

Anhang A: Begriffsdefinitionen

Luftwechsel:

Luftvolumenstrom für einen Raum, bezogen auf das Raumvolumen, üblicherweise definiert als stündlicher Luftvolumenstrom in h^{-1}

Primärenergiebedarf:

Energiemenge, die zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfs Q_H und des Trinkwasserwärmebedarfs Q_{TW} (Bedarf und Aufwand der Anlagentechnik) benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

spezifischer Transmissionswärmeverlust:

stellt einen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) unter Berücksichtigung von Temperaturfaktoren und Wärmebrückeneffekten dar

Wärmerückgewinnung:

Maßnahme zur Nutzung der in der Abluft enthaltenen thermischer Energie bei ventilatorgestützter Lüftung, technisch realisiert mit Wärmeübertrager (Übertragung der Wärme auf die Zuluft) oder Abluft-Wärmepumpe (Übertragung der Wärme auf die Zuluft oder auf Wasser)

Anhang B: Abkürzungsverzeichnis

BW	Brennwert
JAZ	Jahresarbeitszahl
TWE	Trinkwassererwärmung
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WÜT	Wärmeübertrager

Anhang C: Normenübersicht

DIN V 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

- Teil 1: Größen und Einheiten (1981-08)
- Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
(Vornorm 2003-06; Berichtigung 1: 2004-03)
- Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und
Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele (2001-08)

DIN V 4701: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen

- Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung (Vornorm 2003-08; Änderung
A1 2006-12)
- Beiblatt 1: Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit
Standardkomponenten (Vornorm 2007-02)

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden

- Berechnung des Nutz-, End-, und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung,
Belüftung, Beleuchtung und Warmwasserbereitung
- Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsmethodik und Definitionen, Zonierung, Bewertung der
Energieträger (Vornorm 2007-02)
- Teil 2: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahreskühlbedarf von Gebäudezonen
(Vornorm 2007-02)
- Teil 3: Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die energetische Luftaufbereitung
(Vornorm 2007-02)
- Teil 4: Beleuchtung (Vornorm 2007-02)
- Teil 5: Berechnung von Heizsystemen (Vornorm 2007-02)
- Teil 6: Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau
(Vornorm 2007-02)
- Teil 7: Raumluftechnik und Klimakälte (Vornorm 2007-02)
- Teil 8: Berechnung der Warmwassersysteme (Vornorm 2007-02)
- Teil 9: Berechnung multifunktionaler Erzeugungsprozesse (Vornorm 2007-02)
- Teil 10: Randbedingungen (Vornorm 2007-02)

EEWärmeG: Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

- Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich vom 7. August 2008
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008, Teil I, Nr. 36

EnEV 2009: Energieeinsparverordnung

- Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29.04.2009 – EnEV 2009
Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23

Fachkommission "Bautechnik" der Bauministerkonferenz:

- Auslegung zur Energieeinsparverordnung - Teil 12

VDI 4650: Berechnung von Wärmepumpen

- Blatt1: Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen
Elektro-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung (2009-03)