



Institut für Technische
Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH

initiative **erdgas**
pro umwelt



IEU-Modernisierungskompass

26. November 2009

Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
Dipl.-Ing. Bettina Mailach
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz

Auftraggeber:
Initiative Erdgas pro Umwelt
Huttropstraße 60
45138 Essen

Inhalt

1	Allgemeines	2
2	Grundlagen	3
2.1	Gebäude	3
2.2	Wärmeschutzniveau	6
2.2.1	Ausgangszustand	6
2.2.2	Bauliche Sanierungsmaßnahmen	6
2.3	Anlagentechnik	8
2.3.1	Ausgangszustand	8
2.3.2	Anlagenseitige Sanierungsmaßnahmen	9
2.4	Variantenbeschreibung	10
2.5	Berechnungen	17
2.5.1	Allgemeines	17
2.5.2	Energiekennwerte und Kohlendioxidausstoß	17
2.5.3	Kosten und Nutzungsdauern	18
2.5.4	Förderung	20
2.5.5	Kostenkennwerte	25
3	Ergebnisse	27
4	Auswertung	50
4.1	Einfluss des Ausgangswärmeschutzniveaus	50
4.1.1	Ohne zusätzliche Dämmung	50
4.1.2	Bei zusätzlicher Dämmung der Gebäudehülle	50
4.2	Einfluss der Sanierungsart	51
4.2.1	Dämmung im Vergleich mit Anlagensanierung	51
4.2.2	Kombination von Anlagen- und Gebäudesanierung	53
4.3	Einfluss von Anlage und Energieträger	55
4.3.1	Brennwertkessel – Heizöl, Erdgas	55
4.3.2	Solarthermie als Ergänzung zum Brennwertsystem	57
4.3.3	Biomassekessel – Holzpellets	58
4.3.4	Wärmepumpe – Strom	59

1 Allgemeines

In der vorliegenden Studie erfolgt eine vergleichende Bewertung von unterschiedlichen anlagentechnischen und ausgewählten bauseitigen Energiesparmaßnahmen im Wohngebäudebestand. Entsprechend der Vorgabe des Auftraggebers werden dafür anhand von drei typischen Modellgebäuden folgende Kennwerte ermittelt:

- Eingesetzte Investitionskosten bezogen auf die erreichte jährliche CO₂-Emissionsminderung
- Eingesetzte Investitionskosten bezogen auf die erreichte gesamte CO₂-Emissionsminderung innerhalb der Nutzungsdauer
- Eingesetzte Investitionskosten bezogen auf die jährliche Endenergieeinsparung
- Eingesetzte Investitionskosten bezogen auf die jährliche Primärenergieeinsparung
- Eingesetzte Investitionskosten bezogen auf die jährliche Energiekosteneinsparung

Es werden anlagenseitige Modernisierungsmöglichkeiten mit und ohne Energieträgerwechsel, Maßnahmen zur Verbesserung des bauseitigen Wärmeschutzes sowie die Kombination dieser Einzelmaßnahmen betrachtet.

2 Grundlagen

2.1 Gebäude

Für die Untersuchungen werden drei unterschiedliche Gebäudetypen betrachtet:

- Freistehendes Einfamilienhaus (EFH)
- Einfamilien-Reihenmittelhaus (RH)
- Mehrfamilienhaus mit 6 Wohnungseinheiten (6-FH)

Die betrachteten Gebäude orientieren sich an dem von BGW/BDEW in unregelmäßigen Abständen herausgegebenen Heizkostenvergleich Altbausanierung.

Einfamilienhaus freistehend (EFH)

Die thermische Hülle umschließt das Erd- und das Dachgeschoss. Der Keller liegt außerhalb der thermischen Hülle.

Nutzfläche A_N	209,3 m ²
Wohnfläche	150,0 m ²
Bruttovolumen V_e	653,9 m ³
A/V_e	0,68 m ⁻¹

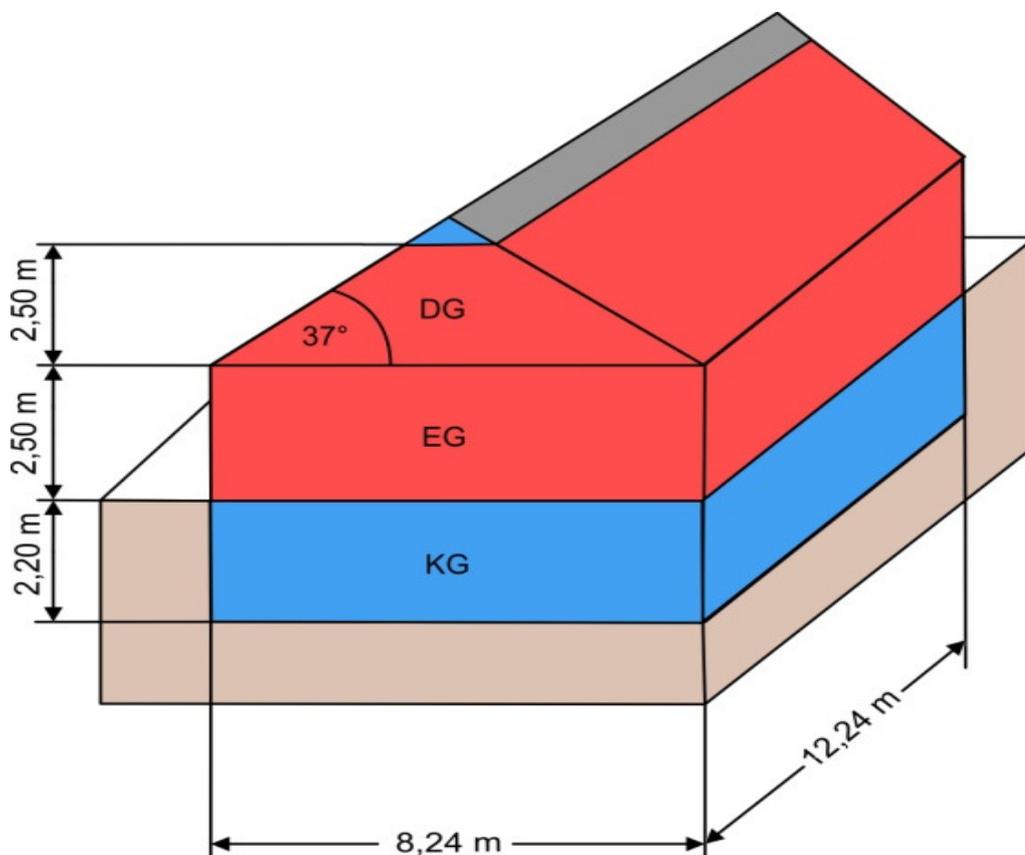


Abbildung 1

Einfamilienhaus freistehend, Altbau

Einfamilien-Reihenmittelhaus (RH)

Die thermische Hülle umschließt das Erdgeschoss, das erste und das zweite Obergeschoss (Dachgeschoss). Der Keller liegt außerhalb der thermischen Hülle.

Nutzfläche A_N	128,4 m ²
Wohnfläche	110,0 m ²
Bruttovolumen V_e	401,4 m ³
A/V_e	0,49 m ⁻¹

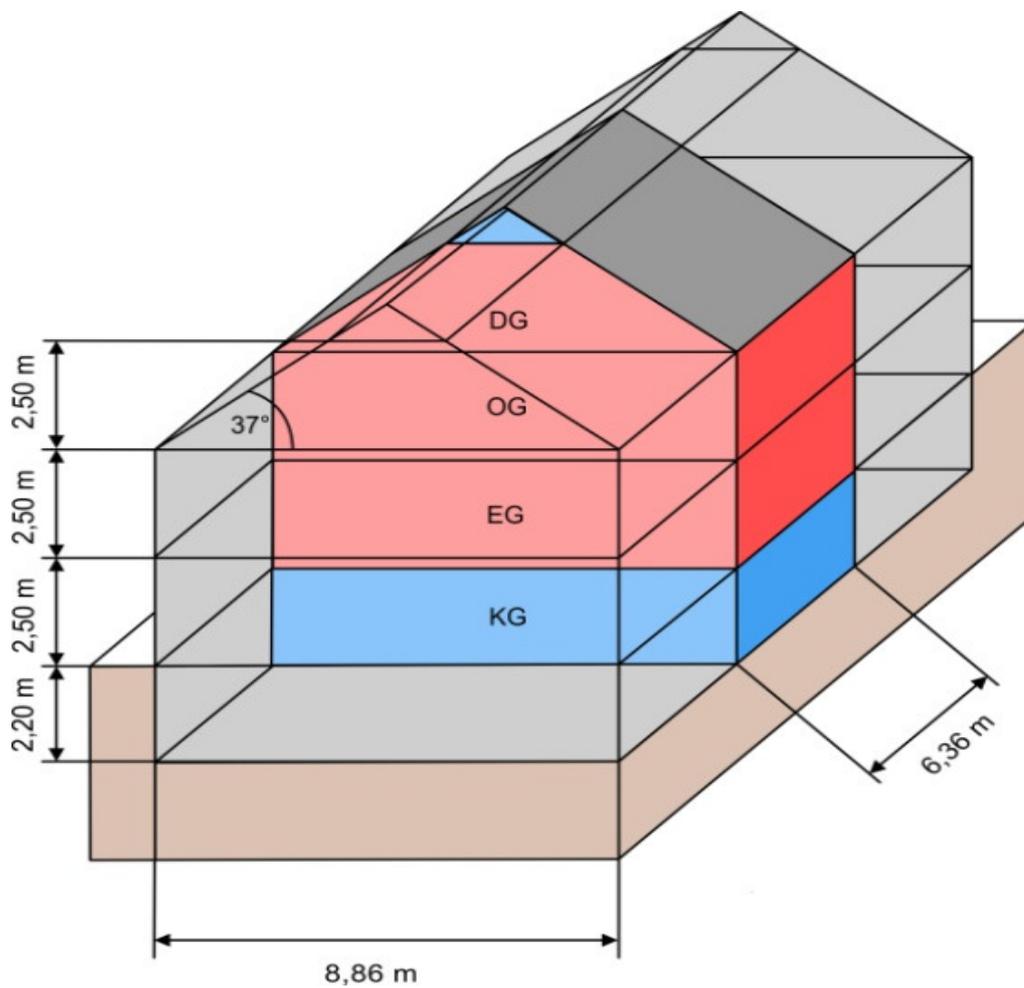


Abbildung 2 Einfamilien-Reihenmittelhaus, Altbau

Mehrfamilienhaus / 6-Familienhaus (6-FH)

Die thermische Hülle umschließt das Erdgeschoss und die beiden Obergeschosse. Keller und Dachgeschoss liegen außerhalb der thermischen Hülle.

Nutzfläche A_N	605,0 m ²
Wohnfläche	500,0 m ²
Bruttovolumen V_e	1890,8 m ³
A/V_e	0,52 m ⁻¹

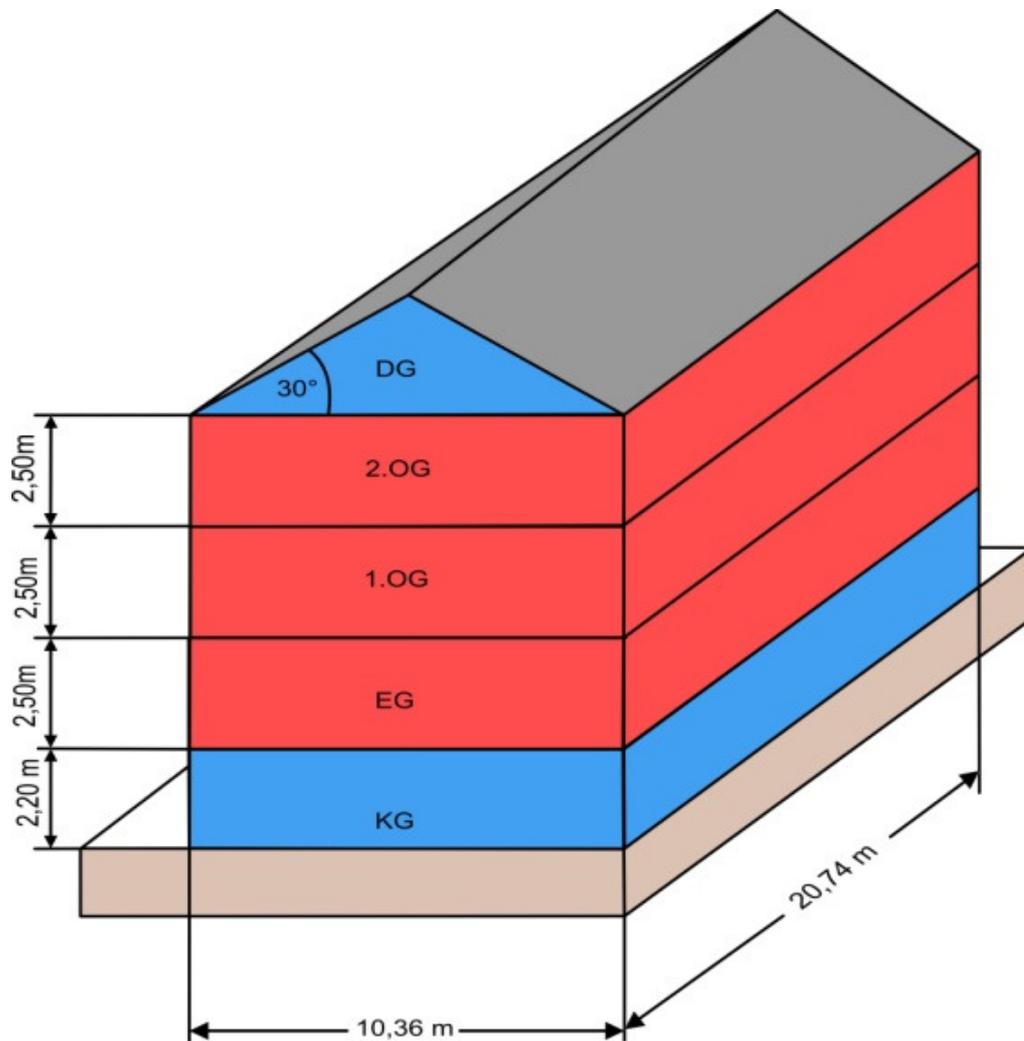


Abbildung 3 Mehrfamilienhaus / 6-Familienhaus, Altbau

2.2 Wärmeschutzniveau

2.2.1 Ausgangszustand

Das Einsparpotenzial von Sanierungsmaßnahmen ist wesentlich vom Zustand der Gebäude vor der Sanierung abhängig. Für die nachfolgenden Berechnungen werden zwei verschiedene Ausgangszustände betrachtet:

- Wärmeschutz etwa entsprechend Wärmeschutzverordnung 1978 (WSV 1978)
- Wärmeschutz etwa entsprechend Wärmeschutzverordnung 1984 (WSV 1984)

Die Gebäude weisen einen mittleren Wärmeschutz auf, im Gebäudebestand gibt es sowohl deutlich besser als auch deutlich schlechter gedämmte Gebäude¹.

2.2.2 Bauliche Sanierungsmaßnahmen

Als ein Maßnahmenpaket ist die Sanierung der Gebäudehülle vorgesehen. Sie beinhaltet die Dämmung der thermischen Hülle und den Austausch der Fenster zur Herstellung eines zeitgemäßen Wärmeschutzes, etwa dem Anforderungsniveau der EnEV 2009 entsprechend.

Damit ergeben sich bezüglich des Wärmeschutzes zu jedem Gebäude vier Varianten.

- WSV 1978
- WSV 1978 gedämmt (etwa EnEV 2009)
- WSV 1984
- WSV 1984 gedämmt (etwa EnEV 2009)

Im Folgenden wird der Begriff „Dämmung“ synonym zur baulichen Sanierung einschließlich Fenstertausch verwandt.

Tabelle 1 Bauliche Sanierungsmaßnahmen und U-Werte [W/(m²K)]

Bauteil	Ausgangszustand	Sanierung		
	U (ca. WSV 1978)	Maßnahme	U _{saniert}	
			ist	(EnEV 2009)
Außenwand	0,8	WDVS 12cm	0,24	(0,24)
Außenfenster	2,8	Austausch: 2-Scheiben-	1,30	(1,30)
Dachfenster		Wärmeschutzverglasung 2/1,2/1,0		(1,40)
Außentür	2,4	- keine Maßnahme -	2,40	(2,90)
Dach	0,5	Zwischen- und Untersparrendämmung 10cm	0,22	(0,24)
Oberste Geschossdecke	0,5	Wärmedämmung von oben, begehbar, 10cm	0,22	(0,24)
Kellerdecke	0,8	Dämmung von unten 10cm	0,27	(0,30)
Bauteil	Ausgangszustand	Sanierung		
	U (ca. WSV 1984)	Maßnahme	U _{saniert}	
			ist	(EnEV 2009)
Außenwand	0,6	WDVS 10cm	0,24	(0,24)
Außenfenster	2,8	Austausch: 2-Scheiben-	1,30	(1,30)
Dachfenster		Wärmeschutzverglasung 2/1,2/1,0		(1,40)
Außentür	2,4	- keine Maßnahme -	2,40	(2,90)
Dach	0,4	Zwischen- und Untersparrendämmung 10cm	0,20	(0,24)
Oberste Geschossdecke	0,4	Wärmedämmung von oben, begehbar, 10cm	0,22	(0,24)
Kellerdecke	0,6	Dämmung von unten 8cm	0,27	(0,30)

¹ Bei Gebäuden, die schlechter gedämmt sind als in der vorliegenden Untersuchung unterstellt, ergibt sich rechnerisch ein höheres Energieeinsparpotenzial. Allerdings zeigt eine Vielzahl von Verbrauchsauswertungen, dass das rechnerische Energieeinsparpotenzial besonders schlecht gedämmter Gebäude häufig überbewertet wird. Eine derartige Überbewertung soll durch die gewählten Randbedingungen vermieden werden.

Im unsanierten Zustand wird von einem Wärmebrückenzuschlag von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgegangen. Da es bei baulichen Sanierungsmaßnahmen häufig Schwierigkeiten bereitet, alle relevanten Wärmebrücken wärmetechnisch mit DIN 4108 Beiblatt 2 vergleichbar zu realisieren, wird auch nach der Sanierung mit einem Wärmebrückenzuschlag von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gerechnet.

Es wird im unsanierten und im sanierten Gebäude mit einem Luftwechsel von $0,7 \text{ h}^{-1}$ gerechnet, Kosten für die Erstellung und Realisierung eines Luftdichtheitskonzeptes oder einen Blower-Door-Test werden nicht berücksichtigt.

Da sich die vorliegende Studie entsprechend der Vorgabe des Auftraggebers vorrangig mit dem Vergleich anlagenseitiger Energiesparmaßnahmen beschäftigt, wird für die baulichen Wärmeschutzmaßnahmen an den untersuchten Gebäuden immer nur ein Maßnahmenpaket betrachtet. Die untersuchten Anlagensanierungen stellen jedoch auch immer ein Paket dar, da neben dem Wechsel des Wärmeerzeugers einschließlich Heizungspumpe, Regelung und Anpassung der Abgasanlage auch immer eine Erneuerung des Warmwasserspeichers, eine Dämmung der Rohrleitungen im Keller, der Einbau neuer Thermostatventile sowie ein hydraulischer Abgleich unterstellt wird.

2.3 Anlagentechnik

2.3.1 Ausgangszustand

Es werden zwei verschiedene anlagenseitige Ausgangszustände angenommen, welche sich wesentlich nur im verwendeten Energieträger (Heizöl, Erdgas) unterscheiden. So kann zusätzlich zur Modernisierung ohne Energieträgerwechsel (z.B. Umstellung von Standardkessel auf Brennwertkessel) auch gleichzeitig ein Energieträgerwechsel zwischen den im Bestand dominierenden Energieträgern Heizöl und Erdgas bewertet werden.

Anlagentechnischer Ausgangszustand „Alt 1 Öl-Standardkessel“

Heizung

- Standardkessel, Heizöl
- Ungeregelte Pumpe, überdimensioniert
- Anlage nicht hydraulisch abgeglichen
- Alte Thermostatventile
- Mäßige Dämmung der Rohrleitungen
- Schornstein vorhanden, aber nicht unmittelbar für Brennwert- oder Niedertemperatursysteme geeignet
- Vorhandener Öltank kann weiter genutzt werden

Trinkwarmwasser

- Zentrale Trinkwarmwasserbereitung über Wärmeerzeuger Heizung
- Mäßig gedämmter Speicher
- Rohrleitungen mit Zirkulation, mäßig gedämmt

Anlagentechnischer Ausgangszustand „Alt 2 Gas-Standardkessel“

Heizung

- Standardkessel, Erdgas
- Vorhandener Gasanschluss kann weiter genutzt werden
- Sonstige Randbedingungen analog Standardkessel, Heizöl (Alt 1)

Trinkwarmwasser

- Randbedingungen analog Standardkessel, Heizöl (Alt 1)

In Bestandsgebäuden sind Standardkessel vielfach anzutreffen. Erfolgt die Beheizung im Ausgangszustand durch einen Niedertemperaturkessel, ergeben sich bei gleichen Investitionskosten geringere Einsparpotenziale². Im Gegensatz dazu würden höhere Systemtemperaturen der Altanlage (z.B. 90/70 °C) zu einem höheren Einsparpotenzial führen.

² Bei einer Altanlage mit Standardkessel (EFH WSV 78) ergibt sich durch den Einbau eines BW-Kessels in Verbindung mit neuem WW-Speicher, hydraulischem Abgleich, neuen TRV und Dämmung der Kellerverteilung eine Primärenergieeinsparung von 32% (vgl. Tabelle 14). Wird unter sonst gleichen Randbedingungen ein alter NT-Kessel ersetzt, beträgt die Primärenergieeinsparung 26%. Wird ein alter NT-Kessel mit Auslegungstemperaturen von 90/70°C betrieben, resultiert aus der voranstehenden Anlagensanierung eine Primärenergieeinsparung von 31%. Wird ein alter Standardkessel mit 90/70°C betrieben, so erzielt die gleiche Maßnahme eine Einsparung von 36%.

2.3.2 Anlagenseitige Sanierungsmaßnahmen

Für die beiden Ausgangszustände werden jeweils 8 Sanierungsvarianten untersucht:

- Erdgas-Brennwertkessel
- Erdgas-Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung
- Erdgas-Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
- Heizöl-Brennwertkessel
- Heizöl-Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung
- Heizöl-Brennwertkessel mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
- Holzpelletanlage
- Luft-Wasser-Elektrowärmepumpe

In Summe ergeben sich für jede Gebäudevariante 18 Varianten der Anlagentechnik.

- Ausgangszustand Alt 1
 - 1 x unsaniert
 - 8 x saniert
- Ausgangszustand Alt 2
 - 1 x unsaniert
 - 8 x saniert

Alle anlagenseitigen Sanierungen beinhalten

- Austausch des Wärmeerzeugers inkl. Regelung und Heizungspumpe
- Austausch des Trinkwarmwasserspeichers
- Einbau neuer Thermostatventile (Auslegungsproportionalbereich 1K)
- Hydraulischer Abgleich
- Dämmung der Heizungs- und Warmwasserverteillungen im Kellerbereich entsprechend den Vorgaben der EnEV für neue Rohrleitungen
- Anpassung des Abgassystems, soweit erforderlich

Im Falle einer reinen Anlagensanierung (ohne Dämmung des Gebäudes) wird von einem Betrieb der Heizungsanlage mit alten Heizkörpern und Systemtemperaturen von 70/55 °C ausgegangen. Bei einer Sanierung von Anlage und Gebäudehülle wird ein Betrieb mit alten Heizkörpern und Systemtemperaturen von 55/45 °C unterstellt.

2.4 Variantenbeschreibung

Insgesamt werden 216 Varianten betrachtet, die sich wie folgt zusammensetzen:

- 3 Gebäudetypen (EFH, RH, 6-FH)
- 4 bauliche Wärmeschutzniveaus (Ausgangszustand WSV 1978 und WSV 1984, jeweils ungedämmt und gedämmt)
- 2 anlagenseitige Ausgangszustände (Erdgas, Heizöl)
- 9 Anlagenvarianten (1 x unsaniert + 8 x saniert)

Tabelle 2 zeigt schematisch, wie Ausgangswärmeschutzniveaus sowie bauliche und anlagenseitige Sanierungsmaßnahmen für die Berechnungen zu Varianten kombiniert werden. Jeder Variante ist eine Variantenummer zugeordnet. Zur besseren Übersicht wurde an jeder zehnten Position eine „Leervariante“ belassen. Dadurch enden die Variantenummern ähnlicher Sanierungsvarianten auf dieselbe Ziffer, was eine Zuordnung erleichtert³.

Die Tabellen 3 bis 8 enthalten eine vollständige Auflistung aller Kombinationsmöglichkeiten mit detaillierter Anlagenbeschreibung und die Zuordnung zur jeweiligen Variantenummer.

Tabelle 2 Kombinationsschema

Variante	Gebäude	WSV	Dämmung	Anlagentechnik	
1	EFH	1978	ungedämmt	Ausgangszustand	"Alt 1": Heizöl-Standardkessel
2				Ausgangszustand "Alt 1", Anlagensanierung	Erdgas-Brennwertsystem
3					Erdgas-Brennwertsystem mit solarer Trinkwassererwärmung
4					Erdgas-Brennwertsystem mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
5					Heizöl-Brennwertsystem
6					Heizöl-Brennwertsystem mit solarer Trinkwassererwärmung
7					Heizöl-Brennwertsystem mit solarer Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung
8					Holzpelletanlage
9					Elektrowärmepumpe
10					---
11		Ausgangszustand	"Alt 2": Erdgas-Standardkessel		
12...20		Ausgangszustand "Alt 2", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10		
21		gedämmt	Ausgangszustand	"Alt 1", unsaniert: Heizöl-Standardkessel	
22...30			Ausgangszustand "Alt 1", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10	
31			Ausgangszustand	"Alt 2", unsaniert: Erdgas-Standardkessel	
32...40			Ausgangszustand "Alt 2", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10	
41		ungedämmt	1984	Ausgangszustand	"Alt 1", unsaniert: Heizöl-Standardkessel
42...50				Ausgangszustand "Alt 1", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10
51				Ausgangszustand	"Alt 2", unsaniert: Erdgas-Standardkessel
52...60				Ausgangszustand "Alt 2", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10
61	gedämmt		Ausgangszustand	"Alt 1", unsaniert: Heizöl-Standardkessel	
62...70			Ausgangszustand "Alt 1", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10	
71			Ausgangszustand	"Alt 2", unsaniert: Erdgas-Standardkessel	
72...80			Ausgangszustand "Alt 2", Anlagensanierung	Sanierungsvarianten analog 2-10	
81...160	RH	analog EFH			
161...240	6-FH	analog EFH			

³ Beispiel

Variante 9 – EFH 1978, ungedämmt, EWP (Ausgangszustand: Ölkessel)

Variante 19 – EFH 1978, ungedämmt, EWP (Ausgangszustand: Gaskessel)

Varianten 29 und 39 – analog Varianten 9 und 19, aber gedämmt

Tabelle 3 Variantenbeschreibung Einfamilienhaus freistehend, Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung				
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*										
EFH, Gebäudehülle unsaniert	1	11	41	51	Standardkessel, Heizöl (1, 41) / Erdgas (11, 51)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unreguliert und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung	
	2	12	42	52	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregel	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV	
	3	13	43	53	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 6,5m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	4	14	44	54	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 11,7m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	5	15	45	55	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter		
	6	16	46	56	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 6,5m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	7	17	47	57	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 11,7m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	8	18	48	58	Biomassewärmeerzeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 200 Liter		
	9	19	49	59	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 200 Liter			Heizkreisauslegungstemperaturen 55/45°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregel	Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung		indirekt beheizter Speicher 400 Liter
	10	20	50	60	-	-	-			-	-	-		-

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

Tabelle 4 Variantenbeschreibung Einfamilienhaus freistehend, Gebäude- und Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung				
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*										
EFH, Gebäudehülle saniert (Dämmung und Fensteraustausch, ca. EnEV 2009)	21	31	61	71	Standardkessel, Heizöl (21, 61) / Erdgas (31, 71)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unreguliert und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung	
	22	32	62	72	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 55/45°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregt	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV	
	23	33	63	73	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 6,5m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	24	34	64	74	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 11,7m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	25	35	65	75	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter		
	26	36	66	76	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 6,5m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	27	37	67	77	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 11,7m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	28	38	68	78	Biomassewärmerezeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 200 Liter		
	29	39	69	79	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 200 Liter			Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung	indirekt beheizter Speicher 400 Liter		
	30	40	70	80	-	-	-			-	-	-		-

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

Tabelle 5 Variantenbeschreibung Einfamilien-Reihenmittelhaus, Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung						
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung			
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*												
	RH, Gebäudehülle unsaniert															
81	91	121	131	Standardkessel, Heizöl (81, 121) / Erdgas (91, 131)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unregelt und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung				
82	92	122	132	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregt	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV				
83	93	123	133	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 4,4m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter					
84	94	124	134	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 7,9m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter					
85	95	125	135	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter					
86	96	126	136	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 4,4m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter					
87	97	127	137	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 7,9m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter					
88	98	128	138	Biomassewärmerezeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 200 Liter					
89	99	129	139	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 200 Liter			Heizkreisauslegungstemperaturen 55/45°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregt	Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung		indirekt beheizter Speicher 400 Liter			
90	100	130	140	-	-	-			-	-	-		-	-		

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

Tabelle 6 Variantenbeschreibung Einfamilien-Reihenmittelhaus, Gebäude- und Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung				
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*										
RH, Gebäudehülle saniert (Dämmung und Fensteraustausch, ca. EnEV 2009)	101	111	141	151	Standardkessel, Heizöl (101, 141) / Erdgas (111, 151)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unreguliert und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung	
	102	112	142	152	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 55/45°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregelt	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV	
	103	113	143	153	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 4,4m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	104	114	144	154	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 7,9m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	105	115	145	155	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 150 Liter		
	106	116	146	156	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 4,4m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 300 Liter		
	107	117	147	157	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 7,9m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 750 Liter		
	108	118	148	158	Biomassewärmerezeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 200 Liter		
	109	119	149	159	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 200 Liter			Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung	indirekt beheizter Speicher 400 Liter		
	110	120	150	160	-	-	-			-	-	-		-

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

Tabelle 7 Variantenbeschreibung Mehrfamilienhaus / 6-Familienhaus, Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung				
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*										
6-FH, Gebäudehülle unsaniert	161	171	201	211	Standardkessel, Heizöl (161, 201) / Erdgas (171, 211)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unreguliert und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung	
	162	172	202	212	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregelt	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV	
	163	173	203	213	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 15,1m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 1000 Liter		
	164	174	204	214	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	Pufferspeicher 350 Liter			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 27,2m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 1170 Liter		
	165	175	205	215	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter		
	166	176	206	216	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 15,1m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 1000 Liter		
	167	177	207	217	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	Pufferspeicher 350 Liter			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 27,2m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 1170 Liter		
	168	178	208	218	Biomassewärmeerzeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 500 Liter		
	169	179	209	219	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 350 Liter			Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung	indirekt beheizter Speicher 500 Liter		
	170	180	210	220	-	-	-			-	-	-		-

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

Tabelle 8 Variantenbeschreibung Mehrfamilienhaus / 6-Familienhaus, Gebäude- und Anlagensanierung

	Variante				Heizung					Trinkwassererwärmung				
	WSV 1978		WSV 1984		Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	Übergabe	Erzeuger 1	Erzeuger 2	Speicherung	Verteilung	
	Alt 1*	Alt 2*	Alt 1*	Alt 2*										
6-FH, Gebäudehülle saniert (Dämmung und Fensteraustausch, ca. EnEV 2009)	181	191	221	231	Standardkessel, Heizöl (181, 221) / Erdgas (191, 231)	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 70/55°C, mäßige Leitungsdämmung, kein hydraulischer Abgleich, Umwälzpumpe unregelt und überdimensioniert	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, alte Thermostatventile	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter, mäßig gedämmt	mit Zirkulation, mäßige Dämmung	
	182	192	222	232	Brennwertkessel, Erdgas	-	-	Heizkreisauslegungstemperaturen 55/45°C, mäßige Leitungsdämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV, optimierter Betrieb (optimale Heizkurve, hydraulischer Abgleich), Umwälzpumpe leistungsgeregt	freie Heizflächen, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile mit Auslegungsproportionalbereich 1K	Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter	mit Zirkulation, mäßige Dämmung der Steig- und Anbindeleitungen, Dämmung der Verteilleitungen nach EnEV	
	183	193	223	233	Brennwertkessel, Erdgas	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 15,1m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 1000 Liter		
	184	194	224	234	Brennwertkessel, Erdgas	solare Heizungsunterstützung 10%	Pufferspeicher 350 Liter			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 27,2m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Erdgas)	bivalenter Kombispeicher 1170 Liter		
	185	195	225	235	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 300 Liter		
	186	196	226	236	Brennwertkessel, Heizöl	-	-			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 15,1m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung	bivalenter Solarspeicher 1000 Liter		
	187	197	227	237	Brennwertkessel, Heizöl	solare Heizungsunterstützung 10%	Pufferspeicher 350 Liter			Solaranlage, Sonnenenergie, Kollektorfläche 27,2m² nach DIN 4701-10	Wärmeerzeuger Heizung (Brennwertkessel, Heizöl)	bivalenter Kombispeicher 1170 Liter		
	188	198	228	238	Biomassewärmerezeuger, Holzpellets	-	-			Wärmeerzeuger Heizung	-	indirekt beheizter Speicher 500 Liter		
	189	199	229	239	Luft-Wasser-EWP	E-Heizung	Pufferspeicher 350 Liter			Wärmeerzeuger Heizung	E-Heizung	indirekt beheizter Speicher 500 Liter		
	190	200	230	240	-	-	-			-	-	-		-

* Alt 1: Ausgangszustand Heizöl-Standardkessel; Alt 2: Ausgangszustand Erdgas-Standardkessel

2.5 Berechnungen

2.5.1 Allgemeines

Alle Berechnungen werden dem Stand der Technik entsprechend durchgeführt. So weit möglich werden Standardwerte und -verfahren nach entsprechenden Normen zu Grunde gelegt. Beim Fehlen von normativen Vorgaben wird auf andere geeignete Quellen zurückgegriffen.

2.5.2 Energiekennwerte und Kohlendioxidausstoß

Die Berechnung der Endenergiebedarfswerte erfolgt mit einer kommerziellen Energieberatersoftware (Hottgenroth Energieberater Plus 6.4.4). Den Berechnungen liegen gebäudeseitig das Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6 und anlagenseitig die DIN V 4701-10 zugrunde.

Für die Berechnung der Primärenergiebedarfe werden die Primärenergiefaktoren nach DIN V 4701-10, geändert durch DIN SPEC 4701-10/A1, verwendet. Entsprechend EnEV 2009 erfolgt ein Bezug auf den nicht erneuerbaren Anteil des Primärenergiebedarfs.

Die Berechnung der Kohlendioxidemissionen erfolgt anhand des Endenergiebedarfs mit den CO₂-Emissionsfaktoren aus Gemis 4.5⁴. Sie spiegeln mittlere Verhältnisse für Deutschland wieder. Neben den im Gebäude anfallenden Emissionen werden auch die bei der Bereitstellung der Endenergie vorgelagerten Prozesse berücksichtigt. Für Strom wird vereinfachend der mittlere Emissionsfaktor für die Stromentnahme aus dem lokalen Stromnetz verwendet.

Tabelle 9 CO₂-Emissions- und Primärenergiefaktoren

Energieträger	Wert	Einheit	Quelle
CO₂-Emissionsfaktoren			
Erdgas	227	g/kWh	Gemis 4.5 Erdgas 2005
Heizöl	317	g/kWh	Gemis 4.5 Heizöl 2005
Pellets	29	g/kWh	Gemis 4.5 Holz-Pellets 2005
Strom	644	g/kWh	Gemis 4.5 Stromnetz lokal 2005
Primärenergiefaktoren			
Erdgas	1,1		EnEV 2009 / DIN SPEC 4701-10/A1
Heizöl	1,1		EnEV 2009 / DIN SPEC 4701-10/A1
Pellets	0,2		EnEV 2009 / DIN SPEC 4701-10/A1
Strom	2,6		EnEV 2009 / DIN SPEC 4701-10/A1

⁴ Es werden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2005 verwendet, da dieses Jahr die Bezugsbasis für die Primärenergiefaktoren in DIN V 4701-10 ist und Daten für spätere Jahre in Gemis nur als Prognosewerte vorliegen.

2.5.3 Kosten und Nutzungsdauern

Sanierungs- und Investitionskosten

Die angesetzten anlagenseitigen Sanierungskosten sind das Ergebnis umfangreicher Recherchen. Sie basieren auf einer Auswertung von Listenpreisen führender Hersteller und umfassen neben den Materialkosten auch die Lieferung, Montage, Inbetriebnahme, typische Rabatte und Preisaufläge sowie Kosten für Demontage und Entsorgung der Altanlage.

Zur Berechnung der bauseitigen Sanierungskosten werden die folgenden flächenspezifischen Vollkosten aus den angegebenen Quellen verwendet.

Tabelle 10 Kosten Gebäudesanierung

Bauteil	Sanierungsmaßnahme	Dicke / durchschnittliche Größe	Bruttovollkosten	Quelle
Außenwand	WDVS	10 cm	109,- €/m ²	IWU*
		12 cm	114,- €/m ²	
Außenfenster, Dachfenster	Austausch: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 2/1,2/1,0	1,9 m ²	294,- €/m ²	IWU*
		2,2 m ²	284,- €/m ²	
		2,5 m ²	275,- €/m ²	
Dach	Zwischen- und Untersparrendämmung	10 cm	87,- €/m ²	Hottgenroth Energieberater**
Oberste Geschosdecke	Wärmedämmung von oben, begehbar	10 cm	48,- €/m ²	IWU*
Kellerdecke	Dämmung von unten	8 cm	34,- €/m ²	IWU*
		10 cm	36,- €/m ²	

* IWU Institut Wohnen und Umwelt Darmstadt, Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012, Gutachten im Auftrag des BBSR/BBR, Teil 1, 3. Zwischenbericht.
 ** Hottgenroth Energieberater Plus 6.4.4; Zwischensparrendämmung von unten und Untersparrendämmung
 Energiespar-Maßnahmen: Abnahme der Dachinnenverkleidung, Einbringen von Dämmstoff, Anbringung Luftdichtung und neue Dachinnenverkleidung.

Die Investitionskosten, welche als Grundlage der zu ermittelnden Kostenkennwerte dienen, ergeben sich aus den Sanierungskosten, ggf. abzüglich Förderungen.

Energiekosten

Die Berechnungen der Energiekosten basieren auf folgenden bundesdeutschen Jahresmittelwerten für den Zeitraum Juli 2008 bis Juni 2009 aus den angegebenen Quellen.

Tabelle 11 Energiepreise, Jahresmittelwerte

Energiekosten			
Pellets (nach Abnahmemenge)			
1 t	282,00	€/t	C.A.R.M.E.N. e.V.
2 t	237,33	€/t	C.A.R.M.E.N. e.V.
5 t	209,63	€/t	C.A.R.M.E.N. e.V.
10 t	200,36	€/t	C.A.R.M.E.N. e.V.
20 t	192,71	€/t	C.A.R.M.E.N. e.V.
Strom			
Arbeitspreis Normaltarif	0,21	€/kWh	BDEW
Arbeitspreis Wärmepumpentarif	0,15	€/kWh	BDEW
Grundpreis Wärmepumpentarif	61,-	€/a	BDEW
Heizöl (nach Abnahmemenge)			
750 l	0,7714	€/l	Umrechnung des Preises für 3000 l auf Abnahmemenge
1250 l	0,7358	€/l	
2000 l	0,7097	€/l	
3000 l	0,6964	€/l	Brennstoffspiegel
4000 l	0,6892	€/l	Umrechnung des Preises für 3000 l auf Abnahmemenge
5000 l	0,6831	€/l	
6500 l	0,6788	€/l	
ab 8000 l	0,6763	€/l	
Erdgas (nach Abnahmemenge, für Gebäude ausgewählt)			
Arbeitspreis EFH/RH	0,0720	€/kWh	Marktdaten BDEW
Grundpreis EFH/RH	165,-	€/a	Marktdaten BDEW
Arbeitspreis 6-FH	0,0690	€/kWh	Marktdaten BDEW
Grundpreis 6-FH ungedämmt	400,-	€/a	Marktdaten BDEW
Grundpreis 6-FH gedämmt	240,-	€/a	Marktdaten BDEW

Nutzungsdauer

Für die Berechnung der absoluten, auf die Nutzungsdauer bezogenen Emissionsminderungskosten, sind Aussagen zur mittleren Lebenserwartung (Nutzungsdauer) erforderlich.

Für Einzelmaßnahmen werden die in Tabelle 12 dargestellten Nutzungsdauern aus den angegebenen Quellen zu Grunde gelegt.

Tabelle 12 Nutzungsdauern, Einzelmaßnahmen

		Nutzungsdauer			
Anlage*	Versorgung, Anschluss, Installation	Öltank 30 a	Hausanschluss Gas 50 a	Installation (Elektro, Gas, Öl) 50 a	Pelletlager 20 a
	Erzeugung	Brennwertkessel (Gas, Öl) 18 a	Holzpelletkessel 20 a	Solare Heizungsunterstützung 20 a	EWP 20 a
		Trinkwarmwasser	TWW-Speicher 25 a	Solare TWE mit Speicher 20 a	
	Sonstiges	Heizflächen 20 a	Leitungsämmung 20 a		
		Gebäudehülle	Dämmung** 40 a	Fenster (2-SWSV)*** 30 a	

* VDI 2067 Blatt 1
** Fraunhofer Institut für Bauphysik: Bauphysik 28 (2006), Heft 3
*** Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Leitfaden Nachhaltiges Bauen

Da alle betrachteten Sanierungsvarianten Kombinationen von Einzelmaßnahmen mit unterschiedlichen Lebensdauern darstellen, muss für jede Sanierungsvariante eine mittlere Nutzungsdauer ermittelt werden.

Die mittlere Nutzungsdauer einer Sanierungsvariante wird im Rahmen der vorliegenden Studie als die Zeitspanne definiert, in der die aufzubringenden Sanierungskosten rechnerisch genau einmal anfallen.

$$\text{Mittlere Nutzungsdauer } [a] = \frac{\text{Summe der relevanten Einzelmaßnahmenkosten } [€]}{\sum_i \left(\frac{\text{Kosten der Einzelmaßnahme } i [€]}{\text{Nutzungsdauer der Einzelmaßnahme } i [a]} \right)}$$

Bei der Berechnung der mittleren Nutzungsdauer werden nicht die gesamten Investitionskosten, sondern nur nutzungsdauerrelevante Sanierungskosten betrachtet, da bestimmten Anteilen – wie z.B. Demontagekosten – keine Lebensdauer zugeordnet werden kann.

2.5.4 Förderung

Die Berechnung der Investitionskosten erfolgt unter Beachtung aktuell bundesweit gültiger Förderprogramme. Zinsvergünstigte Kredite werden hierbei nicht beachtet, da sie keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Investitionskosten haben.

BAFA

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird für Sanierungsvarianten, welche die Nutzung erneuerbarer Energien (Solarthermie, Biomasse/Holzpellets) vorsehen, die Basisförderung angenommen. Für Sanierungsvarianten, welche die Nutzung solarthermischer Anlagen beinhalten, wird zusätzlich von der Gewährung des Kesselaustauschbonus ausgegangen⁵.

⁵ Das BAFA macht die Gewährung von Fördermitteln von der Einhaltung bestimmter technischer Parameter abhängig. Holzpelletkessel und die betrachteten Elektrowärmepumpen mit Wärmequelle Luft erfüllen diese Anforderungen mit den Standardwerten nach DIN V 4701-10 nicht. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird dennoch mit Standardwerte nach DIN V 4701-10 gerechnet, da diese für die Mehrzahl der energetischen Nachweise und Berechnungen in Deutschland, z.B. im Zusammenhang mit der Energieeinsparverordnung, Anwendung finden. Außerdem wird damit einer Diskussion des Themas „Normative Nutzungsgrade/Arbeitszahlen gegenüber Praxiswerten“ aus dem Weg gegangen, die den Umfang der vorliegenden Studie sprengen würde.



Basis-, Bonus- und Innovationsförderung Solar, Stand: Juni 2009

Maßnahme	Förderung		Kesseltauschbonus	Kombinationsbonus ³⁾	Effizienzbonus	Umwälzpumpenbonus	Solarpumpenbonus	Innovationsförderung ⁶⁾ im Gebäudebestand	Innovationsförderung ⁶⁾ im Neubau	
	Basisförderung im Gebäudebestand	Basisförderung im Neubau								
Errichtung einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung bis 40 qm Kollektorfläche	60 €/qm Kollektorfläche, mindestens 410 €	45 €/qm Kollektorfläche, mindestens 307,50 €	375 €	-	-	-	210 €/qm Kollektorfläche	157,50 €/qm Kollektorfläche	
	... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ¹⁾ bis 40 qm Kollektorfläche	105 €/qm Kollektorfläche	78,75 €/qm Kollektorfläche	750 €	750 €	Stufe 1 ⁴⁾ : 0,5 x Basisförderung Stufe 2 ⁴⁾ : 1 x Basisförderung	200 € je Heizungsanlage ⁵⁾	50 € je Pumpe	210 €/qm Kollektorfläche	157,50 €/qm Kollektorfläche
	... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ²⁾ mit mehr als 40 qm Kollektorfläche	105 €/qm Kollektorfläche bis 40 qm + 45 € pro qm Kollektorfläche über 40 qm	78,75 €/qm Kollektorfläche bis 40 qm + 33,75 € pro qm Kollektorfläche über 40 qm						-	-
	... zur Bereitstellung von Prozesswärme bis 40 qm Kollektorfläche	105 €/qm Kollektorfläche	105 €/qm Kollektorfläche						210 €/qm Kollektorfläche	210 €/qm Kollektorfläche
	... solaren Kälteerzeugung bis 40 qm Kollektorfläche	105 €/qm Kollektorfläche	78,75 €/qm Kollektorfläche						210 €/qm Kollektorfläche	157,50 €/qm Kollektorfläche
	Erweiterung einer bestehenden Solaranlage	45 €/qm zusätzlicher Kollektorfläche	45 €/qm zusätzlicher Kollektorfläche						-	-

Es gelten unterschiedliche Förderbeträge für Anlagen in Neubauten und für Anlagen in Bestandsbauten. Für Anlagen in Neubauten werden mit Ausnahme der Bonusförderung um 25% reduzierte Fördersätze gewährt. Eine Ausnahme gilt lediglich für Anlagen in Neubauten, für die bereits vor dem 01.01.2009 ein Bauantrag gestellt oder eine Bauanzeige erstattet wurde. Diese Anlagen werden wie Anlagen im Gebäudebestand behandelt. Kesseltauschbonus, Kombinationsbonus, Effizienzbonus, Umwälzpumpenbonus und Solarpumpenbonus können **zusätzlich** zur Basisförderung gewährt werden. Kombinationsbonus und Effizienzbonus sowie Kesseltauschbonus und Effizienzbonus sind **nicht miteinander kombinierbar**. Bei der Innovationsförderung werden zusätzliche Boni **nicht** gewährt. Es gelten die Bestimmungen der Richtlinien vom 20. Februar 2009

- 1) Bei Flachkollektoren: Mind. 9 qm Kollektorfläche, mind. 40 l/qm Pufferspeichervolumen. Bei Röhrenkollektoren: Mind. 7 qm Kollektorfläche, mind. 50 l/qm Pufferspeicher
- 2) Nur bei Ein- und Zweifamilienhäusern. Pufferspeichervolumen von mind. 100 l/qm Kollektorfläche erforderlich
- 3) Zusätzlich zur Basisförderung kann ein Bonus in Höhe von 750 € gewährt werden, wenn gleichzeitig eine förderfähige Biomasseanlage oder eine förderfähige Wärmepumpe installiert wurde.
- 4) **Effizienzbonus Stufe 1:** Die Gebäudehülle erfüllt EnEV-Standard bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder unterschreitet EnEV-Standard um 30% bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994. **Effizienzbonus Stufe 2:** Die Gebäudehülle unterschreitet EnEV-Standard um 30% bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder unterschreitet EnEV-Standard um 45% bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994.
- 5) Die Umwälzpumpen müssen Bestandteil eines hydraulisch und regeltechnisch optimierten Heizungssystems sein, das – sofern Heizkörper vorhanden sind – mit voreinstellbaren Thermostatventilen an den Heizkörpern und ggf. mit weiteren Abgleicharmaturen ausgestattet ist. Der Bonus ist nicht mit dem Zuschuss aus dem KfW-Programm "Energieeffizient Sanieren" kumulierbar.
- 6) Mindestkollektorfläche 20 qm, maximale Kollektorfläche 40 qm. Die Ausführungsbestimmungen des BMU vom 17.04.2007 zur Innovationsförderung sind zu beachten

Abbildung 4 Übersicht BAFA-Förderung, Solaranlagen [Quelle: www.bafa.de]



Basis-, Bonus- und Innovationsförderung Biomasse, Stand: Juni 2009

Förderung Maßnahme	Basisförderung im Gebäudebestand	Basisförderung im Neubau	Kombinationsbonus ²⁾	Effizienzbonus	Umwälzpumpen- bonus	Innovations- förderung ⁵⁾
Luftgeführter Pelletofen 5 kW bis max. 100 kW	36 €/kW, 5 - 8 kW: 500 €, ab 8 kW: 1000 €, ab 01.07.2009: 5-100 kW: 500 € ¹⁾	27 €/kW, 5 - 8 kW: 375 €, ab 8 kW: 750 €, ab 01.07.2009: 5-100 kW: 375 € ¹⁾				
Pelletofen mit Wassertasche 5 kW bis max. 100 kW	36 €/kW, mind. 1000 €	27 €/kW, mind. 750 €				
Pelletkessel 5 kW bis max. 100 kW	36 €/kW, mind. 2000 €	27 €/kW, mind. 1500 €		Stufe 1³⁾: 0,5 x Basisförderung,	200 € je Heizungs- anlage ⁴⁾	500 € je Maßnahme
Pelletkessel mit neu errichtetem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW 5 kW bis max. 100 kW	36 €/kW, mind. 2500 €	27 €/kW, mind. 1875 €	750 €	Stufe 2³⁾: 1 x Basisförderung		
Holzhackschnittelanlage mit einem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW 5 kW bis max. 100 kW	pauschal 1000 € je Anlage	pauschal 750 € je Anlage				
Scheitholzvergaserkessel mit einem Pufferspeicher von mind. 55 l/kW 15 kW bis max. 50 kW	pauschal 1125 € je Anlage	pauschal 843,75 € je Anlage				

Es gelten unterschiedliche Förderbeträge für Anlagen in Neubauten und für Anlagen in Bestandsbauten. Für Anlagen in Neubauten werden mit Ausnahme der Bonusförderung um 25% reduzierte Fördersätze gewährt. Eine Ausnahme gilt lediglich für Anlagen in Neubauten, für die bereits vor dem 01.01.2009 ein Bauantrag gestellt oder eine Bauanzeige erstattet wurde. Diese Anlagen werden wie Anlagen im Gebäudebestand behandelt.

Kombinationsbonus, Effizienzbonus und Umwälzpumpenbonus können **zusätzlich** zur Basisförderung gewährt werden.

Kombinationsbonus und Effizienzbonus sind **nicht miteinander kombinierbar**.

Es gelten die Bestimmungen der Richtlinien vom 20. Februar 2009

1) Ab dem 01.07.2009 beträgt die Basisförderung höchstens 20 % der Nettoinvestitionskosten

2) Zusätzlich zur Basisförderung kann ein Bonus in Höhe von 750 € gewährt werden, wenn gleichzeitig eine förderfähige thermische Solaranlage installiert wurde.

3) **Effizienzbonus Stufe 1:** Die Gebäudehülle erfüllt EnEV-Standard bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder unterschreitet EnEV-Standard um 30% bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994.
Effizienzbonus Stufe 2: Die Gebäudehülle unterschreitet EnEV-Standard um 30% bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder unterschreitet EnEV-Standard um 45% bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994.

4) Die Umwälzpumpe muss Bestandteil eines hydraulisch und regeltechnisch optimierten Heizungssystems sein, das – sofern Heizkörper vorhanden sind - mit voreinstellbaren Thermostatventilen an den Heizkörpern und ggf. mit weiteren Abgleicharmaturen ausgestattet ist. Der Bonus ist nicht mit dem Zuschuss aus dem KfW-Programm "Energieeffizient Sanieren" kumulierbar.

5) Gefördert werden Maßnahmen zur Steigerung des Wärmeertrages durch Abgaskondensation und/oder zur Abscheidung der im Abgas enthaltenen Partikel.

Abbildung 5 Übersicht BAFA-Förderung, Biomasse

[Quelle: www.bafa.de]



Basis-, Bonus- und Innovationsförderung Wärmepumpe, Stand: Juni 2009

Förderung	Maßnahme	Gebäudebestand		Neubau (Bauantrag/Bauanzeige gestellt vor dem 01.01.2009)		Neubau (Bauantrag/Bauanzeige gestellt nach dem 31.12.2008)		Kombinationsbonus ¹⁾	Effizienzbonus	Umwälzpumpenbonus ³⁾
Basisförderung	Luft/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 3,3 (Bestand) bzw. JAZ >= 3,5 (Neubau)	10 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 1500 € je Wohneinheit bzw. 10% der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	5 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 850 € je Wohneinheit bzw. 10% der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	3,75 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 637,50 € je Wohneinheit bzw. 7,5% der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	750 €	Stufe 1 ²⁾ : 0,5 x Basisförderung, Stufe 2 ²⁾ : 1 x Basisförderung	200 € je Heizungsanlage			
	Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 3,7 (Bestand) bzw. JAZ >= 4,0 (Neubau)	20 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 3000 € je Wohneinheit bzw. 15 % der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	10 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 2000 € je Wohneinheit bzw. 10 % der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	7,50 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 2000 € je Wohneinheit bzw. 7,5 % der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾						
Innovationsförderung	Luft/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 4,5 (Bestand) bzw. JAZ >= 4,7 (Neubau)	15 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 2250 € je Wohneinheit bzw. 15% der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	7,50 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 1275 € je Wohneinheit bzw. 15% der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	-	-	-	200 € je Heizungsanlage			
	Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe JAZ >= 4,5 (Bestand) bzw. JAZ >= 4,7 (Neubau)	30 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 4500 € je Wohneinheit bzw. 22,5 % der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	15 €/qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 3000 € je Wohneinheit bzw. 15 % der Nettoinvestitionskosten ⁴⁾	-	-	-	200 € je Heizungsanlage			

Es gelten unterschiedliche Förderbeträge für Anlagen in Neubauten und für Anlagen in Bestandsbauten. Für Anlagen in Neubauten werden mit Ausnahme der Bonusförderung geringere Fördersätze gewährt. Außerdem hängt die Höhe der Förderung davon ab, wann ein Bauantrag gestellt oder Bauanzeige erstattet wurde.

Kombinationsbonus, Effizienzbonus und Umwälzpumpenbonus können zusätzlich zur Basisförderung gewährt werden. Bei der Innovationsförderung kann zusätzlich nur der Umwälzpumpenbonus gewährt werden.

Kombinationsbonus und Effizienzbonus sind **nicht miteinander kombinierbar**.

Es gelten die Bestimmungen der Richtlinien vom 20. Februar 2009

1) Zusätzlich zur Basisförderung kann der Kombinationsbonus in Höhe von 750 € gewährt werden, wenn gleichzeitig eine förderfähige thermische Solaranlage installiert wurde.

2) **Effizienzbonus Stufe 1:** Die Gebäudehülle erfüllt EnEV-Standard bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder liegt 30 % unter EnEV-Standard bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994. **Effizienzbonus Stufe 2:** Gebäudehülle erfüllt die Anforderungen der Stufe 1 und für die Wärmepumpe wird zusätzlich eine JAZ von 4,5 im Gebäudebestand sowie 4,7 im Neubau nachgewiesen oder Gebäudehülle erfüllt unterschreitet EnEV-Standard um 30% bei Gebäuden mit Baugenehmigung vor 1995 oder unterschreitet EnEV-Standard um 45% bei Gebäuden mit Baugenehmigung nach 1994.

3) Die Umwälzpumpe muss Bestandteil eines hydraulisch und regeltechnisch optimierten Heizungssystems sein, das – sofern Heizkörper vorhanden sind - mit voreinstellbaren Thermostatventilen an den Heizkörpern und ggf. mit weiteren Abgleicharmaturen ausgestattet ist. Der Bonus ist nicht mit dem Zuschuss aus dem KWV-Programm "Energieeffizient Sanieren" kumulierbar.

4) Die Nettoinvestitionskosten setzen sich aus allen die Wärmepumpe betreffenden Kosten zusammen. Dazu zählen die Kosten der Anlagenplanung, die Bohrung, das Material (Wärmepumpenaggregat, Anschlussmaterial und ggf. Pufferspeicher) sowie Montage. Netto bedeutet ausschließlich der Umsatzsteuer. Die Kosten für das Wärmeverteilungssystem (z.B. Heizkörper) werden nicht berücksichtigt.

Abbildung 6

Übersicht BAFA-Förderung, Wärmepumpen

[Quelle: www.bafa.de]

KfW 430

Das Programm 430 „Energieeffizient Sanieren“ der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet im Rahmen des „CO₂-Gebäudesanierungsprogrammes“ des Bundes Förderungen für Sanierungsmaßnahmen, welche die Gebäudeenergieeffizienz steigern.

Prinzipiell ist beim KfW-Förderprogramm 430 zwischen der Sanierung zu einem „KfW-Effizienzhaus“ und der Durchführung von Einzelmaßnahmen bzw. deren Kombination zu unterscheiden.

Für die Sanierung zu einem KfW-Effizienzhaus werden alle notwendigen Maßnahmen gefördert, die durch einen von der KfW anerkannten Energieberater im Rahmen eines konkreten Vorhabens empfohlen werden. Ein KfW-Effizienzhaus muss Obergrenzen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs (Q_P) und des baulichen Wärmeschutzes (H'_T) einhalten, welche durch ein entsprechendes Referenzgebäude nach EnEV 2009 definiert werden. Dabei wird zwischen verschiedenen Effizienzhausniveaus unterschieden. Für Sanierungsvarianten, die den Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus genügen, wird von einer Gewährung der entsprechenden Förderung ausgegangen.

Tabelle 13 Anforderungen und Förderungen für KfW-Effizienzhäuser (Sanierungsfall)

	Anforderungen		Fördersatz bezogen auf förderfähige Kosten	Maximaler Zuschuss je Wohneinheit
	Primärenergiebedarf	Spezifischer Transmissionswärmekoeffizient (baulicher Wärmeschutz)		
	Q_P	H'_T		
KfW-85	$\leq 0,85 * Q_{P,Referenz}$	$\leq 1,00 * H'_{T,Referenz}$	20,0%	15.000 €
KfW-100	$\leq 1,00 * Q_{P,Referenz}$	$\leq 1,15 * H'_{T,Referenz}$	17,5%	13.125 €
KfW-115	$\leq 1,15 * Q_{P,Referenz}$	$\leq 1,30 * H'_{T,Referenz}$	12,5%	9.375 €
KfW-130	$\leq 1,30 * Q_{P,Referenz}$	$\leq 1,45 * H'_{T,Referenz}$	10,0%	7.500 €

Für die Durchführung von Einzelmaßnahmen und deren Kombinationen werden seitens der KfW Einschränkungen technischer Art und bezüglich der Kombinierbarkeit mit Förderungen Dritter gemacht. Falls das Niveau eines KfW-Effizienzhauses nicht erreicht wird, wird für Sanierungsvarianten ohne Nutzung erneuerbarer Energien die Gewährung einer Einzelmaßnahmenförderung (für die Umrüstung auf einen Brennwertkessel) angenommen. Weitere Förderungen sind möglich, kommen aber wegen Nichtvereinbarkeit mit BAFA-Förderungen oder zu hoher Anforderungen (z.B. Wärmeschutz über aktuellem EnEV-Anforderungsniveau) für die untersuchten Varianten nicht in Betracht.

2.5.5 Kostenkennwerte

Nach Berechnung aller Werte für Energiebedarf, Kohlendioxidausstoß und Energiekosten werden die Einsparungen der jeweiligen Größe zur unsanierten Ausgangsvariante ermittelt. Aus den Investitionskosten einer Sanierungsvariante, ihren Einsparungen bezüglich der jeweiligen Größe und ggf. ihrer mittleren Nutzungsdauer ergeben sich die Kostenkennwerte.

Endenergieminderungsinvestitionen

Die Endenergieminderungsinvestitionen sagen aus, mit welchem Betrag an Investitionskosten sich jährlich eine Kilowattstunde des Endenergiebedarfs einsparen lässt. Auf Basis des Endenergiebedarfs werden Energiekosten errechnet. Daher ist der Endenergiebedarf ein Kennwert, mit dem ein interessierter Nicht-Fachmann am ehesten konfrontiert wird.

Ein Vergleich verschiedener Sanierungsvarianten hinsichtlich der erzielten ökonomischen und ökologischen Verbesserung ist anhand dieser Größe jedoch nur dann möglich, wenn Varianten mit einem einheitlichen Energieträger betrachtet werden. Dann ergeben sich relativ geringe Unterschiede zu einer umfassenderen Bewertung auf Basis der Primärenergie oder Energiekosten.

$$\frac{\text{Investitionskosten}[\text{€}]}{\text{jährliche Endenergieeinsparung}[\text{kWh/a}]} = \text{Endenergieminderungsinvestitionen} \left[\frac{\text{€}_{\text{Invest}}}{\text{kWh}_{\Delta\text{End}}/\text{a}} \right]$$

Primärenergieminderungsinvestitionen

Die Primärenergieminderungsinvestitionen zeigen die Investitionssumme an, welche aufzubringen ist, um den entsprechend Energieeinsparverordnung berechneten Jahresprimärenergiebedarf um eine Kilowattstunde zu senken. Durch die primärenergetische Bewertung lässt sich der energetische Gesamtaufwand zur Bereitstellung einer bestimmten Menge an Energie abschätzen. Mit den Primärenergieminderungsinvestitionen ist dadurch ein Maß zur investitionskostenmäßigen Bewertung der Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz gegeben.

$$\frac{\text{Investitionskosten}[\text{€}]}{\text{jährliche Primärenergieeinsparung}[\text{kWh/a}]} = \text{Primärenergieminderungsinvestitionen} \left[\frac{\text{€}_{\text{Invest}}}{\text{kWh}_{\Delta\text{Primär}}/\text{a}} \right]$$

Energiekosteneinsparungs-Investitionen (statische Amortisationszeit)

Die Energiekosteneinsparungs-Investitionen entsprechen dem Betrag an Investitionskosten, welcher einzusetzen ist, um einen Euro an jährlichen Energiekosten einzusparen. Sie geben gleichermaßen die Zeit in Jahren an, in welcher die erzielte Energiekosteneinsparung bei unveränderten Randbedingungen die Höhe der ursprünglich aufgebrauchten Investitionskosten erreicht. Anders als bei einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsberechnung, bleiben bei dieser statischen Betrachtung Einflussfaktoren wie Zinsen, Energiepreissteigerungen oder Wartungs- und Instandsetzungsaufwendungen unberücksichtigt. Im Folgenden wird, bezugnehmend auf diese Größe, auch von vereinfachter Amortisation bzw. statischer Amortisationszeit gesprochen.

$$\frac{\text{Investitionskosten} [\text{€}]}{\text{jährliche Energiekosteneinsparung} [\text{€}/\text{a}]} = \text{Energiekostenminderungsinvestitionen} \left[\frac{\text{€}_{\text{Invest}}}{\text{€}_{\Delta\text{Energie}}/\text{a}} = a \right]$$

CO₂-Minderungsinvestitionen (bezogen auf jährliche Emissionen)

Nach dem gleichen Schema weisen die CO₂-Minderungsinvestitionen die nötige Investitionssumme zur Einsparung eines Kilogramms Kohlendioxid pro Jahr aus. Sie ermöglichen eine ökonomische Bewertung der ökologischen Verbesserung hinsichtlich des jährlichen CO₂-Ausstoßes.

$$\frac{\text{Investitionskosten}[\text{€}]}{\text{jährliche Einsparung CO}_2[\text{kg/a}]} = \text{Minderungsinvestitionen CO}_2 \left[\frac{\text{€}_{\text{Invest}}}{\text{kg}_{\Delta\text{CO}_2/\text{a}}} \right]$$

Absolute CO₂-Minderungsinvestitionen

Die absoluten CO₂-Minderungsinvestitionen geben den Investitionskostenbetrag an, welcher aufzubringen ist um – über die gesamte Nutzungszeit betrachtet – ein Kilogramm Kohlendioxid einzusparen.

$$\frac{\text{Investitionskosten} [\text{€}]}{\text{jährliche Einsparung CO}_2[\text{kg/a}] * \text{mittlere Nutzungsdauer} [\text{a}]} = \text{absolute Minderungsinvestitionen CO}_2 \left[\frac{\text{€}_{\text{Invest}}}{\text{kg}_{\Delta\text{CO}_2}} \right]$$

3 Ergebnisse

Einzelergebnisse

Tabellen, alle Ergebnisse

<u>Einfamilienhaus, WSV 1978, ungedämmt</u>	28
<u>Einfamilienhaus, WSV 1978, gedämmt</u>	29
<u>Einfamilienhaus, WSV 1984, ungedämmt</u>	30
<u>Einfamilienhaus, WSV 1984, gedämmt</u>	31
<u>Reihenhaus, WSV 1978, ungedämmt</u>	32
<u>Reihenhaus, WSV 1978, gedämmt</u>	33
<u>Reihenhaus, WSV 1984, ungedämmt</u>	34
<u>Reihenhaus, WSV 1984, gedämmt</u>	35
<u>6-Familienhaus, WSV 1978, ungedämmt</u>	36
<u>6-Familienhaus, WSV 1978, gedämmt</u>	37
<u>6-Familienhaus, WSV 1984, ungedämmt</u>	38
<u>6-Familienhaus, WSV 1984, gedämmt</u>	39

Gemittelte Ergebnisse

Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutz niveaus

<u>Tabellen, Kostenkennwerte</u>	40
<u>Diagramme, Primärenergieminderungskosten</u>	41
<u>Diagramme, Energiekosteneinsparungs-Investitionen</u>	42
<u>Diagramme, CO₂-Minderungsinvestitionen (jährlicher Ausstoß)</u>	43
<u>Diagramme, Absolute CO₂-Minderungsinvestitionen (Nutzungsdauer)</u>	44

Über Einfamilien- und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutz niveaus

<u>Tabellen, Kostenkennwerte</u>	45
<u>Diagramme, Primärenergieminderungskosten</u>	46
<u>Diagramme, Energiekosteneinsparungs-Investitionen</u>	47
<u>Diagramme, CO₂-Minderungsinvestitionen (jährlicher Ausstoß)</u>	48
<u>Diagramme, Absolute CO₂-Minderungsinvestitionen (Nutzungsdauer)</u>	49

Tabelle 14 Ergebnisse Einfamilienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Prim} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{Invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{Invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{Invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
1	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	63.527	0	0%	-	71.110	0	0%	-	20.419	0	0%	-	-	4.418	0	0%	-
2	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	9.495 €	392 €	9.103 €	42.537	20.990	33%	0,43	48.109	23.001	32%	0,40	10.018	10.400	51%	0,88	0,0366	3.345	1.073	24%	8,49
3	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	14.295 €	785 €	13.510 €	39.531	23.996	38%	0,56	44.828	26.282	37%	0,51	9.343	11.075	54%	1,22	0,0497	3.131	1.287	29%	10,50
4	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	17.995 €	1.979 €	16.017 €	34.609	28.918	46%	0,55	39.271	31.838	45%	0,50	8.187	12.232	60%	1,31	0,0560	2.764	1.654	37%	9,68
5	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	9.495 €	392 €	9.103 €	42.537	20.990	33%	0,43	48.109	23.001	32%	0,40	13.780	6.639	33%	1,37	0,0690	3.029	1.389	31%	6,55
6	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	14.295 €	785 €	13.510 €	39.531	23.996	38%	0,56	44.828	26.282	37%	0,51	12.832	7.587	37%	1,78	0,0825	2.853	1.565	35%	8,64
7	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	17.995 €	1.979 €	16.017 €	34.609	28.918	46%	0,55	39.271	31.838	45%	0,50	11.240	9.179	45%	1,74	0,0822	2.500	1.918	43%	8,35
8	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	20.095 €	2.000 €	18.095 €	58.036	5.491	9%	3,30	13.522	57.587	81%	0,31	2.151	18.268	89%	0,99	0,0421	2.504	1.913	43%	9,46
9	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	30.020 €	1.500 €	28.520 €	15.873	47.654	75%	0,60	41.270	29.840	42%	0,96	10.222	10.197	50%	2,80	0,1360	2.533	1.885	43%	15,13
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	63.527	0	0%	-	71.110	0	0%	-	14.756	0	0%	-	-	4.848	0	0%	-
12	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	6.995 €	0 €	6.995 €	42.537	20.990	33%	0,33	48.109	23.001	32%	0,30	10.018	4.738	32%	1,48	0,0705	3.345	1.503	31%	4,65
13	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	11.795 €	785 €	11.010 €	39.531	23.996	38%	0,46	44.828	26.282	37%	0,42	9.343	5.413	37%	2,03	0,0895	3.131	1.718	35%	6,41
14	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	15.495 €	1.979 €	13.517 €	34.609	28.918	46%	0,47	39.271	31.838	45%	0,42	8.187	6.569	45%	2,06	0,0935	2.764	2.085	43%	6,48
15	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	13.585 €	597 €	12.988 €	42.537	20.990	33%	0,62	48.109	23.001	32%	0,56	13.780	976	7%	13,30	0,5994	3.029	1.820	38%	7,14
16	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	17.815 €	785 €	17.030 €	39.531	23.996	38%	0,71	44.828	26.282	37%	0,65	12.832	1.924	13%	8,85	0,3868	2.853	1.995	41%	8,53
17	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	21.515 €	1.979 €	19.537 €	34.609	28.918	46%	0,68	39.271	31.838	45%	0,61	11.240	3.517	24%	5,56	0,2489	2.500	2.348	48%	8,32
18	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	19.395 €	2.000 €	17.395 €	58.036	5.491	9%	3,17	13.522	57.587	81%	0,30	2.151	12.605	85%	1,38	0,0587	2.504	2.344	48%	7,42
19	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	29.320 €	1.500 €	27.820 €	15.873	47.654	75%	0,58	41.270	29.840	42%	0,93	10.222	4.534	31%	6,14	0,2984	2.533	2.316	48%	12,01
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 15 Ergebnisse Einfamilienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{AEnergie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
21	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	48.200 €	0 €	48.200 €	44.778	18.749	30%	2,57	50.225	20.885	29%	2,31	14.415	6.004	29%	8,03	0,2174	3.150	1.268	29%	38,02
22	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	57.595 €	387 €	57.208 €	25.596	37.931	60%	1,51	29.162	41.948	59%	1,36	6.088	14.331	70%	3,99	0,1167	2.097	2.320	53%	24,66
23	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	62.395 €	785 €	61.610 €	22.591	40.936	64%	1,51	25.882	45.228	64%	1,36	5.413	15.006	73%	4,11	0,1231	1.883	2.534	57%	24,31
24	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	66.095 €	1.979 €	64.117 €	19.368	44.159	70%	1,45	22.248	48.861	69%	1,31	4.657	15.762	77%	4,07	0,1266	1.643	2.774	63%	23,11
25	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	57.395 €	377 €	57.018 €	25.596	37.931	60%	1,50	29.162	41.948	59%	1,36	8.338	12.080	59%	4,72	0,1447	1.893	2.525	57%	22,58
26	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	62.195 €	785 €	61.410 €	22.591	40.936	64%	1,50	25.882	45.228	64%	1,36	7.391	13.028	64%	4,71	0,1474	1.683	2.734	62%	22,46
27	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	65.895 €	1.979 €	63.917 €	19.368	44.159	70%	1,45	22.248	48.861	69%	1,31	6.349	14.070	69%	4,54	0,1469	1.497	2.921	66%	21,88
28	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	67.195 €	13.759 €	53.436 €	34.530	28.997	46%	1,84	8.780	62.329	88%	0,86	1.468	18.951	93%	2,82	0,0878	1.604	2.813	64%	18,99
29	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	68.395 €	1.500 €	66.895 €	9.646	53.881	85%	1,24	25.080	46.030	65%	1,45	6.212	14.207	70%	4,71	0,1554	1.571	2.846	64%	23,50
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	48.200 €	0 €	48.200 €	44.778	18.749	30%	2,57	50.225	20.885	29%	2,31	10.430	4.327	29%	11,14	0,3016	3.475	1.373	28%	35,10
32	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	55.095 €	0 €	55.095 €	25.596	37.931	60%	1,45	29.162	41.948	59%	1,31	6.088	8.669	59%	6,36	0,1877	2.097	2.751	57%	20,03
33	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	59.895 €	785 €	59.110 €	22.591	40.936	64%	1,44	25.882	45.228	64%	1,31	5.413	9.343	63%	6,33	0,1916	1.883	2.965	61%	19,94
34	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	63.595 €	1.979 €	61.617 €	19.368	44.159	70%	1,40	22.248	48.861	69%	1,26	4.657	10.099	68%	6,10	0,1918	1.643	3.205	66%	19,23
35	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	60.205 €	518 €	59.687 €	25.596	37.931	60%	1,57	29.162	41.948	59%	1,42	8.338	6.418	43%	9,30	0,2862	1.893	2.956	61%	20,19
36	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	64.565 €	785 €	63.780 €	22.591	40.936	64%	1,56	25.882	45.228	64%	1,41	7.391	7.366	50%	8,66	0,2715	1.683	3.165	65%	20,15
37	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	67.955 €	1.979 €	65.977 €	19.368	44.159	70%	1,49	22.248	48.861	69%	1,35	6.349	8.407	57%	7,85	0,2540	1.497	3.351	69%	19,69
38	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	66.495 €	13.637 €	52.858 €	34.530	28.997	46%	1,82	8.780	62.329	88%	0,85	1.468	13.288	90%	3,98	0,1239	1.604	3.244	67%	16,29
39	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	67.695 €	1.500 €	66.195 €	9.646	53.881	85%	1,23	25.080	46.030	65%	1,44	6.212	8.544	58%	7,75	0,2557	1.571	3.277	68%	20,20
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 16 Ergebnisse Einfamilienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{end} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
41	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	58.274	0	0%	-	65.259	0	0%	-	18.737	0	0%	-	-	4.055	0	0%	-
42	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	9.495 €	392 €	9.103 €	38.156	20.118	35%	0,45	43.197	22.062	34%	0,41	8.998	9.738	52%	0,93	0,0391	3.021	1.034	25%	8,81
43	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	14.295 €	785 €	13.510 €	35.150	23.124	40%	0,58	39.916	25.343	39%	0,53	8.323	10.413	56%	1,30	0,0528	2.807	1.248	31%	10,83
44	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	17.995 €	1.979 €	16.017 €	30.672	27.602	47%	0,58	34.863	30.397	47%	0,53	7.272	11.465	61%	1,40	0,0597	2.473	1.582	39%	10,13
45	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	9.195 €	377 €	8.818 €	38.156	20.118	35%	0,44	43.197	22.062	34%	0,40	12.370	6.367	34%	1,38	0,0694	2.747	1.308	32%	6,74
46	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	13.995 €	785 €	13.210 €	35.150	23.124	40%	0,57	39.916	25.343	39%	0,52	11.422	7.315	39%	1,81	0,0833	2.542	1.513	37%	8,73
47	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	17.695 €	1.979 €	15.717 €	30.672	27.602	47%	0,57	34.863	30.397	47%	0,52	9.974	8.763	47%	1,79	0,0842	2.260	1.795	44%	8,76
48	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	19.495 €	2.000 €	17.495 €	51.836	6.438	11%	2,72	12.254	53.006	81%	0,33	1.966	16.771	90%	1,04	0,0441	2.249	1.806	45%	9,69
49	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	29.320 €	1.500 €	27.820 €	14.127	44.147	76%	0,63	36.730	28.529	44%	0,98	9.098	9.639	51%	2,89	0,1402	2.263	1.792	44%	15,53
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	58.274	0	0%	-	65.259	0	0%	-	13.544	0	0%	-	-	4.464	0	0%	-
52	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	6.995 €	0 €	6.995 €	38.156	20.118	35%	0,35	43.197	22.062	34%	0,32	8.998	4.546	34%	1,54	0,0735	3.021	1.442	32%	4,85
53	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	11.795 €	785 €	11.010 €	35.150	23.124	40%	0,48	39.916	25.343	39%	0,43	8.323	5.221	39%	2,11	0,0928	2.807	1.657	37%	6,65
54	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	15.495 €	1.979 €	13.517 €	30.672	27.602	47%	0,49	34.863	30.397	47%	0,44	7.272	6.272	46%	2,15	0,0980	2.473	1.990	45%	6,79
55	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	12.715 €	553 €	12.162 €	38.156	20.118	35%	0,60	43.197	22.062	34%	0,55	12.370	1.174	9%	10,36	0,4696	2.747	1.717	38%	7,09
56	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	17.515 €	785 €	16.730 €	35.150	23.124	40%	0,72	39.916	25.343	39%	0,66	11.422	2.122	16%	7,88	0,3429	2.542	1.922	43%	8,71
57	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	20.505 €	1.979 €	18.527 €	30.672	27.602	47%	0,67	34.863	30.397	47%	0,61	9.974	3.570	26%	5,19	0,2338	2.260	2.203	49%	8,41
58	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	18.795 €	2.000 €	16.795 €	51.836	6.438	11%	2,61	12.254	53.006	81%	0,32	1.966	11.578	85%	1,45	0,0613	2.249	2.215	50%	7,58
59	EFH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	28.620 €	1.500 €	27.120 €	14.127	44.147	76%	0,61	36.730	28.529	44%	0,95	9.098	4.447	33%	6,10	0,2964	2.263	2.201	49%	12,32
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 17 Ergebnisse Einfamilienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Ende} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{Invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{Invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{Invest} (€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
61	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	47.000 €	0 €	47.000 €	44.691	13.583	23%	3,46	50.128	15.132	23%	3,11	14.387	4.350	23%	10,80	0,2931	3.144	911	22%	51,58
62	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	56.395 €	387 €	56.008 €	25.527	32.747	56%	1,71	29.085	36.175	55%	1,55	6.072	12.665	68%	4,42	0,1297	2.092	1.963	48%	28,54
63	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	61.195 €	785 €	60.410 €	22.522	35.752	61%	1,69	25.805	39.455	60%	1,53	5.397	13.340	71%	4,53	0,1362	1.878	2.177	54%	27,75
64	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	64.895 €	1.979 €	62.917 €	19.306	38.968	67%	1,61	22.179	43.081	66%	1,46	4.642	14.094	75%	4,46	0,1394	1.639	2.416	60%	26,04
65	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	56.195 €	377 €	55.818 €	25.527	32.747	56%	1,70	29.085	36.175	55%	1,54	8.316	10.421	56%	5,36	0,1648	1.888	2.167	53%	25,75
66	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	60.995 €	785 €	60.210 €	22.522	35.752	61%	1,68	25.805	39.455	60%	1,53	7.368	11.368	61%	5,30	0,1663	1.678	2.377	59%	25,33
67	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	64.695 €	1.979 €	62.717 €	19.306	38.968	67%	1,61	22.179	43.081	66%	1,46	6.329	12.408	66%	5,05	0,1641	1.492	2.563	63%	24,47
68	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	65.995 €	13.549 €	52.446 €	34.431	23.843	41%	2,20	8.758	56.501	87%	0,93	1.465	17.272	92%	3,04	0,0949	1.600	2.455	61%	21,36
69	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	67.195 €	1.500 €	65.695 €	9.572	48.702	84%	1,35	24.887	40.372	62%	1,63	6.164	12.572	67%	5,23	0,1732	1.560	2.495	62%	26,33
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	47.000 €	0 €	47.000 €	44.691	13.583	23%	3,46	50.128	15.132	23%	3,11	10.409	3.135	23%	14,99	0,4067	3.469	995	22%	47,24
72	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	53.895 €	0 €	53.895 €	25.527	32.747	56%	1,65	29.085	36.175	55%	1,49	6.072	7.473	55%	7,21	0,2138	2.092	2.371	53%	22,73
73	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	58.695 €	785 €	57.910 €	22.522	35.752	61%	1,62	25.805	39.455	60%	1,47	5.397	8.148	60%	7,11	0,2160	1.878	2.585	58%	22,40
74	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	62.395 €	1.979 €	60.417 €	19.306	38.968	67%	1,55	22.179	43.081	66%	1,40	4.642	8.902	66%	6,79	0,2142	1.639	2.825	63%	21,39
75	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	59.005 €	518 €	58.487 €	25.527	32.747	56%	1,79	29.085	36.175	55%	1,62	8.316	5.228	39%	11,19	0,3456	1.888	2.576	58%	22,70
76	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	63.365 €	785 €	62.580 €	22.522	35.752	61%	1,75	25.805	39.455	60%	1,59	7.368	6.176	46%	10,13	0,3189	1.678	2.785	62%	22,47
77	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	66.755 €	1.979 €	64.777 €	19.306	38.968	67%	1,66	22.179	43.081	66%	1,50	6.329	7.215	53%	8,98	0,2917	1.492	2.971	67%	21,80
78	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	65.295 €	13.427 €	51.868 €	34.431	23.843	41%	2,18	8.758	56.501	87%	0,92	1.465	12.080	89%	4,29	0,1342	1.600	2.864	64%	18,11
79	EFH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	66.495 €	1.500 €	64.995 €	9.572	48.702	84%	1,33	24.887	40.372	62%	1,61	6.164	7.380	54%	8,81	0,2920	1.560	2.904	65%	22,38
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 18 Ergebnisse Reihenhaushaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€/Invest/(kWh _{Standard} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€/Invest/(kWh _{Standard} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€/Invest/(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€/Invest/(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€/Invest/(€/Energie/a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
81	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	37.413	0	0%	-	42.077	0	0%	-	12.068	0	0%	-	-	2.668	0	0%	-
82	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	9.370 €	386 €	8.984 €	22.521	14.892	40%	0,60	25.745	16.332	39%	0,55	5.380	6.688	55%	1,34	0,0560	1.873	795	30%	11,29
83	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	13.170 €	785 €	12.385 €	20.386	17.027	46%	0,73	23.422	18.655	44%	0,66	4.903	7.165	59%	1,73	0,0703	1.722	947	35%	13,08
84	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	16.170 €	850 €	15.320 €	17.900	19.513	52%	0,79	20.601	21.476	51%	0,71	4.315	7.754	64%	1,98	0,0840	1.535	1.134	42%	13,51
85	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	9.170 €	376 €	8.794 €	22.521	14.892	40%	0,59	25.745	16.332	39%	0,54	7.355	4.713	39%	1,87	0,0935	1.673	995	37%	8,83
86	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	12.970 €	785 €	12.185 €	20.386	17.027	46%	0,72	23.422	18.655	44%	0,65	6.684	5.385	45%	2,26	0,1055	1.576	1.092	41%	11,15
87	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	15.970 €	850 €	15.120 €	17.900	19.513	52%	0,77	20.601	21.476	51%	0,70	5.876	6.192	51%	2,44	0,1154	1.387	1.281	48%	11,80
88	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	18.970 €	2.000 €	16.970 €	30.005	7.408	20%	2,29	7.463	34.614	82%	0,49	1.233	10.835	90%	1,57	0,0659	1.383	1.286	48%	13,20
89	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	22.135 €	1.100 €	21.035 €	8.345	29.068	78%	0,72	21.697	20.380	48%	1,03	5.374	6.694	55%	3,14	0,1512	1.370	1.299	49%	16,20
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	37.413	0	0%	-	42.077	0	0%	-	8.746	0	0%	-	-	2.941	0	0%	-
92	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	6.870 €	0 €	6.870 €	22.521	14.892	40%	0,46	25.745	16.332	39%	0,42	5.380	3.365	38%	2,04	0,0973	1.873	1.068	36%	6,43
93	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	10.670 €	785 €	9.885 €	20.386	17.027	46%	0,58	23.422	18.655	44%	0,53	4.903	3.843	44%	2,57	0,1139	1.722	1.219	41%	8,11
94	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	13.670 €	850 €	12.820 €	17.900	19.513	52%	0,66	20.601	21.476	51%	0,60	4.315	4.431	51%	2,89	0,1318	1.535	1.406	48%	9,12
95	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	11.540 €	495 €	11.045 €	22.521	14.892	40%	0,74	25.745	16.332	39%	0,68	7.355	1.390	16%	7,95	0,3700	1.673	1.268	43%	8,71
96	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	15.030 €	785 €	14.245 €	20.386	17.027	46%	0,84	23.422	18.655	44%	0,76	6.684	2.062	24%	6,91	0,3091	1.576	1.365	46%	10,44
97	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	18.030 €	850 €	17.180 €	17.900	19.513	52%	0,88	20.601	21.476	51%	0,80	5.876	2.869	33%	5,99	0,2732	1.387	1.554	53%	11,06
98	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	18.270 €	2.000 €	16.270 €	30.005	7.408	20%	2,20	7.463	34.614	82%	0,47	1.233	7.513	86%	2,17	0,0911	1.383	1.558	53%	10,44
99	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	21.435 €	1.100 €	20.335 €	8.345	29.068	78%	0,70	21.697	20.380	48%	1,00	5.374	3.371	39%	6,03	0,2902	1.370	1.571	53%	12,94
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 19 Ergebnisse Reihenhause, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Ende} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{Invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{Invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{Invest} (€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
101	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	21.200 €	0 €	21.200 €	29.241	8.172	22%	2,59	32.933	9.144	22%	2,32	9.443	2.626	22%	8,07	0,2304	2.128	541	20%	39,21
102	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	30.570 €	386 €	30.184 €	14.955	22.458	60%	1,34	17.244	24.833	59%	1,22	3.614	8.454	70%	3,57	0,1151	1.312	1.356	51%	22,26
103	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	34.370 €	785 €	33.585 €	12.820	24.593	66%	1,37	14.920	27.157	65%	1,24	3.136	8.932	74%	3,76	0,1239	1.161	1.508	56%	22,28
104	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	37.370 €	850 €	36.520 €	11.089	26.324	70%	1,39	12.958	29.118	69%	1,25	2.728	9.341	77%	3,91	0,1343	1.031	1.637	61%	22,30
105	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	30.370 €	376 €	29.994 €	14.955	22.458	60%	1,34	17.244	24.833	59%	1,21	4.917	7.152	59%	4,19	0,1463	1.162	1.507	56%	19,91
106	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	34.170 €	785 €	33.385 €	12.820	24.593	66%	1,36	14.920	27.157	65%	1,23	4.245	7.824	65%	4,27	0,1505	1.051	1.617	61%	20,64
107	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	37.170 €	850 €	36.320 €	11.089	26.324	70%	1,38	12.958	29.118	69%	1,25	3.683	8.385	69%	4,33	0,1580	914	1.754	66%	20,70
108	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	40.170 €	9.030 €	31.140 €	19.690	17.723	47%	1,76	5.356	36.720	87%	0,85	927	11.142	92%	2,79	0,0971	1.047	1.622	61%	19,20
109	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	40.170 €	1.100 €	39.070 €	5.663	31.750	85%	1,23	14.724	27.353	65%	1,43	3.647	8.421	70%	4,64	0,1733	955	1.714	64%	22,80
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	21.200 €	0 €	21.200 €	29.241	8.172	22%	2,59	32.933	9.144	22%	2,32	6.848	1.897	22%	11,17	0,3189	2.339	602	20%	35,21
112	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	28.070 €	0 €	28.070 €	14.955	22.458	60%	1,25	17.244	24.833	59%	1,13	3.614	5.132	59%	5,47	0,1807	1.312	1.628	55%	17,24
113	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	31.870 €	785 €	31.085 €	12.820	24.593	66%	1,26	14.920	27.157	65%	1,14	3.136	5.609	64%	5,54	0,1867	1.161	1.780	61%	17,46
114	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	34.870 €	850 €	34.020 €	11.089	26.324	70%	1,29	12.958	29.118	69%	1,17	2.728	6.018	69%	5,65	0,1984	1.031	1.910	65%	17,81
115	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	32.020 €	459 €	31.561 €	14.955	22.458	60%	1,41	17.244	24.833	59%	1,27	4.917	3.829	44%	8,24	0,2868	1.162	1.779	60%	17,74
116	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	35.820 €	785 €	35.035 €	12.820	24.593	66%	1,42	14.920	27.157	65%	1,29	4.245	4.501	51%	7,78	0,2739	1.051	1.890	64%	18,54
117	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	38.570 €	850 €	37.720 €	11.089	26.324	70%	1,43	12.958	29.118	69%	1,30	3.683	5.062	58%	7,45	0,2709	914	2.027	69%	18,61
118	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	39.470 €	8.907 €	30.563 €	19.690	17.723	47%	1,72	5.356	36.720	87%	0,83	927	7.819	89%	3,91	0,1357	1.047	1.894	64%	16,13
119	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	39.470 €	1.100 €	38.370 €	5.663	31.750	85%	1,21	14.724	27.353	65%	1,40	3.647	5.099	58%	7,53	0,2812	955	1.986	68%	19,32
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 20 Ergebnisse Reihenhäuser, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} /(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
121	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	35.553	0	0%	-	39.995	0	0%	-	11.471	0	0%	-	-	2.537	0	0%	-
122	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	9.370 €	386 €	8.984 €	20.995	14.558	41%	0,62	24.023	15.972	40%	0,56	5.022	6.449	56%	1,39	0,0581	1.759	777	31%	11,56
123	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	13.170 €	785 €	12.385 €	18.859	16.694	47%	0,74	21.697	18.297	46%	0,68	4.544	6.927	60%	1,79	0,0727	1.608	929	37%	13,33
124	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	16.170 €	850 €	15.320 €	16.528	19.025	54%	0,81	19.054	20.941	52%	0,73	3.993	7.478	65%	2,05	0,0871	1.433	1.104	44%	13,88
125	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	9.170 €	376 €	8.794 €	20.995	14.558	41%	0,60	24.023	15.972	40%	0,55	6.862	4.609	40%	1,91	0,0956	1.562	975	38%	9,02
126	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	12.970 €	785 €	12.185 €	18.859	16.694	47%	0,73	21.697	18.297	46%	0,67	6.190	5.281	46%	2,31	0,1075	1.461	1.076	42%	11,32
127	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	15.970 €	850 €	15.120 €	16.528	19.025	54%	0,79	19.054	20.941	52%	0,72	5.433	6.038	53%	2,50	0,1183	1.283	1.253	49%	12,07
128	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	18.970 €	2.000 €	16.970 €	27.867	7.686	22%	2,21	7.016	32.979	82%	0,51	1.167	10.304	90%	1,65	0,0693	1.290	1.247	49%	13,61
129	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	21.835 €	1.100 €	20.735 €	7.736	27.817	78%	0,75	20.114	19.881	50%	1,04	4.982	6.489	57%	3,20	0,1537	1.275	1.261	50%	16,44
130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
131	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	35.553	0	0%	-	39.995	0	0%	-	8.313	0	0%	-	-	2.804	0	0%	-
132	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	6.870 €	0 €	6.870 €	20.995	14.558	41%	0,47	24.023	15.972	40%	0,43	5.022	3.292	40%	2,09	0,0995	1.759	1.044	37%	6,58
133	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	10.670 €	785 €	9.885 €	18.859	16.694	47%	0,59	21.697	18.297	46%	0,54	4.544	3.770	45%	2,62	0,1161	1.608	1.196	43%	8,26
134	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	13.670 €	850 €	12.820 €	16.528	19.025	54%	0,67	19.054	20.941	52%	0,61	3.993	4.321	52%	2,97	0,1352	1.433	1.371	49%	9,35
135	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	11.230 €	479 €	10.751 €	20.995	14.558	41%	0,74	24.023	15.972	40%	0,67	6.862	1.452	17%	7,41	0,3477	1.562	1.242	44%	8,66
136	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	15.030 €	785 €	14.245 €	18.859	16.694	47%	0,85	21.697	18.297	46%	0,78	6.190	2.124	26%	6,71	0,3001	1.461	1.343	48%	10,61
137	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	18.030 €	850 €	17.180 €	16.528	19.025	54%	0,90	19.054	20.941	52%	0,82	5.433	2.881	35%	5,96	0,2721	1.283	1.520	54%	11,30
138	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	18.270 €	2.000 €	16.270 €	27.867	7.686	22%	2,12	7.016	32.979	82%	0,49	1.167	7.147	86%	2,28	0,0957	1.290	1.514	54%	10,75
139	RH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	21.135 €	1.100 €	20.035 €	7.736	27.817	78%	0,72	20.114	19.881	50%	1,01	4.982	3.331	40%	6,01	0,2892	1.275	1.528	55%	13,11
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 21 Ergebnisse Reihenhause, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{Ende} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} /(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
141	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	20.900 €	0 €	20.900 €	29.166	6.387	18%	3,27	32.849	7.146	18%	2,92	9.418	2.052	18%	10,18	0,2912	2.122	414	16%	50,44
142	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	30.270 €	386 €	29.884 €	14.896	20.657	58%	1,45	17.178	22.817	57%	1,31	3.600	7.870	69%	3,80	0,1227	1.308	1.229	48%	24,32
143	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	34.070 €	785 €	33.285 €	12.761	22.792	64%	1,46	14.853	25.142	63%	1,32	3.122	8.348	73%	3,99	0,1316	1.156	1.380	54%	24,12
144	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	37.070 €	850 €	36.220 €	11.036	24.517	69%	1,48	12.899	27.096	68%	1,34	2.715	8.755	76%	4,14	0,1424	1.027	1.509	60%	23,99
145	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	30.070 €	376 €	29.694 €	14.896	20.657	58%	1,44	17.178	22.817	57%	1,30	4.898	6.573	57%	4,52	0,1580	1.157	1.379	54%	21,53
146	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	33.870 €	785 €	33.085 €	12.761	22.792	64%	1,45	14.853	25.142	63%	1,32	4.226	7.245	63%	4,57	0,1615	1.047	1.490	59%	22,20
147	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	36.870 €	850 €	36.020 €	11.036	24.517	69%	1,47	12.899	27.096	68%	1,33	3.666	7.805	68%	4,62	0,1688	910	1.627	64%	22,14
148	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	39.870 €	8.977 €	30.893 €	19.606	15.947	45%	1,94	5.337	34.658	87%	0,89	924	10.547	92%	2,93	0,1019	1.042	1.494	59%	20,67
149	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	39.870 €	1.100 €	38.770 €	5.638	29.915	84%	1,30	14.659	25.336	63%	1,53	3.631	7.840	68%	4,95	0,1852	951	1.586	63%	24,45
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	20.900 €	0 €	20.900 €	29.166	6.387	18%	3,27	32.849	7.146	18%	2,92	6.831	1.483	18%	14,10	0,4030	2.333	471	17%	44,42
152	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	27.770 €	0 €	27.770 €	14.896	20.657	58%	1,34	17.178	22.817	57%	1,22	3.600	4.713	57%	5,89	0,1952	1.308	1.496	53%	18,57
153	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	31.570 €	785 €	30.785 €	12.761	22.792	64%	1,35	14.853	25.142	63%	1,22	3.122	5.191	62%	5,93	0,2003	1.156	1.647	59%	18,69
154	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	34.570 €	850 €	33.720 €	11.036	24.517	69%	1,38	12.899	27.096	68%	1,24	2.715	5.598	67%	6,02	0,2120	1.027	1.777	63%	18,98
155	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	31.720 €	459 €	31.261 €	14.896	20.657	58%	1,51	17.178	22.817	57%	1,37	4.898	3.416	41%	9,15	0,3193	1.157	1.647	59%	18,99
156	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	35.520 €	785 €	34.735 €	12.761	22.792	64%	1,52	14.853	25.142	63%	1,38	4.226	4.088	49%	8,50	0,2997	1.047	1.757	63%	19,77
157	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	38.270 €	850 €	37.420 €	11.036	24.517	69%	1,53	12.899	27.096	68%	1,38	3.666	4.648	56%	8,05	0,2935	910	1.894	68%	19,76
158	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	39.170 €	8.855 €	30.315 €	19.606	15.947	45%	1,90	5.337	34.658	87%	0,87	924	7.390	89%	4,10	0,1428	1.042	1.761	63%	17,21
159	RH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	39.170 €	1.100 €	38.070 €	5.638	29.915	84%	1,27	14.659	25.336	63%	1,50	3.631	4.683	56%	8,13	0,3045	951	1.853	66%	20,55
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 22 Ergebnisse 6-Familienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{absolut} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} /(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
161	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	137.581	0	0%	-	153.205	0	0%	-	44.047	0	0%	-	-	9.402	0	0%	-
162	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	12.035 €	502 €	11.533 €	98.194	39.387	29%	0,29	109.957	43.248	28%	0,27	22.821	21.226	48%	0,54	0,0236	7.352	2.050	22%	5,63
163	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	22.535 €	1.281 €	21.254 €	92.863	44.718	33%	0,48	104.162	49.043	32%	0,43	21.630	22.417	51%	0,95	0,0394	6.991	2.411	26%	8,81
164	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	31.535 €	3.604 €	27.931 €	83.270	54.311	39%	0,51	93.579	59.627	39%	0,47	19.445	24.602	56%	1,14	0,0500	6.326	3.076	33%	9,08
165	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	12.335 €	517 €	11.818 €	98.194	39.387	29%	0,30	109.957	43.248	28%	0,27	31.571	12.477	28%	0,95	0,0484	6.767	2.635	28%	4,48
166	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	22.835 €	1.281 €	21.554 €	92.863	44.718	33%	0,48	104.162	49.043	32%	0,44	29.895	14.153	32%	1,52	0,0695	6.416	2.986	32%	7,22
167	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	31.835 €	3.604 €	28.231 €	83.270	54.311	39%	0,52	93.579	59.627	39%	0,47	26.845	17.202	39%	1,64	0,0769	5.769	3.633	39%	7,77
168	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	27.635 €	2.000 €	25.635 €	133.108	4.473	3%	5,73	30.474	122.732	80%	0,21	4.795	39.253	89%	0,65	0,0288	5.502	3.900	41%	6,57
169	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	45.420 €	2.630 €	42.790 €	35.859	101.722	74%	0,42	93.233	59.972	39%	0,71	23.093	20.954	48%	2,04	0,1000	5.622	3.780	40%	11,32
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
171	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	137.581	0	0%	-	153.205	0	0%	-	31.736	0	0%	-	-	10.063	0	0%	-
172	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	9.235 €	362 €	8.873 €	98.194	39.387	29%	0,23	109.957	43.248	28%	0,21	22.821	8.915	28%	1,00	0,0489	7.352	2.711	27%	3,27
173	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	19.735 €	1.281 €	18.454 €	92.863	44.718	33%	0,41	104.162	49.043	32%	0,38	21.630	10.106	32%	1,83	0,0801	6.991	3.072	31%	6,01
174	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	28.735 €	3.604 €	25.131 €	83.270	54.311	39%	0,46	93.579	59.627	39%	0,42	19.445	12.291	39%	2,04	0,0937	6.326	3.737	37%	6,73
175	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	21.925 €	997 €	20.928 €	98.194	39.387	29%	0,53	109.957	43.248	28%	0,48	31.571	165	1%	126,58	5,4657	6.767	3.296	33%	6,35
176	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	32.425 €	1.281 €	31.144 €	92.863	44.718	33%	0,70	104.162	49.043	32%	0,64	29.895	1.841	6%	16,91	0,7096	6.416	3.647	36%	8,54
177	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	41.205 €	3.604 €	37.601 €	83.270	54.311	39%	0,69	93.579	59.627	39%	0,63	26.845	4.891	15%	7,69	0,3365	5.769	4.294	43%	8,76
178	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	26.935 €	2.000 €	24.935 €	133.108	4.473	3%	5,57	30.474	122.732	80%	0,20	4.795	26.941	85%	0,93	0,0409	5.502	4.561	45%	5,47
179	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	44.720 €	2.630 €	42.090 €	35.859	101.722	74%	0,41	93.233	59.972	39%	0,70	23.093	8.643	27%	4,87	0,2384	5.622	4.441	44%	9,48
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 23 Ergebnisse 6-Familienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1978, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{Ende} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} (kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
181	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	94.700 €	0 €	94.700 €	97.893	39.688	29%	2,39	109.163	44.042	29%	2,15	31.374	12.673	29%	7,47	0,2031	6.704	2.698	29%	35,10
182	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	105.335 €	432 €	104.903 €	61.979	75.602	55%	1,39	69.720	83.485	54%	1,26	14.492	29.555	67%	3,55	0,1012	4.657	4.745	50%	22,11
183	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	115.835 €	1.281 €	114.554 €	56.649	80.932	59%	1,42	63.925	89.280	58%	1,28	13.302	30.746	70%	3,73	0,1100	4.295	5.107	54%	22,43
184	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	124.835 €	3.604 €	121.231 €	50.546	87.035	63%	1,39	57.234	95.971	63%	1,26	11.923	32.124	73%	3,77	0,1170	3.876	5.526	59%	21,94
185	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	104.935 €	412 €	104.523 €	61.979	75.602	55%	1,38	69.720	83.485	54%	1,25	19.996	24.051	55%	4,35	0,1275	4.342	5.061	54%	20,65
186	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	115.435 €	1.281 €	114.154 €	56.649	80.932	59%	1,41	63.925	89.280	58%	1,28	18.320	25.727	58%	4,44	0,1343	3.987	5.415	58%	21,08
187	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	124.435 €	3.604 €	120.831 €	50.546	87.035	63%	1,39	57.234	95.971	63%	1,26	16.389	27.658	63%	4,37	0,1385	3.605	5.797	62%	20,84
188	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	116.335 €	22.359 €	93.976 €	83.401	54.180	39%	1,73	20.559	132.647	87%	0,71	3.380	40.667	92%	2,31	0,0691	3.676	5.726	61%	16,41
189	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	123.835 €	2.319 €	121.516 €	22.701	114.880	83%	1,06	59.023	94.183	61%	1,29	14.619	29.428	67%	4,13	0,1322	3.592	5.810	62%	20,92
190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
191	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	94.700 €	0 €	94.700 €	97.893	39.688	29%	2,39	109.163	44.042	29%	2,15	22.624	9.112	29%	10,39	0,2824	7.129	2.934	29%	32,28
192	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	102.535 €	0 €	102.535 €	61.979	75.602	55%	1,36	69.720	83.485	54%	1,23	14.492	17.244	54%	5,95	0,1706	4.657	5.406	54%	18,97
193	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	113.035 €	1.281 €	111.754 €	56.649	80.932	59%	1,38	63.925	89.280	58%	1,25	13.302	18.434	58%	6,06	0,1800	4.295	5.768	57%	19,38
194	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	122.035 €	3.604 €	118.431 €	50.546	87.035	63%	1,36	57.234	95.971	63%	1,23	11.923	19.813	62%	5,98	0,1865	3.876	6.187	61%	19,14
195	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	111.745 €	753 €	110.992 €	61.979	75.602	55%	1,47	69.720	83.485	54%	1,33	19.996	11.740	37%	9,45	0,2797	4.342	5.721	57%	19,40
196	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	122.245 €	1.281 €	120.964 €	56.649	80.932	59%	1,49	63.925	89.280	58%	1,35	18.320	13.416	42%	9,02	0,2744	3.987	6.076	60%	19,91
197	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	128.635 €	3.604 €	125.031 €	50.546	87.035	63%	1,44	57.234	95.971	63%	1,30	16.389	15.347	48%	8,15	0,2586	3.605	6.458	64%	19,36
198	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	115.635 €	22.236 €	93.399 €	83.401	54.180	39%	1,72	20.559	132.647	87%	0,70	3.380	28.356	89%	3,29	0,0985	3.676	6.387	63%	14,62
199	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	123.135 €	2.319 €	120.816 €	22.701	114.880	83%	1,05	59.023	94.183	61%	1,28	14.619	17.117	54%	7,06	0,2260	3.592	6.471	64%	18,67
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 24 Ergebnisse 6-Familienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie			Primärenergie			CO ₂ -Emission				Energiekosten						
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{absolut} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} /(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-Investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
201	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	126.435	0	0%	-	140.837	0	0%	-	40.488	0	0%	-	-	8.644	0	0%	-
202	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW	11.135 €	457 €	10.678 €	88.894	37.541	30%	0,28	99.597	41.240	29%	0,26	20.674	19.814	49%	0,54	0,0229	6.699	1.946	23%	5,49
203	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	21.635 €	1.281 €	20.354 €	83.563	42.872	34%	0,47	93.802	47.035	33%	0,43	19.484	21.004	52%	0,97	0,0396	6.337	2.307	27%	8,82
204	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	30.635 €	3.604 €	27.031 €	74.938	51.497	41%	0,52	84.298	56.539	40%	0,48	17.522	22.966	57%	1,18	0,0514	5.741	2.904	34%	9,31
205	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW	11.135 €	457 €	10.678 €	88.894	37.541	30%	0,28	99.597	41.240	29%	0,26	28.592	11.896	29%	0,90	0,0454	6.131	2.513	29%	4,25
206	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	21.635 €	1.281 €	20.354 €	83.563	42.872	34%	0,47	93.802	47.035	33%	0,43	26.916	13.572	34%	1,50	0,0676	5.780	2.865	33%	7,11
207	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	30.635 €	3.604 €	27.031 €	74.938	51.497	41%	0,52	84.298	56.539	40%	0,48	24.177	16.311	40%	1,66	0,0771	5.218	3.427	40%	7,89
208	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Holzpellet	27.635 €	2.000 €	25.635 €	120.106	6.329	5%	4,05	27.840	112.997	80%	0,23	4.414	36.074	89%	0,71	0,0314	4.988	3.656	42%	7,01
209	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 1: Luft-EWP	43.620 €	2.555 €	41.065 €	32.161	94.274	75%	0,44	83.619	57.218	41%	0,72	20.712	19.777	49%	2,08	0,1016	5.051	3.593	42%	11,43
210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	0 €	0 €	0 €	126.435	0	0%	-	140.837	0	0%	-	29.177	0	0%	-	-	9.284	0	0%	-
212	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW	8.335 €	317 €	8.018 €	88.894	37.541	30%	0,21	99.597	41.240	29%	0,19	20.674	8.503	29%	0,94	0,0456	6.699	2.585	28%	3,10
213	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	18.835 €	1.281 €	17.554 €	83.563	42.872	34%	0,41	93.802	47.035	33%	0,37	19.484	9.693	33%	1,81	0,0784	6.337	2.947	32%	5,96
214	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	27.835 €	3.604 €	24.231 €	74.938	51.497	41%	0,47	84.298	56.539	40%	0,43	17.522	11.655	40%	2,08	0,0946	5.741	3.543	38%	6,84
215	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW	20.505 €	926 €	19.579 €	88.894	37.541	30%	0,52	99.597	41.240	29%	0,47	28.592	585	2%	33,49	1,4249	6.131	3.153	34%	6,21
216	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	31.005 €	1.281 €	29.724 €	83.563	42.872	34%	0,69	93.802	47.035	33%	0,63	26.916	2.261	8%	13,15	0,5454	5.780	3.504	38%	8,48
217	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	37.895 €	3.604 €	34.291 €	74.938	51.497	41%	0,67	84.298	56.539	40%	0,61	24.177	5.000	17%	6,86	0,3016	5.218	4.066	44%	8,43
218	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Holzpellet	26.935 €	2.000 €	24.935 €	120.106	6.329	5%	3,94	27.840	112.997	80%	0,22	4.414	24.763	85%	1,01	0,0445	4.988	4.296	46%	5,80
219	6-FH, WSV 1978, ungedämmt Alt 2: Luft-EWP	42.920 €	2.555 €	40.365 €	32.161	94.274	75%	0,43	83.619	57.218	41%	0,71	20.712	8.465	29%	4,77	0,2332	5.051	4.233	46%	9,54
220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 25 Ergebnisse 6-Familienhaus, Ausgangswärmeschutzniveau etwa Wärmeschutzverordnung 1984, Gebäude- und Anlagensanierung

Variante	Kurzbeschreibung	Sanierungskosten	Förderung	Investitionskosten (Bezugsgröße für Kostenkennwerte)	Endenergie				Primärenergie				CO ₂ -Emission				Energiekosten				
					Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{End} /a)]	Bedarf [kWh/a]	Einsparung		Minderungsinvestition [€ _{invest} /(kWh _{Prim} /a)]	[kg/a]	Einsparung		Minderungsinvestition jährl. CO ₂ -Ausstoß [€ _{invest} /(kg _{CO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition über Nutzungsdauer [€ _{invest} /(kg _{CO2})]	[€/a]	Einsparung		Energiekosten- einsparungs-investition [€ _{invest} /(€ _{Energie} /a)]
						absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ			absolut Δ	relativ				absolut Δ	relativ	
221	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1 - Öl-Standardkessel	92.000 €	0 €	92.000 €	97.827	28.608	23%	3,22	109.090	31.746	23%	2,90	31.353	9.135	23%	10,07	0,2743	6.699	1.945	22%	47,31
222	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW	102.635 €	432 €	102.203 €	61.926	64.509	51%	1,58	69.661	71.176	51%	1,44	14.480	26.008	64%	3,93	0,1124	4.653	3.991	46%	25,61
223	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE	113.135 €	1.281 €	111.854 €	56.596	69.839	55%	1,60	63.867	76.970	55%	1,45	13.290	27.199	67%	4,11	0,1218	4.292	4.353	50%	25,70
224	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	122.135 €	3.604 €	118.531 €	50.455	75.980	60%	1,56	57.133	83.704	59%	1,42	11.902	28.586	71%	4,15	0,1291	3.870	4.774	55%	24,83
225	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW	102.235 €	412 €	101.823 €	61.926	64.509	51%	1,58	69.661	71.176	51%	1,43	19.979	20.509	51%	4,96	0,1462	4.338	4.307	50%	23,64
226	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE	112.735 €	1.281 €	111.454 €	56.596	69.839	55%	1,60	63.867	76.970	55%	1,45	18.303	22.185	55%	5,02	0,1527	3.983	4.661	54%	23,91
227	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	121.735 €	3.604 €	118.131 €	50.455	75.980	60%	1,55	57.133	83.704	59%	1,41	16.360	24.128	60%	4,90	0,1559	3.599	5.046	58%	23,41
228	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Holzpellet	113.635 €	21.886 €	91.749 €	83.326	43.109	34%	2,13	20.544	120.293	85%	0,76	3.378	37.111	92%	2,47	0,0742	3.673	4.971	58%	18,46
229	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 1: Luft-EWP	121.135 €	2.319 €	118.816 €	22.679	103.756	82%	1,15	58.965	81.871	58%	1,45	14.605	25.883	64%	4,59	0,1477	3.589	5.056	58%	23,50
230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
231	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2 - Gas-Standardkessel	92.000 €	0 €	92.000 €	97.827	28.608	23%	3,22	109.090	31.746	23%	2,90	22.609	6.568	23%	14,01	0,3815	7.125	2.159	23%	42,61
232	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW	99.835 €	0 €	99.835 €	61.926	64.509	51%	1,55	69.661	71.176	51%	1,40	14.480	14.697	50%	6,79	0,1956	4.653	4.631	50%	21,56
233	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE	110.335 €	1.281 €	109.054 €	56.596	69.839	55%	1,56	63.867	76.970	55%	1,42	13.290	15.887	54%	6,86	0,2046	4.292	4.992	54%	21,84
234	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Gas-BW, sol. TWE+HeizU	119.335 €	3.604 €	115.731 €	50.455	75.980	60%	1,52	57.133	83.704	59%	1,38	11.902	17.275	59%	6,70	0,2099	3.870	5.414	58%	21,38
235	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW	109.045 €	753 €	108.292 €	61.926	64.509	51%	1,68	69.661	71.176	51%	1,52	19.979	9.198	32%	11,77	0,3497	4.338	4.946	53%	21,89
236	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE	119.545 €	1.281 €	118.264 €	56.596	69.839	55%	1,69	63.867	76.970	55%	1,54	18.303	10.874	37%	10,88	0,3323	3.983	5.301	57%	22,31
237	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Öl-BW, sol. TWE+HeizU	125.935 €	3.604 €	122.331 €	50.455	75.980	60%	1,61	57.133	83.704	59%	1,46	16.360	12.817	44%	9,54	0,3044	3.599	5.685	61%	21,52
238	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Holzpellet	112.935 €	21.764 €	91.171 €	83.326	43.109	34%	2,11	20.544	120.293	85%	0,76	3.378	25.799	88%	3,53	0,1061	3.673	5.611	60%	16,25
239	6-FH, WSV 1978, gedämmt Alt 2: Luft-EWP	120.435 €	2.319 €	118.116 €	22.679	103.756	82%	1,14	58.965	81.871	58%	1,44	14.605	14.572	50%	8,11	0,2608	3.589	5.695	61%	20,74
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 26 Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Kostenkennwerte

		Primärenergie- minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{ΔPrimär} /a)]	Energiekosten- einsparungs- Investition [€ _{Invest} /(€ _{ΔEnergie} /a)]	CO ₂ - Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kg _{ΔCO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition [€ _{Invest} /kg _{ΔCO2}]			Primärenergie- minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{ΔPrimär} /a)]	Energiekosten- einsparungs- Investition [€ _{Invest} /(€ _{ΔEnergie} /a)]	CO ₂ - Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kg _{ΔCO2} /a)]	Absolute CO ₂ - Minderungsinvestition [€ _{Invest} /kg _{ΔCO2}]
ungedämmt, Ausgangssituation: Öl-Standardkessel	Öl-Standardkessel	-	-	-	-	gedämmt, Ausgangssituation: Öl-Standardkessel	Öl-Standardkessel	2,62	43,61	9,11	0,25
	Gas-BW	0,41	8,54	0,94	0,04		Gas-BW	1,35	24,58	3,88	0,12
	Gas-BW, sol. TWE	0,54	10,90	1,33	0,05		Gas-BW, sol. TWE	1,37	24,43	4,04	0,12
	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	0,57	10,93	1,51	0,06		Gas-BW, sol. TWE+HeizU	1,34	23,70	4,08	0,13
	Öl-BW	0,40	6,65	1,40	0,07		Öl-BW	1,35	22,34	4,68	0,15
	Öl-BW, sol. TWE	0,54	9,03	1,86	0,09		Öl-BW, sol. TWE	1,36	22,61	4,72	0,15
	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	0,57	9,44	1,96	0,09		Öl-BW, sol. TWE+HeizU	1,34	22,24	4,63	0,16
	Holzpellet	0,35	9,92	1,10	0,05		Holzpellet	0,83	19,18	2,73	0,09
	Luft-EWP	0,91	14,34	2,69	0,13		Luft-EWP	1,46	23,58	4,71	0,16
	Mittelwert über alle Varianten:	0,54	9,97	1,60	0,07		Mittelwert über alle Varianten:	1,30	22,83	4,18	0,13
ungedämmt, Ausgangssituation: Gas-Standardkessel	Gas-Standardkessel	-	-	-	-	gedämmt, Ausgangssituation: Gas-Standardkessel	Gas-Standardkessel	2,62	39,48	12,63	0,35
	Gas-BW	0,31	4,81	1,51	0,07		Gas-BW	1,30	19,85	6,28	0,19
	Gas-BW, sol. TWE	0,45	6,90	2,16	0,10		Gas-BW, sol. TWE	1,30	19,95	6,31	0,20
	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	0,49	7,55	2,37	0,11		Gas-BW, sol. TWE+HeizU	1,28	19,65	6,21	0,20
	Öl-BW	0,57	7,36	33,18	1,45		Öl-BW	1,42	20,15	9,85	0,31
	Öl-BW, sol. TWE	0,69	9,22	10,07	0,43		Öl-BW, sol. TWE	1,43	20,52	9,16	0,30
	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	0,68	9,38	6,21	0,28		Öl-BW, sol. TWE+HeizU	1,38	20,12	8,34	0,28
	Holzpellet	0,33	7,91	1,53	0,07		Holzpellet	0,82	16,44	3,85	0,12
	Luft-EWP	0,88	11,57	5,65	0,27		Luft-EWP	1,45	20,31	7,90	0,27
	Mittelwert über alle Varianten:	0,55	8,09	7,84	0,35		Mittelwert über alle Varianten:	1,30	19,62	7,24	0,23

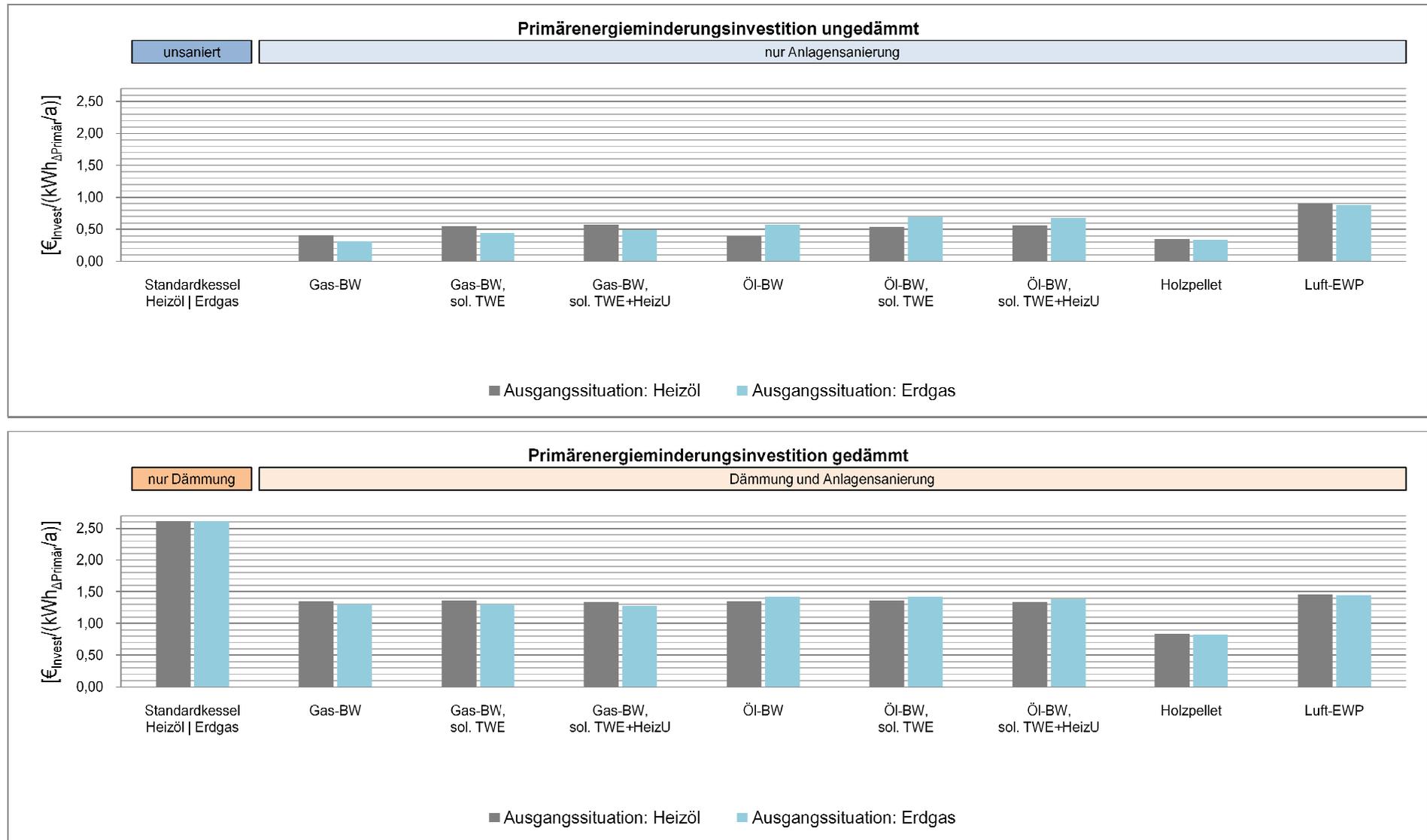


Abbildung 7 Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Primärenergieminderungsinvestitionen

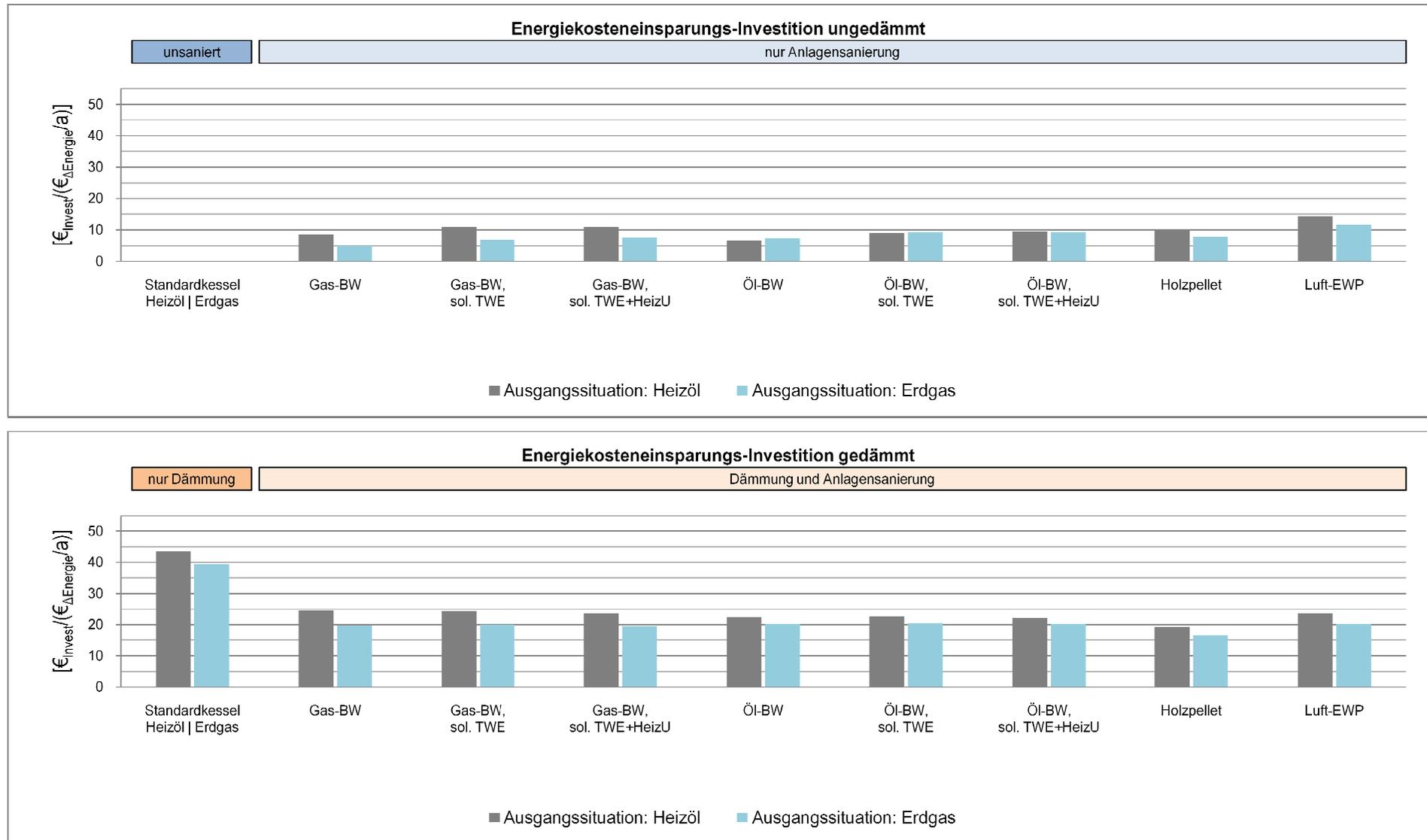


Abbildung 8 Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Energiekosteneinsparungs-Investitionen

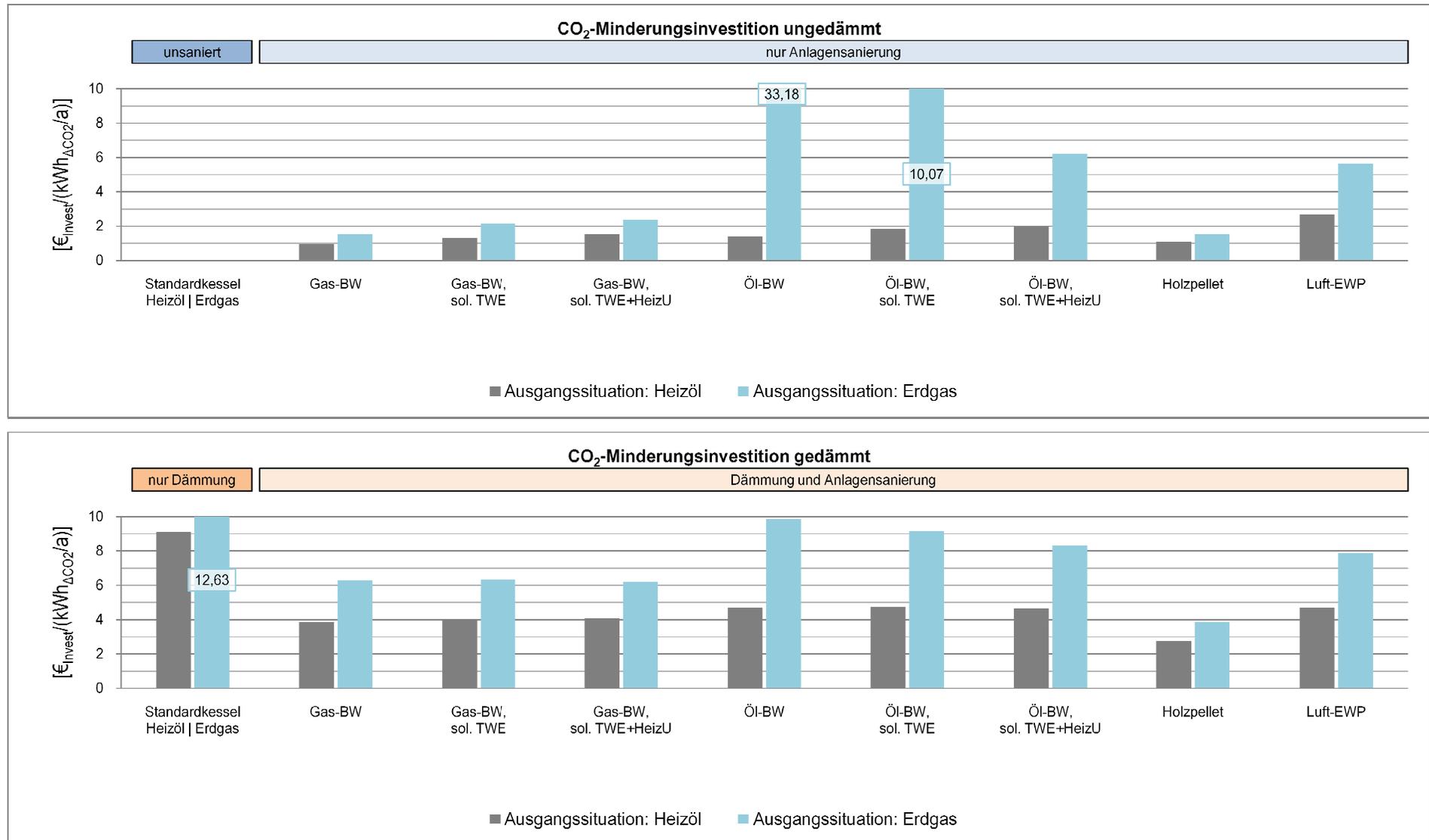


Abbildung 9 Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte CO₂-Minderungsinvestitionen (bezogen auf den jährlichen CO₂-Ausstoß)

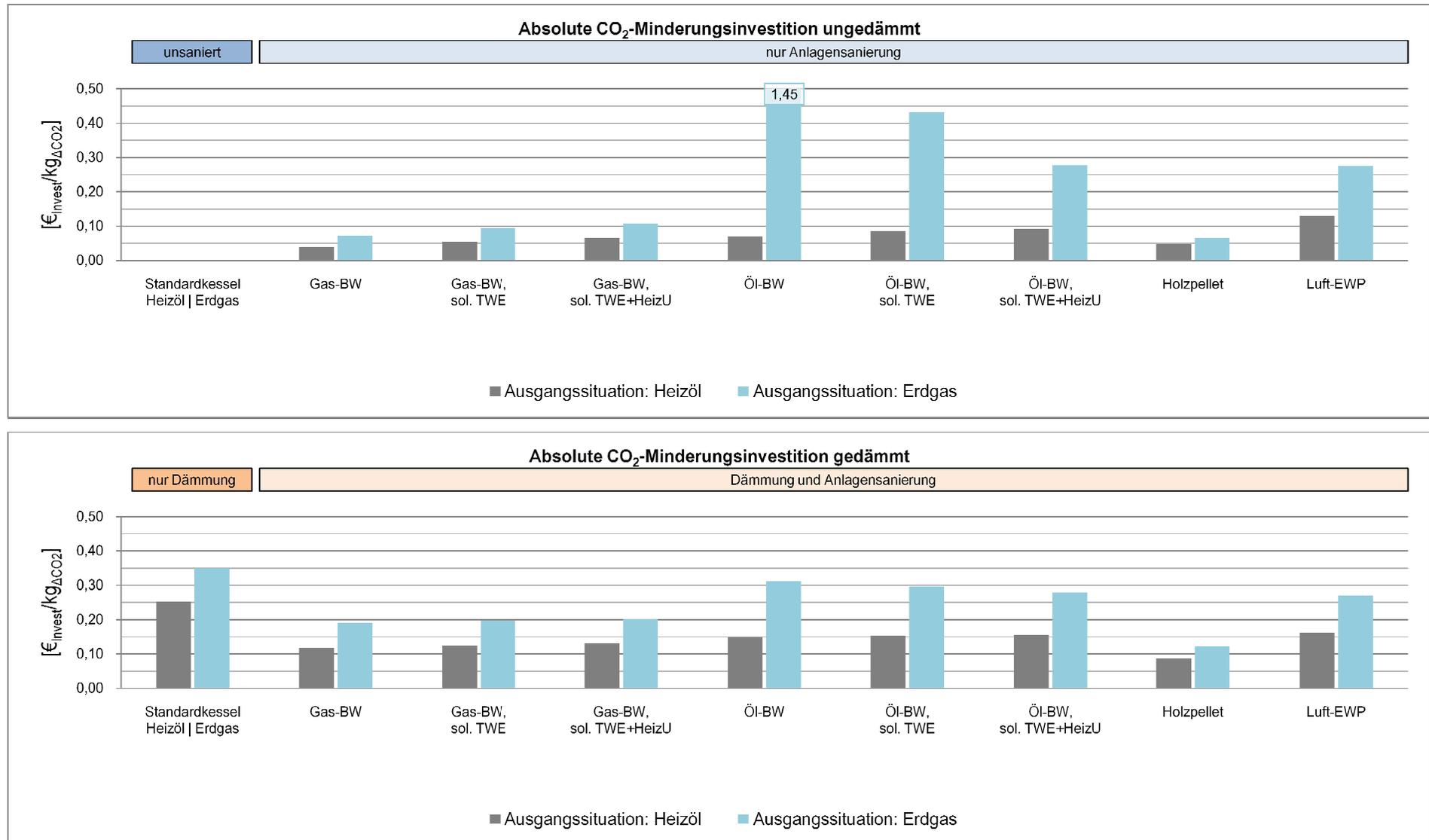


Abbildung 10 Über alle Gebäude und Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte absolute CO₂-Minderungsinvestitionen (über gesamte Nutzungsdauer)

Tabelle 27 Über Einfamilienhaus und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Kostenkennwerte

		Primärenergie-minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{ΔPrimär} /a)]	Energiekosten-einsparungs-investition [€ _{Invest} /(€ _{ΔEnergie} /a)]	CO ₂ -Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kg _{ΔCO₂} /a)]	Absolute CO ₂ -Minderungsinvestition [€ _{Invest} /kg _{ΔCO₂}]			Primärenergie-minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kWh _{ΔPrimär} /a)]	Energiekosten-einsparungs-investition [€ _{Invest} /(€ _{ΔEnergie} /a)]	CO ₂ -Minderungsinvestition [€ _{Invest} /(kg _{ΔCO₂} /a)]	Absolute CO ₂ -Minderungsinvestition [€ _{Invest} /kg _{ΔCO₂}]
ungedämmt, Ausgangssituation: Öl-Standardkessel	Öl-Standardkessel	-	-	-	-	gedämmt, Ausgangssituation: Öl-Standardkessel	Öl-Standardkessel	2,66	44,81	9,27	0,26
	Gas-BW	0,48	10,04	1,14	0,05		Gas-BW	1,36	24,94	3,95	0,12
	Gas-BW, sol. TWE	0,60	11,93	1,51	0,06		Gas-BW, sol. TWE	1,36	24,61	4,10	0,13
	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	0,62	11,80	1,68	0,07		Gas-BW, sol. TWE+HeizU	1,34	23,86	4,14	0,14
	Öl-BW	0,47	7,79	1,63	0,08		Öl-BW	1,35	22,44	4,70	0,15
	Öl-BW, sol. TWE	0,59	9,96	2,04	0,09		Öl-BW, sol. TWE	1,36	22,66	4,71	0,16
	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	0,61	10,24	2,12	0,10		Öl-BW, sol. TWE+HeizU	1,34	22,30	4,64	0,16
	Holzpellet	0,41	11,49	1,31	0,06		Holzpellet	0,88	20,06	2,90	0,10
	Luft-EWP	1,00	15,82	3,01	0,15		Luft-EWP	1,51	24,27	4,88	0,17
	Mittelwert über alle Varianten:	0,60	11,13	1,80	0,08		Mittelwert über alle Varianten:	1,31	23,14	4,25	0,14
ungedämmt, Ausgangssituation: Gas-Standardkessel	Gas-Standardkessel	-	-	-	-	gedämmt, Ausgangssituation: Gas-Standardkessel	Gas-Standardkessel	2,66	40,49	12,85	0,36
	Gas-BW	0,37	5,63	1,79	0,09		Gas-BW	1,29	19,64	6,23	0,19
	Gas-BW, sol. TWE	0,48	7,36	2,33	0,10		Gas-BW, sol. TWE	1,29	19,62	6,23	0,20
	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	0,52	7,94	2,52	0,11		Gas-BW, sol. TWE+HeizU	1,27	19,35	6,14	0,20
	Öl-BW	0,62	7,90	9,75	0,45		Öl-BW	1,42	19,91	9,47	0,31
	Öl-BW, sol. TWE	0,71	9,57	7,59	0,33		Öl-BW, sol. TWE	1,42	20,23	8,77	0,29
	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	0,71	9,77	5,67	0,26		Öl-BW, sol. TWE+HeizU	1,38	19,96	8,08	0,28
	Holzpellet	0,40	9,05	1,82	0,08		Holzpellet	0,87	16,94	4,07	0,13
	Luft-EWP	0,97	12,60	6,07	0,29		Luft-EWP	1,49	20,61	8,05	0,28
	Mittelwert über alle Varianten:	0,60	8,73	4,69	0,21		Mittelwert über alle Varianten:	1,30	19,53	7,13	0,24

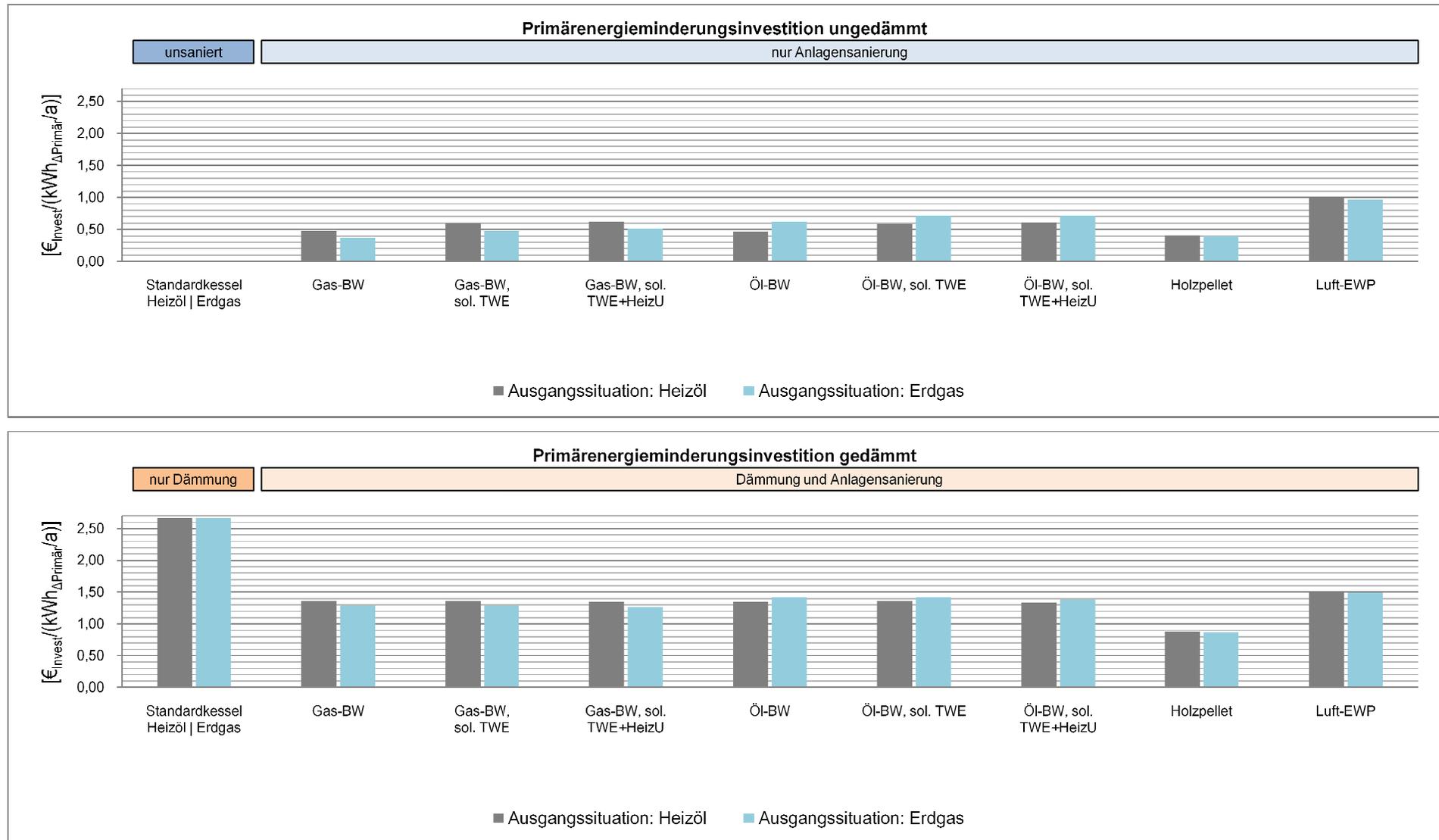


Abbildung 11 Über Einfamilienhaus und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Primärenergieminderungsinvestitionen

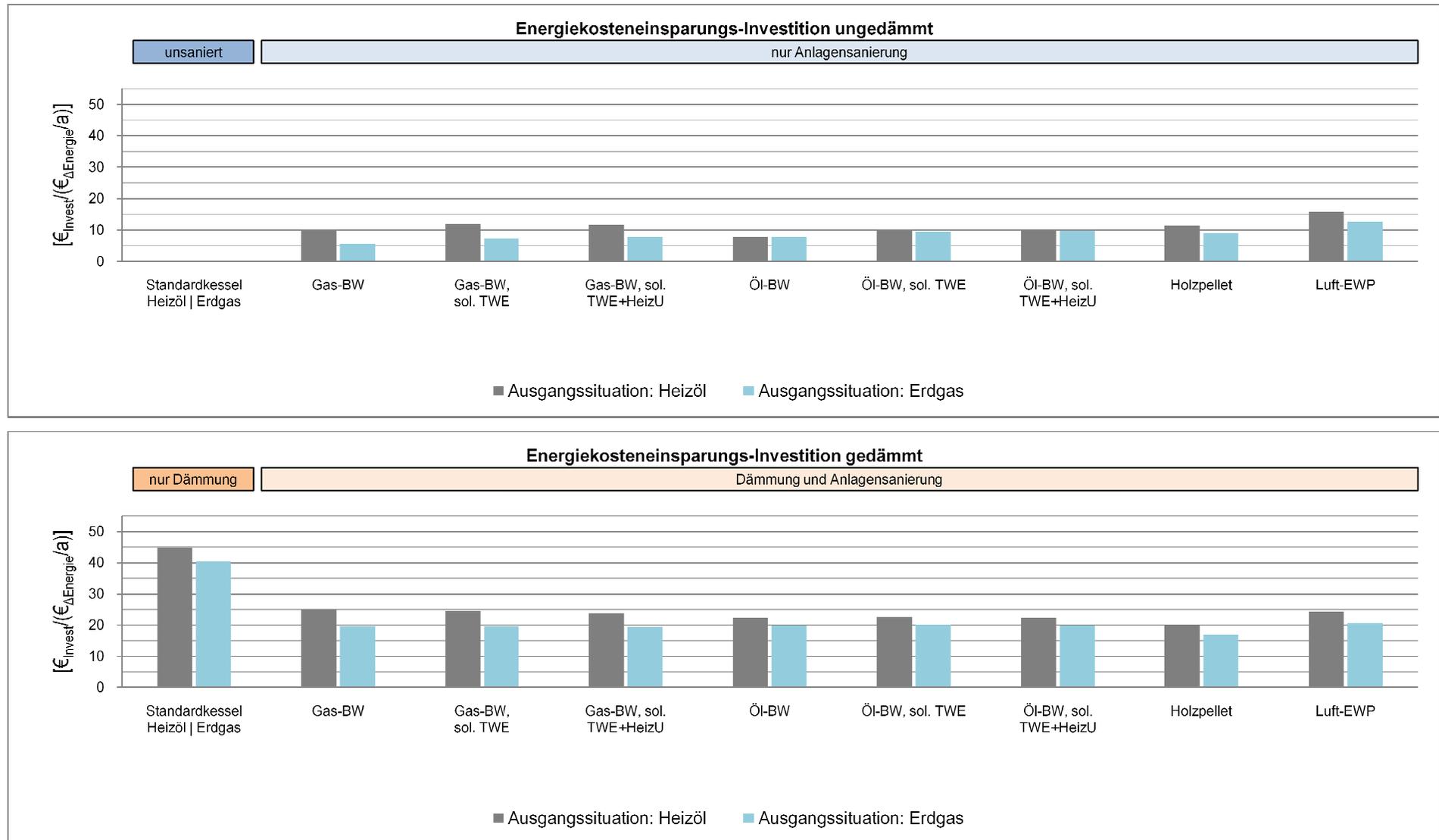


Abbildung 12 Über Einfamilienhaus und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte Energiekosteneinsparungs-Investitionen

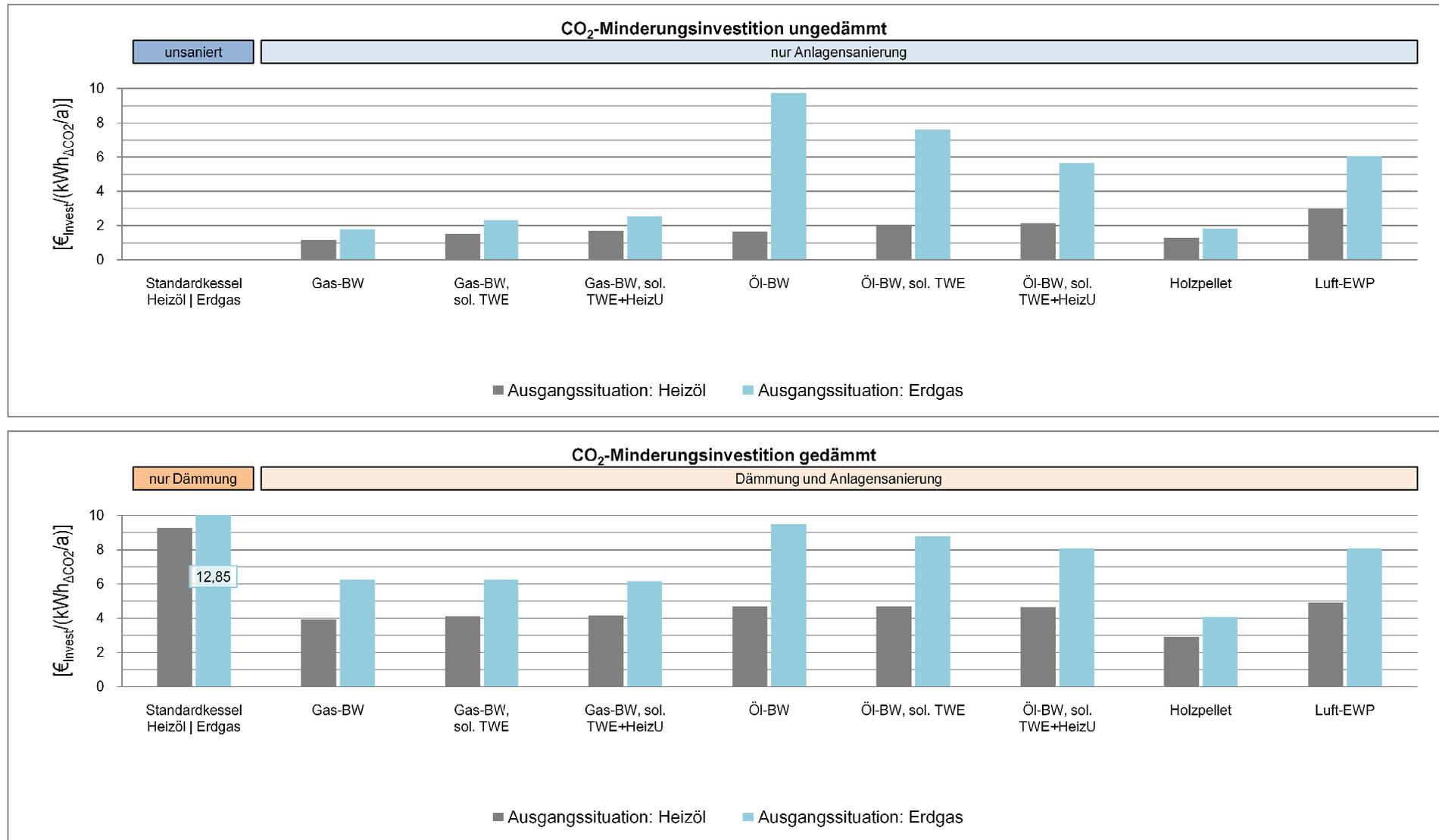


Abbildung 13 Über Einfamilienhaus und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte CO₂-Minderungsinvestitionen (bezogen auf den jährlichen CO₂-Ausstoß)

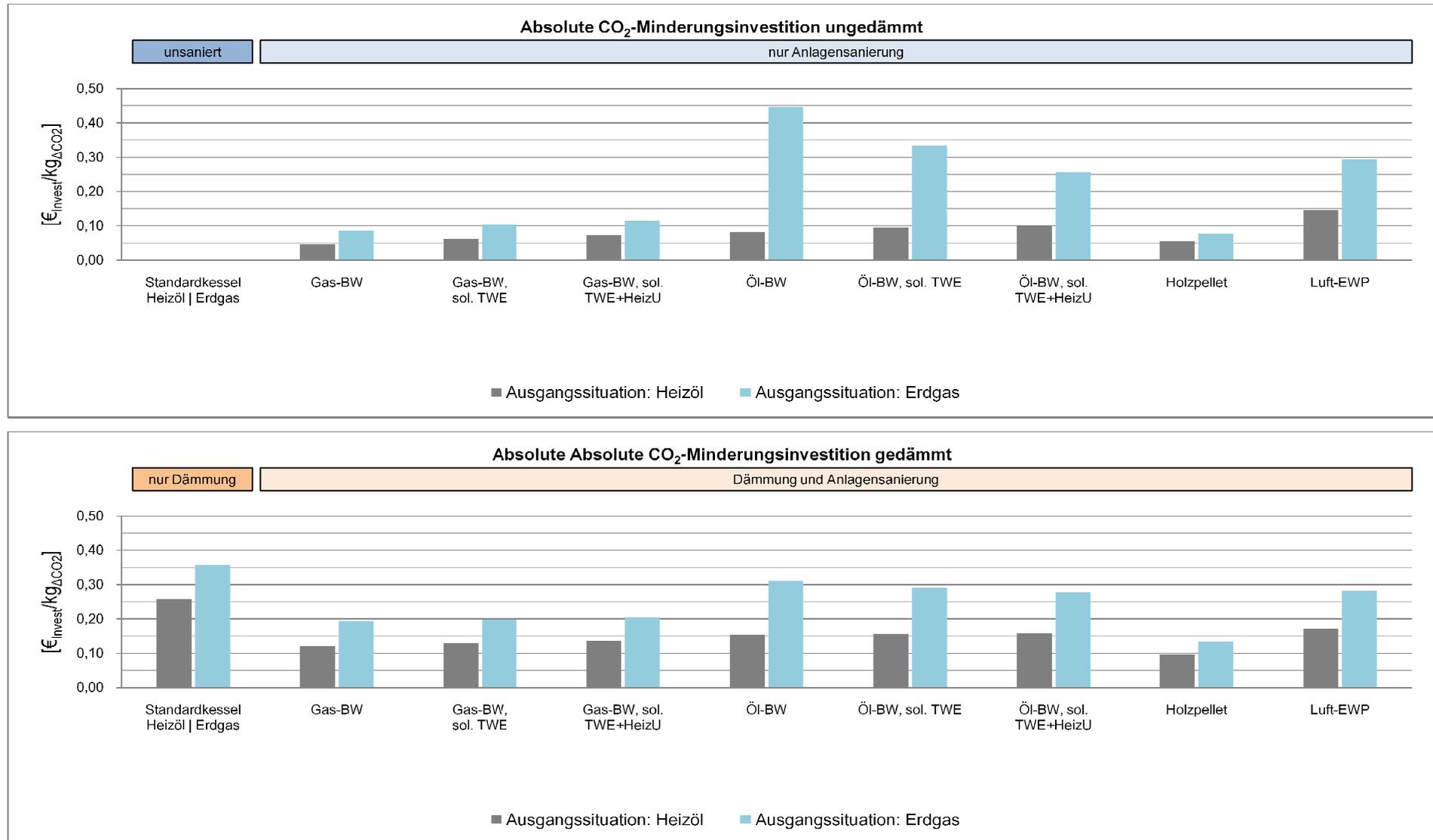


Abbildung 14 Über Einfamilienhaus und Reihenhaus und alle Ausgangswärmeschutzniveaus gemittelte absolute CO₂-Minderungsinvestitionen (über gesamte Nutzungsdauer)

4 Auswertung

4.1 Einfluss des Ausgangswärmeschutzniveaus

4.1.1 Ohne zusätzliche Dämmung

Investitionskosten

Die Investitionskosten für anlagenseitige Modernisierungsmaßnahmen sind innerhalb der Spanne der betrachteten Ausgangswärmeschutzniveaus kaum vom bauseitigen Wärmeschutz eines Bestandsgebäudes abhängig.

Energiebedarf

Die Unterschiede im Energiebedarf zwischen den betrachteten baulichen Wärmeschutzniveaus (WSV 1978 und WSV 1984) sind relativ klein. Die Anlagen der Gebäude schlechteren Wärmeschutzes (WSV 1978) haben erwartungsgemäß einen geringfügig höheren Energiebedarf.

Das energetische Einsparpotenzial reiner Anlagensanierungen liegt für beide bauseitige Ausgangsfälle auf ähnlichem Niveau. Das absolute Einsparpotenzial ist bei schlechterem Wärmeschutz etwas höher, das relative Einsparpotenzial ist bei besser gedämmten Gebäuden etwas höher.

Kohlendioxidausstoß

Analog zum Endenergiebedarf fällt der Kohlendioxidausstoß für Gebäude des energetisch schlechteren Wärmeschutzes geringfügig höher aus. Beide Varianten bieten ein ähnliches Kohlendioxideinsparpotenzial.

4.1.2 Bei zusätzlicher Dämmung der Gebäudehülle

Investitionskosten

Da die nachträgliche Dämmung für beide Ausgangswärmeschutzniveaus nahezu gleich bemessen ist, kann auch hier kein wesentlicher Einfluss des ursprünglichen Wärmeschutzes (WSV 1978 oder WSV 1984) auf die Investitionskosten festgestellt werden.

Energiebedarf

Durch die Angleichung des Wärmeschutzes mittels nachträglicher Dämmung wird der ohnehin geringe Einfluss des ursprünglichen Wärmeschutzniveaus auf den Energiebedarf, welcher bei nicht nachträglich gedämmten Gebäuden noch festzustellen ist, praktisch eliminiert. Beide Varianten haben nach der Dämmung nahezu gleiche Energiebedarfswerte. Bei schlechterem Ausgangswärmeschutz bietet eine nachträgliche Dämmung ein höheres Einsparpotenzial.

Kohlendioxidausstoß

Auch das Kohlendioxideinsparpotenzial durch nachträgliche Dämmung fällt für Gebäude schlechteren ursprünglichen Wärmeschutzes höher aus.

4.2 Einfluss der Sanierungsart

4.2.1 Dämmung im Vergleich mit Anlagensanierung

Investitionskosten

Die Investitionskosten der betrachteten vollständigen Sanierung der Gebäudehülle liegen für Ein- und 6-Familienhaus über denen jeder betrachteten Anlagensanierung. Für die im Bestand am häufigsten durchgeführten Anlagensanierungen fallen deutlich geringere Investitionskosten an als für eine vollständige Dämmung der Gebäudehülle. Das gilt selbst im Fall eines Energieträgerwechsels von Gas zu Öl.

Tabelle 28 Beispiel, Kostenvergleich für WSV 1978: Dämmung, Anlagensanierung

WSV 1978*, Ausgangszustand Heizöl	EFH	RH	6-FH
Anlagensanierungen üblichen Ausmaßes	Nur Anlagensanierung		
	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW
	9.103 €	8.984 €	11.533 €
	Gas-BW + sol. TWE	Gas-BW + sol. TWE	Gas-BW + sol. TWE
13.510 €	12.385 €	21.254 €	
Teuerste betrachtete Anlagensanierung	EWP	EWP	EWP
	28.520 €	21.035 €	42.790 €
- Dämmung WSV 1978* → EnEV 2009	Nur Dämmung		
	48.200 €	21.200 €	94.700 €

* Ähnliche Werte für WSV 1984

Wenn Teile der Gebäudehülle bzw. Komponenten der Anlagentechnik ohnehin saniert oder ersetzt werden müssen, dann sind auch ohne den Wunsch nach Energieeinsparung Investitionen erforderlich. Diese Kosten der „Ohnehin“- oder „Sowieso“-Maßnahmen würden die rechnerisch bei der Bewertung der Energiesparmaßnahmen anzusetzenden Investitionskosten entsprechend verringern. Eine energetische Sanierung ist daher bei ohnehin anstehenden Maßnahmen an Gebäudehülle oder Anlagentechnik immer zu empfehlen.

Energiebedarf

Durch die untersuchte vollständige Dämmung der Gebäudehülle lassen sich bis zu 30% Energie einsparen. Die mittlere Einsparung der betrachteten Varianten (nur Dämmung) beträgt 24%.

Der Energiebedarf allein gedämmter Gebäude liegt damit über dem fast aller ausschließlich anlagensanierter Gebäude. Ausnahmen bilden einige Sanierungen mit Holzpelletanlage (Endenergiebedarf) und mit Brennwertkessel im 6-Familienhaus. Das Energieeinsparpotenzial der betrachteten vollständigen Gebäudedämmung fällt dementsprechend geringer aus als das der meisten alleinigen Anlagensanierungen. Auch hier stellen Holzpelletanlagen mit ihrem niedrigen Endenergieeinsparpotenzial und Brennwertkessel im 6-Familienhaus eine Ausnahme dar.

Tabelle 29 Beispiel, Vergleich relativer Energieeinsparungen für WSV 1978: nur Dämmung, nur Anlagensanierung

	Varianten	21/31	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8/18	9/19
EFH WSV 1978*	Relative Einsparung Energiebedarf	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Endenergie	30%	33%	38%	46%	33%	38%	46%	9%	75%
	- Primärenergie	29%	32%	37%	45%	32%	37%	45%	81%	42%
	Varianten	101/111	82/92	83/93	84/94	85/95	86/96	87/97	88/98	89/99
RH WSV 1978*	Relative Einsparung Energiebedarf	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Endenergie	22%	40%	46%	52%	40%	46%	52%	20%	78%
	- Primärenergie	22%	39%	44%	51%	39%	44%	51%	82%	48%
	Varianten	181/191	162/172	163/173	164/174	165/175	166/176	167/177	168/178	169/179
6-FH WSV 1978*	Relative Einsparung Energiebedarf	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Endenergie	29%	29%	33%	39%	29%	33%	39%	3%	74%
	- Primärenergie	29%	28%	32%	39%	28%	32%	39%	80%	39%
	Varianten	181/191	162/172	163/173	164/174	165/175	166/176	167/177	168/178	169/179

* WSV 1984: geringeres Einsparpotenzial für Dämmmaßnahmen, restliche Werte ähnlich

Energiekosten

Die Energiekosteneinsparung durch die untersuchte vollständige Dämmung der Gebäudehülle beträgt bis zu 29%. Im Mittel erreichen die betrachteten Sanierungsvarianten eine Einsparung von 23%. Wegen der hohen Investitionskosten der Dämmmaßnahmen beträgt der Zeitraum für eine vereinfachte statische Amortisation der Investitionskosten durch die Energiekosteneinsparung etwa 40 bis 45 Jahre.

Kohlendioxidausstoß

Analog zum Energiebedarf liegt der Kohlendioxidausstoß eines rein baulich sanierten Gebäudes über denen fast aller rein anlagenseitig sanierten Gebäude. Eine Ausnahme kann hier der Heizöl-Brennwertkessel bilden – er verursacht in einigen Fällen höhere Kohlendioxidemissionen als eine Erdgas-Bestandsanlage im gedämmten Gebäude.

Das Kohlendioxideinsparpotenzial der alleinigen Dämmung ist dementsprechend niedriger, als das der meisten reinen Anlagensanierungen (Mittelwert bei alleiniger Dämmung 24%). Ausnahmen sind wieder in Heizöl-Brennwertkesseln zu finden. Im 6-Familienhaus liegen auch die relativen Einsparpotenziale des Gas-Brennwertkessels und der Elektrowärmepumpe geringfügig unter dem der alleinigen Dämmung.

Tabelle 30 Beispiel, Vergleich relativer CO₂-Einsparungen für WSV 1978: nur Dämmung, nur Anlagensanierung

	Varianten	21 31	2 12	3 13	4 14	5 15	6 16	7 17	8 18	9 19
EFH WSV 1978*	Relative Einsparung CO ₂ -Ausstoß bei Ausgangssituation	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Heizöl	29%	51%	54%	60%	33%	37%	45%	89%	50%
	- Erdgas	29%	32%	37%	45%	7%	13%	24%	85%	31%
RH WSV 1978*	Varianten	101 111	82 92	83 93	84 94	85 95	86 96	87 97	88 98	89 99
	Relative Einsparung CO ₂ -Ausstoß bei Ausgangssituation	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Heizöl	22%	55%	59%	64%	39%	45%	51%	90%	55%
	- Erdgas	22%	38%	44%	51%	16%	24%	33%	86%	39%
6-FH WSV 1978*	Varianten	181 191	162 172	163 173	164 174	165 175	166 176	167 177	168 178	169 179
	Relative Einsparung CO ₂ -Ausstoß bei Ausgangssituation	nur Dämmung	Gas-BW	Gas-BW, sol. TWE	Gas-BW, sol. TWE+HeizU	Öl-BW	Öl-BW, sol. TWE	Öl-BW, sol. TWE+HeizU	Holzpellet	EWP
	- Heizöl	29%	48%	51%	56%	28%	32%	39%	89%	48%
	- Erdgas	29%	28%	32%	39%	1%	6%	15%	85%	27%

* WSV 1984: geringeres Einsparpotenzial für Dämmmaßnahmen, restliche Werte ähnlich

4.2.2 Kombination von Anlagen- und Gebäudesanierung

Investitionskosten

Die kombinierten Sanierungen verursachen absolut die höchsten Investitionskosten, wobei ein Großteil der Kosten – unter den untersuchten Varianten mehr als die Hälfte – für die Sanierung der Gebäudehülle aufzubringen ist.

Im Falle einer geplanten Sanierung, welche auch umfangreiche Dämmmaßnahmen beinhaltet, sollte die Möglichkeit der gezielten Sanierung zu einem KfW-Effizienzhaus in Betracht gezogen werden. Im Rahmen der Sanierung zu einem KfW-Effizienzhaus sind aktuell Zuschüsse von bis zu 20% der förderfähigen Kosten möglich (vgl. Tabelle 13).

In diesem Zusammenhang wird nochmals darauf hingewiesen, dass die ggf. für „Ohnehin“-Maßnahmen aufzubringende Kosten die anzusetzenden Investitionskosten entsprechend verringern würden (vgl. 4.2.1).

Energiebedarf

Im Vergleich mit reinen Anlagensanierungen erreichen kombinierte Sanierungen erwartungsgemäß wesentlich niedrigere Energiebedarfe. Das Energieeinsparpotenzial einer kombinierten Sanierung liegt im Allgemeinen deutlich über dem einer entsprechenden alleinigen Dämmung oder reinen Anlagensanierung (vgl. Tabelle 31). Die Energieminderungs-Investitionen fallen für kombinierte Sanierungen in der Regel merklich höher aus als bei bloßen Anlagensanierungen, jedoch niedriger als bei alleinigen Gebäudedämmungen.

Tabelle 31 Über alle Gebäude und WSV gemittelte relative Energieeinsparungen

	Relative Einsparung Energiebedarf (Mittelwerte über alle Gebäude und WSV)			
	nur Anlagensanierung		Dämmung und Anlagensanierung	
	Endenergie	Primärenergie	Endenergie	Primärenergie
Bestandsanlage (unsaniert bzw. nur Dämmung)	0%	0%	24%	24%
Gas-BW	34%	34%	57%	56%
Gas-BW, sol. TWE	39%	39%	62%	61%
Gas-BW, sol. TWE+HeizU	46%	46%	67%	66%
Öl-BW	34%	34%	57%	56%
Öl-BW, sol. TWE	39%	39%	62%	61%
Öl-BW, sol. TWE+HeizU	46%	46%	67%	66%
Holzpellet	12%	81%	42%	87%
EWP	76%	44%	84%	62%

Energiekosten

Die Energiekosteneinsparung durch kombinierte Sanierung von Baukörper und Anlage beträgt durchschnittlich 60%.

Tabelle 32 Über alle Gebäude und WSV gemittelte relative Energiekosteneinsparungen

	Relative Energiekosteneinsparung (Mittelwerte über alle Gebäude und WSV)			
	nur Anlagensanierung		Dämmung und Anlagensanierung	
	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas
Bestandsanlage (unsaniert bzw. nur Dämmung)	0%	0%	23%	23%
Gas-BW	26%	32%	49%	54%
Gas-BW, sol. TWE	31%	36%	54%	58%
Gas-BW, sol. TWE+HeizU	38%	43%	60%	63%
Öl-BW	33%	38%	54%	58%
Öl-BW, sol. TWE	37%	42%	59%	62%
Öl-BW, sol. TWE+HeizU	44%	49%	63%	66%
Holzpellet	45%	49%	60%	64%
EWP	45%	49%	62%	65%

Während die statische Amortisationszeit bei ursprünglichem Anlagenbetrieb mit Heizöl noch kleine Unterschiede abhängig von der ausgewählten Neuanlage zeigt (Mittelwert ca. 23 Jahre), weisen alle Sanierungen ausgehend von einer Erdgas-Bestandsanlage fast dieselbe Amortisationszeit auf (Mittelwert ca. 20 Jahre). Lediglich die kombinierte Sanierung mit Holzpelletanlage weicht mit durchschnittlich 19 Jahren (vormals Heizöl) bzw. 16 Jahren (vormals Erdgas) nach unten ab, da sie die Kriterien zur Gewährung der KfW-Effizienzhaus-Förderung erfüllt.

Kohlendioxidemission

Ähnlich liegt der Kohlendioxidausstoß bei bau- und anlagenseitiger Sanierung in den meisten Fällen deutlich niedriger als bei alleiniger Anlagensanierung.

Tabelle 33 Über alle Gebäude und WSV gemittelte CO₂-Minderungen

Energieträger Bestand	Relative Einsparung CO ₂ -Ausstoß (Mittelwerte über alle Gebäude und WSV)			
	nur Anlagensanierung		Dämmung und Anlagensanierung	
	Heizöl	Erdgas	Heizöl	Erdgas
Bestandsanlage (unsaniert bzw. nur Dämmung)	0%	0%	24%	24%
Gas-BW	52%	33%	68%	56%
Gas-BW, sol. TWE	55%	38%	71%	60%
Gas-BW, sol. TWE+HeizU	61%	45%	75%	65%
Öl-BW	34%	9%	56%	39%
Öl-BW, sol. TWE	39%	15%	61%	46%
Öl-BW, sol. TWE+HeizU	46%	25%	66%	53%
Holzpellet	89%	85%	92%	89%
EWP	52%	33%	68%	55%

Im Vergleich zwischen alleiniger Anlagensanierung und der Kombination aus Dämmung und Anlagensanierung erreicht die bloße Anlagensanierung im Allgemeinen niedrigere CO₂-Minderungsinvestitionen (Ausnahme Öl-Brennwertkessel bei Ausgangssituation Gas).

4.3 Einfluss von Anlage und Energieträger

4.3.1 Brennwertkessel – Heizöl, Erdgas

Investitionskosten

Bei ursprünglichem Anlagenbetrieb mit Heizöl bewegen sich Sanierungsvarianten beider Energieträger investitionskostenmäßig auf ähnlichem Niveau – ein wesentlicher Investitionskostenvorteil zugunsten des fortgeführten Heizölbetriebs ist nicht festzustellen.

Mit Erdgas als ursprünglich eingesetztem Energieträger verursachen Sanierungsvarianten mit inbegriffenem Energieträgerwechsel zu Heizöl deutlich höhere Investitionskosten als solche, die den Energieträger Erdgas beibehalten.

Energiebedarf

Die Energieträger Heizöl und Erdgas werden nach DIN V 4701-10 bzw. EnEV end- und primärenergetisch gleich bewertet. Dementsprechend hat die Auswahl des Energieträgers hier keinen Einfluss auf den Energiebedarf.

Wurde die Bestandsanlage mit Heizöl betrieben, so sind Sanierungsvarianten mit Heizöl- und Erdgasbetrieb hinsichtlich der Primärenergieminderungsinvestitionen nahezu identisch. Bei einer Erdgas-Bestandsanlage fallen die Primärenergieminderungsinvestitionen eines Heizöl-Brennwertkessels höher als die eines Erdgas-Brennwertkessels aus.

Energiekosten

Bei den betrachteten Gebäuden und Brennwertkesseln sind die Energiekosten für Heizölbetrieb durchschnittlich 9% niedriger als für Gasbetrieb.

Eine statische Amortisation der Investitionskosten allein über die Energiekosteneinsparung dauert bei Energieträgerwechsel prinzipiell länger als unter Beibehaltung des Bestandsenergieträgers. Die niedrigsten Zeiten werden bei einer Erdgas-Bestandsanlage unter Beibehaltung des Energieträgers erreicht. Der Wechsel von Heizöl zu Erdgas verursacht die höchsten Zeiten.

Tabelle 34 Energiekosteneinsparungs-Investitionen Heizöl und Erdgas, Mittelwerte über alle Gebäude und WSV

[€ _{Invest} /(€ _{Energie} ·a) = a]	Energiekostenminderungsinvestitionen, statische Amortisationszeit											
	ungedämmt						Gedämmt					
	Heizöl			Erdgas			Heizöl			Erdgas		
Ausgangssituation	Unterschied absolut relativ		Unterschied absolut relativ		Unterschied absolut relativ		Unterschied absolut relativ		Unterschied absolut relativ		Unterschied absolut relativ	
Anlage neu												
Gas-BW	8,54 a	-	-	4,81 a	-	-	24,58 a	-	-	19,85 a	-	-
Gas-BW, sol. TWE	10,90 a	-	-	6,90 a	-	-	24,43 a	-	-	19,95 a	-	-
Gas-BW, sol. TWE+HeizU	10,93 a	-	-	7,55 a	-	-	23,70 a	-	-	19,65 a	-	-
Öl-BW	6,65 a	-1,90 a	-22%	7,36 a	+2,54 a	+53%	22,34 a	-2,24 a	-9%	20,15 a	+0,31 a	+2%
Öl-BW, sol. TWE	9,03 a	-1,87 a	-17%	9,22 a	+2,32 a	+34%	22,61 a	-1,83 a	-7%	20,52 a	+0,57 a	+3%
Öl-BW, sol. TWE+HeizU	9,44 a	-1,49 a	-14%	9,38 a	+1,83 a	+24%	22,24 a	-1,46 a	-6%	20,12 a	+0,47 a	+2%

Kohlendioxidausstoß

Heizöl verursacht bei gleichem Endenergiebedarf bzw. pro Kilowattstunde einen höheren Kohlendioxidausstoß als Erdgas (vgl. Tabelle 9).

Wurde ursprünglich Heizöl verwendet, bietet ein Energieträgerwechsel zu Erdgas das höhere Einsparpotenzial bei annähernd gleichen Investitionskosten im Vergleich zur Sanierung unter Beibehaltung des Energieträgers (vgl. Tabelle 33). Demzufolge fallen die CO₂-Minderungsinvestitionen beim Wechsel von Heizöl zu Erdgas niedriger aus als bei einer Sanierung ohne Energieträgerwechsel. Noch deutlicher zeigt sich der Unterschied der CO₂-Minderungsinvestitionen, wenn die Bestandsanlage mit Erdgas betrieben wurde. Hier verursacht der Energieträgerwechsel von Erdgas zu Heizöl höhere Investitionskosten und bietet gleichzeitig das geringere CO₂-Einsparpotenzial⁶ im Vergleich zum fortgeführten Betrieb mit Erdgas. Daraus folgen für diesen Energieträgerwechsel deutlich höhere CO₂-Minderungsinvestitionen als für fortgeführten Erdgasbetrieb.

⁶ Für den sanierungsinbegriffenen Energieträgerwechsel von Erdgas zu Heizöl nimmt die mögliche Verringerung des Kohlendioxidausstoßes mit zunehmender Heizlast stetig ab und kann auch negativ werden. In den berechneten Sanierungsvarianten kam es nicht zu einem solchen „Kippen“. Jedoch wurde in einem Fall – Wechsel von Erdgas zu Heizöl ohne Dämmung der Gebäudehülle im 6-Familienhaus – nur noch eine CO₂-Minderung von 1% erreicht.

4.3.2 Solarthermie als Ergänzung zum Brennwertsystem

Investitionskosten

Die Kollektorfläche einer Solaranlage wird in der vorliegenden Studie entsprechend Standardwerten der DIN V 4701-10 nach Gebäudenutzfläche bemessen. In der Folge zeigt sich eine Abhängigkeit der Kosten einer Solaranlage von der Gebäudegröße. Die Anschaffungskosten der Solaranlage steigen mit zunehmender Gebäudegröße stärker an als die Kosten des Brennwertkessels.

Tabelle 35 Kosten Solaranlage

Kosten für komplette Anlage einschließlich TWW-Speicher	EFH	RH	6-FH
solare TWE	6.000 €	5.000 €	12.000 €
solare TWE + Heizungsunterstützung	9.700 €	8.000 €	21.000 €

Energiebedarf

Der Energiebedarf lässt sich bei den im Rahmen der vorliegenden Studie unterstellten Randbedingungen durch solare Trinkwassererwärmung im Mittel um 9% senken. Für kombinierte solare Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung liegt das energetische Einsparpotenzial bei durchschnittlich 20%.

Energiekosten

Mit einer solaren Trinkwassererwärmung lassen sich etwa 8% an Energiekosten einsparen. Für kombinierte Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung beträgt das Energiekosteneinsparpotenzial durchschnittlich 18%.

Kohlendioxidausstoß

Durch solare Trinkwassererwärmung lässt sich der Kohlendioxidausstoß im Durchschnitt um 9% verringern. Mit der Kombination aus Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung kann die Einsparung auf etwa 20% erhöht werden.

4.3.3 Biomassekessel – Holzpellets

Investitionskosten

Die Investitionskosten für eine neue Holzpellettheizung liegen bei nicht nachträglich gedämmten Gebäuden deutlich über denen eines Gas- oder Öl-Brennwertsystems.

Unter den kombinierten Sanierungen (Gebäudedämmung und Anlagensanierung) erreichen die Varianten mit Holzpelletkessel im Ein- und 6-Familienhaus die niedrigsten Investitionskosten aller betrachteten Varianten. Im Reihenhaus sind die Investitionskosten im Vergleich immer noch auf niedrigem Niveau. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass unter den angenommenen Randbedingungen ausschließlich Sanierungsvarianten mit Holzpelletkessel den Bedingungen eines KfW-Effizienzhauses genügen und eine dementsprechende Förderung unterstellt wird.

Energiebedarf

Hinsichtlich des Endenergiebedarfs liegt die Holzpelletanlage auf ähnlichem Niveau wie die betrachteten Standardkessel (unsanierte Anlage). Durch die nach DIN V 4701-10 / EnEV sehr günstige Primärenergiebewertung des Energieträgers Holz erreicht die Holzpelletanlage jedoch trotz ihres vergleichsweise hohen Endenergiebedarfs den niedrigsten Primärenergiebedarf aller betrachteten Anlagen.

Die Primärenergieminderungsinvestitionen bewegen sich für alleinige Anlagensanierungen auf sehr niedrigem Niveau (Mittelwert ungedämmt 0,34 €/kWh/a); vgl. Tabelle 26), vergleichbar mit denen eines Gas-Brennwertsystems. Bei kombinierter Sanierung erzielen Holzpelletkessel unter den angenommenen Randbedingungen die niedrigsten Primärenergieminderungsinvestitionen aller Anlagen.

Energiekosten

Der Holzpelletkessel gehört unter den betrachteten Anlagen zu den Wärmeerzeugern mit den niedrigsten Energiekosten.

Im ungedämmten Gebäude beträgt das durchschnittliche Energiekosteneinsparpotenzial für eine Sanierung mit Einbau eines Holzpelletkessels 47%. Durch Kombination mit Gebäudedämmmaßnahmen kann es auf etwa 62% gesteigert werden.

Wegen der vergleichsweise hohen Investitionskosten würde eine vereinfachte Amortisation der Holzpelletanlage im ungedämmten Gebäude dennoch merklich länger dauern als die eines Gas-Brennwertkessels. Bei gleichzeitiger Gebäudedämmung erreichen die Sanierungsvarianten mit Holzpelletkessel die niedrigsten statischen Amortisationszeiten aller betrachteten Anlagen. Jedoch muss auch hier der Einfluss der KfW-Effizienzhaus-Förderung beachtet werden, welche Sanierungsvarianten ohne Holzpelletkessel unter den angenommenen Randbedingungen nicht zuteilwürde.

Kohlendioxidausstoß

Holzpellettheizungen weisen aufgrund der günstigen CO₂-Bilanz des Energieträgers die niedrigsten Kohlendioxidemissionen und somit die höchsten CO₂-Einsparpotenziale aller betrachteten Varianten auf (im Mittel zwischen 85% und 92%; vgl. Tabelle 33). Die Kohlendioxidminderungsinvestitionen liegen für ungedämmte Gebäude etwa auf einer Höhe mit denen von Gas-Brennwertkesseln. Für gedämmte Gebäude erreichen Holzpelletanlagen die niedrigsten CO₂-Minderungsinvestitionen aller betrachteten Anlagen.

4.3.4 Wärmepumpe – Strom

Investitionskosten

Die Elektrowärmepumpe (Luft-Wasser) zählt zu den Anlagen mit den höchsten Investitionskosten.

Energiebedarf

Elektrowärmepumpen erreichen bei einer Bewertung nach DIN V 4701-10 die niedrigsten Endenergiebedarfe aller betrachteten Anlagen. Die Primärenergiebedarfswerte der Elektrowärmepumpe liegen wegen der ungünstigen Bewertung der Elektroenergie nicht deutlich unter denen von Gas- oder Öl-Brennwertsystemen.

Die Primärenergieminderungskosten fallen für ungedämmte Gebäude im Mittel ungefähr doppelt so hoch aus wie die eines Gas-/Öl-Brennwertkessels. Bei gleichzeitiger Gebäudedämmung ist der Unterschied deutlich geringer.

Energiekosten

Wenn vom örtlichen Elektroenergieversorger ein vergünstigter Tarif zum Betrieb von Wärmepumpen („Wärmepumpenstrom“) angeboten wird, können Elektrowärmepumpen niedrige Energiekosten erzielen. Innerhalb der betrachteten Anlagensanierungen erreichen Elektrowärmepumpen eine durchschnittliche Energiekostensparnis von 47% im Vergleich zur Bestandsanlage. In Kombination mit einer Dämmung der Gebäudehülle steigt das Einsparpotenzial auf ca. 64%.

Die vereinfachte Amortisationszeit liegt für eine Elektrowärmepumpe im ungedämmten Gebäude auf hohem Niveau. Höhere Zeiten werden nur noch von Sanierungsvarianten mit alleiniger Gebäudedämmung erreicht.

Kohlendioxidemissionen

Die Kohlendioxidemissionen der Elektrowärmepumpe entsprechen über alle Wärmeschutzvarianten etwa denen eines Erdgas-Brennwertkessels – die CO₂-Minderungsinvestitionen liegen für ungedämmte Sanierungsvarianten deutlich höher. Bei zusätzlicher Gebäudedämmung relativiert sich der Unterschied.