



prognos

dena
Deutsche Energie-Agentur

Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien

Betrachtungen zur Energieeffizienz, erneuerbaren Energien und weiterer Dekarbonisierungsoptionen mit Blick auf die CO₂-Vermeidungskosten

Abschlussbericht (25.08.2020)

Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWi

Leistungsabruf: durch Referat IIC1 am 02.03.2020

BMW-Projekt-Nr.: 102/16-XX

Gräfelfing, Dresden, Berlin 2020

Impressum

Autoren

Hauptbearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München – FIW München
Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing
holm@fiw-muenchen.de

Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz, ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Tiergartenstraße 54
01219 Dresden
oschatz@itg-dresden.de

Nils Thamling
Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin
nils.thamling@prognos.com

Bearbeiter:

Christoph Sprengard, Wolfgang Schmidt
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München – FIW München

Bettina Mailach, Dr.-Ing. Bernadetta Winiewska, Jens Rosenkranz
ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH

Dominik Rau, Sven Kreidelmeyer, Malek Sahnoun
Prognos

Reviewer:

Dr. Andreas Hermelink
Navigant

Peter Pannier, Michael Müller
Deutsche Energie-Agentur (dena)

Auftraggeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Abt. II, Ref. IIC1

Inhalt

1	Ergebniszusammenfassung	5
2	Hintergrund	6
3	Zielsetzung	7
4	Grundlagen, Randbedingungen und Voruntersuchungen	9
4.1	Modellgebäude.....	9
4.2	Energetische und ökologische Berechnungen.....	14
4.3	Ökonomische Berechnungen und Randbedingungen.....	28
4.4	Bestimmung der CO ₂ -Vermeidungskosten	39
5	Ergebnisse und Bewertung Wohngebäude	41
5.1	Kleines Einfamilienhaus	41
5.2	Mittleres Einfamilienhaus	53
5.3	Doppelhaushälfte	65
5.4	Kleines Reihenmittelhaus.....	77
5.5	Großes Reihenmittelhaus.....	89
5.6	Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten.....	101
5.7	Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten.....	113
5.8	Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten.....	125
6	Ergebnisse und Bewertung Nichtwohngebäude	137
6.1	Schule	137
6.2	Einfeld-Sporthalle	146
6.3	Kindergarten	155
6.4	Verwaltungsgebäude.....	164
6.5	Verbrauchermarkt	173
6.6	Großes Hotel.....	182
6.7	Bürogebäude	191

6.8	Fertigungshalle.....	200
7	Beurteilung und Fazit	209
8	Handlungsempfehlungen.....	212
9	Literaturverzeichnis.....	214
10	Abbildungsverzeichnis.....	217
11	Anlage 1: Berechnungsergebnisse Wohngebäude.....	224
11.1	Kleines Einfamilienhaus	224
11.2	Mittleres Einfamilienhaus	229
11.3	Doppelhaushälfte	234
11.4	Kleines Reihenmittelhaus.....	239
11.5	Großes Reihenmittelhaus.....	244
11.6	Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten.....	249
11.7	Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten.....	254
11.8	Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten.....	259
12	Anlage 2: Berechnungsergebnisse Nichtwohngebäude	264
12.1	Schule.....	264
12.2	Einfeld-Sporthalle.....	269
12.3	Kindergarten	274
12.4	Verwaltungsgebäude.....	279
12.5	Verbrauchermarkt	284
12.6	Großes Hotel.....	289
12.7	Bürogebäude	294
12.8	Fertigungshalle.....	299
13	Anlage 3: Steckbriefe der berechneten Wohn- und Nichtwohngebäude.....	304

1 Ergebniszusammenfassung

Die Zielsetzung der deutschen Energie- und Klimapolitik ist ehrgeizig: Im Gebäudesektor ist bis 2030 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 66 bis 67% gegenüber 1990 vorgesehen. Bis 2050 werden darüber hinaus weitere erhebliche Emissionsminderungen erforderlich. Die Transformation des Gebäudebereichs und dessen Energieverbrauch ist für die Energiewende als Ganzes von entscheidender Bedeutung. Eine "weiter so wie bisher"-Strategie wird nicht ausreichen, um die Klimaschutzziele im Gebäudebestand nur annähernd zu erreichen.

Anhand ausgewählter typischer Bestandsgebäude werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verschiedene Dekarbonisierungsoptionen bewertet. Dabei wird aufgezeigt, wie die energie- und klimapolitischen Ziele für 2030 bei jeweils 8 ausgewählten Wohn- und Nichtwohngebäuden auf einem für 2050 zielkompatiblen Pfad erreicht werden können. Die in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Maßnahmen zur Einsparung von Endenergie und Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) werden anhand betriebswirtschaftlicher Kriterien und der Auswirkungen auf die THG-Emissionen in der Nutzungsphase der Gebäude bewertet.

In der Regel gibt es eine Vielzahl von Modernisierungsmöglichkeiten. Im Rahmen der Untersuchung wird bewusst auf ambitionierte und damit zukunftssichere Maßnahmen für die Gebäudehülle gesetzt, um weitere Modernisierungen desselben Bauteils bis 2050 zu vermeiden und damit zusätzliche Kosten und Lock-In-Effekte zu verhindern. Für die Anlagentechnik wird das durch die Kopplung an die Verminderung des Heizwärmebedarfs durch einen entsprechend ambitionierten Wärmeschutz und die Auswahl zukunftssicherer Technologien gewährleistet.

Modernisierungen sind immer mit einem finanziellen Aufwand verbunden. Besonders wirtschaftlich sind Energiesparmaßnahmen an Komponenten der Gebäudehülle oder Anlagentechnik, wenn diese ohnehin ersetzt werden müssen. Bei Teilmodernisierungen sollte sich die Reihenfolge der Maßnahmen daher am Zustand der vorhandenen Bau- und Anlagenkomponenten orientieren.

Die Berechnungen für die betrachteten 16 Beispielgebäude zeigen, dass sowohl das Sektorziel für 2030 als auch das Ziel für 2050 grundsätzlich realisierbar sind, wenn entsprechende energetische Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik durchgeführt werden. Das 2030-Ziel kann durch eine vollständige Modernisierung eines (vergleichsweise geringen) Teils der Bestandsgebäude, oder aber durch eine Teilmodernisierung eines höheren Anteils des Gebäudebestands erreicht werden.

Für das 2030-Ziel würde in vielen Fällen, insbesondere in Wohngebäuden, beispielsweise eine Teilmodernisierung mit Gas-Brennwertkessel und solarer Trinkwassererwärmung sowie energetisch anspruchsvoller Ertüchtigung einzelner Komponenten der Gebäudehülle weitgehend ausreichen. Das heißt, dass bis zumindest 2030 eine weitgehende Technologieoffenheit möglich ist. Um aber „2050-ready“ zu sein, dürfen durch die Teilmodernisierungsmaßnahmen keine Lock-In Effekte entstehen.

Die hier betrachteten Modernisierungsoptionen erreichen bei einer vollständigen Modernisierung im Vergleich zum jeweiligen Ausgangszustand sehr hohe THG-Einsparungen, üblicherweise 70% und mehr. Die genaue Größenordnung hängt neben den baulichen Veränderungen stark vom gewählten Energieträger ab. Darüberhinausgehende Emissionsminderungen erfordern den Einsatz emissionsfreier oder zumindest weitestgehend dekarbonisierter Energieträger. Die erforderliche Dekarbonisierung des Gebäudesektors kann daher wirtschaftlich und technisch sinnvoll nur durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und den Einsatz energieeffizienter Anlagentechnik bei gleichzeitigem Einsatz möglichst emissionsarmer Energieträger erreicht werden.

2 Hintergrund

Für die Umsetzung der Energiewende im Gebäudebereich ist prinzipiell eine Vielzahl an Maßnahmen und Transformationspfaden denkbar. Die Bandbreite reicht hier von einer Dekarbonisierung der Energieerzeugung verbunden mit einer Effizienzsteigerung der Gebäudetechnik, bis hin zu einer energetischen Modernisierung der Gebäudehüllen des gesamten Gebäudebestandes auf ein Hocheffizienzniveau. Dabei wird die Diskussion über die Maßnahmen zur Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung im Gebäudebestand sehr abstrakt geführt. Die Abstraktionsebene ist für die Schaffung der Rahmenbedingungen - insbesondere für die politischen Akteure - wichtig, löst aber nur zögerlich die für die Umsetzung notwendigen Investitionen aus, da die Aussagen z. B. für die Eigentümer und Nutzer nicht konkret genug sind. In der Folge verläuft die Energiewende im Gebäudesektor zu langsam und Effizienzpotenziale werden nicht in dem Maße realisiert, wie es möglich und notwendig wäre.

Um die notwendigen Entwicklungen im Gebäudebereich voranzubringen und die Energiewende greifbarer zu machen, sind weitere Konkretisierungen nötig – ergänzend zu der bislang überwiegend volkswirtschaftlichen Betrachtung der Energiewende, hin zu einer expliziten Bewertung von Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und bei der Anlagentechnik konkreter Gebäude.

Nutzer und Eigentümer interessiert hier vor allem, welche Energieeinsparungen zu welchen Kosten realisiert werden können. Als Leitplanke für politische Entscheidungen ist zusätzlich auch das Potenzial zur Verringerung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebestand entscheidend, verbunden mit einer Abschätzung der Kosten, die auf Eigentümer, Mieter und Betreiber für diese Verringerung zukommen. Die Konkretisierung der entscheidenden Fragestellungen anhand typischer Wohn- und Nichtwohngebäude verdeutlicht die Bandbreite der möglichen Maßnahmen zur Erreichung der Einsparziele für Energie und CO₂ und zeigt, wo Deutschland Investitionen mit Förderungen unterstützen muss, um die Energiewende sinnvoll und kostenoptimiert im Gebäudebereich umzusetzen. Die vorliegende Studie orientiert sich an den in der „Effizienzstrategie Gebäude“ dargestellten möglichen Zielpfaden „Energieeffizienz“ und „Erneuerbare Energien“ (BMWi 2015) und analysiert die betrachteten Gebäudetypen nach ihrem technischen Fokus (Energieeffizienz, Erneuerbare Energie, Sektorkopplung). Die Berechnungen und Darstellungen folgen dem Leitgedanken, dass eine Dekarbonisierung nur durch Umsetzung aller drei Optionen erreichbar ist.

3 Zielsetzung

Seitens der Politik wurden in den letzten Jahren ehrgeizige Ziele für Klimaschutz, Minderung von Treibhausgasen und Energieeinsparung ausgegeben und in nationaler Gesetzgebung (Klimaschutzgesetz) und internationalen Verpflichtungen festgeschrieben. So hat sich Deutschland verpflichtet, die THG-Emissionen gegenüber 1990 bis zum Jahr 2030 um 55% zu senken. Der Anteil der erneuerbaren Energien soll bis 2030 auf 32% gesteigert werden. Dabei ist eine Senkung des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2030 um 27% gegenüber dem Verbrauch des Jahres 2008 vorgesehen. Weitergehende Verpflichtungen bauen auf diesen Zahlen auf und definieren Ziele für die Minderung von Treibhausgasen und Energieverbräuchen in Deutschland und Europa bis zum Jahr 2050. Im Rahmen des European Green Deal (EU Commission 2019) wird auch eine europäische Verschärfung der Minderungsziele diskutiert.

Deutschland hat in seiner langfristigen Renovierungsstrategie für 2030 ein Ziel von 2.000 PJ bzw. 55% Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauchs bis 2030 an die Europäische Kommission gemeldet, um einen angemessenen Beitrag des Gebäudesektors zu den Energie- und Klimazielen zu leisten und die sektoralen Ziele zu erfüllen, bspw. durch eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen auf 70 Mio. t CO₂ in 2030.

In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die hier betrachteten Gebäude sich durch energetische Modernisierung hinsichtlich der Energieeffizienz, des Einsatzes erneuerbarer Energien und der eingesetzten Energieträger auf einem Pfad befinden, der ihre langfristige Dekarbonisierung ermöglicht. Aus den Randbedingungen für 2030 und 2050 werden daher Zielformulierungen für Energieeinsparung und Senkung der Treibhausgasemissionen für das Jahr 2030 abgeleitet, die sich einerseits mit den vorhandenen und etablierten Maßnahmen erreichen lassen und andererseits die Investoren, Eigentümer und Mieter nicht überfordern. Die vorliegende Studie bricht diese Ziele für den Gebäudesektor auf konkrete Gebäude herunter. Eine ausreichende Modernisierungsrate vorausgesetzt, werden dann die Ziele für den Gesamtbestand aller Gebäude erreicht und die als verfügbar eingeschätzten erneuerbaren Wärme-Potenziale auch langfristig nicht überreizt.

Als Orientierungswerte für den hier gutachterlich untersuchten Sanierungs- und Zielpfad werden diese aus dem Zielszenario 2 der Energiewirtschaftlichen Projektionen (NECP Z2) abgeleitet (Kemmler et al. 2020). Zugrunde liegen die Überlegungen zur Energieeffizienz von modernisierten Gebäuden und wieviel Heizwärme bzw. Endenergie diese zu bestimmten Zeitpunkten benötigen. Dabei werden die Ergebnisse der Studie zu den „Energiewirtschaftlichen Projektionen“ vom EBIL-Bilanzraum in den EnEV-Bilanzraum überführt und die genannten Orientierungswerte abgeleitet. Die im o. g. Bericht beschriebenen Potenzialgrenzen für die erneuerbare Wärmeerzeugung werden dabei als limitierende Werte berücksichtigt. Der in den Gebäuden notwendige Endenergieverbrauch wird unabhängig vom eingesetzten Wärmeträger auch dort bilanziert (EBIL). Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung (Welche Wärmeerzeuger werden - zu welchen Zeitpunkten - eingesetzt und welche mittlere Aufwandszahl ergibt sich daraus?) wird ebenfalls anhand der „Energiewirtschaftlichen Projektionen“ ermittelt und für die Studie (Kemmler et al. 2020) zugrunde gelegt.

Ein Hauptziel der vorliegenden Studie ist die Entwicklung von innerhalb eines sinnvollen Modernisierungspfades abgestimmten, konkreten Maßnahmen¹ für die Steigerung der Energieeffizienz und Verringerung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich anhand der Untersuchung von konkreten

¹ Die ausgewählten Maßnahmen und Maßnahmenpakete sind Beispiele und stellen den Stand der Technik und des Wissens dar und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Gebäuden, die einen annähernd repräsentativen Querschnitt des deutschen Wohn- und Nichtwohngebäudebestands darstellen. Die Maßnahmen orientieren sich hier an typischen Modernisierungspaketen und etablierten Techniken und Materialien. Die ausgewählten Dekarbonisierungsoptionen werden anschließend für die spezifischen Gebäude bewertet. Hierfür werden detaillierte Einzelanalysen an 8 Wohn- und 8 Nichtwohngebäuden durchgeführt, die jeweils die Analyse der Ausgangssituation sowie von 5 Modernisierungsvarianten umfassen. Die konkreten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen an der Gebäudehülle und an der Anlagentechnik orientieren sich hierbei an unterschiedlichen Zielwerten für die Einsparung von End- und Primärenergie, sowie von CO₂-Emissionen 2030 und 2050.

Diese werden dabei so gewählt, dass sie zielkompatibel im Hinblick auf eine möglichst weitgehende Dekarbonisierung des Gebäudebestands im Jahr 2050 sind. Zielkompatibel bedeutet hier vor allem, dass bei Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle diese so ausgeführt werden, dass keine Lock-In-Effekte auftreten und bei Bauteilen mit einer langen Lebensdauer keine nochmaligen energetischen Maßnahmen bis 2050 notwendig sind. Gleiches gilt für die Modernisierung der Anlagentechnik, insbesondere bei der Wahl des Energieträgers, wobei bei der Anlagentechnik prinzipiell bis 2050 ein weiterer Modernisierungszyklus möglich ist, um beispielsweise erst zu einem späteren Zeitpunkt auf einen dekarbonisierten Energieträger umstellen zu können. Bei der Bewertung späterer Maßnahmen ist jedoch zu berücksichtigen, dass aus Sicht der Klimaveränderungen die kumulierten Emissionen relevant sind.

Ziel ist es, die Wirkungen der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich der Energieeffizienz (Endenergiebedarf und Primärenergiebedarf) für spezifische Wohn- und Nichtwohngebäude zu untersuchen und die jeweilige Minderung der THG-Emissionen im Vergleich zum Ausgangszustand zu ermitteln.

Darüber hinaus werden die für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen notwendigen Investitionen berechnet und der Einsparung gegenübergestellt. Diese CO₂-Vermeidungskosten werden spezifisch für die jeweiligen Maßnahmen und Gebäude unter Ansatz des Verursacherprinzips für die Emissionen bestimmt.

Daraus werden Handlungsempfehlungen u. a. zur weiteren politischen Ausgestaltung der Wärmewende und Überprüfung bestehender Förderinstrumente abgeleitet und weitere Maßnahmen zur Umsetzung und Erreichung der berechneten Wirkungen vorgeschlagen.

Die getroffenen Annahmen und festgelegten Randbedingungen orientieren sich hierbei an den übergeordneten Arbeiten und Strategien des BMWi, beispielsweise der Effizienzstrategie Gebäude ESG (BMWi 2015), dem nationalen Energie- und Klimaplan NECP (BMWi 2020), und zu synthetischen Brennstoffen, u. a. in der dena Leitstudie Energiewende (Bründlinger et al. 2018).

4 Grundlagen, Randbedingungen und Voruntersuchungen

Die energetische Qualität und die damit verbundenen CO₂-Emissionen eines Gebäudes werden überwiegend von den thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle (Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils bzw. des Gesamtgebäudes: U-Wert bzw. H_T') und der Art und Effizienz des Versorgungssystems sowie der eingesetzten Energieträger bestimmt.

In diesem Kapitel wird die Auswahl der geeigneten Gebäude für die Gebäudekategorien Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und verschiedene Nichtwohngebäude beschrieben, die als Grundlage für die weiteren Untersuchungen dienen. Weiterhin werden für die ausgewählten Gebäude sinnvolle Maßnahmenpakete für bauliche und anlagentechnische Maßnahmen, in Abhängigkeit ihrer energetischen Effizienz, definiert und die Randbedingungen für die energetischen und ökonomischen Berechnungen und Auswertungen vorgestellt.

4.1 Modellgebäude

Für unterschiedliche Wohn- und Nichtwohngebäude werden mögliche energetische Modernisierungsmaßnahmen aufgezeigt, mit denen zielkonforme CO₂-Einsparungen erreicht werden können und welche resultierenden Gesamtkosten mit diesen Maßnahmen verbunden sind. Die energetischen Bilanzierungen der abgebildeten Gebäude erfolgen nach DIN V 18599 und sind als modellhafte Betrachtung zur Durchführung energetischer Modernisierungen gedacht (DIN V 18599). Für ähnliche Gebäude sind Einsparungen in vergleichbarer Größenordnung und zu vergleichbaren Kosten zu erwarten. Im Einzelfall können die genannten Werte aber auch deutlich abweichen.

4.1.1 Wohngebäude

Repräsentativ für den deutschen Wohngebäudebestand erfolgt eine Auswahl möglicher Wohngebäude die sich an der Verteilung der Gebäudetypen, Altersklassen und energetischen Modernisierungen im deutschen Wohngebäudebestand orientiert. Exemplarisch werden die hier dargestellten Untersuchungen an 8 typischen Modellgebäudetypen durchgeführt. Diese stammen aus der Modellgebäude-Datenbank des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen in Kassel (ZUB 2010). Die Palette der Modellgebäude wird um eigene Gebäude ergänzt. Die Qualität der Bauteile der ausgewählten Gebäude richtet sich nach der Baualtersklasse und berücksichtigt die Festlegungen der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand (BMW; BMUB 2015).

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der 8 Wohngebäude, deren Baualtersklassen und die als Ausgangszustand verwendeten Bauteile und Anlagenkomponenten. Betrachtet wurden 5 unterschiedliche Ein- und Zweifamilienhäuser und 3 Mehrfamilien-Wohngebäude mit 6, 8 und 22 Wohneinheiten. Das MFH-6WE Gebäude ist ein Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung. Die beiden Reihenmittelhäuser sind ebenfalls beidseitig angebunden, das Doppelhaus hat direkt angeschlossene Bebauung nur auf einer Seite. Die anderen Gebäude sind freistehend.

Tabelle 1: Übersicht der ausgewählten Wohngebäude mit Bauteilen und Anlagenkomponenten

	EFH klein	EFH mittel	DHH	RMH klein	RMH groß	MFH 6 WE	MFH 8 WE	MFH 22 WE
Baujahr	60er	80er	60er	60er	80er	60er	60er	80er
Datenquelle	ZUB	FIW	ZUB	ZUB	FIW	ZUB	FIW	FIW
Anlagentechnik								
Wärmeerzeuger	NT-Öl	BW-Gas	NT-Gas	NT-Öl	NT-Gas	NT-Öl	NT-Gas	Nah-/ Fernwärme/ NT-Gas
hydraulischer Abgleich	n. v.							
Pumpe	ungeregelt							
Regler	P-Regler							
Dämmung Rohrleitungen	zwischen 1980 und 1995							
Wärmeübergabe (Vor-/Rücklauftemperatur)	Heizkörper (80/60°C)	Heizkörper (70/55°C)	Heizkörper (80/60°C)					
Trinkwassererwärmung	Wie Wärmeerzeuger, indirekt beheizter Warmwasserspeicher							
Belüftung	Fenster							
Bautechnik - U-Werte in W/(m²K)								
Außenwand	1,4	0,8	1,0	1,0	0,8	1,0	1,5	0,8
Fenster	1,9	2,7	1,9	1,9	2,7	1,9	1,9	1,9
oberste Geschosdecke	0,45	-	0,45		-			
Steil- / Flachdach	0,8 (S)	0,45 (S)	0,45 (S)	0,45 (S)	0,5 (S)	0,6 (F)	0,7 (S)	0,45 (F)
Kellerdecke	1,2	0,7	1,2	1,2	0,7	1,0	1,2	0,6
Wärmebrückenzuschlag	0,1							
Dichtheitsprüfung	ohne							

Alle Wohngebäude haben einen unbeheizten Keller und sind mit Ausnahme des kleinen Einfamilienhauses (zweischalige Außenwand) in monolithischer Bauweise errichtet. Ein Teil der ausgewählten Gebäude sind deutlich vor Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung in den 1960er Jahren gebaut. Bei diesen haben zwischenzeitlich einige energetische Modernisierungsmaßnahmen im Rahmen der üblichen Instandsetzungsmaßnahmen stattgefunden. Dies betrifft, neben der Heizung, auch die Fenster und die oberste Geschosdecke. Für die Fenster wird angenommen, dass bei Errichtung der Gebäude in den 1950er und 1960er Jahren nur eine Einscheibenverglasung verbaut wurde. Diese wurde in den 1990er Jahren durch Fenster mit einer Zweischeibenverglasung ersetzt (flächendeckende Einführung von Wärmeschutzverglasungen mit „low-e“ Beschichtung und Gasfüllung ab 1995 (Diefenbach et al. 2010)), wobei diese mittlerweile durch Gasaustausch gealtert sind (Ausgangsfälle mit einem U_w -Wert von $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)².

² Durch die Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung des Randverbundes nach dem Übergang von k_f -Werten zu U_w -Werten kann für Aluminium-Randverbünde von einem U_w -Wert ausgegangen werden der etwa um $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ über dem damals ausgewiesenen k_f -Wert liegt. Zusammen mit der Alterung der Verglasung durch Gasaustausch, Trübung und eingedrungene Feuchte wird daher von einem U_w -Wert von $1,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ausgegangen.

Die anderen Wohngebäude stammen aus den 1980er Jahren und erfüllen somit die damals geltenden Wärmeschutzverordnungen. Für diese erfolgte innerhalb der typischen Sanierungszyklen nur eine Erneuerung der Heizungsanlage. Bei diesen Gebäuden ist die Annahme, dass die damals eingebauten Fenster (Zweischeibenverglasung mit Luftfüllung, noch ohne low-e Beschichtung) bisher noch nicht ausgetauscht wurden. Hier wird von einem U_w -Wert von $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, beispielsweise für Holzfenster, ausgegangen (BMW i; BMUB 2015). Auch alle anderen Außenbauteile sind noch im Originalzustand.

Wie in Wohngebäuden üblich, erfolgt der hygienisch bedingte Luftaustausch im Ausgangszustand über Fensterlüftung. Auch wird aufgrund der Gebäudealters von einer undichten Gebäudehülle ausgegangen. Die Verteilung der Heizanlagen wurde in Anlehnung an die Verteilung der Heizungen im Gebäudebestand in Deutschland entsprechend der jeweiligen Baualtersklasse festgelegt und berücksichtigt die üblicherweise in Deutschland im Bestand vorhandenen Kessel. Die Verteilung der Energieträger auf die betrachteten Wohngebäude erfolgt auf Basis der Angaben des BDEW zur Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland (BDEW 2019) und entspricht damit in etwa der Verteilung der Energieträger in Deutschland für den Wohnbereich. Fernwärmeversorgte Gebäude werden mitbetrachtet und dabei sowohl eine Energieeffizienzsteigerung (Veränderungen an der Hülle und bei der Wärmeverteilung im Gebäude) sowie eine zunehmende Dekarbonisierung der Wärmenetze (Orientierung am NECP, (BMW i 2020)) angenommen. Nachtspeicherheizungen werden infolge der vergleichsweise geringen Marktbedeutung und der anlagentechnisch grundsätzlich anderen Modernisierungsoptionen nicht betrachtet. Dies soll jedoch keinesfalls implizieren, dass derartige Heizungen nicht modernisiert werden sollen.

Hinsichtlich der Anlagentechnik wird bei allen Gebäuden von unregelmäßigem Heizkreislauf ausgegangen und festgelegt, dass ein hydraulischer Abgleich fehlt. Die verwendeten Regler sind P-Regler und die Dämmung der Rohrleitungen ist moderat. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Die Wärmeübergabe erfolgt in allen Gebäuden über Radiatoren, wobei die gewählten Vor- und Rücklauftemperaturen in allen Fällen $80/60^\circ\text{C}$ betragen, mit Ausnahme des EFH-mittel. In Verbindung mit der dort verbauten Brennwerttechnik wird mit Vor- und Rücklauftemperaturen von $70/55^\circ\text{C}$ ausgegangen.

4.1.2 Nichtwohngebäude

Die Auswahl der Nichtwohngebäude folgt ebenfalls den Typen aus der Modellgebäude-Studie des ZUB (ZUB 2010), berücksichtigt dabei aber auch konkrete Objekte aus der Datenbank des ITG Dresden. Für die Bearbeitung werden NWG-Typen ausgewählt, die nicht durch zu große externe Effekte (z. B. Produktionsprozesse, Raumsolltemperaturen kleiner 19°C o. ä.) gekennzeichnet sind. Es werden grundsätzlich die Standardnutzungsprofile gemäß EnEV/DIN V 18599 (DIN V 18599) angesetzt.

Die Qualität der Bauteile der ausgewählten Gebäude richtet sich nach der Baualtersklasse und berücksichtigt die Festlegungen der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand (BMW i; BMUB 2015). Diese Datenbasis wird in Analogie auf die Konstruktionen der Nichtwohngebäude angewandt und für alle Gebäudetypen ein einheitlicher baulicher Ausgangszustand definiert. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der 8 Nichtwohngebäude mit den jeweiligen im Ausgangszustand verwendeten Bauteilen und Anlagenkomponenten.

Tabelle 2: Übersicht der ausgewählten Nichtwohngebäude mit Bauteilen und Anlagenkomponenten

	Schule	Sporthalle	Kinder- garten	Verwaltung	Verbrau- chermarkt	Hotel	Büro- gebäude	Fertigungs- halle
Quelle	ITG	ITG	ITG	ZUB	ZUB	ZUB	ZUB (angepasst)	ZUB
Nettogrundfläche in m ²	3.600	1.715	1.254	1.676	4.850	8.636	5.950	2.300
Anlagentechnik								
Wärmeerzeuger	Nah-/Fernwärme		Öl-NT	Gas-NT	Öl-NT	Gas-NT		dezentrale Warmluft- erzeuger
Trinkwasser- erwärmung	Speicher / E-DLE	Speicher		E-DLE		Speicher	E-DLE	
Wärme- / Kälteübergabe	Radiatoren 80/60°C	FBH 55/40°C / Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 80/60°C	Decken- strahlplatten 80/60°C	Gebläse- konvektoren 80/60°C / 14/18 °C	Heizkörper 80/60°C	-
hydraulischer Abgleich	nicht vorhanden							-
Pumpen	ungeregelt / überdimensioniert							-
Dämmung Rohrleitungen	Dämmung vor 1995							-
Beleuchtung	Leuchtstofflampen, stabförmig mit VVG							
Belüftung	Fenster	Fenster / Abluftanlage	Fenster	Fenster / Abluftanlage	Lüftungsan- lage mit WRG 0,50	Fenster / Abluftanlage / Lüftungs- anlage mit WRG	Lüftungsan- lage mit Heiz- und Kühlfunktion	Fenster
Kälteerzeuger	-					Kompressions- kältemaschine		-
Bautechnik - U-Werte in W/(m²K)								
Außenwand	0,85							
Fenster / Lichtband	1,90 / -							1,90 / 3,10
Flachdach	0,40							
unterer Gebäude- abschluss	0,60							3,00
Wärmebrücken- zuschlag	0,10							
Dichtheitsprüfung	ohne							

Die Auswahl der zu betrachtenden Nichtwohngebäude und der damit verbundenen charakteristischen Besonderheiten erfolgt unter den nachfolgend aufgeführten Gesichtspunkten.

Schule

Schulen stellen einen wesentlichen Bestandteil der öffentlichen Gebäude dar. Sie können sich sowohl in kommunaler als auch privater Trägerschaft befinden. Im Ausgangszustand ist keine Lüftungsanlage in Klassen- bzw. Lehrerzimmern vorhanden. Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der Modernisierung der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt. Die Wärmeübergabe erfolgt über Röhrenradiatoren, da diese robuster gegenüber Heizkörpern (Plattenheizkörper) und damit üblicherweise in Schulen anzutreffen sind. Die Schule wird unter Beachtung der Vorgaben der EnEV (BMVBS 2014) als Einzoner betrachtet. Die Trinkwassererwärmung erfolgt für den Küchenbereich über einen zentralen Trinkwarmwasserspeicher, Sanitärräume etc. sind mit elektrischen Durchlauferhitzern ausgestattet.

Sporthalle

Insbesondere in räumlicher Nähe zu Schulen sind Sporthallen verschiedener Größen zu finden. Die hier betrachtete Einfeld-Sporthalle wird analog zur betrachteten Schule über Fernwärme zur Heizung und Trinkwassererwärmung versorgt. Die Sporthalle selbst verfügt über eine Fußbodenheizung, die Sanitäranlagen sind mit Heizkörpern und einer Abluftanlage ausgestattet.

Kindergarten

Kindergärten können sich in kommunaler und freier Trägerschaft befinden und sind sowohl im innerstädtischen als auch im ländlichen Raum vertreten. Der Kindergarten verfügt im Ausgangszustand über einen Öl-Niedertemperaturkessel. Bei der Modernisierung wird davon ausgegangen, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe verfügbar ist (z. B. ländlicher Raum). Im Ausgangszustand ist keine Lüftungsanlage in den Gruppenräumen vorhanden. Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der Modernisierung der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt. Der Kindergarten wird unter Beachtung der Vorgaben der EnEV (BMVBS 2014) als Einzoner betrachtet.

Verwaltung

Es wird ein kleines Verwaltungsgebäude mit einem Gas-Niedertemperaturkessel im Ausgangszustand betrachtet. Eine zentrale Lüftungsanlage ist nicht vorhanden, die Sanitärräume sind mit einer Abluftanlage ausgestattet.

Verbrauchermarkt

Für die Betrachtungen wurde ein größerer Verbrauchermarkt herangezogen, da i.d.R. nur größere Märkte energetisch modernisiert werden. Kleinere oder mittlere Verbrauchermärkte werden aus Wirtschaftlichkeitsgründen oft nicht saniert, sondern abgerissen und neugebaut. Der Verbrauchermarkt verfügt im Ausgangszustand über einen Öl-Niedertemperaturkessel in Verbindung mit Deckenstrahlplatten. Bei der Modernisierung wird davon ausgegangen, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe zur Verfügung steht (z. B. Ortsrandlage). Die Lüftung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Hotel, groß

Das große Hotelgebäude verfügt über 230 Hotelzimmer, ein Restaurant mit Küche, Büro- und Sitzungsräume. Die zentrale Wärmeerzeugung übernimmt ein Gas-Niedertemperaturkessel, die Kälteerzeugung eine zentrale Kompressionskältemaschine. Die Wärme- bzw. Kälteübergabe in den Zimmern erfolgt mittels Gebläsekonvektoren und einem Regler mit Heiz- und Kühlfunktion. Die Lüftung der Zimmer wird über Fensterlüftung realisiert, das Restaurant verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Küchen- und Sanitärbereiche über Abluftanlagen.

Bürogebäude, groß

Das große Bürogebäude wird über einen Gas-Niedertemperaturkessel in Verbindung mit Heizkörper versorgt. Zusätzlich verfügt es über eine Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion.

Fertigungshalle

Anhand der Fertigungshalle sollen die Möglichkeiten der Modernisierung einer Halle mit einer dezentralen Hallenheizung untersucht werden. Die Wärmeversorgung erfolgt über erdgasbetriebene dezentrale Warmluftzeuger. Im Trapezblechdach sind Lichtbänder integriert.

4.2 Energetische und ökologische Berechnungen

4.2.1 Energiebedarfsberechnung nach DIN V 18599

Die energetische und ökologische Bewertung der betrachteten Gebäude wird anhand von Nutz-, End-, Primärenergie sowie CO₂-Emission durchgeführt. Zur Berechnung der Energiebedarfe und den sich daraus ableitenden weiteren Betrachtungsgrößen wird das Berechnungsverfahren entsprechend der DIN V 18599 verwendet, was in den verwendeten Berechnungsprogrammen auf der Normversion der DIN V 18599 aus dem Jahr 2011 beruht (DIN V 18599:2011). Die Berechnungen erfolgen mit der Software „ZUB-Helena“ (Version: 7.75) bei den Wohngebäuden und „IBP-18599“ (Version: 6.1.132.681) bei den Nichtwohngebäuden. Die Eingaben beruhen auf der gegebenen Gebäudegeometrie, den aus der EnEV bzw. GEG abgeleiteten bauphysikalische Eigenschaften, den angesetzten Anlagenvarianten und den klimatischen und nutzungsspezifischen Rahmenbedingungen entsprechend den Vorgaben der DIN V 18599 in der Version von 2011.

Entsprechend DIN V 18599 erfolgt bei allen Gebäuden je nach anlagentechnischer Ausstattung die Bilanzierung von Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser. Bei den Nichtwohngebäude kommen noch Kühlung und Beleuchtung hinzu. Bei den Wohngebäuden wird nur eine Bilanzierungszone betrachtet. Die tägliche Nutzungsdauer liegt bei 24 h mit einem, wenn erforderlich, Heizungsbetrieb zwischen 6 und 23 Uhr. Alle betrachteten Nichtwohngebäude verfügen ausschließlich über Zonen mit Raum-Solltemperaturen $\geq 19^{\circ}\text{C}$.

Im Ausgangszustand wird bei allen Gebäuden von einer undichten Gebäudehülle ausgegangen. Erfolgt im Zuge einer Modernisierung ein Fenstertausch, wird die Gebäudehülle als dicht angesehen und ein Luftdichtheitstest unterstellt (Kategorie I: $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$ ohne raumluftechnische Anlage bzw. $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ mit raumluftechnischer Anlage).

Die Bewertung der anlagentechnischen Komponenten erfolgt mit den Standardwerten nach Norm (DIN V 18599:2011) Ausnahmen bilden:

- Heizungsumwälzpumpen: Bei einem Austausch müssen die eingesetzten Pumpen den Anforderungen der ErP-Verordnung (Europäischer Rat 2009) entsprechen. Es wird daher der Einsatz von Hocheffizienzpumpen unterstellt, welche einen EEI-Wert von 0,20 aufweisen.
- Pelletkessel: Der Hilfsenergiebedarf für Pelletkessel wird entsprechend der neuen Standardwerte in der aktualisierter DIN V 18599: 2018-09 (DIN V 18599:2018) angepasst.
- Beleuchtung: Alle Nichtwohngebäude sind im Ausgangszustand mit stabförmigen Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten ausgestattet, den Berechnungen sind die entsprechenden Standardwerte nach Norm zu Grunde gelegt. Bei einer Modernisierung der Beleuchtung kommen LED-Lampen zum Einsatz. Die Bewertung der LED-Beleuchtung erfolgt

kennwertbasiert mit einer Systemlichtausbeute von 110 lm/W (alle Gebäude außer Verbrauchermarkt) bzw. 150 lm/W (Verbrauchermarkt). Der Betriebswirkungsgrad von LED-Lampen beträgt 1,0.

Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der betrachteten Schule und dem Kindergarten im Zuge einer Modernisierung der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt. Hybride Lüftungsanlagen decken nur teilweise den notwendigen Luftvolumenstrom, zusätzlich erfolgt eine Fensterlüftung (z.B. in den Pausen der Schule). Damit ist eine kleinere Dimensionierung mit entsprechend geringeren Kosten der Anlagen gegenüber einer Lüftungsanlage zur vollständigen Deckung des notwendigen Luftvolumenstromes verbunden. Die angesetzten Randbedingungen und die überschlägige Dimensionierung der hybriden Lüftungsanlagen für Schule und Kindergarten sind in Tabelle 3 angegeben. Die Voraussetzung für den Einsatz hybrider Lüftungsanlagen in Schule bzw. Kindergarten stellt ein erfolgreich bestandener Luftdichtheitstest dar.

Tabelle 3: Bestimmung Auslegungsvolumenstrom hybrides Lüftungssystem

Anlagendimensionierung		Schule	Kindergarten
Anzahl Räume mit Lüftungsanlage (Geräte)	-	28	15
mittlere Belegung nach DIN V 18599 (DIN V 18599)	m ² /Person	3	3
angesetzter Auslegungsvolumenstrom je Person	m ³ /h	15	10
Auslegungsvolumenstrom Zu-/Abluft Gebäude	m ³ /h	7.840	2.430

Energiebedarf und -verbrauch

Bei der energetischen Bewertung von Gebäuden bezeichnet der Energiebedarf einen rechnerisch ermittelten Kennwert, der unter genormten Randbedingungen bestimmt wird. Dem gegenüber ist der Energieverbrauch ein real auftretender und messbarer Energiekennwert. Zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch können Differenzen auftreten, die durch die im Einzelobjekt abweichenden Randbedingungen (z.B. Nutzung, Wetterdaten) verursacht werden können. Diese Unterschiede werden bei einer ausreichend großen Stichprobe nivelliert. Außerdem können zwischen Energiebedarf und Energieverbrauch systematisch Unterschiede auftreten, wenn die (normativen) Berechnungsverfahren von der mittleren Realität abweichen.

Für die vorliegende Untersuchung werden ausschließlich Energiebedarfskennwerte herangezogen. Damit sind die angegebenen Kennwerte mit denen im Zusammenhang von EnEV, EEWärmeG, GEG und zugehörigen Förderprogrammen bekannten Kennwerten vergleichbar. Ein Bedarfs-/Verbrauchsabgleich wird nicht vorgenommen. Einer möglichen Überschätzung der Energieeinsparpotenziale wird durch einen aus energetischer Sicht mittleren Ausgangszustand entgegengewirkt.

4.2.2 Herleitung der Ambitionsniveaus für die energetische Modernisierung

Das Anforderungsniveau der Maßnahmen soll kompatibel mit den langfristigen Zielsetzungen zum Klimaschutz für die Jahre 2030 und 2050 sein. Dies ist im Besonderen für die untersuchten Maßnahmen an der Gebäudehülle (Dach, Fassade, Fenster, Kellerdecke) relevant. Die untersuchten Dämmmaßnahmen sollen so gut sein, dass bis zum Jahre 2050 keine ergänzende Dämmung notwendig wird, um kompatibel zum nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050 zu sein. Für den Bereich der Wärmebereitstellung gilt, dass bis 2050 möglichst alle Gebäude auf eine Wärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien oder Wärmenetze umgestellt sein sollte. Um dies zu gewährleisten wurden die aktuellen Szenarien zum NECP für den Gebäudebestand ausgewertet und hieraus Orientierungswerte für

die Maßnahmen abgeleitet. Zum besseren Verständnis müssen zunächst einige methodische Fragen der Bilanzierung geklärt werden.

Die Methoden und Konventionen zur Bilanzierung der Energieflüsse in Gebäuden werden über die ordnungsrechtlichen Vorgaben geregelt. Diese weichen jedoch in mehrfacher Hinsicht von den Bilanzierungsregeln zum Erstellen der Energie- und Klimabilanz Deutschlands ab. Hintergrund dieser Abweichungen sind unterschiedliche Zielstellungen:

- Die ordnungsrechtlichen Vorgaben schreiben eine Bilanzierung von Gebäuden nach dem sogenannten Verursacherprinzip vor. Dabei werden alle mit dem Gebäude verbundenen Energieverbräuche und CO₂-Emissionen dem Gebäude zugeschrieben. Dies ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung eines Gebäudes und berücksichtigt, dass Strom und Fernwärme aber auch Erdgas und Heizöl bereits Emissionen verursachen, bevor sie ins Gebäude gelangen und dort genutzt werden. Die Energie- und Klimabilanzierung auf Bundesebene hingegen nutzt das sogenannte Quellenprinzip. Emissionen werden dem Ort ihrer Entstehung zugeschrieben. So werden die Emissionen aus der Erzeugung von Fernwärme im Umwandlungssektor (Energiewirtschaft) zugeordnet und nicht den Gebäuden oder Industrieprozessen, in denen sie genutzt wird. Die Quellenbilanz stellt dar, in welchen Sektoren Emissionen anfallen.
- Ein weiterer Unterschied liegt in der Frage der bilanzierten Energieträger. Die Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 weisen als Endergebnis käuflich erwerbende Energieträger aus. Dies ist anwenderfreundlich und erleichtert Rückschlüsse auf die künftigen Heizkosten eines Gebäudes. Umweltwärme und Solarthermie werden zwar bilanziert, aber nicht als Endenergiebedarf ausgewiesen.

Bei der Energie- und Klimabilanzierung auf Bundesebene hingegen werden alle Quellen oder Stoffe als Energieträger bezeichnet, in denen Energie mechanisch, thermisch, chemisch oder physikalisch gespeichert ist (AGEB 2015). Dies ermöglicht eine klare Differenzierung zwischen Maßnahmen, die die Nachfrage nach Nutzenergie senken (Energieeffizienz reduziert Wärmenachfrage in Gebäuden) und Maßnahmen, die zur Dekarbonisierung der Bereitstellung von Nutzenergie beitragen (Energieträgerumstellung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energieträger). Diese Differenzierung ist auf Ebene des Gesamtenergiesystems von Bedeutung, da weder fossile noch erneuerbare Energien unbegrenzt zur Verfügung stehen. Neben der Reduktion der THG-Emissionen ist daher auch die Reduktion des (Primär)Energieeinsatzes von energie- und klimapolitischer Bedeutung.

Um energie- und klimapolitische Ziele mit konkreten technischen Maßnahmen zu füllen und entsprechende Strategien zu entwickeln, sind beide Bilanzierungsmethoden von Bedeutung. Stark vereinfacht kann aus der Quellenbilanz abgeleitet werden, in welchen Sektoren und Branchen direkte Emissionen gemindert werden können (z.B. durch den Umbau der Stromerzeugung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energieträger). Mit der Verursacherbilanz kann bewertet werden, wie Maßnahmen in den Energieverbrauchssektoren (Gebäude, Verkehr, Industrie) auf das Gesamtsystem wirken (z.B. eine veränderte Stromnachfrage durch den Ausbau der Wärmeversorgung auf Basis von Wärmepumpen). Bei der Herleitung der Ambitionsniveaus für die energetische Modernisierung werden daher beide Blickwinkel eingenommen. Tabelle 4 fasst die wesentlichen Merkmale beider Bilanzierungsvarianten zusammen.

Tabelle 4: Als Endenergie bilanzierte Energieträger und Bilanzierungsart für EnEV/GEG und Energiebilanz Deutschland (EBIL)

Bilanzierungsart	EnEV/GEG	EBIL
	Verursacherbilanz	Quellenbilanz
Berücksichtigung Vorketten?	ja	nein
Energieträger		
Kohlen	ja	ja
Heizöl	ja	ja
Erdgas	ja	ja
Strom	ja	ja
Fernwärme	ja	ja
Klärgas/Biogas	ja	ja
Feste Biomasse	ja	ja
Solarthermie	nein	ja
Umgebungswärme	nein	ja

Mit diesem Gutachten soll aufgezeigt werden, wie heute die energie- und klimapolitischen Ziele für 2030 bei jeweils 8 ausgewählten Wohn- und Nichtwohngebäuden auf einem für 2050 zielkompatiblen Pfad erreicht werden können. Aufgrund der hohen Lebensdauern der Gebäudehülle liegt der Fokus dieser Betrachtung auf der Veränderung der Wärmenachfrage der Gebäude, weshalb die Herleitung der Ambitionsniveaus auf Basis des Endenergieverbrauchs nach EBIL erfolgt. Für die Herleitung der hierfür notwendigen Ambitionsniveaus kommen zwei Wege in Betracht:

- Ableitung aus Mittelwert des gesamten Wohngebäudebestandes des Jahres 2050 (bestehend aus unsanierten, teilsanierten und vollsanierten Gebäude sowie Neubauten)
- Nutzung der Ambitionsniveaus des Jahres 2030 aus dem Gebäudebestandsmodell der Prognos

Das Gebäudebestandsmodell bildet das mittlere Sanierungsgeschehen ab – in der Realität gibt es also Abweichungen bei den Ambitionsniveaus sowohl nach oben als auch nach unten. Weiterhin ist zu beachten, dass das Sanierungs- und Neubaugeschehen im Gebäudebestandsmodell in jährlichen Schritten berechnet wird. Dies ermöglicht es, stetige Entwicklungen abzubilden und sprunghafte Veränderungen zu vermeiden. So entwickelt sich beispielsweise das im Mittel erreichte Ambitionsniveau sanierter Gebäude stetig weiter. Hierbei werden auch technische Restriktionen berücksichtigt. So liegt der mittlere Endenergieverbrauch (EBIL) nach Sanierung im Jahr 2030 mit 87 kWh/m² WFI./a noch deutlich über dem Wert des Jahres 2050 (55 kWh/m² WFI./a).

Der spezifischen Endenergieverbrauch (EBIL) des gesamten Gebäudebestandes im Jahr 2050 liegt bei 77 kWh/m² WFI./a und damit leicht unter dem Wert im Gebäudebestandsmodell für 2030 angesetzten Wert voll sanierter Gebäude (Abbildung 1). Die Abbildung stellt die gewichteten Mittelwerte über alle Wohngebäude für den heutigen Endenergieverbrauch (EBIL) zur Sanierung anstehender Gebäude, dem Endenergieverbrauch (EBIL) nach einer Vollsanierung in 2030 sowie dem Bestandsmittel 2050 gegenüber.

Um sowohl die klimapolitischen Ziele für 2030 zu erreichen als auch einen für 2050 zielkompatiblen Pfad zu beschreiten, wird daher der kleinere der beiden Werte – also das Bestandsmittel 2050 – als Orientierung für die Zielniveaus genutzt.

In der Realität werden die Werte je nach Voraussetzungen (Bauart, Baualtersklasse, Kubatur etc.) variieren. Es wird Gebäude geben, die noch weitergehende Modernisierungen erlauben, wie es auch Gebäude geben wird, die dieses Niveau nicht erreichen werden. Bei Neubauten ist davon auszugehen, dass sie deutlich unter dieses Niveau kommen, aber auch kommen müssen.

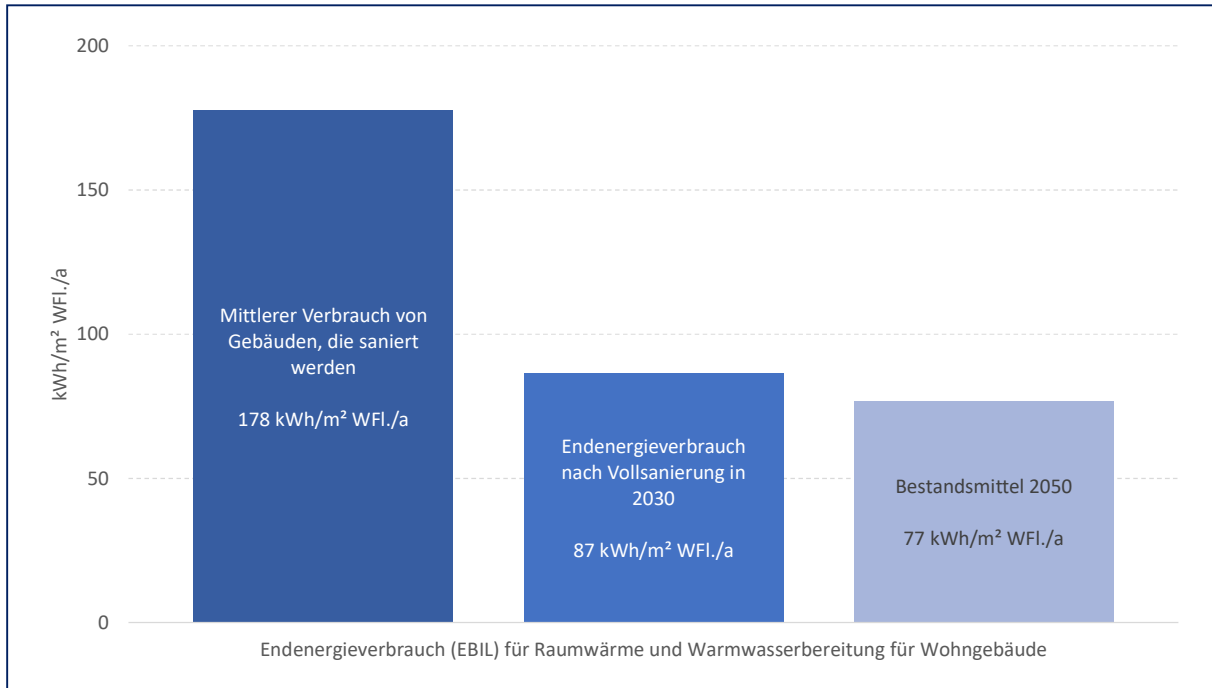


Abbildung 1: Endenergieverbrauch (EBIL) für unsanierte Gebäude, nach Vollsanierung im Jahr 2020 und Bestandsmittel 2050 für Wohngebäude (gewichteter Mittelwert von Ein- und Zweifamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern)

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des mittleren spezifischen Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasserbereitung von Wohngebäuden als Zeitreihe von 2015 bis 2050. Im Mittel wird für Wohngebäude eine Reduktion des gesamten Endenergieeinsatzes auf 77 kWh/m² WFl./a abgeleitet. Diese Größe kann als Maß für die Wärmenachfrage des Gebäudes gesehen werden. Im Einzelfall sind Abweichungen nach unten und oben möglich, da die Kubatur und das A/V-Verhältnis die Wärmenachfrage signifikant beeinflussen. Beide variieren teils stark. Der Endenergieverbrauch nach EnEV- bzw. GEG-Bilanz sollte unter 50 kWh/m² WFl./a liegen und erneuerbar sein – dieser Wert fasst die Effekte aus Effizienz (Wärmenachfrage) und Einsatz erneuerbarer Energien zusammen.

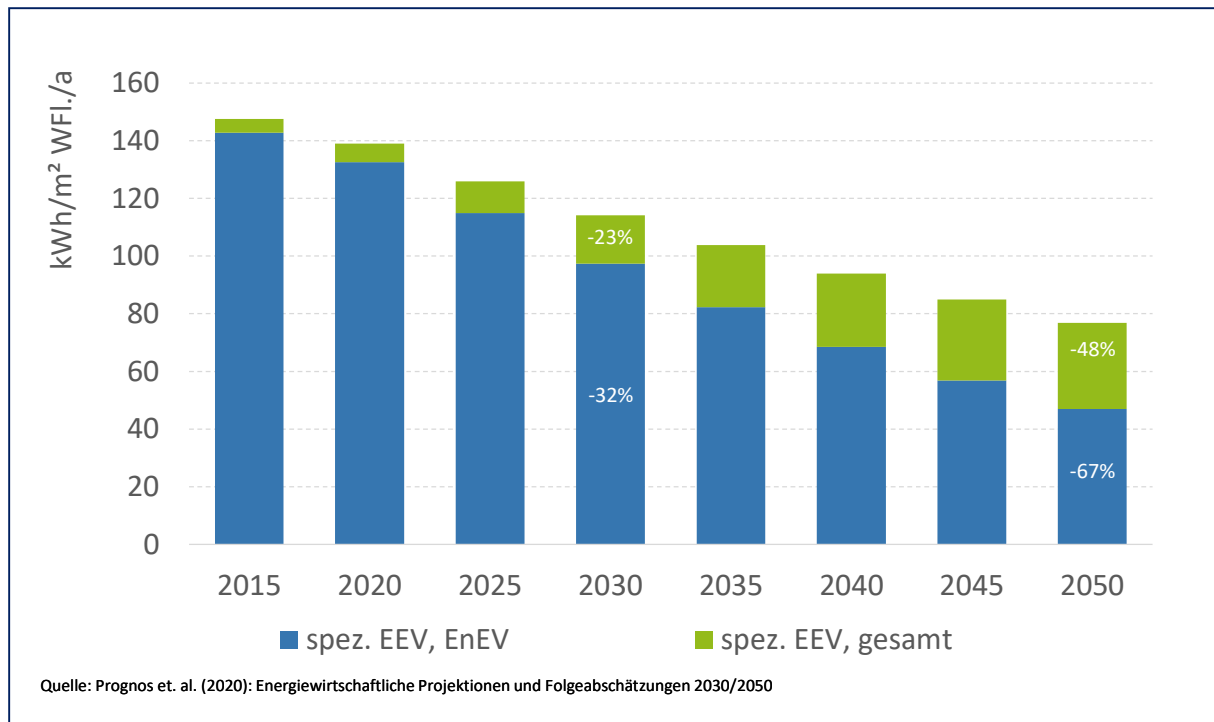


Abbildung 2: Spezifischer Endenergieeinsatz nach EnEV/GEG und EBIL in Wohngebäuden in kWh/m² WFI./a

Die Entwicklung des mittleren spezifischen Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser von Nichtwohngebäuden als Zeitreihe von 2015 bis 2050 zeigt Abbildung 3. Die Nutzungsarten und der Technisierungsgrad von Nichtwohngebäuden variieren deutlich stärker als bei Wohngebäuden. Insofern ist die Vorgabe pauschaler, für alle Nichtwohngebäude im gleichen Maße gültiger Verbrauchswerte nicht möglich. Als Orientierungsgröße zur Auswahl der Maßnahmen kann das Bestandsmittel dennoch genutzt werden. Im Mittel wird für Nichtwohngebäude eine Reduktion des gesamten Endenergieeinsatzes auf knapp 65 kWh/m²/a abgeleitet. Diese Größe kann als Maß für die Wärmenachfrage des Gebäudes gesehen werden. Der Endenergieverbrauch nach EnEV sollte unter 50 kWh/m²/a liegen und erneuerbar sein.

Hinsichtlich der Deckung der verbleibenden Wärmenachfrage gilt für Wohn- und Nichtwohngebäude gleichermaßen, dass die Wärmeerzeugung zum frühestmöglichen Zeitpunkt auf erneuerbare Energien umgestellt werden sollte, um zum Erreichen der klimapolitischen Ziele für 2030 beizutragen und auch für 2050 zielkompatibel zu sein. Die in diesem Gutachten eingesetzten Technologien zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien sind Wärmepumpen, Pelletkessel, Fernwärme und Solarthermie. Der Einsatz strombasierter Brennstoffe wurde geprüft, jedoch aufgrund der hohen Kosten für Endverbraucher und der nicht absehbaren breiten Verfügbarkeit verworfen (vgl. Kapitel 4.3.4).

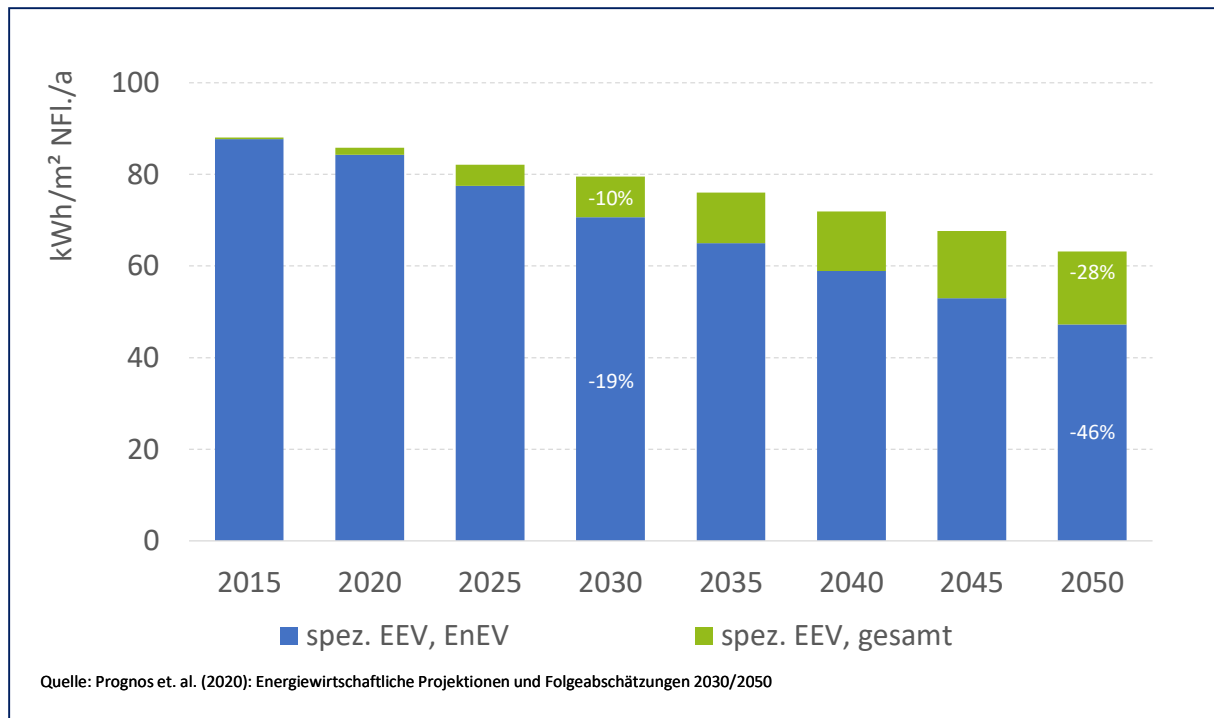


Abbildung 3: Spezifischer Endenergieeinsatz nach EnEV/GEG und EBIL in Nichtwohngebäuden in kWh/m²/a

4.2.3 Modernisierung der Bauteile

In Tabelle 5 sind die für die zukunftssicheren Modernisierungsniveaus „Effizienzstandard“ und „Hoch-effizienzstandard“ angesetzten U-Werte für die Außenbauteile dargestellt. Der „Effizienzstandard“ orientiert sich hierbei an dem für neue Gebäude im Regelfall häufig realisierten Niveau für die Wärmedämmung und die Fenster. Der „Hocheffizienzstandard“ geht noch etwas darüber hinaus und strebt U-Werte an, die ungefähr auf dem für Passivhäuser üblichen Niveau liegen. Dabei entsprechen die für die Fenster und Türen angesetzten U-Werte dem eingebauten Zustand.

U-Werte der Bauteile

Dabei dienen die in Tabelle 5 dargestellten Werte der Orientierung für die Auswahl der Modernisierungsmaßnahme bzw. der Dämmdicke. Die tatsächlich in der energetischen Berechnung verwendeten U-Werte werden praxiskompatibel anhand der Baustoffe und Schichtdicken ermittelt und weichen daher für die einzelnen Gebäude geringfügig von den unten dargestellten Werten ab.

Bei allen durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen wird auf die Kompatibilität mit dem aus gegenwärtiger Sicht erforderlichen Niveau von 2050 geachtet. Es werden zukunftssichere Lösungen verwendet, die keine weiteren Maßnahmen an den jeweils modernisierten Bauteilen bis 2050 mehr erfordern. Damit werden bautechnische Lock-In-Effekte verhindert und zusätzliche Modernisierungskosten vermieden.

Für die Teilmodernisierungsvarianten „2030“ wird etwa ein Niveau für die Transmissionswärmeverluste von $H'_T = 0,30$ bis $0,40$ angestrebt. Für den voll modernisierten Zustand 2050 ergibt sich dann ein noch deutlich geringerer Transmissionswärmeverlust H'_T von unter $0,30$ – wobei die Zielrichtung der energiesparenden Maßnahmen im Mittel der betrachteten Gebäude auf ein Niveau von 70% von $H'_{T\text{Ref}}$ ausgelegt ist.

Tabelle 5: Zielwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden für die Planung der Modernisierungsmaßnahmen

Bauteilgruppe	Zielwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U in W/(m²K)	
	Effizienzstandard	Hocheffizienzstandard
Außenwände	0,20	0,15
Fenster, Balkon- und Terrassentüren	0,95	0,80
Dachflächenfenster	1,0	0,85
Dachflächen von Schrägdächern		
Oberste Geschossdecken und Wände (einschließlich Abseitenwände) gegen unbeheizte Dachräume	0,14	0,11
Flachdächer und Dachflächen mit Abdichtung		
Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume sowie Kellerräume		
Decken gegen unbeheizte Räume sowie Kellerdecken	0,25	0,20
Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume sowie Kellerräume		

Bei der Durchführung der genannten Modernisierungsmaßnahmen werden, im Sinne der Nutzung von Synergieeffekten bzw. von Vereinfachungen, folgende Annahmen zusätzlich getroffen:

Luftdichtheit

Hinsichtlich der Luftdichtheit der Gebäude wird von der Annahme ausgegangen, dass eine Dichtheitsprüfung und eine Optimierung der Luftdichtheit nur mit dem Ersatz der Fenster möglich sind. Daher wird die „erfolgreiche Luftdichtheitsprüfung“ an die Fenstermodernisierung gekoppelt, wohlwissend, dass auch andere Bauteilanschlüsse und Ausführungen hinsichtlich der Luftdichtheit schwierig zu optimieren sind (beispielsweise die Sparrenanschlüsse bei der Dachmodernisierung). Ebenso ist eine Luftdichtheitsprüfung und Optimierung der Luftdichtheit für den Einbau einer geregelten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung Voraussetzung. Trotzdem ist im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen grundsätzlich immer in Planung und Ausführung auf die Luftdichtheit aller Bauteile und Anschlüsse zu achten.

Keller bzw. Perimeterdämmung

Eine nachträgliche Perimeterdämmung bei der Modernisierung von Gebäuden vorzusehen ist eher ungewöhnlich und teuer, lediglich, wenn ohnehin aufgegraben wird, beispielsweise um Arbeiten an der Gebäudeabdichtung durchzuführen oder die Drainage zu erneuern, ist eine solche Maßnahme üblich und sinnvoll. Bei unbeheiztem Keller wird daher nur eine umlaufende Dämmung bis knapp unter die Geländeoberkante vorgesehen, die die Deckenstirnseite der Kellerdecke in ihrer Wärmebrückenwirkung trotzdem schon deutlich reduziert. Bei den hier durchgeführten Betrachtungen ist an die Erneuerung der Heizungsanlage auch die Modernisierung der Kellerdecke an der Deckenunterseite, d.h. kellerseitig, gekoppelt. Neben der Energieeinsparung bewirkt die Dämmmaßnahme auch höhere Oberflächentemperaturen auf der Deckenoberseite und damit einen Komfortgewinn.

Die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke stellt eine reine Energiesparmaßnahme da (analog zur nachträglichen Dämmung der obersten Geschossdecke). Dafür werden bei der Berechnung mit

energiebedingten Mehrkosten keine Ohnehin-Kosten für die energetische Modernisierungsmaßnahme unterstellt.

Oberste Geschossdecke

Der nicht ausgebaute Dachraum wird auf der Bodenfläche mit einer nichtbegehbaren Konstruktion gedämmt. Soll der Dachraum begehbar bleiben, wird entweder eine Holzplattenlage auf einer Tragkonstruktion verlegt oder es werden trittfeste Dämmplatten verwendet. Dies ist bei den Kosten entsprechend zu berücksichtigen.

Geneigtes Dach

Bei den Dachmodernisierungen wird aufgrund des Gebäudealters davon ausgegangen, dass auch die Dacheindeckung erneuert werden soll. Ist die Dacheindeckung soweit in Ordnung, dass eine Erneuerung auch in den nächsten Jahren nicht vorzusehen ist, dann ist die Dämmung von innen die kostengünstigere Variante.

Dachfenster

Generell wird bei allen Gebäuden, bei denen das Steildach modernisiert wird, auch ein Austausch der Dachfenster vorgenommen. Die Dachfenster sind somit an die Steildachmodernisierung gekoppelt und nicht an einen möglicherweise davon unabhängig stattfindenden Fenstertausch.

Trapezblechdächer bei Nichtwohngebäuden

Die nachträgliche Ertüchtigung von Trapezblechdächern bei Nichtwohngebäuden ist eine erprobte Methode für die Modernisierung bei Nichtwohngebäuden (Kuhnhenne 2018), (IFBS 2011). Voraussetzung ist die statische Belastbarkeit der vorhandenen Konstruktion, die vor einer solchen Maßnahme geprüft werden muss. Generell ist davon auszugehen, dass Dächer ab den späten 1980er Jahren für eine Aufdopplung in Frage kommen. Dabei wird auf eine vorhandene einlagige Z-Profil Ebene mit Dämm- lage eine zweite Lage Z-Profile aufgebracht und gedämmt. Typische Dächer aus den frühen 1990er Jahren haben ca. 80-100 mm Dämmung der WLG 040 oder 045. Damit liegt der U-Wert eines solchen Daches, inklusive Wärmebrückenwirkung der Z-Profile und Befestigungen, im Ausgangszustand bei etwa $U = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Durch Aufbringen einer zweiten Lage Z-Profile mit thermischen Trennstreifen und leichter Dämmung der Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ lässt sich ein solches Dach auf einen U-Wert von ca. $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ modernisieren, (z.B. durch zusätzlich 140 mm Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$). Die alten Deckbleche werden entfernt und entsorgt und durch leichtere Aluminium Trapezbleche ersetzt.

Optimierung der Wärmebrücken - Wohngebäude

Die Optimierung von Wärmebrücken bei der Bestandsmodernisierung ist aufwändig und planungsintensiv. Trotzdem können oft nicht die gleichen niedrigen Wärmebrückenkorrekturfaktoren ΔU_{WB} wie im Neubau erreicht werden, vor allem aufgrund der Situation mit der Unterbrechung der Dämmebene am unteren Gebäudeabschluss und bei den einbindenden Bauteilen im Dach. Für die Modernisierungsvarianten werden daher nur bei einer Vollmodernisierung der Bauteile nach dem Effizienzstandard bzw. Hocheffizienzstandard deutlich verminderte Wärmebrückenkorrekturfaktoren von $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Kategorie B nach DIN 4108 Bbl.2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 angesetzt (DIN 4108 Bbl. 2), (DIN V 18599-2). Bei Vollmodernisierung nach Referenzanforderungen mit $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Das entspricht der Kategorie A nach DIN 4108 Bbl.2. Alle Teilmodernisierungen und Bestandsfälle werden mit $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ berechnet.

Optimierung der Wärmebrücken – Nichtwohngebäude

Eine nachträgliche Dämmung von Kellerfußboden (bei beheiztem Keller) oder der Bodenplatte als unterer Gebäudeabschluss ist aufwändig und mit hohen Kosten verbunden. Eine innenseitige Dämmung geht sehr zu Lasten der Raumhöhe. Bei den Nichtwohngebäuden werden daher keine nachträglichen Dämmmaßnahmen beim Kellerfußboden (Schule) und bei den Bodenplatten (Sporthalle, Kindergärten, Verwaltungsgebäude, Verbrauchermarkt, Bürogebäude, Fertigungshalle) vorgesehen. Werden alle anderen Bauteile (Dach, Fenster, Außenwand) nach dem Effizienzstandard bzw. Hocheffizienzstandard energetisch ertüchtigt, kann jedoch von einer deutlichen Verminderung der Wärmebrücken am gesamten Gebäude ausgegangen werden. Bei den Berechnungen wird in diesem Fall ein verminderter Wärmebrückenzuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt, alle Bestandsfälle und andere Teilmodernisierungen werden mit $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ berechnet.

4.2.4 Modernisierung der Anlagentechnik

Je nach Gebäudeart und vorhandenem Erzeuger für Heizung und Trinkwassererwärmung im Ausgangszustand sind verschiedene Modernisierungsoptionen denkbar, dabei wird zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden differenziert.

Grundsätzlich wird beim Tausch des Wärmeerzeugers die Durchführung geringinvestiver Maßnahmen unterstellt, welche beinhalten:

- Hydraulischer Abgleich
- Ohne Heizkörperaustausch
 - Einbau neuer dynamischer Thermostatventile
 - Ggf. Absenkung der Systemtemperaturen
- Einbau Hocheffizienzpumpe(n) (im Wohngebäudebereich Bestandteil des Wärmeerzeugers)
- Dämmung der (zugänglichen) Verteilleitungen

Beim Einsatz von Wärmepumpen im Rahmen einer Komplettmodernisierung wird immer von einem Heizkörperaustausch und damit verbundenen niedrigen Systemtemperaturen ausgegangen, welche einen effizienten Betrieb der Wärmepumpen gewährleisten.

Wohngebäude

Bei einem Ausgangszustand mit Öl-Niedertemperaturkessel, Gas-Niedertemperaturkessel oder Gas-Brennwertkessel (alt) werden je nach Gebäude folgende Modernisierungsoptionen in die Betrachtungen einbezogen:

- Einbau eines Gas-Brennwertkessels in Verbindung mit solarer Trinkwassererwärmung
- Einbau eines Pelletkessels mit indirekt beheiztem Speicher
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe mit indirekt beheiztem Speicher

Beim Ausgangszustand mit einer Nah-/Fernwärmeübergabestation (alt) wird grundsätzlich kein Wechsel des Energieträgers unterstellt, jedoch der Einbau einer neuen Wärmeübergabestation mit indirekt beheiztem Speicher zur Trinkwassererwärmung.

Zusätzlich ist der Neueinbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung möglich, dies setzt eine luftdichte Gebäudehülle voraus. In den Mehrfamilienhäusern wird dabei jeweils von wohnungszentralen Lüftungsanlagen ausgegangen. In Voruntersuchungen hat sich gezeigt, dass der

Einbau einer zentralen mechanischen Lüftungsanlage auf die Investitions- und Betriebskosten (und damit auf die Jahresgesamtkosten) einen großen Einfluss hat. Aus diesem Grund finden sich bei den untersuchten Varianten für die hochgedämmten Optionen Varianten mit Fensterlüftung und Varianten mit mechanischer Lüftungsanlage, auch wenn eine Lüftungsanlage ohne Zweifel bei gut gedämmten Gebäuden aus Energiespargründen sinnvoll ist und für eine hohe Raumluftqualität sorgt.

Nichtwohngebäude

Beim Ausgangszustand mit einer Nah-/Fernwärmeübergabestation (alt) (Schule, Sporthalle) wird grundsätzlich kein Wechsel des Energieträgers vorgesehen, jedoch der Einbau einer neuen Wärmeübergabestation.

Beim Ausgangszustand Öl-Niedertemperaturkessel werden, variiert nach Nichtwohngebäudetyp (Kindergarten, Verbrauchermarkt), folgende Modernisierungsoptionen in die Betrachtungen einbezogen:

- Einbau eines Öl-Brennwertkessels ggf. in Verbindung mit solarer Trinkwassererwärmung
- Einbau eines Pelletkessels ggf. mit indirekt beheiztem Speicher
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe ggf. mit indirekt beheiztem Speicher

Bei den Nichtwohngebäuden wird ein Energieträgerwechsel von Heizöl auf Erdgas nicht betrachtet. Es wird unterstellt, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe verfügbar ist (ländlicher Bereich, Stadtrandlage oder Gewerbegebiet).

Beim Ausgangszustand Gas-Niedertemperaturkessel werden, variiert nach Nichtwohngebäudetyp (Verwaltung, Hotel, großes Bürogebäude), folgende Modernisierungsoptionen in die Betrachtungen einbezogen:

- Einbau eines Gas-Brennwertkessels ggf. in Verbindung mit solarer Trinkwassererwärmung
- Einbau einer Gas-Wärmepumpe
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe ggf. mit indirekt beheiztem Speicher

Die Fertigungshalle wird über dezentrale gasbeheizte Warmlufterzeuger versorgt. Die Modernisierung erfolgt mit neuen dezentralen Warmlufterzeugern, je nach Variante nicht kondensierend bzw. kondensierend und mit Warmluftrückführung oder geringer Ausblastemperatur.

Die Trinkwassererwärmung erfolgt je nach Nutzungsprofil zentral über den Wärmeerzeuger oder dezentral mit elektrischen Durchlauferhitzern. Beim Tausch des Wärmeerzeugers für Heizung wird i.d.R. auch die Trinkwassererwärmung erneuert.

Sind zentrale Lüftungsanlagen in den Nichtwohngebäuden vorhanden (Sporthalle, Verbrauchermarkt, Hotel, großes Bürogebäude) werden diese in die Modernisierungsoptionen einbezogen. Ebenso erfolgt ein Austausch der Kälteerzeuger bei vorhandener Kühlung (Hotel, großes Bürogebäude).

Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der betrachteten Schule und dem Kindergarten im Zuge einer Modernisierung der Neueinbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt, vgl. Abschnitt 4.2.1.

4.2.5 Treibhausgasfaktoren und Primärenergiefaktoren der eingesetzten Energieträger

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen, sowie des Verbrauchs von gesamter und nicht erneuerbarer Primärenergie, werden die entsprechenden Faktoren für die eingesetzten Energieträger benötigt. Während die Faktoren für die bekannten fossilen Energieträger (Erdgas, Heizöl) und erneuerbaren Energieträger (Biomasse) konstant gesetzt werden können, werden für die sich im Zeitverlauf ändernden Energieträger (Strom und Fernwärme) Annahmen getroffen. Hierbei wird auf die Ergebnisse des NECP sowie weiterer Gutachten zurückgegriffen. Die Treibhausgas- (THG) und Primärenergiefaktoren (PEF) werden für das Zielszenario 3 ausgewertet und indiziert (2020 = 100%). Anhand dieser Indexwerte werden die heute im Ordnungsrecht gültigen Faktoren fortgeschrieben und auf eine Nachkommastelle gerundet. Tabelle 5 zeigt die Quellen für die jeweiligen Energieträger.

Tabelle 6: Quellen für THG- und Primärenergiefaktoren

Energieträger	PEF	THG
Erdgas		
Heizöl	DIN V 18599	GEG
Holzpellets		
Strom	NECP Ziel 3 (Klimaschutzprogramm 2030)	
Fernwärme	NECP Ziel 3 (Klimaschutzprogramm 2030)	

Erdgas, Heizöl, Holzpellets

Die Primärenergiefaktoren für Erdgas, Heizöl und Pellets wurden aus der DIN V 18599 in der Ausgabe von 2011 entnommen (DIN V 18599:2011). Die THG-Faktoren nach Verursacherbilanz stammen aus dem aktuellen GEG. Die THG-Faktoren nach Quellenbilanz stammen vom Umweltbundesamt (UBA 2019).

Tabelle 7: THG- und Primärenergiefaktoren für Erdgas, Heizöl und Pellets

	Quellenbilanz	Verursacherbilanz	PEF gesamt	PEF nEE
	g/kWh	g/kWh		
Erdgas	201	240	1,1	1,1
Heizöl	266	310	1,1	1,1
Pellets	0	20	1,2	0,2

Fernwärme

Der Energieträgermix der Fernwärmerzeugung ändert sich im Zeitverlauf. Abbildung 4 zeigt die Struktur der Fernwärmerzeugung im Zeitraum 2020 bis 2050 für das Zielszenario 3 des NECP. Dieses bildet die Wirkungen des Klimaschutzprogramms 2030 ab. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die Struktur im Zeitverlauf von fossilen Energieträgern Kohle und Erdgas deutlich hin zu erneuerbaren Energien

verschiebt. In der Konsequenz sinken der THG-Faktor und der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor. Der Primärenergiefaktor (gesamt)³ hingegen bleibt bis 2040 nahezu konstant und sinkt dann leicht ab.

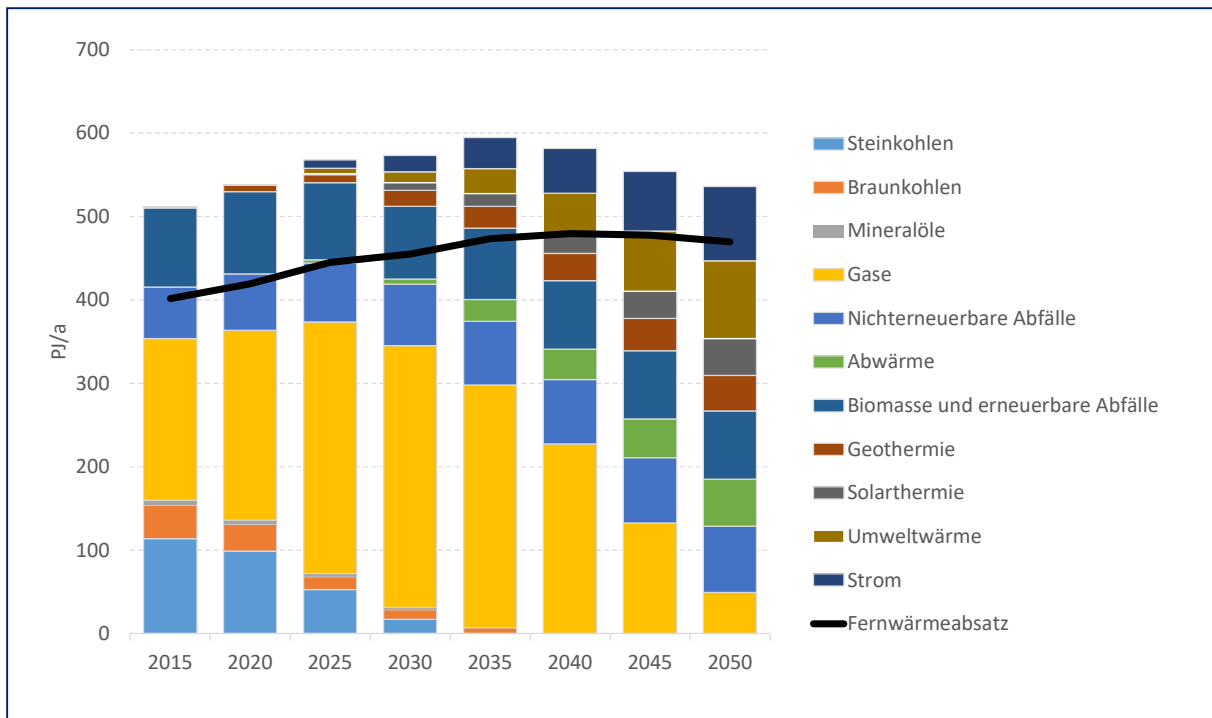


Abbildung 4: Umwandlungseinsatz zur Fernwärmeerzeugung nach Energieträger und Fernwärmeabsatz im Zielszenario 3 NECP, in PJ

Tabelle 8 fasst die Annahmen zu den Faktoren für die Fernwärme zusammen. Eine direkte Übernahme der Faktoren aus dem NECP ist aufgrund unterschiedlicher Allokationsmethoden bei der KWK nicht möglich. Die EBIL bilanziert nach der finnischen Methode und das GEG nach Stromgutschriftmethode. Die Fortschreibung erfolgt daher indiziert auf Basis des Umwandlungseinsatzes und des Fernwärmeabsatzes im Zielszenario 3 des NECP (Abbildung 4). Als Startwert für das Jahr 2020 wurden die Werte aus dem aktuellen GEG entnommen. Für den PEF gesamt wurde mit 0,7 der Wert für fossile befeuerte Fernwärme mit mindestens 70% KWK-Anteil angenommen, da dies die derzeit dominierende Fernwärmeerzeugung ist. Der Startwert des PEF nicht erneuerbar wurde mit 0,6 festgelegt und bildet damit ab, dass die erneuerbaren Energien einen Anteil von etwa 14% an der Fernwärmeerzeugung haben. Die Primärenergiefaktoren wurden auf eine Nachkommastelle gerundet. Der THG-Startwert wurde mit 200 g/kWh aus dem GEG entnommen.

Tabelle 8: Annahmen zu THG- und Primärenergiefaktoren für Fernwärme im Zeitraum 2020 bis 2050, abgeleitet aus NECP

Faktor	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PEF gesamt	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,60	0,60
PEF EnEV	0,60	0,60	0,50	0,50	0,40	0,30	0,20
THG-Faktor (Verursacherbilanz)	200	181	157	129	98	66	38

³ Mit den Primärenergiefaktoren werden vorgelagerte Prozessketten (Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers) in die Bilanzierung einbezogen. Die DIN V 18599 unterscheidet hierbei zwischen dem Gesamtfaktor und dem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor. Der Gesamtfaktor beinhaltet im Gegensatz zum nicht erneuerbaren Faktor auch erneuerbare Energien

Strom

Bei Strom wurde analog zur Fernwärme verfahren. Der Energieträgermix der Stromerzeugung ändert sich auch hier im Zeitverlauf. Abbildung 5 zeigt die Struktur der zur Stromerzeugung eingesetzten Energieträger im Zeitraum 2015 bis 2050 für das Zielszenario 3 des NECP. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die Struktur im Zeitverlauf von fossilen Energieträgern Kohle und Erdgas deutlich hin zu erneuerbaren Energien verschiebt. In der Konsequenz sinken der THG-Faktor und der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor.

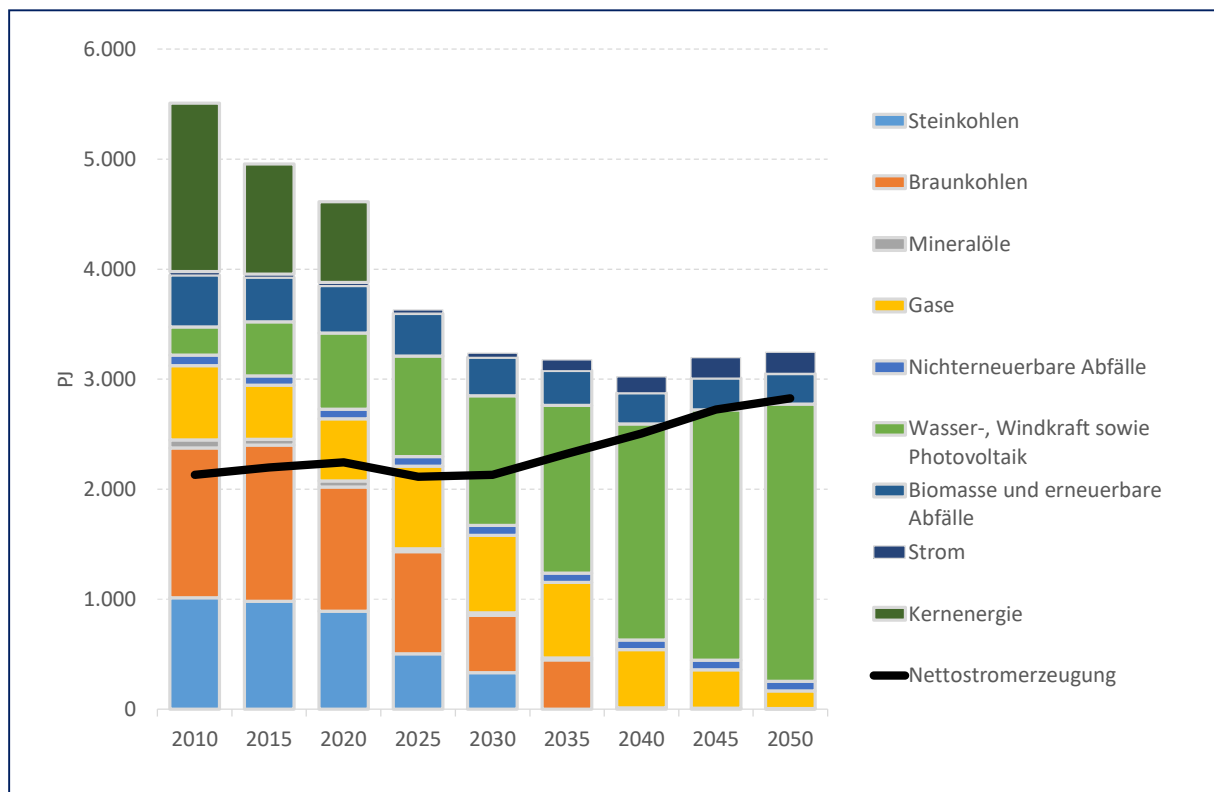


Abbildung 5: Umwandlungseinsatz zur Stromerzeugung nach Energieträger und Nettostromerzeugung im Zielszenario 3 NECP, in PJ

Tabelle 9 fasst die Annahmen zu den Faktoren für den Strom zusammen. Eine direkte Übernahme der Faktoren aus dem NECP ist auch hier aufgrund der unterschiedlichen Allokationsmethoden bei KWK nicht möglich. Die Fortschreibung erfolgt daher indiziert auf Basis des Umwandlungseinsatzes und der Nettostromerzeugung im Zielszenario 3 des NECP (Abbildung 5). Als Startwert für das Jahr 2020 wurden die Werte aus dem aktuellen GEG entnommen. Für den PEF nicht erneuerbar wurde 1,8 festgelegt. Die Primärenergiefaktoren wurden auf eine Nachkommastelle gerundet. Der THG-Startwert wurde mit 560 g/kWh aus dem GEG entnommen.

Tabelle 9: Annahmen zu THG- und Primärenergiefaktoren für Strom im Zeitraum 2020 bis 2050, abgeleitet aus NECP

Faktor	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PEF gesamt	2,30	1,90	1,70	1,50	1,30	1,30	1,20
PEF EnEV	1,80	1,40	1,00	0,80	0,40	0,40	0,30
THG-Faktor (Verursacherbilanz)	560	473	321	204	73	48	26

4.3 Ökonomische Berechnungen und Randbedingungen

Die ökonomischen Berechnungen, also die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von energetischen Modernisierungsmaßnahmen kann mit verschiedenen Methoden ermittelt werden, z. B. auf Basis des Kapitalwerts, der Annuität, des internen Zinssatzes, der Amortisation oder eines vollständigen Finanzplans. Im Rahmen dieses Projektes erfolgten die ökonomischen Berechnungen unter der Berücksichtigung von Steuern und Subventionen sowie CO₂-Bepreisung der Energieträger in den Nicht-ETS-Sektoren in Anlehnung an die VDI 2067 Blatt 1 (September 2012) (VDI 2067 Blatt 1) nach der Annuitätsmethode. Das Annuitätsverfahren gestattet es, einmalige Zahlungen/Investitionen mithilfe des Annuitätsfaktors über einen Betrachtungszeitraum und laufende jährliche Zahlungen zu Jahresgesamtkosten zusammenzufassen. Dabei werden alle relevanten Kosten für die Gebäudehülle und Anlagentechnik betrachtet. Diese umfassen:

- Kapitalgebundene Kosten aus den erforderlichen Investitionen für
 - Wärmedämmmaßnahmen und Fenstertausch
 - Anlagentechnische Modernisierung
 - Modernisierung der Beleuchtung (bei Nichtwohngebäuden)
 unter Berücksichtigung von
 - Kosten für die bauliche und anlagentechnische Fachplanung
 - Subventionen bzw. Förderung
- Energiekosten
- Betriebs- und Instandhaltungskosten

Alle Kostenbestandteile beinhalten sämtliche Steuern.

4.3.1 Investitionskosten

Bei der Kostenbetrachtung einer energetischen Modernisierung muss man zwischen den sogenannten Sowieso-Kosten und den energiebedingten Kosten unterscheiden. Immer dann, wenn eine „Sowieso-Maßnahme“ ansteht, also wenn die Fassade in die Jahre gekommen ist oder die Heizung ausgetauscht werden muss, sollte zusammen mit den notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen auch eine energetische Modernisierung erfolgen. Man spricht auch vom Kopplungsprinzip. Von den Vollkosten der Modernisierung zieht man die Sowieso-Kosten, also die Kosten für die Instandsetzung, ab und erhält dann die energiebedingten Mehrkosten als Teilkosten. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten

unterstellt, dass das Bauteil bzw. die anlagentechnische Komponente ohnehin zu ersetzen wäre. Energiebedingte Mehrkosten beinhalten damit nur die Kosten für die Energiesparmaßnahme an sich. Dies sind beispielsweise:

- Fassadendämmung,
- Fallrohre versetzen,
- Mehrkosten eines Pelletkessels gegenüber einem Gas/Öl-Brennwertkessel,
- Kosten, die ohne die energetische Modernisierung gegenüber der Instandsetzung nicht angefallen wären,
- ggf. Kostenanteil für vorgezogene Modernisierung⁴.

Die Investitionskosten einzelner Maßnahmen und Maßnahmenpakete werden auf der Basis von Kostenstudien, Kostenkennwerten, in Funktion der für die jeweilige Maßnahme charakteristischen Größe, wie beispielsweise Fläche, Leistung oder Volumenstrom, bestimmt. Die Betrachtungen erfolgen für Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten. Notwendige Demontagenkosten von alten Anlagenkomponenten oder beispielsweise der Altfenster sind in den jeweiligen Investitionskosten berücksichtigt.

Zu beachten ist, dass die vollständige Kostenermittlung eine umfangreiche Planungsleistung im Rahmen der Modernisierung ist. Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Kostenannahmen dienen vor allem als Vergleichsmaßstab. Sie beinhaltet keine Prognose der Kostenentwicklungen in der Zukunft. Ferner ist die Streuung der Kosten, z.B. auch in unterschiedlichen Regionen in Deutschland, für die ausgewerteten Maßnahmen in der Regel sehr groß. In der Praxis können die Kosten für die Maßnahmen deutlich über, aber auch deutlich unter den hier angegebenen Kosten liegen.

Kosten baulicher Modernisierungsmaßnahmen

Auf der Basis verschiedener Quellen wurden die vorgefundenen Ansätze mit entsprechenden Baupreisentwicklungen abgeglichen, validiert und bei Bedarf angepasst. Die folgende Liste gibt einen Überblick über die in dieser Studie extern verwendeten Kostenquellen:

- IWU-Studie zu Modernisierung (Bau- und Anlagentechnik) (Loga 2007)
- BKI 2020 (BKI 2020)
- sirAdos-Datenbank baupreise.de (SIRADOS 2015)

Die Effizienzstandards wurden hierbei in Anlehnung an die zur Erreichung der gesetzlich vorgegebenen Wärmeschutzstandards als auch möglicher neuer Förderrichtlinien festgelegt. Abhängig vom U-Wert der Bestandskonstruktion ergibt sich je nach Wärmeleitfähigkeit des gewählten Dämmstoffes eine erforderliche Dämmschichtdicke, um exakt den für das sanierte Bauteil geforderten U-Wert zu erreichen. Die gewählte Dämmschichtdicke entspricht den marktverfügbaren und baupraktischen Dicken und wird daher für die Kostenberechnung angesetzt. Somit ergeben sich gegebenenfalls kleinere U-Werte als gefordert.

Bei einer Gebäudemodernisierung werden den effizienzabhängigen Kostenkennwerten, die sich beispielsweise bei einer Dämmmaßnahme in der zu realisierenden Dämmstärke ausdrückt, noch die Grundkosten einbezogen, was im Endeffekt einem Vollkostenansatz entspricht. Da die rein energiebedingten Kosten bei Fenstern nicht eindeutig bestimmt werden können, wird jede Verbesserung gegenüber der Referenzgebäudeausführung den energiebedingten Kosten hinzugerechnet. Auch die

⁴ Eine vorgezogene Modernisierung wird in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet.

baulichen Kosten für die Optimierung der Wärmebrücken und der Luftdichtheit werden pauschal in Abhängigkeit des Effizienzstandards festgelegt.

Alle baulichen Kostenfunktionen und -kennwerte sind inklusive Mehrwertsteuer. Sie beinhalten die Kosten für Lohn und Material pro Quadratmeter Bauteil, jedoch zunächst ohne Planungs- und Nebenkosten (diese werden später als pauschaler Zuschlag berücksichtigt). Die Kostenfunktionen und Kostenkennwerte stammen aus den oben genannten Quellen. Im Rahmen dieser Studie werden die Investitionskosten mit der statistischen Baupreissteigerung für das Jahr 2020 angepasst. Tabelle 10 zeigt die abgeleiteten Kostenkennwerte für die baulichen Maßnahmen:

Tabelle 10: Kostenkennwerte der baulichen Maßnahmen in Abhängigkeit möglicher Modernisierungstiefen

Bauteilgruppe	Sowieso-Kosten	energiebedingte Kosten			
		Referenz	Effizienzstandard	Hocheffizienzstandard	
Außenwand	€/m ² Bauteil	120	32	56	80
Flachdach	€/m ² Bauteil	190	36	60	78
Geneigtes Dach (Aufsparren)	€/m ² Bauteil	215	56	96	120
Geneigtes Dach (Zwischensparren)	€/m ² Bauteil	45	45	72	90
Trapezblechdach	€/m ² Bauteil	130	53	82	96
Oberste Geschossdecke	€/m ² Bauteil	215	25	41	61
Fenster	€/m ² Bauteil	500	-	135	200
Dachfenster	€/m ² Bauteil	650	-	185	250
Kellerdecke	€/m ² Bauteil	-	57	63	75

Kosten anlagentechnischer Modernisierungsmaßnahmen

Die Ermittlung der anlagentechnischen Investitionskosten erfolgt für die jeweilige Technologie in Abhängigkeit von technologiespezifischen Kenngrößen. Das sind unter anderem:

- Auslegungsleistung in Abhängigkeit von Gebäude und baulichem Wärmeschutz
- Geometrische Kenndaten der Gebäude (Volumen, Fläche, Gebäudehöhe, ...)
- Anzahl der Wohneinheiten in den Mehrfamilienhäusern
- Anzahl der zu belüftenden Räume (NWG: Schule, Kindergarten)
- Nutzung

Die angesetzten anlagentechnischen Investitionskosten sind das Ergebnis umfangreicher Recherchen. Sie beruhen auf Listenpreisen führender Hersteller und umfassen neben den Materialkosten auch die Lieferung, Montage und Inbetriebnahme sowie typische Rabatte und Preisaufläge. Die

Kostenansätze wurden soweit möglich mit in der Literatur verfügbaren Ansätzen abgeglichen (BMVBS 2012).

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in den Mehrfamilienhäusern sind als wohnungszentrale Lüftungsanlagen konzipiert.

Die Investitionskosten zentraler Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in den Nichtwohngebäuden beruhen auf den Angaben von Schiller/Mai/Händel (Schiller et al. 2014) und werden in Abhängigkeit vom Anlagenluftvolumenstrom ermittelt.

Erfolgt im Zuge der Modernisierung der Wohngebäude ein Energieträgerwechsel von Heizöl auf Erdgas oder Nah-/Fernwärme, werden die Kosten für den notwendigen Hausanschluss in den Investitionen berücksichtigt.

Kapitalkosten der Investitionskosten

Für die hier durchgeführten Betrachtungen wird angenommen, dass die Finanzierung der Modernisierungsmaßnahmen über einen Kredit erfolgt. Dessen Laufzeit entspricht (fiktiv) einem Betrachtungszeitraum, der sich aus der Lebensdauer der Maßnahme ergibt, ohne Rest- bzw. Wiederbeschaffungskosten. Tabelle 11 enthält die Lebensdauer der einzelnen baulichen und technischen Maßnahmen, welche in Anlehnung an VDI 2067 (VDI 2067 Blatt 1) festgelegt wurden.

Tabelle 11: Angesetzte rechnerische Lebensdauer baulicher Maßnahmen und Anlagentechnik

	rechnerische Nutzungsdauer
Dämmung	40 Jahre
Fenster	30 Jahre
Anlagentechnik	20 Jahre
Beleuchtung	20 Jahre

Die Berechnung erfolgt entsprechend der Annuitätenmethode. Aktuell liegt der Zinssatz bei einer 100%-Finanzierung bei über 1% pro Jahr. Auch die allgemeine Preisinflation geht in die Berechnungen der Betriebs- und Instandhaltungskosten ein. Die Steigerungsrate wird hier mit 1,5% berücksichtigt und umfasst sowohl die Kosten für Material als auch für Arbeit. Höhere Raten bewirken einen Anstieg der laufenden Kosten und reduzieren die Wirtschaftlichkeit.

Für die Berechnungen der Jahresgesamtkosten wurde in dieser Studie in Abstimmung mit dem Auftraggeber ein Realzinssatz von 2% angesetzt, mit dem der Kapitalwert gegenwärtiger und künftiger Zahlungen ermittelt und mit Hilfe des Annuitätenfaktors über den Betrachtungszeitraum verteilt werden kann. Höhere Zinsen führen zu steigenden Kapitalkosten und damit einer ungünstigeren Wirtschaftlichkeit, während niedrigere Zinsen diese verbessern. Die aktuellen Förderprogramme der KfW-Bank für energieeffiziente Neubauten und Sanierungen sind durch Tilgungszuschüsse und niedrige Zinssätze dementsprechend konzipiert.

Honorare für Planungsleistungen und Nebenkosten

Die zusätzlichen Kosten für die Fachplanung der Maßnahmen bzw. Maßnahmenpakete zur Steigerung der Energieeffizienz und weiteren Nebenkosten, wurden mit 12,5 % der Investitionskosten für alle Varianten und Gebäudetypen angenommen.

Mehrwertsteuer

Die Mehrwertsteuer wird einheitlich mit einem Steuersatz von 19 % angesetzt und bei allen Gebäudetypen herangezogen.

4.3.2 Betriebs- und Instandhaltungskosten

Die Betriebskosten umfassen den jährlichen Aufwand für Wartung, Instandhaltung und Inspektion der Versorgungstechnik. In Tabelle 12 sind die entsprechenden Ansätze für Instandsetzung und Wartung angegeben. Zudem werden ggf. notwendige Schornsteinfegergebühren und Versicherungskosten für die Heizöllagerung berücksichtigt. Für den Ausgangszustand wird der Instandsetzungsaufwand anhand analoger Investitionen bestimmt.

Tabelle 12: Instandsetzungs- und Wartungsaufwand

	Instandsetzungsaufwand	Aufwand für Wartung und Inspektion
Dämmung	pauschaler Ansatz: 3 €/m ² Nutzfläche	-
Fenster		-
Anlagentechnik	1,5 % der Investitionskosten	pauschaler Ansatz in Abhängigkeit der Technologie
Beleuchtung		-

4.3.3 CO₂-Bepreisung / BEHG

Mit dem Klimaschutzprogramm 2030 wurde im Dezember 2019 auch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) auf den Weg gebracht. Das Gesetz bildet die Grundlage für den Handel mit Zertifikaten für Emissionen aus Brennstoffen im Wärme- und Mobilitätssektor, die nicht vom EU-Emissionshandel erfasst werden. Im Kern sorgt es für eine Bepreisung des in den fossilen Brennstoffen enthaltenen CO₂ und führt zu einer Erhöhung der Endkundenpreise für Erdgas und Heizöl. Die Preise für Biomasse, Strom und überwiegend auch Fernwärme sind hiervon nicht betroffen. Ihre Nutzung wird durch die CO₂-Bepreisung im Vergleich zu fossilen Energieträgern wirtschaftlich attraktiver.

Für die Jahre bis einschließlich 2025 wird ein Festpreis vorgegeben, für das Jahr 2026 wird ein Maximalpreis und eine Preisuntergrenze vorgegeben (Tabelle 13).

Tabelle 13: CO₂-Preis in nEHS für Verkehr und Wärme

Euro/t	Oberer Preispfad		Unterer Preispfad	
	nominal	Real (2016)	nominal	Real (2016)
2020	0	0	0	0
2021	25	23	25	23
2022	30	27	30	27
2023	35	31	35	31
2024	45	39	45	39
2025	55	47	55	47
2026	55	46	65	55

Welcher CO₂-Preis sich in den Jahren ab 2027 ergeben wird, ist noch nicht bestimmt und daher mit Unsicherheiten behaftet. Daher werden die Berechnungen für zwei CO₂-Preispfade durchgeführt. Beide Pfade orientieren sich an Abschätzungen des PIK und dem Mercator Research Institut:

- Der effektive Marktpreis unter einem ambitioniertem Cap, welches die Erreichung der THG-Ziele des Klimaschutzplans sicherstellt, dürfte deutlich höher liegen. Im ersten Pfad wird daher von einem nach 2026 stark steigenden CO₂-Preis ausgegangen: Für das Jahr 2030 wird ein CO₂-Preis von 180 Euro / t unterstellt (nominal). Dies entspricht dem oberen Rand der Abschätzungen nach PIK und MCC (Edenhofer et al. 2019). Nach 2030 wird ein weiterer Anstieg auf 220 Euro / t unterstellt (in realen Preisen mit Basisjahr 2016)
- Der zweite Pfad geht von einem moderateren Anstieg des CO₂-Preises aus und orientiert sich am mittleren Preispfad nach PIK, MMC aus dem Jahr 2019 (Edenhofer et al. 2019). Der CO₂-Preis wird für 2030 mit 120 Euro / t (nominal) angenommen.

Die Analysen zum Klimaschutzprogramm 2030 in der Prognos Studie (Kemmler et al. 2020) und in der vom Öko-Institut für das Umweltbundesamt verfassten Studie (Harthan et al. 2020) kommen zu dem Schluss, dass die Klimaschutzziele mit den Maßnahmen des Klimaschutzprogramms nicht erreicht werden. Somit ist absehbar, dass sich der mit dem Klimaschutzgesetz implementierte Nachsteuerungsprozess mit zusätzlichen, kurzfristig wirksamen Maßnahmen befassen muss. Ein Verharren des CO₂-Preises auf dem Niveau von 2026 wird daher als am unwahrscheinlichsten erachtet und nicht als Variante gerechnet.

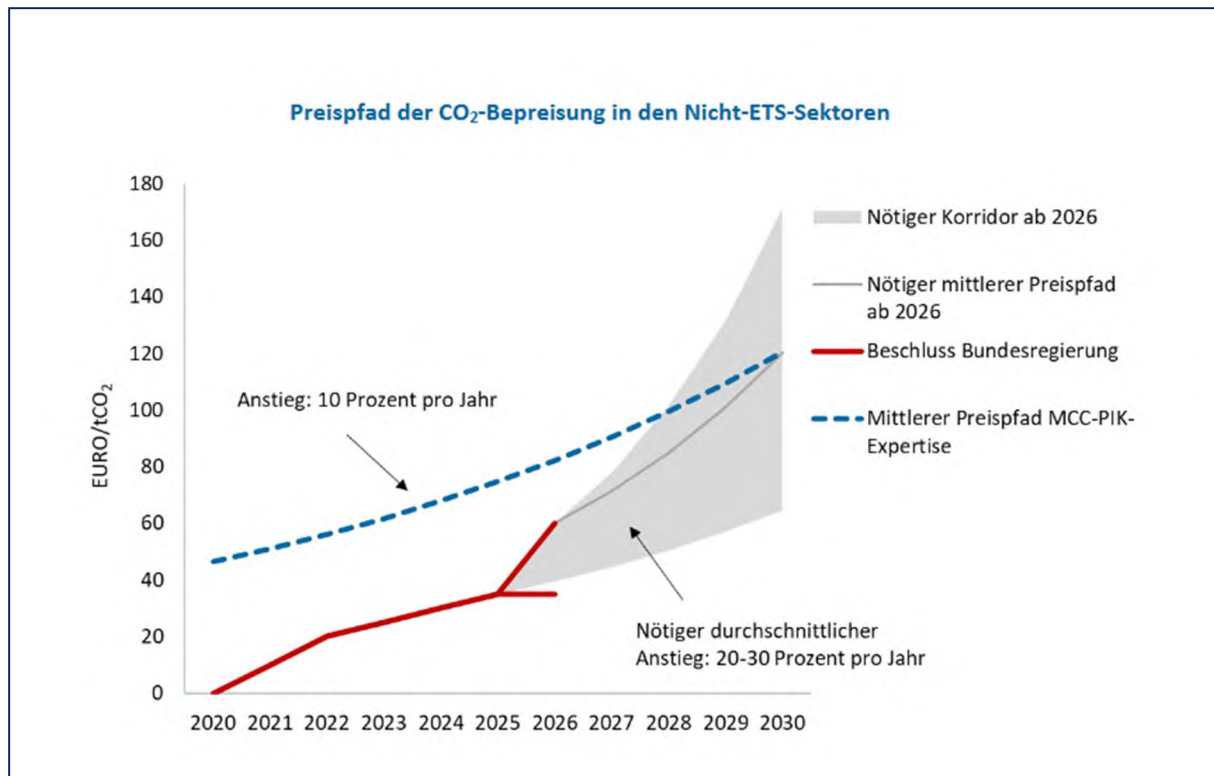


Abbildung 6: Preisfad der CO₂-Bepreisung nach PIK, MCC (2019)

4.3.4 Energiepreise

Eine Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen kann nur erreicht werden, wenn künftige Einsparungen durch niedrigere Energiekosten die investiven Mehrkosten kompensieren oder übertreffen. Entscheidend hierfür ist neben dem geringeren Energiebedarf/-verbrauch der Energiepreis. Zur Berechnung der Energiekosten werden die Endenergiebedarfe für alle verwendeten Energieträger ermittelt und mit den jeweiligen Energiepreisen multipliziert.

Die Energiepreise werden aus dem Rahmendatenpapier des Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) abgeleitet (BMWi 2020). Das Rahmendatenpapier seinerseits orientiert sich an EU-weit abgestimmten Rahmendaten. Diese stellen sicher, dass alle Mitgliedsstaaten mit vergleichbaren Rahmenannahmen arbeiten und ermöglichen so vergleichbare und in sich konsistente Berichte und Strategien der Mitgliedsstaaten. Die darin definierten Rahmendaten sind von zuständigen Ressorts des BMWi und BMU abgestimmt worden und bilden die Grundlage für die Szenarienanalysen im Rahmen des NECP, dem Impact Assessment Klimaschutzplan sowie der Politikszenerien IX bzw. des Projektionsberichts der Bundesregierung (BMWi 2020); (Kemmler et al. 2020); (Projektionsbericht 2019). Sie sind in einem nicht veröffentlichten Arbeitspapier des Öko-Instituts dokumentiert bzw. in einer Aktualisierung der Preisbasis im Rahmen des Projektionsbericht 2019 (Projektionsbericht 2019). Dort sind unter anderem, Langfristprojektionen für die Importpreise fossiler Energieträger (Rohöl, Erdgas, Kohle) beschrieben, aus denen die Endkundenpreise für unterschiedliche Abnahmefälle vom privaten Haushalt bis hin zum industriellen Großkunden abgeleitet werden können.

Da die am Markt beobachteten Preise niedriger sind als ursprünglich in den Rahmendaten angenommen, wurden die Energiepreise am aktuellen Rand an die reale Entwicklung angepasst. Bis zum Jahr 2030 schwingen die Preise wieder auf die ursprüngliche Langfristprognose zurück. Tabelle 14 zeigt die Endkundenpreise für Haushaltskunden in Cent₂₀₁₆/kWh (Heizwert), inkl. tiefem CO₂-Preisfad für Erdgas und Heizöl und ohne Mehrwertsteuer. Die Preissteigerungen für Erdgas und Heizöl können

anhand der Entwicklung des in den folgenden Tabellen angegebenen Basispreises nachvollzogen werden. Die Preise für Strom und Fernwärme basieren auf den Modellrechnungen zum NECP und berücksichtigen die Umsetzung der mit dem Klimaschutzprogramm 2030 beschlossenen Maßnahmen. Tabelle 15 zeigt die Preise mit hohem CO₂-Preisfad. Da Strom und Fernwärme vom BEHG nicht direkt betroffen sind und die CO₂-Kosten auf Seite der Betreiber über den europäischen Emissionshandel (ETS) anfallen, werden die entsprechenden Preisbestandteile nicht näher aufgeführt. Darüber hinaus wurden für gewerbliche Kunden, mit einem Absatz oberhalb von 55 MWh/a Preisgleitformeln genutzt.

Tabelle 14: Endkundenpreise für Haushalte in Cent/kWh, inkl. tiefem CO₂-Preis für Erdgas und Heizöl, ohne Mehrwertsteuer, bezogen auf den Heizwert (Hi). Abweichungen zwischen dem Gesamtwert und der Summe der Einzelwerte können aufgrund von Rundungsfehlern vorkommen. Aus: „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Kemmler et al. 2020)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Erdgas	5,0	7,5	10,0	11,1	11,3	11,5	11,7
Basispreis	4,4	6,0	7,6	8,3	8,5	8,8	9,0
Energiesteuer	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Tiefer CO ₂ -Preis	0	1,0	2,0	2,4	2,4	2,4	2,4
Heizöl	4,8	7,6	10,3	11,3	11,5	11,7	11,9
Basispreis	4,2	5,7	7,2	7,6	7,9	8,1	8,4
Energiesteuer	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Tiefer CO ₂ -Preis	0	1,3	2,6	3,2	3,2	3,2	3,2
Kaminholz	3,7	5,4	7,2	7,3	7,5	7,7	7,8
Pellets	3,1	5,4	5,9	6,0	6,2	6,3	6,4
Fernwärme	7,5	9,3	10,1	10,6	11,2	11,8	12,1
Strom	25,7	27,6	25,7	24,6	25,5	26,6	27,5

Tabelle 15: Endkundenpreise für Haushalte in Cent/kWh, inkl. hohen CO-Preis für Erdgas und Heizöl, ohne Mehrwertsteuer, bezogen auf den Heizwert (Hi). Abweichungen zwischen dem Gesamtwert und der Summe der Einzelwerte können aufgrund von Rundungsfehlern vorkommen. Aus: „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Kemmler et al. 2020)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Erdgas	5,0	7,5	11,0	12,7	13,3	13,5	13,7
Basispreis	4,4	6,0	7,6	8,3	8,5	8,8	9,0
Energiesteuer	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Tiefer CO ₂ -Preis	0	1,0	3,0	4,0	4,4	4,4	4,4
Heizöl	4,8	7,6	11,6	13,4	14,2	14,4	14,6
Basispreis	4,2	5,7	7,2	7,6	7,9	8,1	8,4
Energiesteuer	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Tiefer CO ₂ -Preis	0	1,3	3,9	5,3	5,9	5,9	5,9
Kaminholz	3,7	5,4	7,2	7,3	7,5	7,7	7,8
Pellets	3,1	5,4	5,9	6,0	6,2	6,3	6,4
Fernwärme	7,5	9,3	10,1	10,6	11,2	11,8	12,1
Strom	25,7	27,6	25,7	24,6	25,5	26,6	27,5

Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Haushaltskundenpreise für den Zeitraum 2000 bis 2050 für Heizöl und Erdgas. Die Daten bis 2019 wurden der Energiedatensammlung des BMWi entnommen. Die Fortschreibung bis 2050 basiert, wie oben beschrieben, auf den Rahmendaten zum NECP. Für 2020 wurden aktuelle Preise recherchiert (BDEW 2020). Die Abbildungen verdeutlichen den erwarteten Effekt des BEHG ab 2025.

Für den Heizölpreis wird davon ausgegangen, dass er bis 2030 wieder auf das Niveau des Jahres 2010 ansteigt und auch danach weiter leicht steigt. Erdgas ist im Jahr 2030 rund 2 Cent/kWh teurer als im Jahr 2010, allerdings wird von keinem weiteren Preisanstieg ausgegangen. Ab 2021 greift die CO₂-Bepreisung des BEHG und führt zu einem deutlichen Anstieg der Endkundenpreise fossiler Energieträger. Da Heizöl mehr CO₂ je Kilowattstunde emittiert, liegt der Aufschlag im Jahr 2030 hier mit 2,6 bis 3,9 Cent/kWh höher als beim Erdgas (2,0 bis 3,0 Cent/kWh).

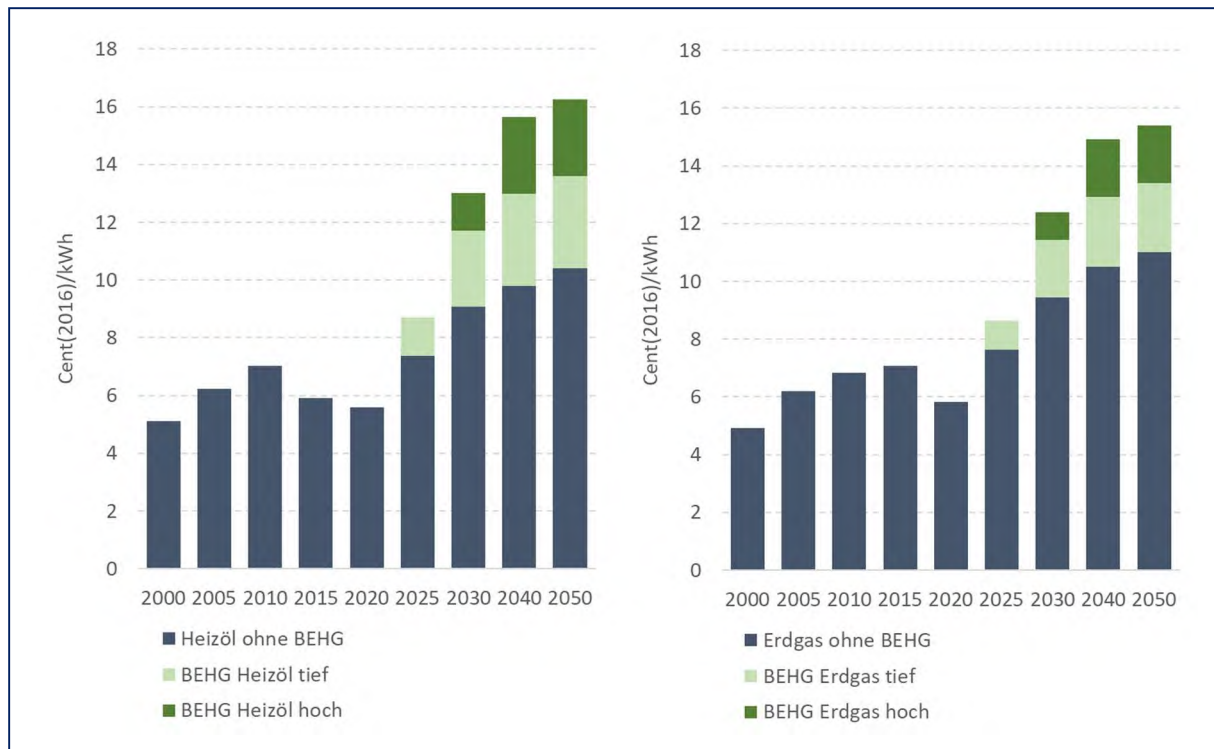


Abbildung 7: Endkundenpreise für Haushalte für Erdgas und Heizöl, brutto, in Cent/kWh bezogen auf den Heizwert (Hi). Aus: „Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050“ (Kemmler et al. 2020)

Der Einsatz strombasierter Brennstoffe wurde überprüft, jedoch aufgrund der unterstellten hohen Kosten für Endverbraucher und der nicht absehbaren breiten Verfügbarkeit verworfen. Im Rahmen der Studie „Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wurden Bereitstellungskosten für strombasierte Energieträger beim Endverbraucher berechnet (Kreidelmeyer et al. 2020). Die Kosten für die Bereitstellung strombasierter Energieträger wie Wasserstoff sowie von gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffen liegen demnach sowohl heute als auch langfristig deutlich über den Kosten für vergleichbare fossile Energieträger. Zudem gilt für alle strombasierten Energieträger, dass die Gesamtproduktionskette bisher nicht großtechnisch realisiert wurde.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass auch bei zukünftig steigenden Preisen für fossile Energieträger und sinkenden Produktionskosten für strombasierte Energieträger die Bereitstellung strombasierter Energieträger vergleichsweise teurer bleibt. Hierfür wurden die notwendigen Prozessschritte für strombasierte Energieträger analysiert.

Für strombasiertes Methan wurde für das Jahr 2030 eine Bandbreite von 20 bis 40 Cent/kWh_(HS). Ausgehend von den aktuellen Preisen für Erdgas 5,0 Cent/kWh_(HI) (entspricht etwa 4,5 Cent/kWh_(HS)) und der Annahme, dass das strombasierte Methan THG-frei ist, kostet eine Einsparung von 200 g CO₂ auf Endkundenseite etwa 15,5 bis 35,5 Cent(kWh). Umgerechnet ergibt dies einen CO₂-Preis von 775 bis 1.775 Euro/t CO₂ – ein Mehrfaches der in Kapitel 4.3.3 unterstellten CO₂-Preise von 120 bis 220 Euro/t.

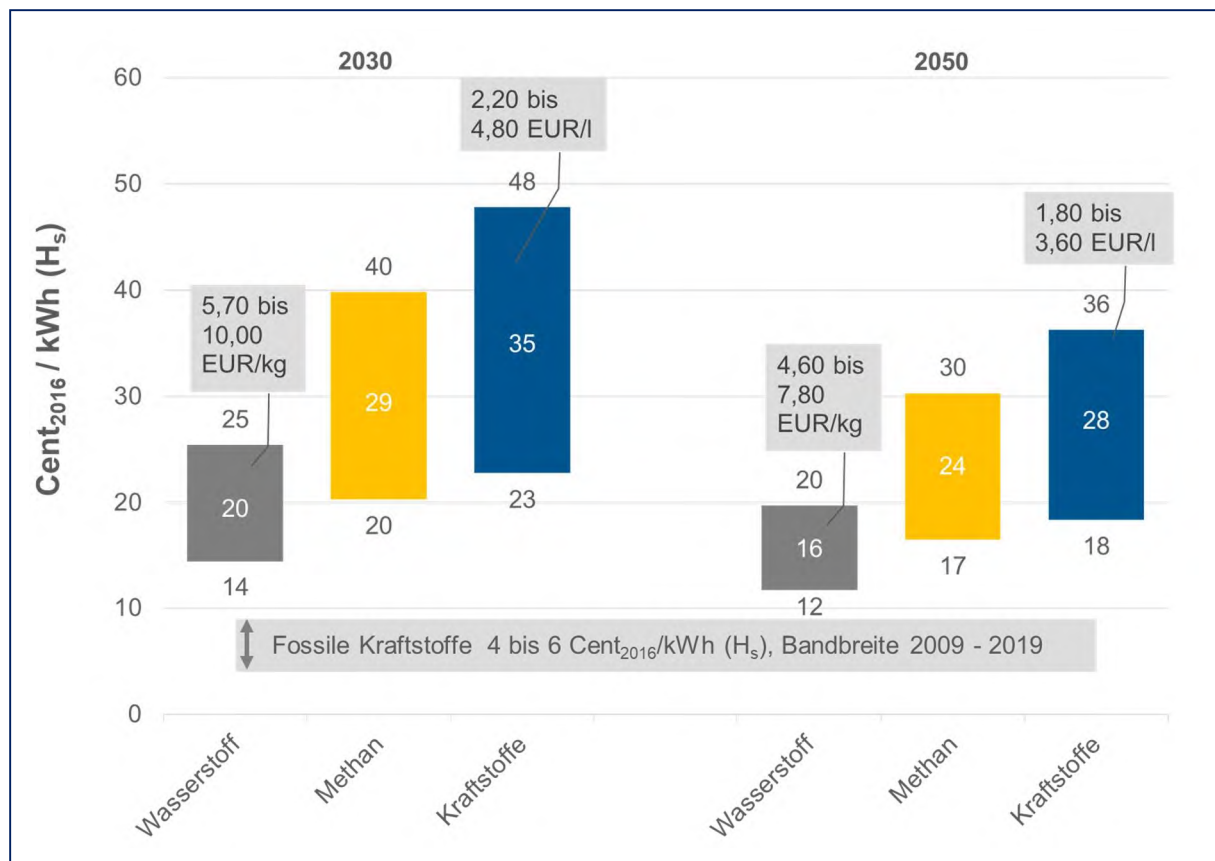


Abbildung 8: Bandbreiten der Bereitstellungskosten strombasierter Brennstoffe beim Endverbraucher in 2030 und 2050.

4.3.5 Förderung

Für die energetische Modernisierung der Gebäude ist der Gebäudeeigentümer verantwortlich. Dieser muss entscheiden, wann und in welchem Umfang die Instandsetzungen oder energetischen Modernisierungen am Gebäude durchgeführt werden. Die folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beziehen sich folgerichtig auf die Perspektive des Gebäudeeigentümers, volkswirtschaftliche Aspekte werden damit nicht erfasst. Energiesparende und THG-senkende Maßnahmen sind mit finanziellem Aufwand verbunden. Kosten werden zum Hindernis für eine energetische Modernisierung, wenn den Eigentümern oder Investoren die finanziellen Möglichkeiten dazu fehlen, die Amortisationsdauer der Maßnahme sehr lang ist oder Investor und Nutznießer der Energiekosteneinsparung nicht identisch sind.

Die entscheidende Frage bei allen Klimaschutzmaßnahmen lautet, ob sich die im Moment der Modernisierung aufzubringenden Mehrkosten durch eine Reduzierung der Energiekosten im Laufe des Nutzungszeitraums des Gebäudes wieder einspielen lassen. Derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellbare Modernisierungsmaßnahmen rücken durch weitere Energiepreissteigerungen deutlich näher an die Wirtschaftlichkeit, bzw. müssen durch wohldosierte Fördermittel angeschoben werden, wenn solche Gebäude für die Energiewende mobilisiert werden sollen. Die Berücksichtigung von Fördermitteln in der Berechnung reduziert die Kapitalkosten der Investitionen, verbessert die Wirtschaftlichkeit und vermindert die CO₂-Vermeidungskosten.

In der vorliegenden Studie werden staatliche Subventionen bzw. Förderung für Wohnbauten indikativ berücksichtigt. Diese Subventionen beziehen sich hierbei auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Aufgrund der Komplexität wird die Förderung pauschal berücksichtigt,

eine Optimierung hinsichtlich der Bauteile und Anlagen sowie eine Berücksichtigung lokaler Fördermöglichkeiten erfolgt nicht. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird im Rahmen dieses Vorhabens **ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20%** angenommen. Diese vereinfachende Annahme zur Berechnung der Förderung spiegelt nicht 1:1 die Förderkonditionen der derzeitigen Förderprogramme wider. Eine Berücksichtigung von pauschal 20% Förderung bewegt sich dabei für das bei den hier betrachteten Gebäuden angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten. Für die energetische Qualität der betrachteten Gebäude ist eine Förderquote von 30% beziehungsweise teilweise noch etwas darüber realistisch. Durch Ansatz eines mittleren Fördersatzes erfolgt keine Betrachtung von Förderhöchstbeträgen.

Die in den Ergebnissen berücksichtigte Förderung führt dazu, dass sich die Kapitalkosten der notwendigen Investitionen entsprechend verringern und ein positiver Effekt auf die CO₂-Vermeidungskosten auftritt. Dieser Einfluss ist beispielhaft für ein Wohngebäude in Tabelle 16 dargestellt. Für die hier exemplarisch untersuchte zielkonforme Modernisierung wäre beispielsweise eine Förderung von mindestens 30% notwendig, um in den wirtschaftlichen Bereich zu kommen.

Tabelle 16: Beispielhafter Einfluss der Höhe der Förderung auf die CO₂-Vermeidungskosten

	Förderung				
	Ohne	20%	30%	40%	50%
CO ₂ -Vermeidungskosten in €/t	180	70	10	-50	-110

4.3.6 Jahresgesamtkosten

Die einfache Betrachtung der absoluten Investitionskosten ermöglicht zunächst keine Aussagen über den Nutzen einer Investition. Bei der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden kann der Nutzen in Form der Energieeinsparung berechnet und monetär bewertet werden. Werden zusätzlich die weiteren Kosten (z.B. aus Betrieb, Wartung und Instandhaltung) berücksichtigt, können die Gesamtkosten einer Investition berechnet und – bei Definition eines einheitlichen Betrachtungszeitraums - als Jahresgesamtkosten abgebildet werden. Wird dies für verschiedene Varianten durchgeführt, ergibt sich die wirtschaftlichste Maßnahme im Vergleich durch die geringsten Jahresgesamtkosten. In die Berechnungen gehen Preis- (z.B. für Energiepreise) und Zinsänderungen (z.B. effektiver Kapitalzins) innerhalb des Betrachtungszeitraums mit ein.

4.4 Bestimmung der CO₂-Vermeidungskosten

Während die mögliche Reduzierung der CO₂ Emissionen die Effektivität der einzelnen Optionen in Hinblick auf das klimapolitische Ziel widerspiegelt, stellen die spezifischen Vermeidungskosten in €/t Schadstoff ein Maß hinsichtlich der Effizienz der einzelnen Optionen dar. Somit wird durch spezifische Vermeidungskosten das Kosten-Nutzen-Verhältnis abgebildet, da sie den monetären Aufwand, um 1 t Schadstoff zu vermeiden, angeben. Dementsprechend ist eine negative Effizienz Zahl ein Hinweis auf eine besonders effiziente Minderungsmaßnahme.

Methodik

CO₂-Vermeidungskosten beschreiben die Mehr- bzw. Minderkosten, welche sich durch den Einsatz einer Technologie mit geringerer Treibhausgasintensität gegenüber einem Stand der Technik (Referenztechnologie bzw. Status quo) ergeben.

Grundlage der Berechnung sind die Jahresgesamtkosten entsprechend Abschnitt 4.3.6 bestehend aus:

- Energiekosten für das Jahr 2030 (unterer Preispfad)
- Kapitalgebundenen Kosten basierend auf den Vollkosten der Modernisierungsvarianten von Gebäudehülle und Anlagentechnik
- Betriebsbedingten Kosten (Wartungskosten, Instandsetzungsaufwand, Schornsteinfegerkosten, ...)

Die Änderung der Jahresgesamtkosten bezogen auf die jährlichen Treibhausgas-Einsparungen gegenüber dem Referenzfall (Status quo) ergeben die Vermeidungskosten.

Die tatsächlichen CO₂-Vermeidungskosten können je nach Finanzierungsbedingungen, Förderung und tatsächlichen zukünftigen Energiepreisentwicklungen auch deutlich anders ausfallen. Die hier durchgeführte Betrachtung dient vor allem als Vergleichsmaßstab der Energiesparmaßnahmen untereinander. Sie beinhaltet keine Prognose der Kostenentwicklungen in der Zukunft.

Ergebnisinterpretation

Für die Interpretation der Ergebnisse werden die CO₂-Vermeidungskosten in Einheit mit den vermiedenen Treibhausgasemissionen und der Differenz der Jahresgesamtkosten betrachtet, vgl. Abbildung 9.

- Positive CO₂-Vermeidungskosten ⇒ Mehrkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall
- Negative CO₂-Vermeidungskosten ⇒ Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall

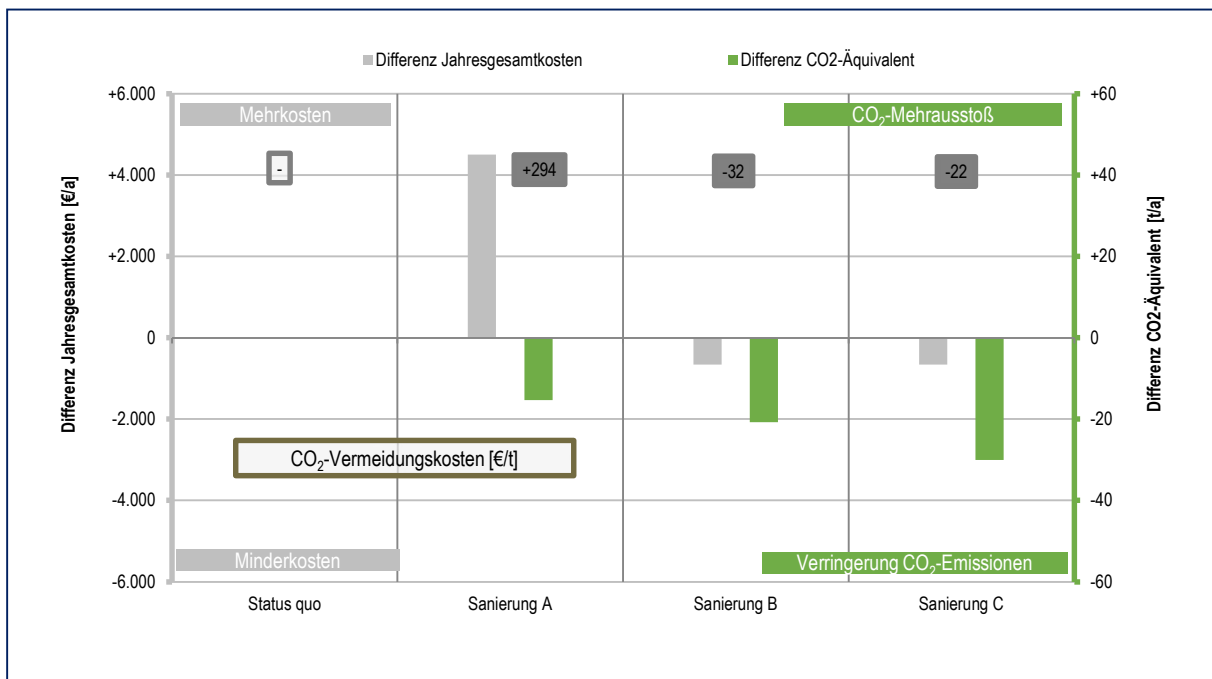


Abbildung 9: Ergebnisinterpretation der CO₂-Vermeidungskosten

5 Ergebnisse und Bewertung Wohngebäude

In den nachfolgenden Unterkapiteln sind nacheinander alle berechneten Gebäude mit ihren Varianten und Ergebnissen beschrieben. Die Kapitel sind eigenständige Ergebnisdarstellungen, die nicht aufeinander Bezug nehmen. Am Anfang des jeweiligen Kapitels werden für alle Gebäude die Modernisierungen bei der Anlagentechnik und den Außenbauteilen vorgestellt und wie diese aufeinander aufbauen, bzw. welche Modernisierungsstrategie angewendet wird. Für alle Gebäude werden Teilmodernisierungen und Komplettmodernisierungen vorgesehen.

Die Gebäude werden dann nach energetischen (Endenergie und Primärenergie), sowie nach ökonomischen Gesichtspunkten bewertet (Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten, sowie Energiekosten und Jahresgesamtkosten). Der Ermittlung der CO₂-Vermeidungskosten ist ein eigenes Unterkapitel gewidmet. Die Ergebnisse werden anschließend kurz diskutiert.

5.1 Kleines Einfamilienhaus

Als kleines freistehendes Einfamilienhaus wird das „EFH-klein“ Modellgebäude des ZUB verwendet (ZUB 2010). Das im Rahmen der hier durchgeführten exemplarischen Untersuchungen betrachtete Haus stammt aus dem 1960er Jahren. Im Rahmen der üblichen Instandsetzung erfolgt ca. 1995 eine erste energetische Modernisierungsmaßnahme. Dabei sind neben neuen Fenstern auch die oberste Geschoßdecke und das Steildach entsprechend der damals geltenden Wärmeschutzverordnung nachträglich gedämmt worden. Alle anderen Außenbauteile sind noch im Originalzustand. Ferner erfolgte damals auch eine Erneuerung der Heizungsanlage (Öl-Niedertemperaturheizung). Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellen Ausgangszustand sind noch unregulierten Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt in über Radiatoren mit einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur von 80/60°C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 17 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das kleine Einfamilienhaus wieder.

Tabelle 17: Gebäudedaten des kleinen freistehendes Einfamilienhauses „EFH-klein“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	170
Anzahl Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A _N in m ²	149
beheiztes Volumen V _e in m ³	465
wärmeübertragende Hüllfläche A _{Hülle} in m ²	369

5.1.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Optionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab. Dabei wird auf ambitionierte und damit zukunftssichere Maßnahmen für die Gebäudehülle und die Anlagentechnik gesetzt, um weitere Modernisierungen bereits modernisierter Bauteile bis 2050 zu vermeiden.

Aus der Analyse nach DIN 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden drei mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, die das politische Ziel eines „2050-Ready“ Gebäudes abbilden. Für die Option A sind zusätzlich drei aufeinander abgestimmte Teilschritte an Modernisierungen aufgeführt. Mit dem dritten Teilmodernisierungsschritt ist dann die Vollmodernisierung der Bauteile erreicht. Grundsätzlich ist die Modernisierung der Gebäudehülle vor Modernisierung der Anlagentechnik zu empfehlen, um die neue Heizungsanlage optimal auf den Wärmebedarf des modernisierten Gebäudes abstimmen zu können. Trotzdem ist diese Reihenfolge nicht immer einhaltbar und wird deshalb im Rahmen dieser Untersuchung exemplarisch dargestellt. Generell ist eine Modernisierung in einem Zuge die bevorzugte und wirtschaftlichste Vorgehensweise, denn so können Synergien durch Kombination von Maßnahmen optimal genutzt werden.

Tabelle 18: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

			Option A			Option B	Option C
			1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger	Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	WP	
Trinkwassererwärmung	indirekt	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE		
Belüftung	Fenster				zentrale LA mit WRG		
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	1,4	0,20	0,20	0,20	0,20	
	Sockelbereich	1,4	0,20	0,20	0,20	0,20	
	Fenster	1,9	0,95	0,95	0,95	0,95	
	Geneigtes Dach	0,8		0,14	0,14	0,14	
	Oberste Geschossdecke	0,45		0,14	0,14	0,14	
	Kellerboden / Kellerdecke	1,2	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Wärmebrücken	0,1			0,03	0,03	
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{p,Ref}$	396	263	157	97	74	81
	% von $H'_{T,Ref}$	310	271	138	72	72	72

Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle benötigt. Ferner muss der ursprünglich vorhandenen Öl-Niedertemperaturkessel durch einen modernen Gas-Brennwertkessel mit solar unterstützter Trinkwarmwassererwärmung oder eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden. Die Modernisierungsoption A und B unterscheiden sich nur durch den zusätzlichen Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80%.

Für die Teil- und Komplettmodernisierung der Gebäudehülle sind folgende Maßnahmen vorgesehen: Bei den Außenwänden ist aufgrund der zweischaligen Bauweise eine Kerndämmung (Einblasdämmung) in Kombination mit einem Wärmedämmverbundsystem notwendig. Zur Erreichung des Effizienzhausstandards muss mindestens eine kombinierte Dicke der Dämmschichten von 140 mm verbaut werden. Die Bestandsfenster werden durch Fenster mit einer 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung ersetzt. Nach dem Austausch der Fenster ist eine Luftdichtheitsprüfung vorzusehen. Der für die Gebäudehülle relevante Bereich des geneigten Zwischensparrendaches muss abgedeckt und anschließend mit einer Zwischensparren- und Aufsparrendämmung mit einer kombinierten Stärke von 240 mm versehen werden. Bei den Arbeiten am Dach ist auf einen luftdichten und wärmetechnisch optimalen Übergang zur obersten Geschossdecke zur Vermeidung von Wärmebrücken zu achten. Die oberste Geschossdecke muss mit einer 200 mm dicken Dämmschicht und die Kellerdecke mit einer 100 mm dicken Dämmschicht versehen werden. Die angegebenen Dämmschichtdicken beziehen sich auf eine Wärmeleitgruppe von 035. Nach einer Komplettmodernisierung der Gebäudehülle wird der Wärmebrückennachweis der Kategorie B zugeordnet.

Abbildung 10 zeigt die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung nach Effizienzstandard. Die größten Transmissionsverluste sind vor der Modernisierung durch die Außenwände, den oberen bzw. unteren Gebäudeabschluss zu beobachten. Durch das Anbringen entsprechender Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste lassen sich diese, je nach Ausgangszustand des Bauteils, zum Teil erheblich reduzieren. Die hier zielkonform durchgeführten Maßnahmen erfüllen die Anforderungen an die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach dem Effizienzstandard (siehe Tabelle 5). Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient H'_T von 0,259 $W/(m^2 \cdot K)$ erreicht werden. Dies entspricht 72% des Referenzgebäudewertes und würde fast nach heutigem Stand dem KfW-Effizienzhaus 55 entsprechen (Tabelle 18).

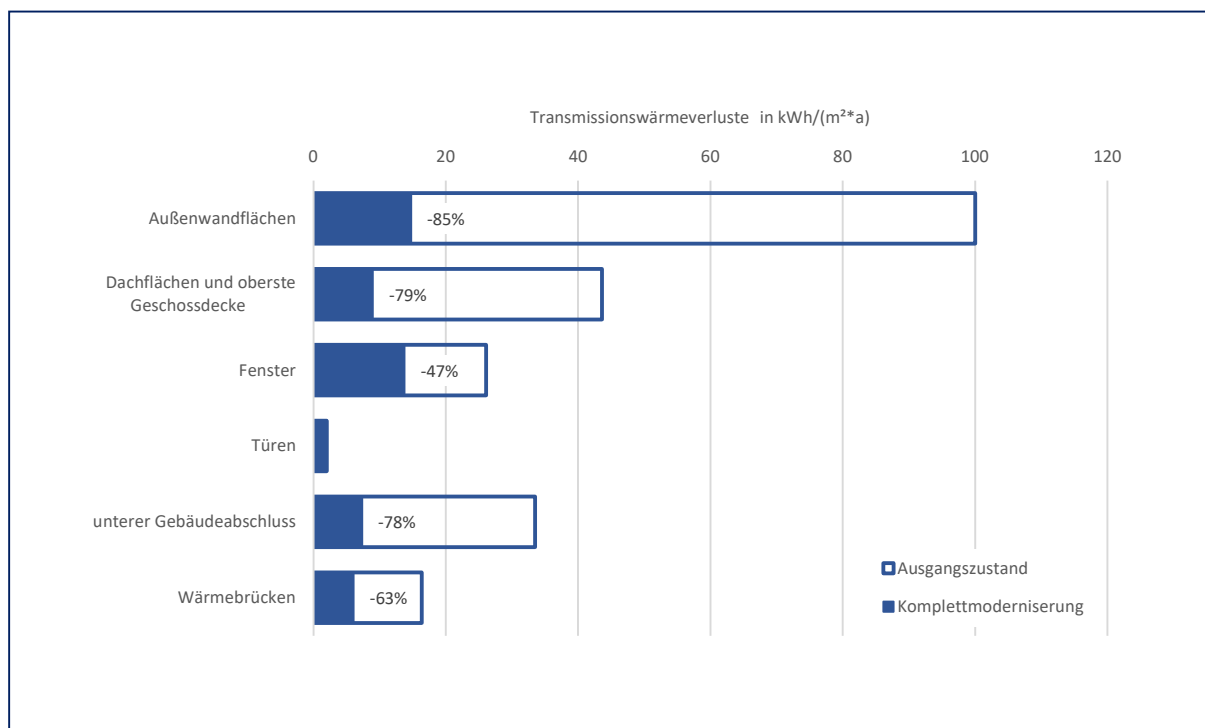


Abbildung 10: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung der Gebäudehülle entsprechend den Anforderungen des Effizienzstandards.

5.1.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 11 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen EFH. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (neue Heizung bzw. Dämmung der Außenwände und neue Fenster) noch nicht 2050 zielkonform ist, aber alle drei Optionen der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen. Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 75 und 87% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, zwischen ca. 75 und 40 kWh/(m²·a).

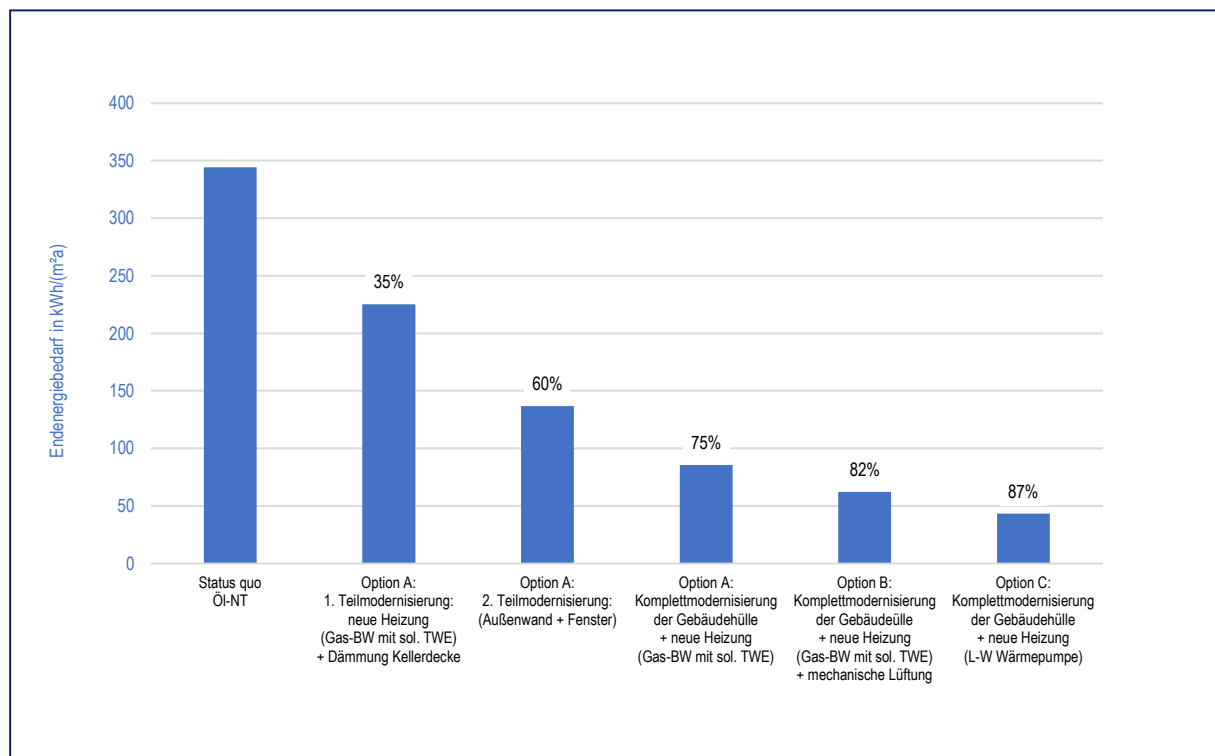


Abbildung 11: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen EFH

Primärenergiebedarf

In Abbildung 12 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf, abgebildet. Auffällig ist der Unterschied bei der Option mit Luft-Wasser-Wärmepumpe. Hier liegt der nicht-erneuerbare spezifische Primärenergiebedarf im Jahr 2030 bei 43 kWh/(m²·a), der gesamte beträgt 73 kWh/(m²·a). Im Vergleich zum unsanierten Gebäude entspricht das einer Reduktion von über 80%. Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 95,5 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option 3.

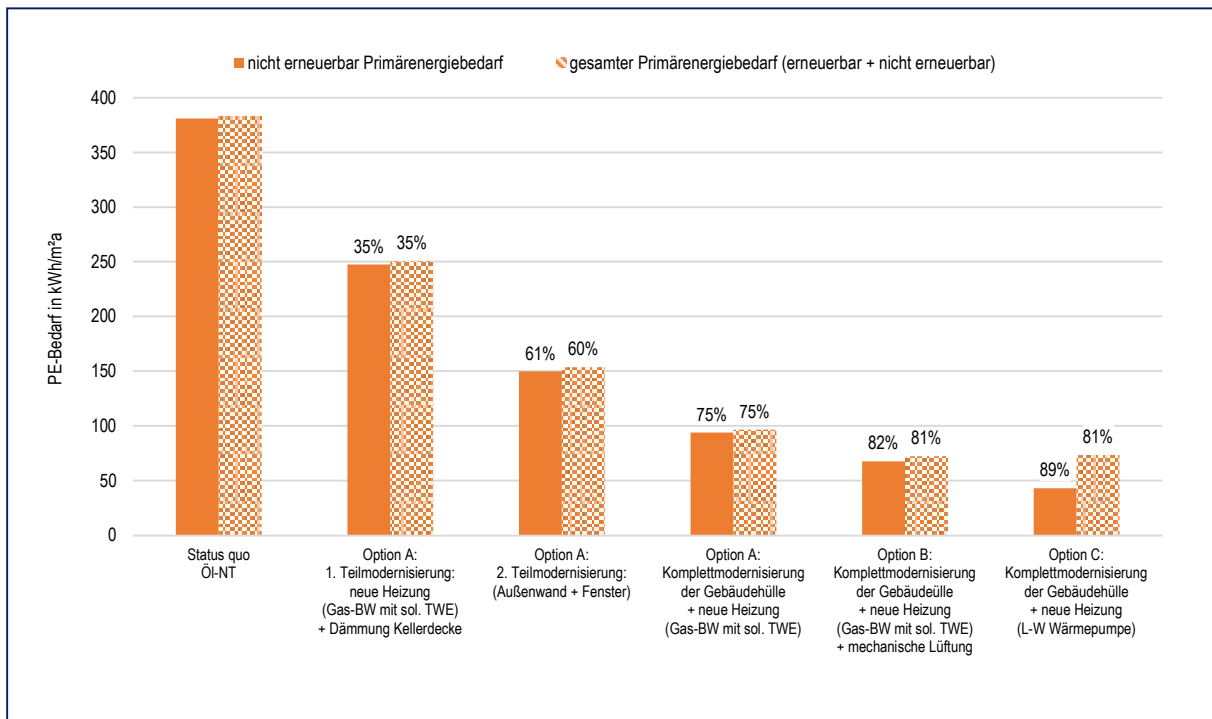


Abbildung 12: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des kleinen EFH

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 13 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind im Falle der Komplettmodernisierung schon 2020 fast 80% und mehr erreichbar. Gerade bei der Option mit der strombasierten Wärmepumpe ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich. Diese Entwicklung ist auch in Option B zu sehen, bedingt durch den Strom für die mechanische Lüftungsanlage.

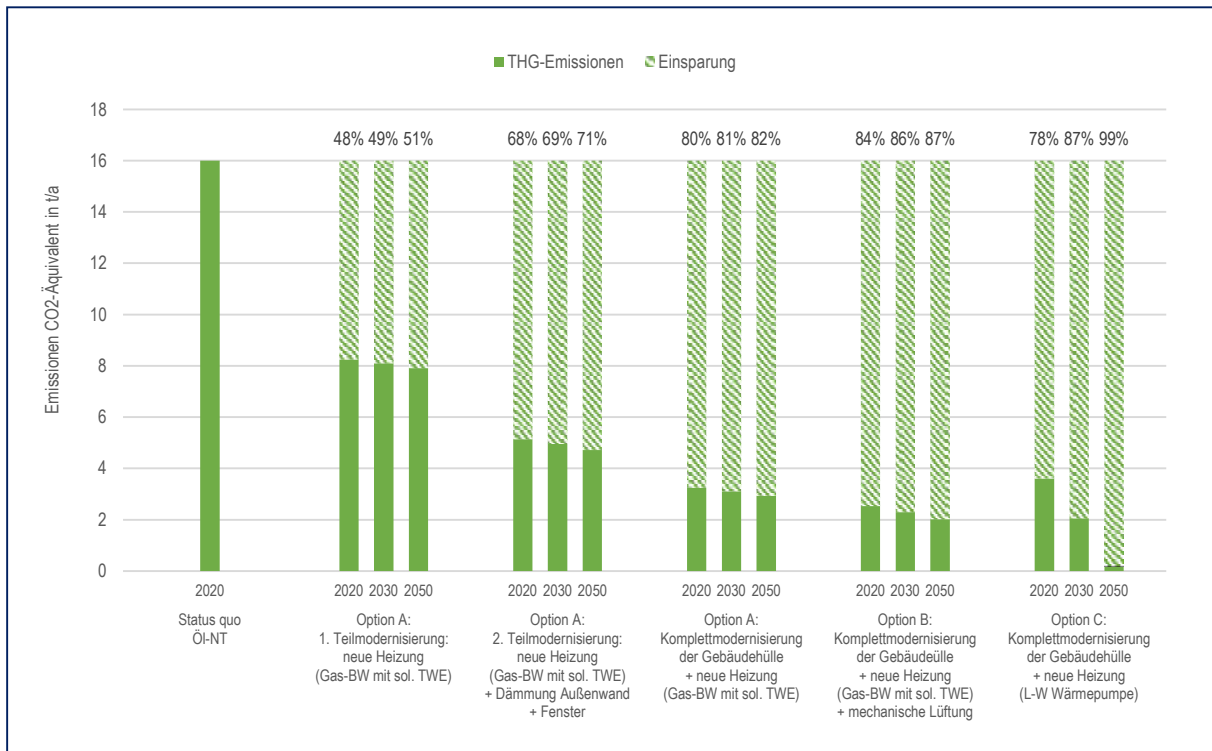


Abbildung 13: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen EFH

5.1.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 19 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 480 (Gas-Brennwert) und 550 (Luft-Wasser-Wärmepumpe) €/m². Für die zusätzliche mechanische Lüftungsanlage sind mit weiteren 20 €/m² zu rechnen. In allen drei Optionen beträgt der energetisch bedingte Mehrkostenanteil über 50%.

Tabelle 19: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A			Option B	Option C
			1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	19.010	19.010	19.010	28.010	21.260
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	6.220	28.940	34.310	34.310	34.310
	Fenster	€	-	16.830	16.830	16.830	16.830
	Gesamt	€	25.230	64.780	70.150	79.150	72.400
		€/m ²	170	440	470	530	490
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	5.410	5.410	6.820	15.820	9.070
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	6.220	14.130	27.810	27.810	27.810
	Fenster	€	-	3.580	3.580	3.580	3.580
	Gesamt	€	11.630	23.120	38.210	47.210	40.460
		€/m ²	78	155	257	317	272
Förderung	Gesamt	€	5.050	12.960	14.030	15.830	14.480
		€/m ²	30	90	90	110	100
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	20.180	51.820	56.120	63.320	57.920
		€/m ²	140	350	380	420	390

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 20 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei den Optionen mit Gas-Brennwert-Technologie liegen diese bei 1120 bis 1130 €/a. Die mechanische Lüftungsanlage erhöht

diese um weitere 200 € jährlich. Aufgrund des deutlich geringeren Wartungsaufwands einer Wärmepumpe reduzieren sich die jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten auf insgesamt ca. 920 €.

Tabelle 20: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Option A			Option B	Option C
			1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	1.000	1.120	1.130	1.130	1.570	920
	€/m ²	7	8	8	8	11	6

Energiekosten

In der Abbildung 14 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist mehr als eine Verdopplung der Energiekosten für die mit einer CO₂-Steuer behafteten Energieträger. Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 20 €/m² auf 43 €/m² erhöhen. Im Falle der beiden Komplettmodernisierungen mit Gas-Brennwert-Technologie reduzieren sich, aufgrund der stark gestiegenen Reduktion des Endenergiebedarfs, die spezifischen Energiekosten für 2020 auf 5 bis 6 €/m²; diese steigen im Jahr 2030 dann aber nur auf 11 bzw. 9 €/m² an. Auffällig ist auch die Entwicklung bei der Option C (Wärmepumpe). Hier können die Energiekosten auf 13 €/m² gesenkt werden. Diese bleiben aber, aufgrund der nahezu konstanten Preisentwicklung beim Energieträger Strom, auf diesen Niveau.

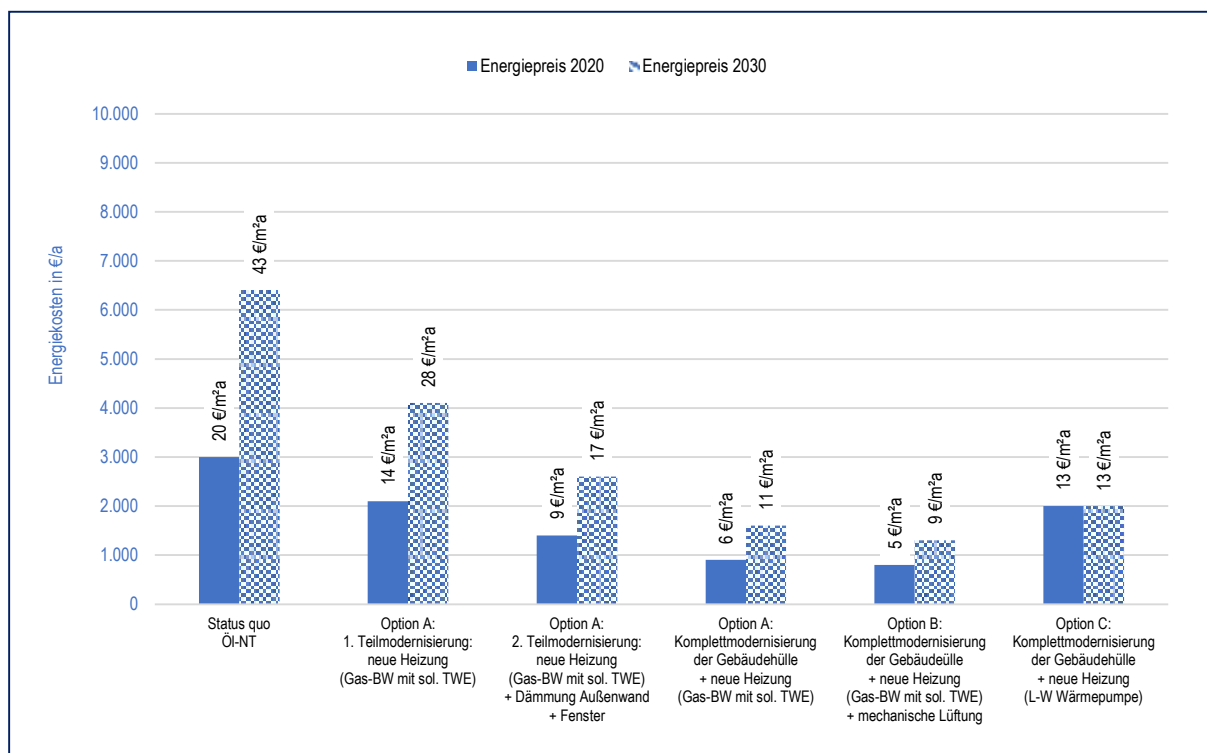


Abbildung 14: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 15 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Bei den drei 2050-zielkonformen Komplettmodernisierungsoptionen liegen diese 2030 zwischen 5.300 und 5.900 € (36 bis 40 €/m²) und damit deutlich unter denen des Status quo von ca. 7.500 € (50 €/m²).

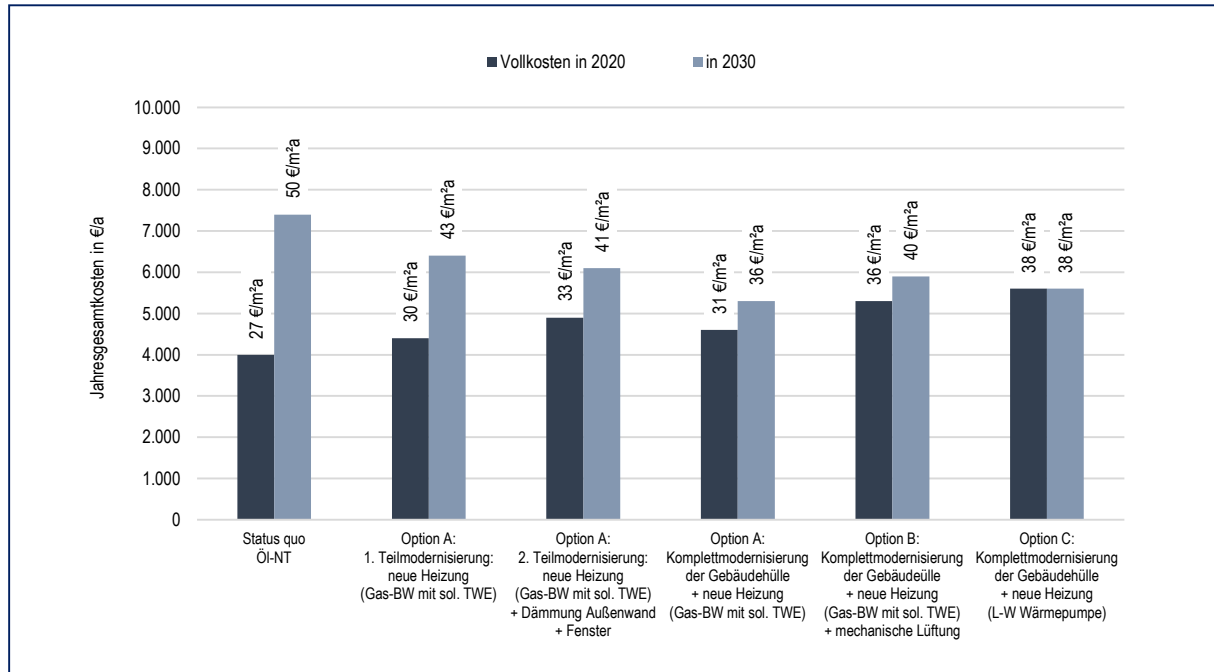


Abbildung 15: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Nachfolgend sind in Abbildung 16 die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt. Abbildung 16 ist nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A und B von 1.100 €/a stark auf 3.100 €/a an. Für die Option C (Vollmodernisierung mit Wärmepumpe) liegen diese mit 2.560 €/a etwa auf dem Niveau der Vollmodernisierung mit Gas-Brennwert-Gerät von 2.610 €/a (Option A Variante 3). Die betriebsbedingten Kosten sind für die drei Varianten der Option A mit Gas-Brennwert-Technik etwa auf einem vergleichbaren Niveau (ca. 1.130 €/a). Für die Option B (1.570 €/a) liegen diese aufgrund der Wartung der Lüftungsanlage über den Kosten für A. Die niedrigsten betriebsbedingten Kosten von ca. 920 €/a hat die Option C mit der Wärmepumpe.

Insgesamt weist die Wärmepumpenvariante zusammen mit der Vollmodernisierungs-Option A die niedrigsten Jahresgesamtkosten von 5.300 bis 5.600 €/a auf. Die dritte Vollmodernisierungsvariante Option B liegt hinsichtlich der Jahresgesamtkosten mit ca. 5.900 €/a nur unwesentlich über den Option A-Variante 3 und Option C. Die drei Vollmodernisierungen sind damit hinsichtlich der Jahresgesamtkosten am günstigsten. Der Grund für die Reduzierung der Jahresgesamtkosten trotz hoher Investitionen liegt an den deutlich niedrigeren Energiekosten für die Modernisierungsvarianten. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 6.400 €/a betragen. Dieses lassen sich durch eine energetische Modernisierung bis auf 1.300 €/a für die Option B senken. Die Energiekosten

sinken damit schneller als die Kapitalkosten für die verschiedenen Optionen ansteigen. Der Energiepreis hat damit einen sehr großen Einfluss auf die Ergebnisse. Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten haben für alle drei Optionen einen Anteil zwischen 15 und 20% an den gesamten Jahreskosten.

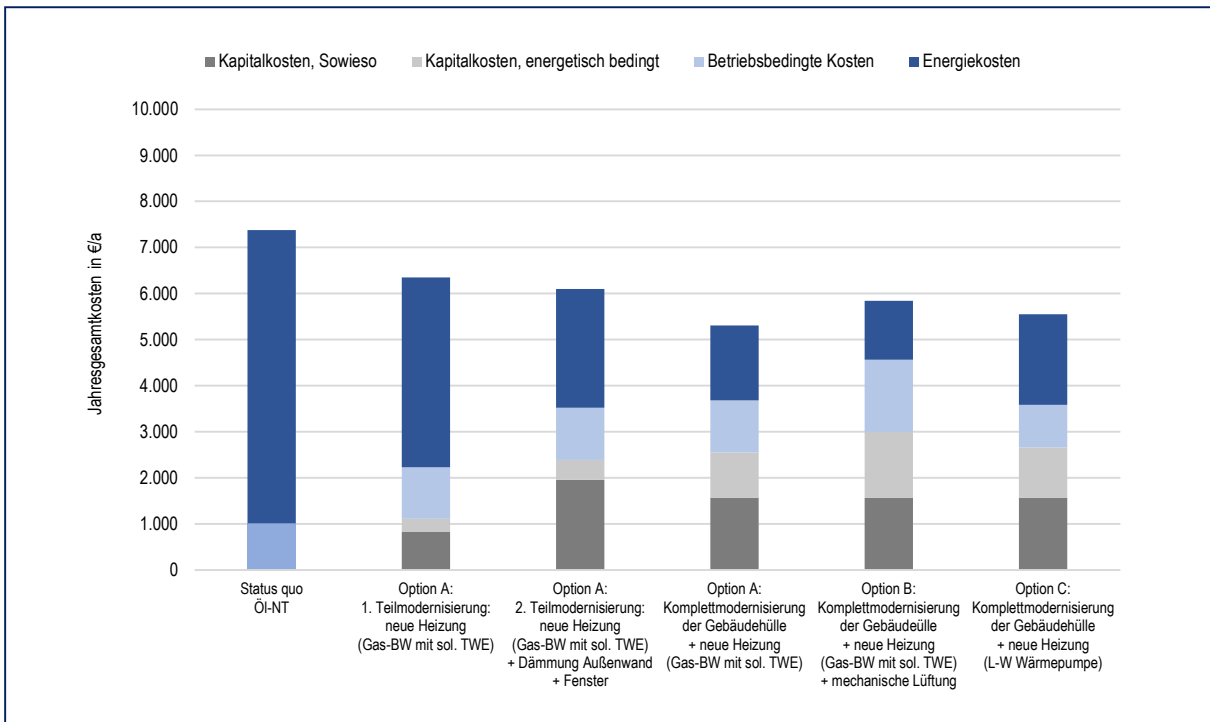


Abbildung 16: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.1.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 17 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Durch den Vergleich mit dem Niedertemperatur-Ölkessel, der bedingt durch den Brennstoff höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärme-gestehungskosten besitzt, errechnen sich die negativen Vermeidungskosten.

Die niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten der 3 Komplettmodernisierungsoptionen ergeben sich bei Option A. Hier sind bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 2.065 € 13 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparbar. Das ist gleichbedeutend mit -162 €/t CO₂. Zwar haben die Optionen B und C noch höhere Einsparungen von CO₂, aber auch geringere Rückgänge der Jahresgesamtkosten.

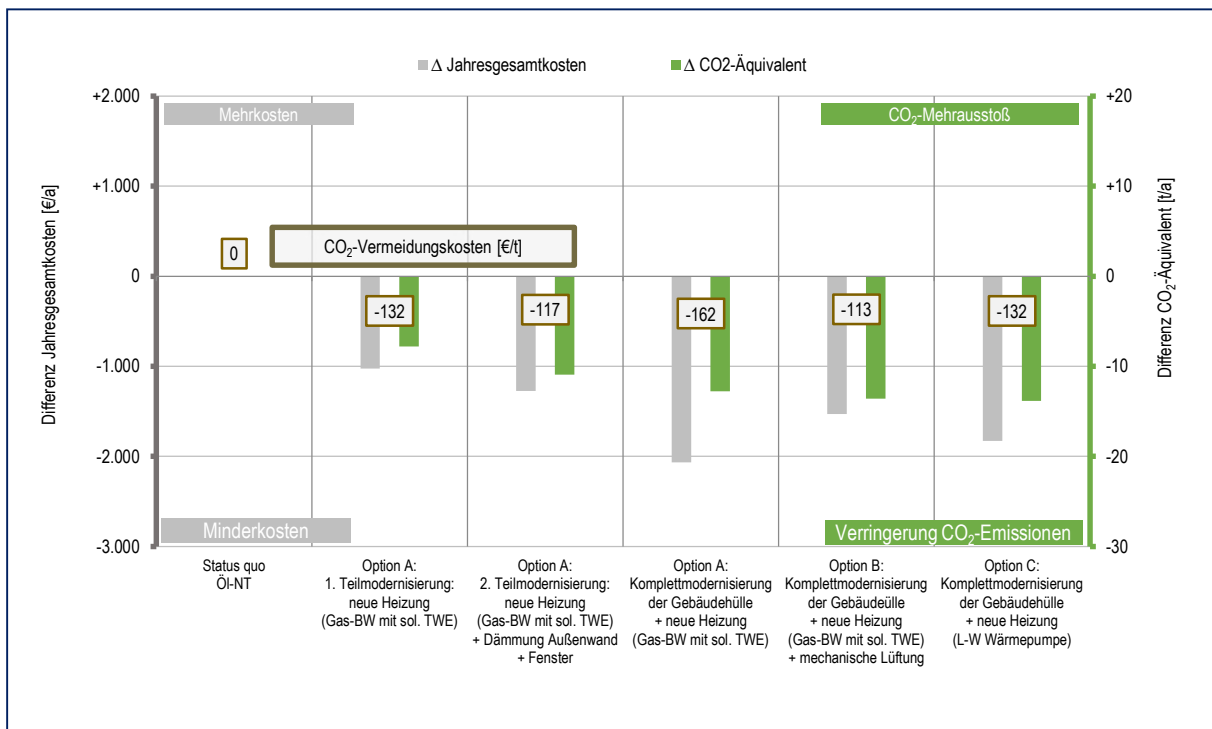


Abbildung 17: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.1.5 Diskussion der Ergebnisse

Für das hier beschriebene kleine Einfamilienhaus aus den 1960er Jahren sind drei zukunftsfähige und somit „2050-ready“ Vollmodernisierungsmaßnahmen betrachtet worden. Die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (neue Heizung bzw. Dämmung der Außenwände und neue Fenster) sind noch nicht 2050 zielkonform. Der ursprünglich vorhandenen Öl-Niedertemperaturkessel muss durch einen modernen Gas-Brennwertkessel mit solar unterstützter Trinkwarmwassererwärmung oder eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden. In allen Fällen kommt es zu einer deutlichen Senkung des Endenergiebedarfs um über 75% sowie der sich daraus ableitenden CO₂ Emissionen. In allen drei Komplettmodernisierungsoptionen werden im Jahr 2030 zwischen 13 und 14 Tonnen CO₂ eingespart. Das sind fast 90% weniger als aktuell. Betrachtet man die Veränderung der Jahresgesamtkosten, also die Summe aller kapitalgebundenen, der betriebsbedingten und der Energiekosten kann eine Reduzierung dieser Kosten von 10 bis 14 €/m² in 2030 erzielt werden. Das entspricht einer Senkung der Jahresgesamtkosten von 50 €/m² auf, im Durchschnitt 38 €/m². Der alleinige Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten, also niedrigeren Energiekosten, veränderte Wartungs- und Instandsetzungskosten und zusätzliche Kapitalkosten für die rein energetischen Maßnahmen führt zu einer Reduzierung zwischen 21 und 24 €/m². Durch den Vergleich mit dem Niedertemperatur-Ölkessel, der bedingt durch den Brennstoff höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärmegestehungskosten besitzt, errechnen sich negativen Vermeidungskosten. Es ergeben sich Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen und unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 21: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A			Option B	Option C
		1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Endenergieeinsparung	%	35	60	75	82	87
CO ₂ -Minderung	%	49	69	81	86	87
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/m ² ·a	-7	-9	-14	-10	-12
Einfluss der Modernisierung	€/m ² ·a	-13	-22	-24	-21	-23
CO₂-Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-130	-120	-160	-110	-130
Einfluss der Modernisierung	€/t	-230	-290	-280	-220	-240

5.2 Mittleres Einfamilienhaus

Als mittelgroßes freistehendes Einfamilienhaus „EFH-mittel“ wird ein Gebäude aus der FIW Datenbank verwendet. Das Gebäude aus den 1980er Jahren ist energetisch noch nicht modernisiert worden. Es erfolgte innerhalb der typischen Sanierungszyklen lediglich eine Erneuerung der Heizungsanlage hin zu einem moderneren Gas-Brennwertkessel. Alle Außenbauteile sind noch im Originalzustand. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellem Ausgangszustand sind noch ungeregelten Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 70/55°C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 22 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das mittlere Einfamilienhaus wieder.

Tabelle 22: Gebäudedaten des mittleren freistehenden Einfamilienhauses „EFH-mittel“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	200
Anzahl Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A_N in m ²	178
beheiztes Volumen V_e in m ³	423
wärmeübertragende Hüllfläche $A_{Hülle}$ in m ²	462

5.2.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden neben einer ersten Teilmodernisierung drei weitere mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, die das politische Ziel eines „2050-Ready“ Gebäudes abbilden. Neben der Betrachtung zweier unabhängig voneinander stattfindenden Teilmodernisierungen werden drei Vollmodernisierungsoptionen studiert. Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle nach den Effizienzstandard Anforderungen benötigt. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung ein Austausch stattfinden. Dabei kann die Bestandsanlage durch einen modernen Gas-Brennwertkessel, einen Holzpelletkessel, jeweils mit solar unterstützter Trinkwarmwassererwärmung, oder eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden. Bei den Modernisierungsoptionen A Variante 2 und C ist zusätzlich noch der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% vorgesehen.

Tabelle 23: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Option A Komplettmodernisierung	Option B Komplettmodernisierung	Option C Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		Gas-BW		Gas-BW	Gas-BW	WP	Pellet
Trinkwassererwärmung		indirekt		sol. TWE	sol. TWE		sol. TWE
Belüftung		Fenster			zentrale LA mit WRG		zentrale LA mit WRG
U-Wert in W/m^2K	Außenwand	0,8	0,20		0,20	0,20	0,20
	Sockelbereich	0,8	0,20		0,20	0,20	0,20
	Fenster / Dachfenster	2,7 / 2,7	0,95 / 2,7		0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Geneigtes Dach	0,8			0,14	0,14	0,14
	Oberste Geschossdecke	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke	0,7	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrücken	0,1			0,03	0,03	0,03
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{P,Ref}$	255	173	200	75	76	27
	% von $H'_{T,Ref}$	216	125	203	74	74	74

Für die Teil- und Komplettmodernisierung der Gebäudehülle sind folgende Maßnahmen vorgesehen: Die Außenwände werden mit einem Wärmedämmverbundsystem mit einer Dämmschichtdicke von 140 mm verkleidet und die Wand- und Dachfenster des Bestandes mit Fenstern mit einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Das geneigte Zwischensparrendach wird abgedeckt und anschließend mit einer insgesamt 240 mm dicken Zwischen- und Aufsparrendämmung versehen. Unterhalb der Kellerdecke wird eine 100 mm dicke Dämmstoffschicht angebracht. Nur im Falle einer Komplettmodernisierung der Gebäudehülle werden die Wärmebrücken optimiert und die Wärmebrückeneinwirkung ΔU_{WB} der Kategorie B angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung der Hülle zeigt Abbildung 18. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände, den oberen Gebäudeabschluss und durch die Fenster. Durch das Anbringen entsprechender Verbesserungsmaßnahmen zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste lassen sich diese, je nach Ausgangszustand des Bauteils, zum Teil erheblich reduzieren. Die U-Werte aller Maßnahmen orientieren sich an den Wärmedurchgangskoeffizienten nach dem Effizienzstandard (siehe Tabelle 5), berücksichtigen aber baupraktische Gegebenheiten. Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient H'_T von $0,30 W/(m^2 \cdot K)$ erreicht werden. Dies entspricht 74% des Referenzgebäudewertes.

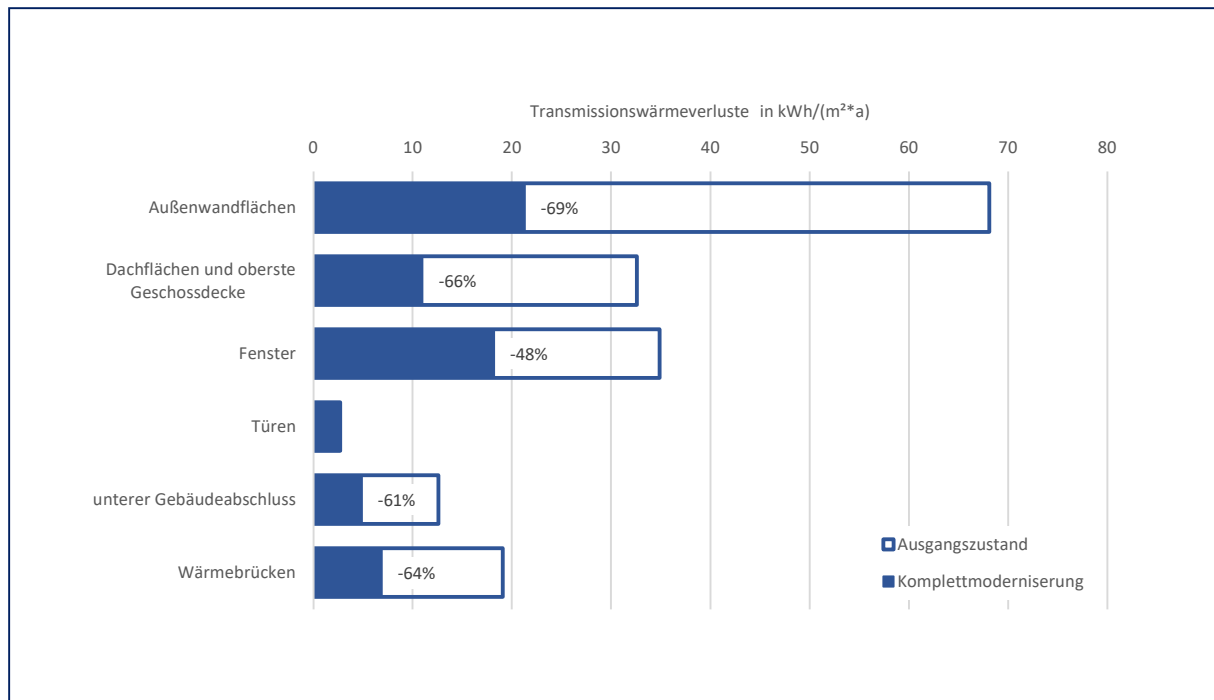


Abbildung 18: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung

5.2.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 19 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des mittleren EFH. Die Teilmodernisierungen (neue Heizung und Dämmung der Kellerdecke bzw. Dämmung der Außenwände und neue Fenster) sind noch nicht 2050 zielkonform, aber alle drei Optionen der Komplettmodernisierung führen zu einem „2050-ready“ Gebäude, wobei die Option C mit dem Pelletkessel hinsichtlich der Endenergie nicht ganz die für das Mittel des Bestandes angepeilte Einsparung von 62% erreicht. Je nach Vollmodernisierungsoption kann der Endenergiebedarf zwischen 59 und 81% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, zwischen ca. 47 und 102 kWh/(m²·a).

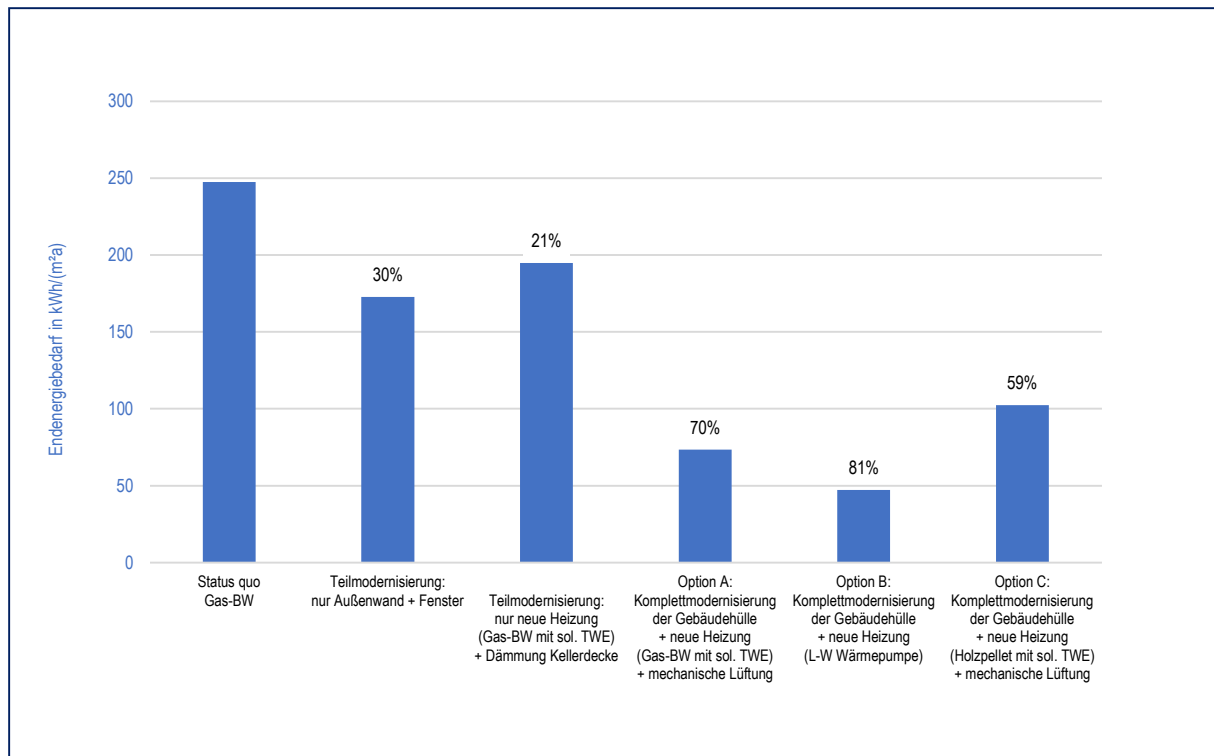


Abbildung 19: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 20 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet. Auffällig sind der erhebliche Unterschied bei den Optionen mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und Holzpelletkessel. Bei der Wärmepumpen-Option B liegt der nichterneuerbare spezifische Primärenergiebedarf im Jahr 2030 bei ca. 47 kWh/(m²·a), der gesamte beträgt ca. 80 kWh/(m²·a). Beim Holzpelletkessel sind die Unterschiede mit ca. 27 kWh/(m²·a) (spezifisch, nicht erneuerbar) gegenüber 127 kWh/(m²·a) (spezifisch, gesamt) noch deutlich größer.

Im Vergleich zum Ausgangszustand entspricht das für die drei Vollmodernisierungsvarianten einer Reduktion zwischen 71 und 90% für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Für den gesamten Primärenergiebedarf ist eine Reduzierung gegenüber dem Ausgangszustand zwischen 54 und 71% realisierbar.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 108,65 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option B bis auf 47 kWh/(m²·a). Dieser hohe Einfluss des Stroms macht sich auch bei der Vollmodernisierung in der Option A (BW-Gas mit mechanischer Lüftung), bedingt durch den relativ hohen Hilfsenergiebedarf für den Betrieb der Lüftungsanlage, bemerkbar.

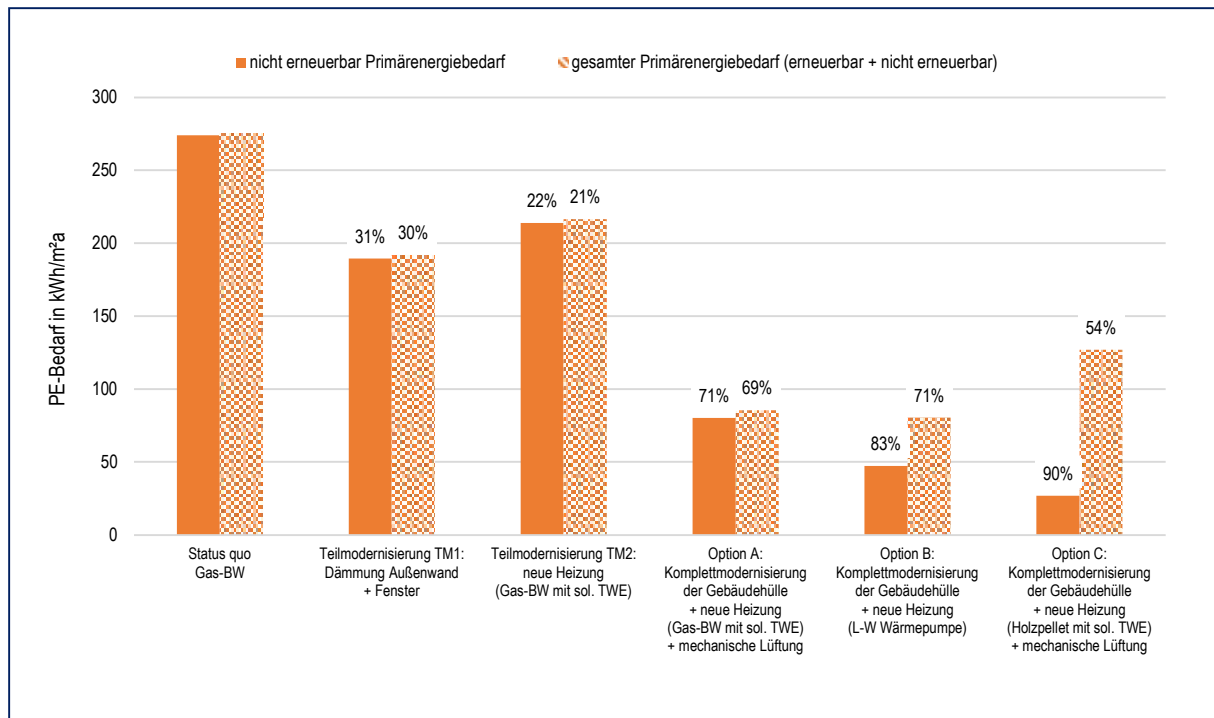


Abbildung 20: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 21 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Die Dekarbonisierung der Energieerzeugung macht sich auch hier deutlich bemerkbar. Gerade bei der Option B mit der strombasierten Wärmepumpe ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich. Option A und Option C zeigen diese Entwicklung zum klimaneutralen Strom auch, bedingt durch den Hilfsstrom für die Lüftungsanlage.

Im Falle einer Komplettmodernisierung sind für das Jahr 2030 Einsparungen von fast 70% (Option A) und deutlich darüber (Optionen B und C) möglich. Für die beiden Teilmodernisierungen sind es immerhin noch zwischen 20 und 32% je nach Betrachtungsjahr gegenüber dem Status quo.

Die Betrachtung der Komplettmodernisierungen im Jahr 2050 zeigt Einsparungen von mindestens 73% für die Option A und vollständige Dekarbonisierung für die Optionen B und C. Wobei die Dekarbonisierung von Option B an der vollständigen Umstellung der Stromerzeugung auf erneuerbare Energien hängt.

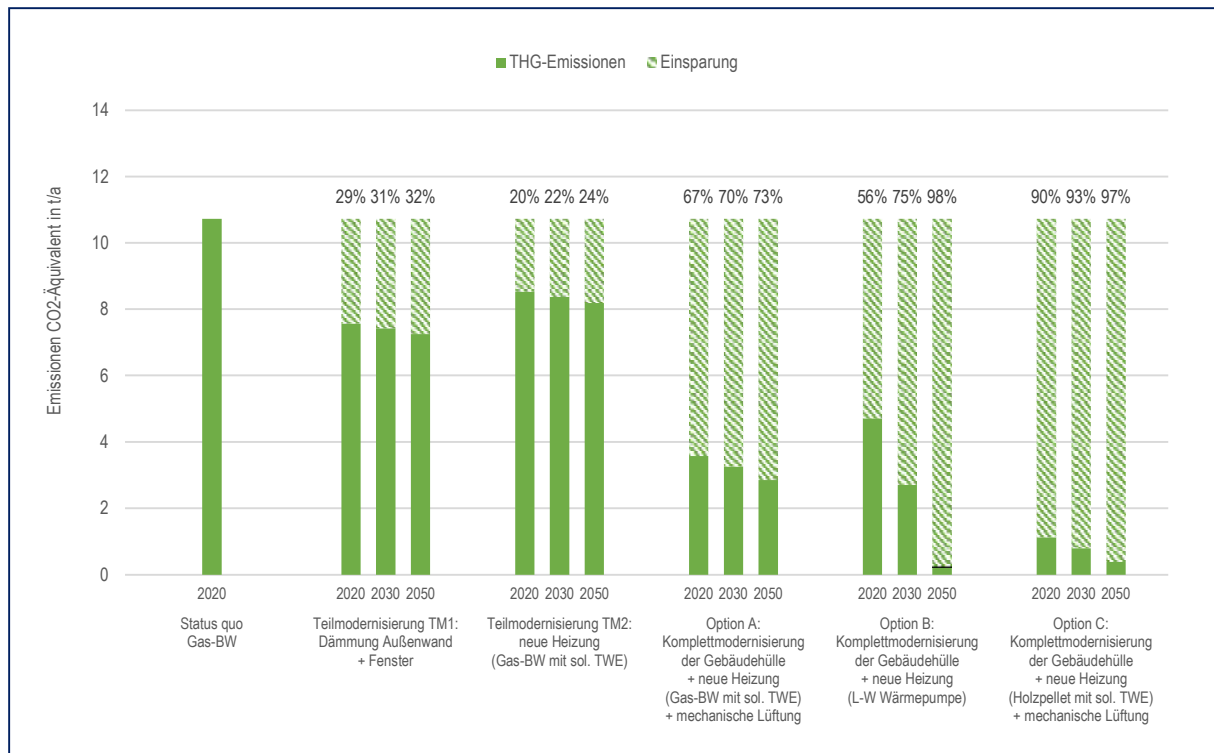


Abbildung 21: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.2.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und der Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 24 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 760 (Option B mit Wärmepumpe) und 810 (Holzpelletkessel) €/m². In allen drei Optionen beträgt der energetisch bedingte Mehrkostenanteil zwischen 40 und 45%.

Tabelle 24: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Option A Komplettmodernisierung	Option B Komplettmodernisierung	Option C Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	0	15.810	24.810	21.820	32.310
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	39.260	5.210	85.480	85.480	84.480
	Fenster	€	25.530	0	27.520	27.520	27.520
	Gesamt	€	64.790	21.020	137.810	134.820	144.310
		€/m ²	360	120	770	760	810
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	0	7.300	16.300	12.710	23.800
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	13.170	5.210	34.230	34.230	34.230
	Fenster	€	5.430	0	5.870	5.870	5.870
	Gesamt	€	18.600	12.510	56.400	52.810	63.900
		€/m ²	104	70	317	297	359
Förderung	Gesamt	€	12.960	4.200	27.560	26.960	28.860
		€/m ²	70	20	150	150	160
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	51.830	16.820	110.250	107.860	115.450
		€/m ²	290	100	620	610	650

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 25 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei den Optionen mit Gas-Brennwert-Technologie (Teilsanierung 2 und Option A) liegen diese zwischen ca. 1040 und ca. 1490 €/a. Die mechanische Lüftungsanlage ist hierbei für einen Teil des deutlichen Unterschieds verantwortlich. Aufgrund des deutlich geringeren Wartungsaufwands einer Wärmepumpe reduzieren sich die jährlichen Betriebs- und Instandhaltungskosten für Option B im Vergleich zu Option A auf insgesamt ca. 1010 € und liegt damit etwa auf dem Niveau einer Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik. Die insgesamt höchsten Kosten mit 1760 €/a hat die Option C mit Pelletkessel, solarer Trinkwasserunterstützung und mechanischer Lüftungsanlage.

Tabelle 25: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	1. Teilmodernisierung	2. Teilmodernisierung	Option A Komplettmodernisierung	Option B Komplettmodernisierung	Option C 1. Teilmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	1.010	970	1.040	1.490	1.010	1.760
	€/m ²	6	5	6	8	6	10

Energiekosten

In der Abbildung 22 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für den mit einer CO₂-Steuer behafteten Energieträger Gas. Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 15 €/m² auf 30 €/m² erhöhen. Im Falle der Komplettmodernisierung mit Gas-Brennwert-Technologie reduzieren sich, aufgrund der stark gestiegenen Reduktion des Endenergiebedarfs, die spezifischen Energiekosten auf 6 bis 10 €/m². Alleinig bei der Option B (Wärmepumpe) verbleiben die Energiekosten auch nach einer Vollmodernisierung auf 15 €/m². Diese bleiben aber, aufgrund der nahezu konstanten Preisentwicklung beim Energieträger Strom, auch 2030 auf diesem Niveau. Mit die geringsten Energiekosten hat die Vollmodernisierungsvariante Option C mit Holzpelletkessel (6 €/m²·a in 2020 bzw. 8 €/m²·a in 2030).

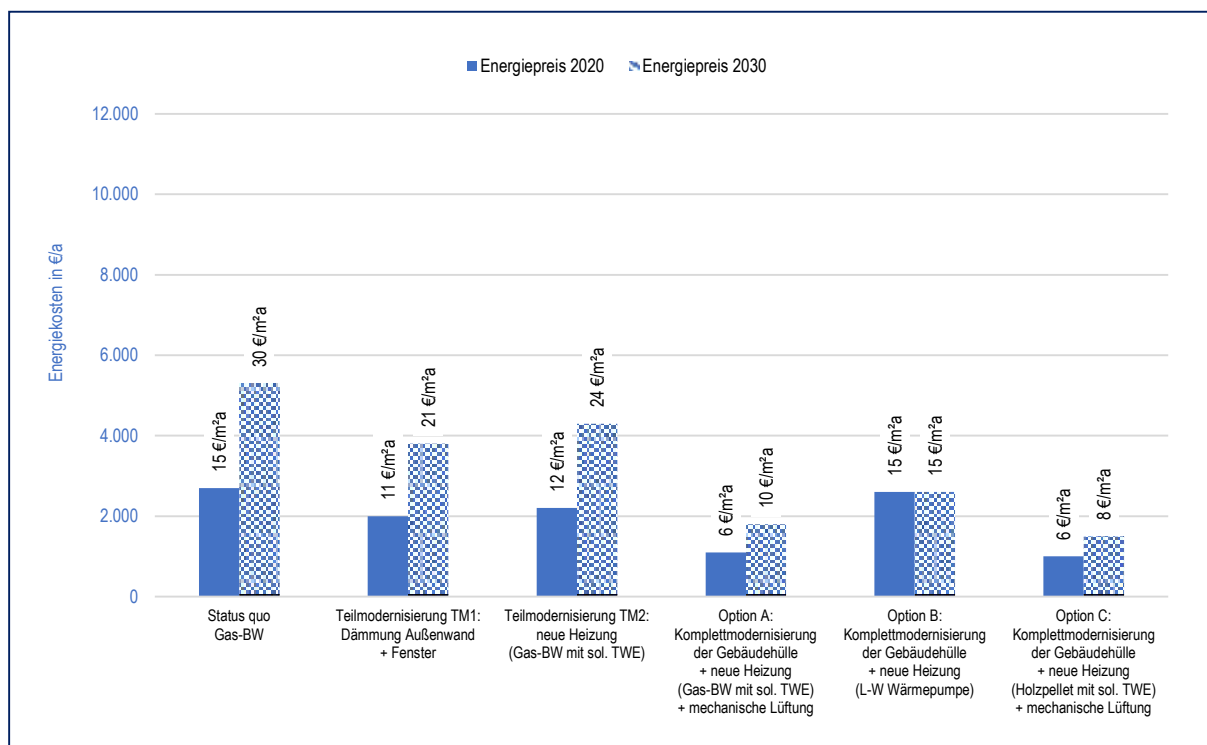


Abbildung 22: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 23 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Bei den drei 2050-zielkonformen Komplettmodernisierungsoptionen liegen diese 2020 zwischen 7.300 € und 8.200 € jährlich - und damit deutlich über denen des Status quo (ca. 3.700 €). Durch die stärker steigenden Energiekosten verringert sich dieser Abstand zwischen dem Ausgangszustand (ca. 6.400 €) und den Vollmodernisierungen (zwischen 8.000 € und 8.300 €) bis 2030 etwas. Trotzdem sind die Gesamtkosten für alle sanierten Varianten (mit Ausnahme der Teilmodernisierung 2 – einer moderaten Modernisierung mit Austausch des Brennwertkessels und Dämmung der Kellerdecke) immer höher als die Kosten für den Ausgangszustand.

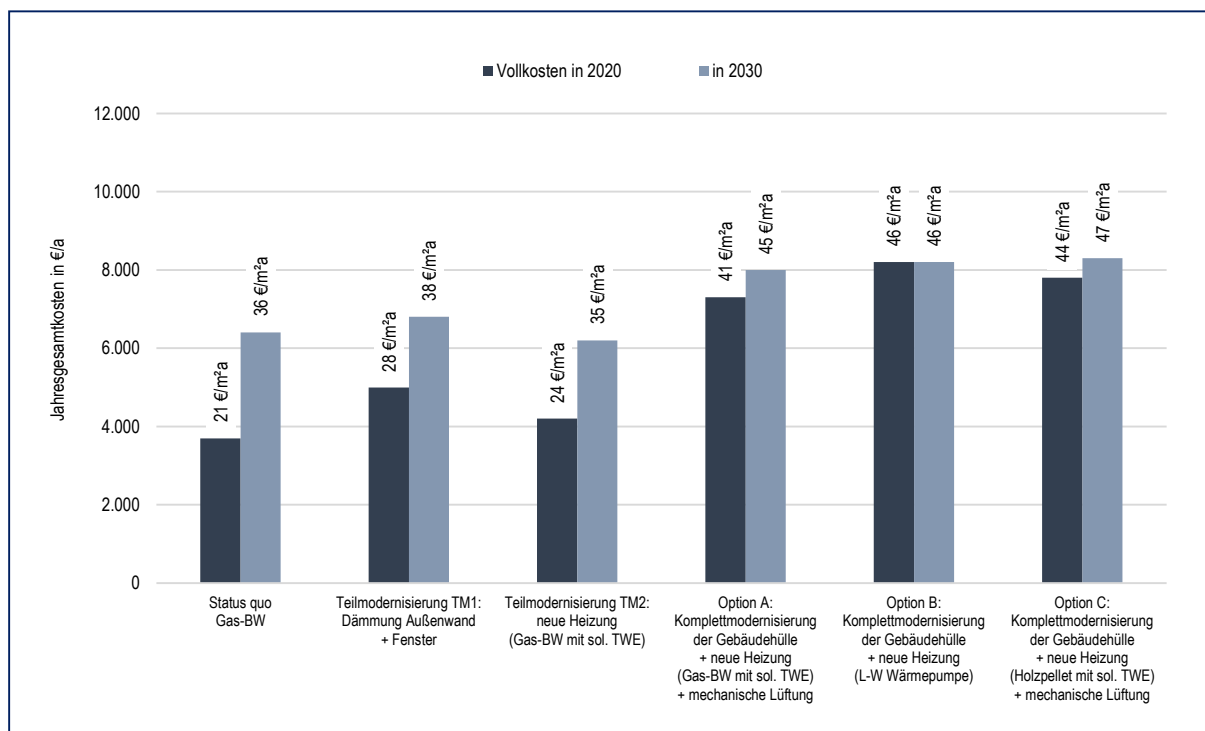


Abbildung 23: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 24 zeigt die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030. Dabei ist Abbildung 24 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten der drei Vollmodernisierungsvarianten haben einen Anteil zwischen 15 und 20% an den gesamten Jahreskosten. Für die Teilmodernisierung ist der Anteil entsprechend geringer. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten von 930 €/a (Teilmodernisierung 2) stark auf 4.720 €/a Option A an. Für die Option C (Vollmodernisierung mit Holzpelletkessel) liegen diese mit 5.030 €/a nochmal deutlich über den anderen beiden Vollmodernisierungen.

Die betriebsbedingten Kosten sind für die zwei Varianten mit Gas-Brennwert-Technik sehr unterschiedlich (ca. 1040 bis 1.490 €/a). Der Grund dafür liegt in der deutlich aufwändigeren Ausführung der Option A mit mechanischer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die niedrigsten betriebsbedingten Kosten der Vollmodernisierungsvarianten von 1.010 €/a hat die Option B mit der

Wärmepumpe. Für die Option C (1.760 €/a) liegen diese aufgrund der Wartung der Lüftungsanlage sowie des Pelletkessels über den Kosten für A oder B.

Insgesamt weist die Minimal-Modernisierungsvariante TM 2 mit 6.200 €/a die niedrigsten Jahresgesamtkosten auf, wobei der Status quo mit 6.400 €/a nur etwas darüber liegt, gefolgt von der Teilmodernisierung 2 mit etwa 6.800 €/a. Am teuersten sind die drei Vollmodernisierungsvarianten mit Kosten bis zu 8.300 €/a für die Option C. Der Grund für die höheren Kosten der Vollmodernisierungsvarianten im Vergleich zum Status quo und den Teilmodernisierungen liegt in den hohen Investitionskosten im Vergleich zum Rückgang des Energiebedarfs. Trotz der hohen Energiekosten im Jahr 2030 dominieren noch die Kapitalkosten das Ergebnis für die Vollmodernisierungen.

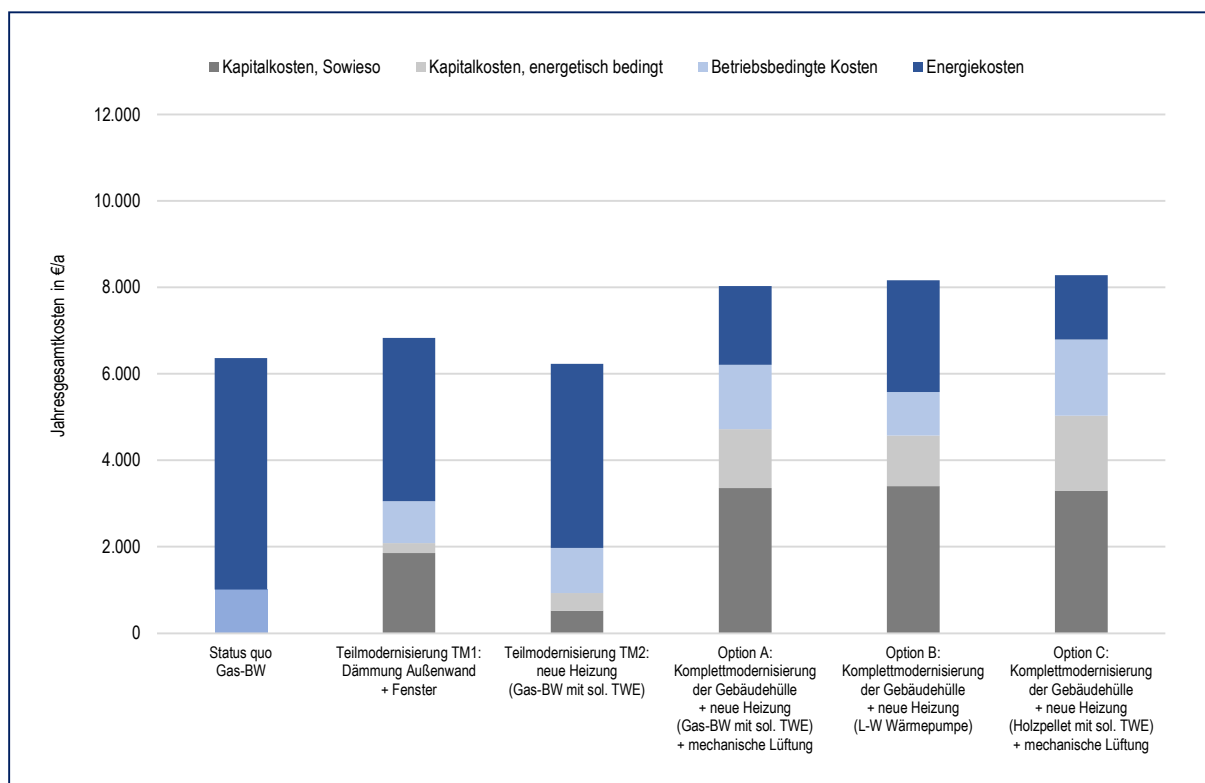


Abbildung 24: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.2.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 25 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Nur für die Teilmodernisierung mit Änderung bei der Anlagentechnik lassen sich negative Vermeidungskosten errechnen. Alle anderen Modernisierungsvarianten – insbesondere die Vollmodernisierungen – weisen höhere und positive CO₂ Vermeidungskosten auf, was bedeutet, dass die CO₂-Verringerung sich ohne weitere Förderung nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Es wird zwar deutlich weniger CO₂ ausgestoßen, die dafür erforderlichen Investitionen und Kapitalkosten sind aber vergleichsweise hoch. Zwar zeigt die Option C mit einer Verringerung von etwa 10 t CO₂ pro Jahr den höchsten Rückgang aller untersuchten Optionen, es werden dafür allerdings auch die höchsten Jahresgesamtkosten im Vergleich der Modernisierungsvarianten angerechnet.

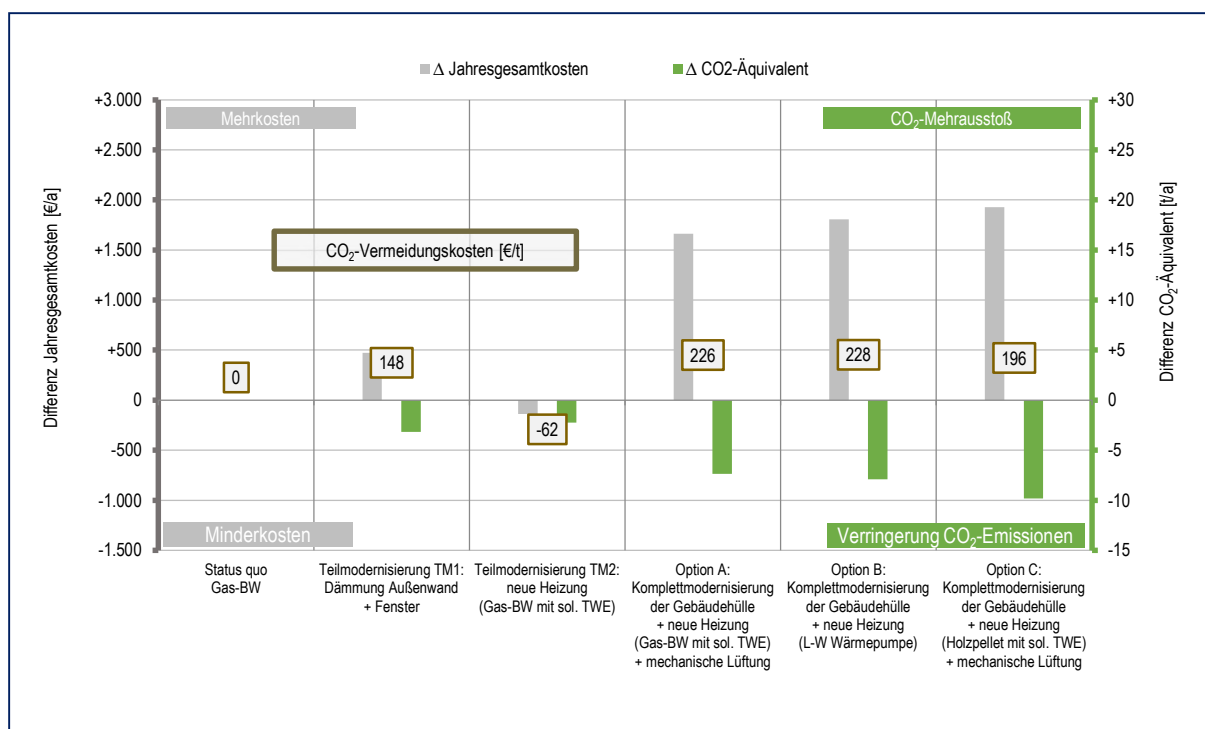


Abbildung 25: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030

5.2.5 Diskussion der Ergebnisse

Das energetisch noch nicht modernisierte Gebäude aus den 1980er Jahren kann bei Komplettmodernisierung zu einer erheblichen Reduzierung der THG-Emissionen im Jahr 2030 beitragen. Je nach Ausführung sind zwischen 7 und 10 Tonnen CO₂ einsparbar. Sowohl die Option mit Luft-Wasser-Wärmepumpe als auch die mit einer Holzpelletheizung sind 2050 nahezu emissionsfrei. Allerdings wird bei der Option mit Holzpelletheizung der Endenergiebedarf gegenüber dem aktuellen Zustand nur um 59% gesenkt. Obwohl im Jahr 2030 bei dieser Option die niedrigsten Energiekosten zu erwarten sind, ist aus Jahresgesamtkostensicht, diese gleichzeitig mit 47€/m² auch die „ungünstigere“. Es wird zwar deutlich weniger CO₂ ausgestoßen, die dafür erforderlichen Investitionen und Kapitalkosten sind aber vergleichsweise hoch.

Sowohl in der Option A (Gas-BW) als auch in der Option C (Holzpellet) sind mechanische Lüftungsanlagen vorgesehen. Diese sind in der Regel im Betrieb und Unterhalt kostenintensiver als die reine Fensterlüftung. Aber aufgrund der deutlichen Vorteile bei der Raumluftqualität und Minimierung von Schimmelpilzbildung sind diese Systeme zu empfehlen.

Nur für die Teilmodernisierung bei Änderung bei der Anlagentechnik lassen sich negative Vermeidungskosten errechnen. Alle anderen Modernisierungsvarianten weisen bei Vollkostenbetrachtung höhere und positive CO₂ Vermeidungskosten auf. Damit sind im Jahr 2030 die Jahresgesamtkosten in allen Modernisierungsoptionen immer höher als der Status quo. Die resultierenden CO₂ Vermeidungskosten bewegen sich im Bereich zwischen 190 (Option C) und 230 (Option A und B) € pro Quadratmeter, was bedeutet, dass die CO₂-Verringerung sich ohne weitere Förderung nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Betrachtet man alleinig den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich negative Werte im Bereich zwischen -200 und -280 €/m². Es kommt also zu Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall. Das

bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen und unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 26: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		1. Teil-modernisierung	2. Teil-modernisierung	Option A Komplett-modernisierung	Option B Komplett-modernisierung	Option C Komplett-modernisierung
Endenergieeinsparung	%	30	21	70	81	59
CO ₂ -Minderung	%	30	22	69	75	93
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/m ² ·a	3	-1	9	10	11
Einfluss der Modernisierung	€/m ² ·a	-8	-4	-9	-9	-8
CO₂-Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	140	-60	230	230	200
Einfluss der Modernisierung	€/t	-420	-420	-280	-230	-200

5.3 Doppelhaushälfte

Die betrachtete Doppelhaushälfte „DHH“ ist ein Gebäude aus dem ZUB-Mustergebäudekatalog. In Anlehnung an das kleine EFH wird auch bei diesem Gebäude davon ausgegangen, dass in den 1990er Jahren bereits einmal neue Fenster eingebaut wurden. Auch die oberste Geschoßdecke und das Steildach sind bereits auf U-Werte gedämmt, wie sie in den späten 1980er und frühen 1990er Jahren üblich waren. Alle Außenbauteile sind noch im Originalzustand, lediglich die oberste Geschoßdecke hat mit einem U-Wert von $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bereits einen für damalige Verhältnisse vernünftigen U-Wert. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellem Ausgangszustand sind noch ungeregelten Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von $80/60^\circ\text{C}$. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 27 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für die Doppelhaushälfte wieder.

Tabelle 27: Gebäudedaten der einseitig angebundenen Doppelhaushälfte „DHH“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m^2	120
Anzahl Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A_N in m^2	165
beheiztes Volumen V_e in m^3	393
wärmeübertragende Hüllfläche $A_{\text{Hülle}}$ in m^2	306

5.3.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden drei mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, wobei für Option A und B zusätzlich auch eine Teilmodernisierungsvariante berechnet wird. Für Option A wird der Gas-Niedertemperaturkessel durch einen Gas-Brennwertkessel ersetzt und in der Teilmodernisierungsvariante zusätzlich die Kellerdecke gedämmt. In der Vollmodernisierungsvariante der Option A werden auch alle anderen Bauteile modernisiert. Die Option B setzt auf den Ersatz der Gas-Niedertemperaturheizung durch einen Holzpelletkessel. In der Teilmodernisierungsvariante wird – wie bei der Option A – auch nur zusätzlich zum Kesseltausch die Kellerdecke gedämmt. Die Vollmodernisierung umfasst dann wiederum alle Außenbauteile. Die Option C wird nur als Vollmodernisierung mit Ersatz der Gas-Niedertemperaturheizung durch eine Wärmepumpe ausgeführt. Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle benötigt. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung ein Austausch stattfinden. Bei den Modernisierungsoption C ist zusätzlich noch der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% vorgesehen.

Tabelle 28: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	Option A		Option B		Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	Pellet	Pellet	WP
Trinkwassererwärmung		indirekt	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	
Belüftung		Fenster					zentrale LA mit WRG
U-Wert in W/m^2K	Außenwand	1,4		0,20		0,15	0,24
	Sockelbereich	1,4		0,20		0,15	0,24
	Fenster / Dachfenster	1,9 / 1,9		0,95 / 1,0		0,80 / 0,85	1,3 / 1,4
	Geneigtes Dach	0,8		0,14		0,11	0,20
	Oberste Geschossdecke	0,45		0,14		0,11	0,20
	Kellerboden / Kellerdecke	1,2	0,25	0,25	0,25	0,20	0,35
	Wärmebrücken	0,1		0,03		0,03	0,05
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{P,Ref}$	317	198	96	46	41	13
	% von $H'_{T,Ref}$	242	203	71	200	59	87

Für die Doppelhaushälfte sind für die Komplettmodernisierungen drei verschiedene energetische Standards vorgesehen. Die Modernisierungsmaßnahmen der Option A orientieren sich an den Werten des Effizienzhausstandards. Die Außenwände werden dazu mit einem 140 mm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen und die Bestandsfenster durch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Der für die Gebäudehülle relevante Bereich des Daches wird mit einer insgesamt 240 mm dicken Zwischensparren- und Aufsparrendämmung modernisiert und mit der oberen Geschossdecke, welche mit einer 200 mm dicken Dämmstoffschicht ausgestattet wird, luftdicht verbunden. Die Kellerdeckenunterseite ist mit einer 100 mm dicken Dämmstoffschicht gedämmt.

Die Vollmodernisierung der Option B orientiert sich am Hocheffizienzstandard, weshalb die einzelnen Bauteile mit entsprechend höheren Dämmstoffdicken oder wärmetechnisch besseren Eigenschaften modernisiert werden müssen. Die Dicke des Wärmedämmverbundsystems erhöht sich somit auf 200 mm, der obere Gebäudeabschluss (Dach und obere Geschossdecke) benötigt Dämmstoffdicken von 300 mm und die Dämmung der Kellerdecke wird auf 140 mm aufgestockt.

Im Gegensatz dazu liegt der Option C der deutlich niedrigere Referenzgebäudestandard der EnEV zugrunde. Dies reduziert die notwendigen Dämmstoffdicken des Wärmedämmverbundsystems auf 80 mm, des oberen Gebäudeabschlusses auf 120 mm und der Kellerdeckenunterseite auf 60 mm. Für den Fensteraustausch dieser Variante ist eine 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausreichend. Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung der Optionen A und B die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 und für die Option C die Kategorie A angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung nach Effizienzhausstandard zeigt Abbildung 26. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände, Dach und oberen Gebäudeabschluss, sowie durch die Kellerdecke. Auch die Fenster haben einen großen Anteil an den spezifischen Transmissionswärmeverlusten.

Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmetransferkoeffizient H'_T von $0,262 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden. Dies entspricht 71% des Referenzgebäudewertes und würde fast nach heutigem Stand dem KfW-Effizienzhaus 55 entsprechen.

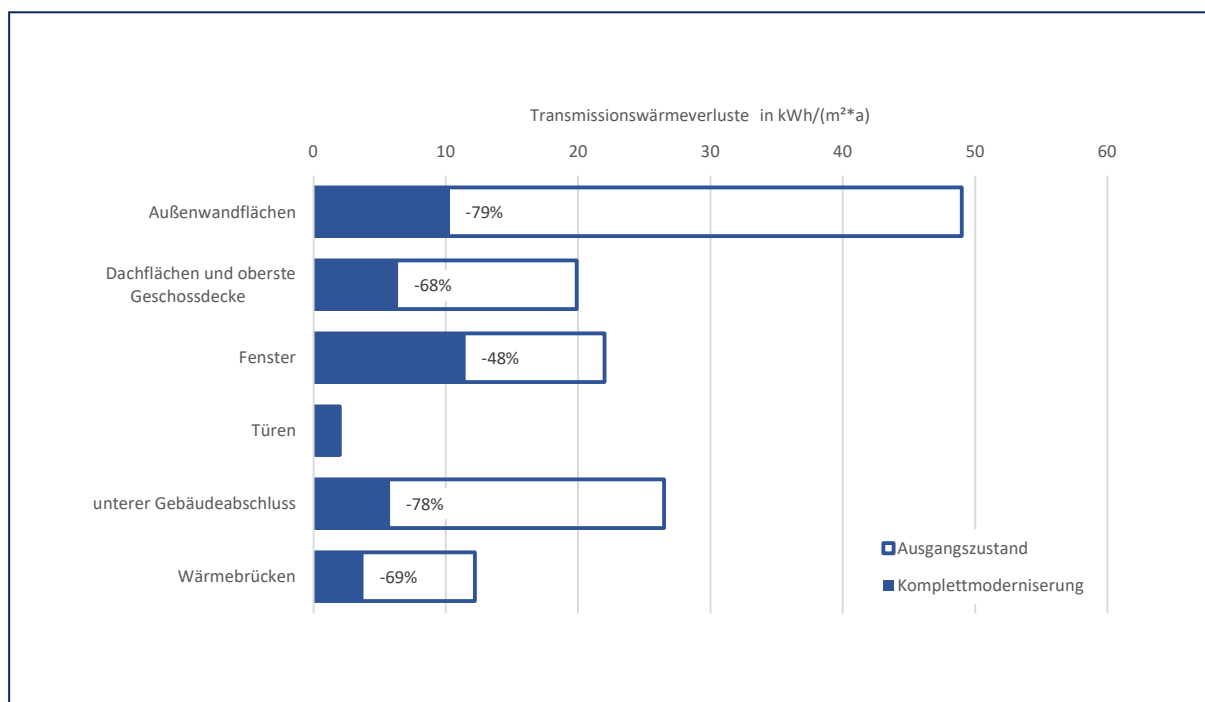


Abbildung 26: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.3.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen.

Endenergiebedarf

Abbildung 27 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Doppelhaushälfte. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (Option A und B mit jeweils dem Einbau einer neuen Heizung und der Dämmung der Kellerdecke) bereits zu Einsparungen bei der Endenergie von 32 bzw. 41% führen, aber nur die drei Optionen der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen. Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 65 und 86% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen ca. 85 (Option B) und 34 kWh/(m²·a) (Option C).

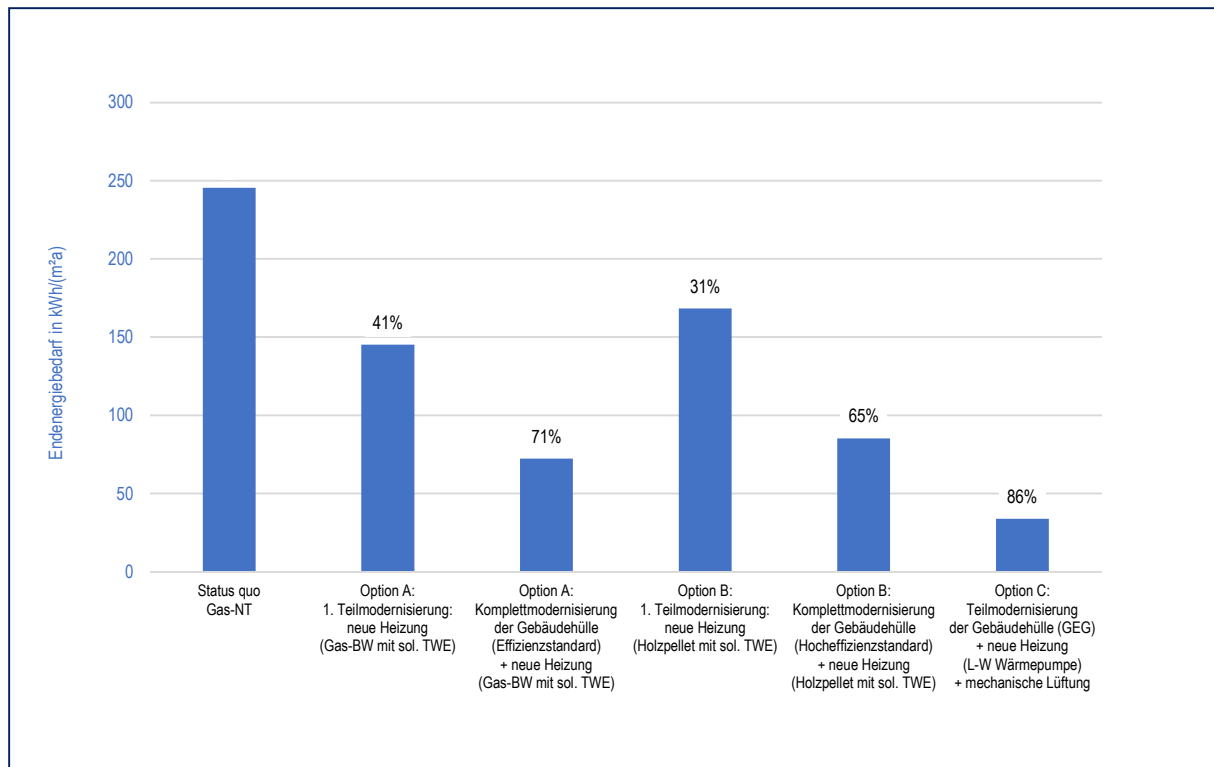


Abbildung 27: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 28 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet. Auffällig ist der erhebliche Unterschied bei der Option B mit Pelletkessel. Schon die Teilmodernisierung mit Holzpelletkessel und Dämmung der Kellerdecke reduziert den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um 87% (Option B Variante 1) auf nur noch 35 kWh/(m²·a), aber den gesamten Primärenergiebedarf nur um 26% auf immer noch hohe 202 kWh/(m²·a). Hier macht sich der fehlende Wärmeschutz der Außenbauteile deutlich bemerkbar.

Durch die Vollmodernisierung geht der Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) im Vergleich zur Teilmodernisierung (Option B im Vergleich der Varianten 1 und 2) nur noch um wenige Prozent auf 18 kWh/(m²·a) zurück. Die Einsparung beträgt damit 93%. Durch die Modernisierung der Hülle im Vergleich der Option B (Variante 1 gegenüber Variante 2) wird ein Rückgang des gesamten Primärenergiebedarfs von 202 auf nur noch 102 kWh/(m²·a) erreicht.

Der gesamte Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die drei Vollmodernisierungen – und damit durch den baulichen Wärmeschutz - reduziert. Die Einsparungen betragen dann zwischen 63 und 79%.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 80,4 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option C schon im Jahr 2030 bis auf 34 kWh/(m²·a).

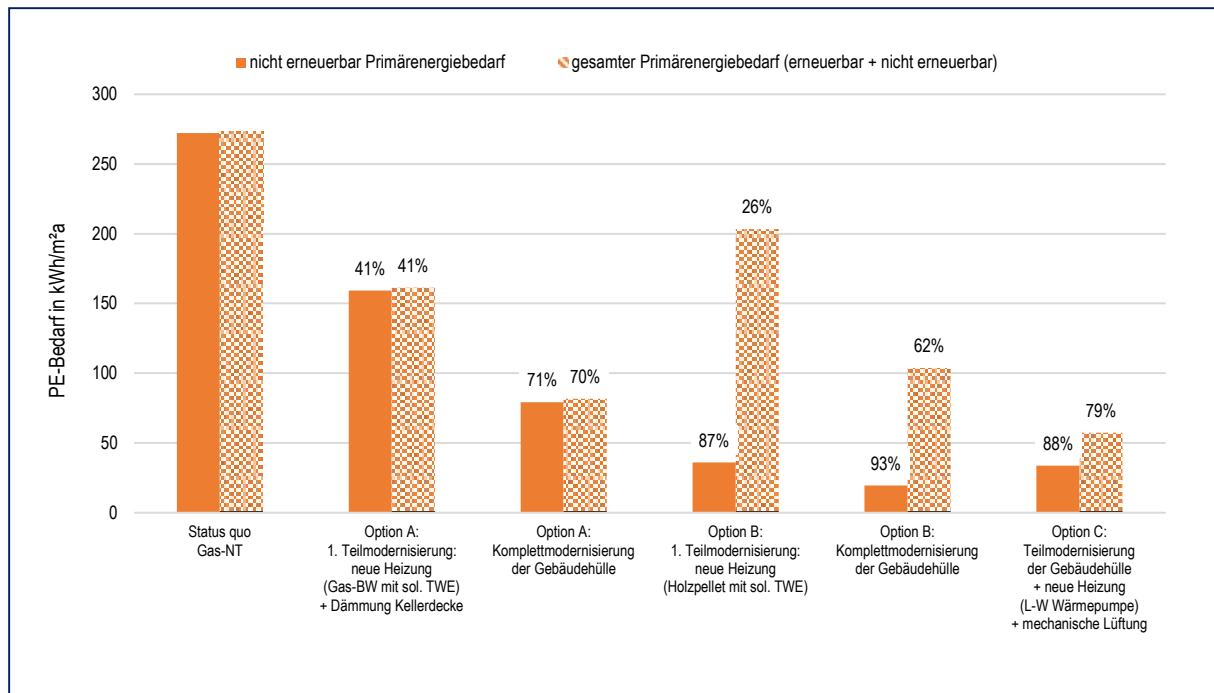


Abbildung 28: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 29 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Schon für den Fall einer Modernisierung mit Gas-Brennwert und Dämmung der Kellerdecke lassen sich 54 bis 56% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Für die Teilmodernisierung mit Pelletkessel sind es bereits 94 bis 96 % je nach Betrachtungsjahr. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Option A auf 76 bis 78% und für Pellet-Option B sogar auf 96 bis 98%. Die vollständige Modernisierung der Gebäudehülle bringt hier keinen weiteren Vorteil bei der Reduzierung der Treibhausgase. Darum sollte hier auch parallel der Endenergiebedarf im Blick behalten werden, der für die Teilmodernisierungsvariante mit Pelletkessel nur 31% Verminderung zeigt.

Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist an den zeitlich aufgelösten Säulen der Option C gut zu erkennen. Der derzeitige Strommix führt zu einer Einsparung von 75% der THG des Vergleichszustands. Bis 2050 ist hier – wie beim Holzpelletkessel – mit einer vollständigen Klimaneutralität zu rechnen – falls die Dekarbonisierung wie geplant voranschreitet. Hier ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich.

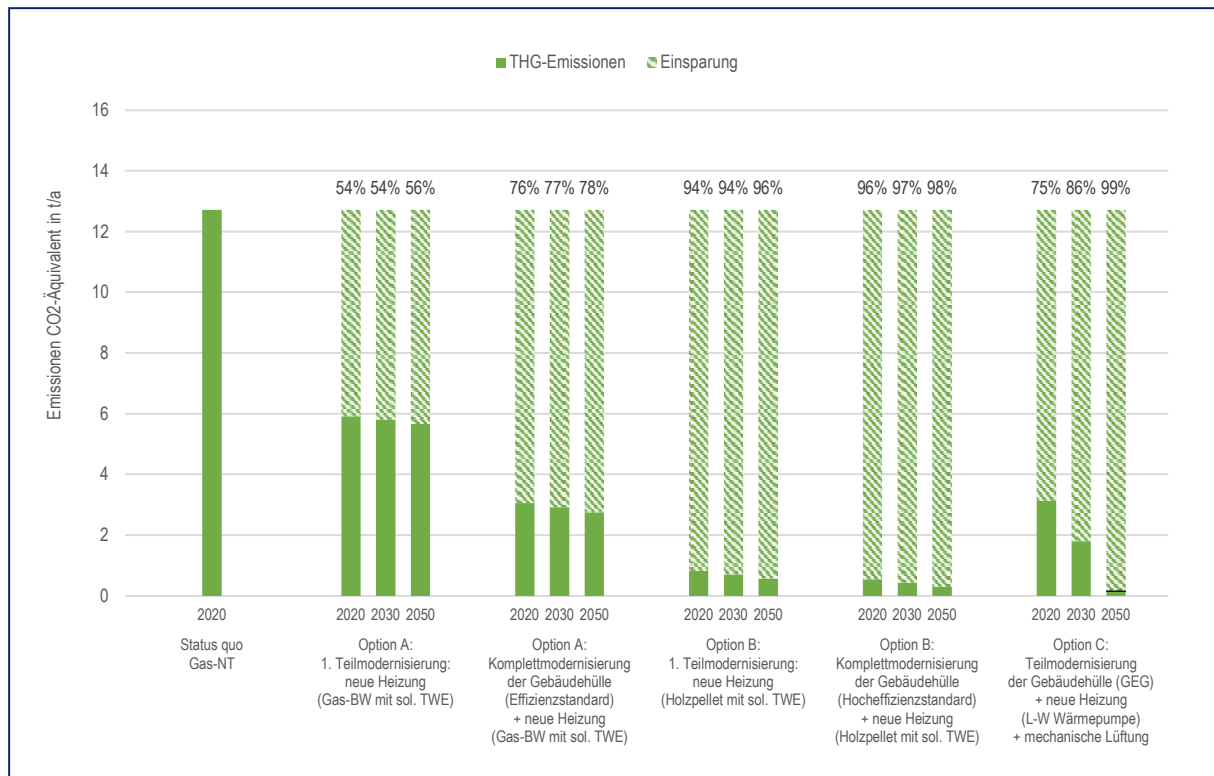


Abbildung 29: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.3.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind zu Tabelle 29 entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 450 (Gas-Brennwert) und 570 (Pelletkessel) €/m². Der energiebedingte Mehrkostenanteil variiert stark und beträgt für die Gas-Brennwert-Variante 40% und für den Pelletkessel über 70%. Für eine Pelletheizung mit Pelletkessel, Pufferspeicher, Pelletlager, Fördersystem und komplett mit Montage kommen in der Anschaffung durchschnittlich Kosten zwischen 20.000 und 25.000 Euro zusammen. Damit liegen die Kosten beim Kauf deutlich über den Kosten für eine modernen Gasheizung.

Tabelle 29: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A		Option B		Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	14.280	14.280	27.480	27.480	28.130
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	5.390	44.450	6.390	48.670	39.060
	Fenster	€	-	16.090	-	17.690	12.660
	Gesamt	€	19.670	74.820	33.870	93.840	79.850
		€/m ²	120	450	200	570	480
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	4.500	4.500	17.700	26.700	18.350
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	5.390	21.670	6.390	26.170	16.290
	Fenster	€	-	3.440	-	5.040	-
	Gesamt	€	9.890	29.610	24.090	57.910	34.640
		€/m ²	60	179	146	350	209
Förderung	Gesamt	€	3.930	14.960	6.770	18.770	15.970
			€/m ²	20	90	40	110
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	15.740	59.860	27.100	75.070	63.880
			€/m ²	100	360	160	460

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 30 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei den Optionen mit Gas-Brennwert-Technologie liegen diese bei 920 bis 940 €/a. Die Option B hat bei beiden Varianten Instandhaltungs- und Betriebskosten von 1440 €/a und damit noch höher als die Komplettmodernisierungsvariante mit Wärmepumpe (1380 €/a). Da die Wärmepumpe üblicherweise einen niedrigen Wartungsaufwand hat, ist der recht hohe Betrag von 1380 €/a bedingt durch den Wartungsaufwand für die mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Tabelle 30: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Option A		Option B		Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	880	920	940	1.440	1.440	1.380
	€/m ²	5	6	6	9	9	8

Energiekosten

In Abbildung 30 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für die Energieträger Gas und Holz. Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 15 €/m²·a auf 31 €/m²·a erhöhen. Im Falle der Komplettmodernisierung mit Gas-Brennwert-Technologie reduzieren sich, aufgrund der stark gestiegenen Reduktion des Endenergiebedarfs, die spezifischen Energiekosten auf 5 bis 9 €/m²·a. Bei der Option C (Wärmepumpe) können die Energiekosten auf nur 10 €/m²·a gesenkt werden. Diese bleiben dann, aufgrund der nahezu konstanten Preisentwicklung beim Energieträger Strom, auch im Jahr 2030 auf diesem Niveau. Die Kosten für die Option B mit Holzpelletkessel liegen für die Teilmodernisierung mit 6 bis 11 €/m²·a unter den Kosten der Teilmodernisierungsvariante mit Gas-Brennwerttechnik (9 bis 18 €/m²·a). Die niedrigsten Energiekosten hat die Komplettmodernisierung mit Holzpelletkessel – sowohl 2020 mit 4 €/m²·a als auch 2030 mit 6 €/m²·a.

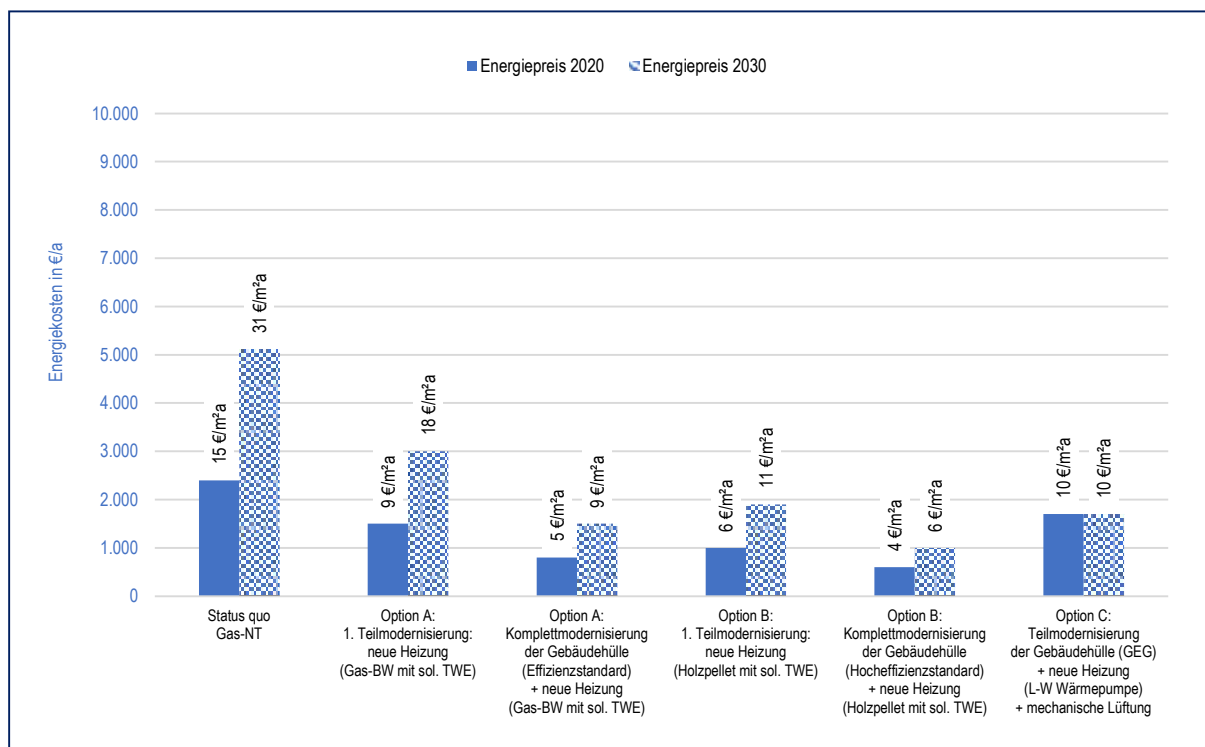


Abbildung 30: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 31 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für den Status quo und die Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik mit jeweils 3.300 €/a. Die Teilmodernisierung mit Holzpelletkessel liegt mit 4.000 €/a nur etwas darüber. Bei den „2050-ready“ Komplettmodernisierungsoptionen ist die Variante mit Gas-Brennwerttechnik mit 4.400 €/a deutlich günstiger als die Ausführung mit Holzpelletkessel (5.500 €/a) und die Option C mit der Wärmepumpe (6.100 €/a).

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt vor allem aufgrund der steigenden Energiekosten ein anderes Bild. Die Jahresgesamtkosten für den Status quo steigen auf 6.000 €/a an und liegen damit etwa auf dem gleichen Niveau wie die teuerste Vollmodernisierungsvariante mit Wärmepumpe (6.100 €/a). Alle anderen Modernisierungen führen zu niedrigeren Gesamtkosten, sparen den Investoren damit Geld. Am niedrigsten sind die Jahresgesamtkosten für die beiden Teilmodernisierungen mit Gas-Brennwerttechnik (4.700 €/a) und Holzpelletkessel (4.900 €/a). Die günstigste Komplettmodernisierung liegt mit 5.100 €/a für die Option A Variante 2 nur wenig darüber.

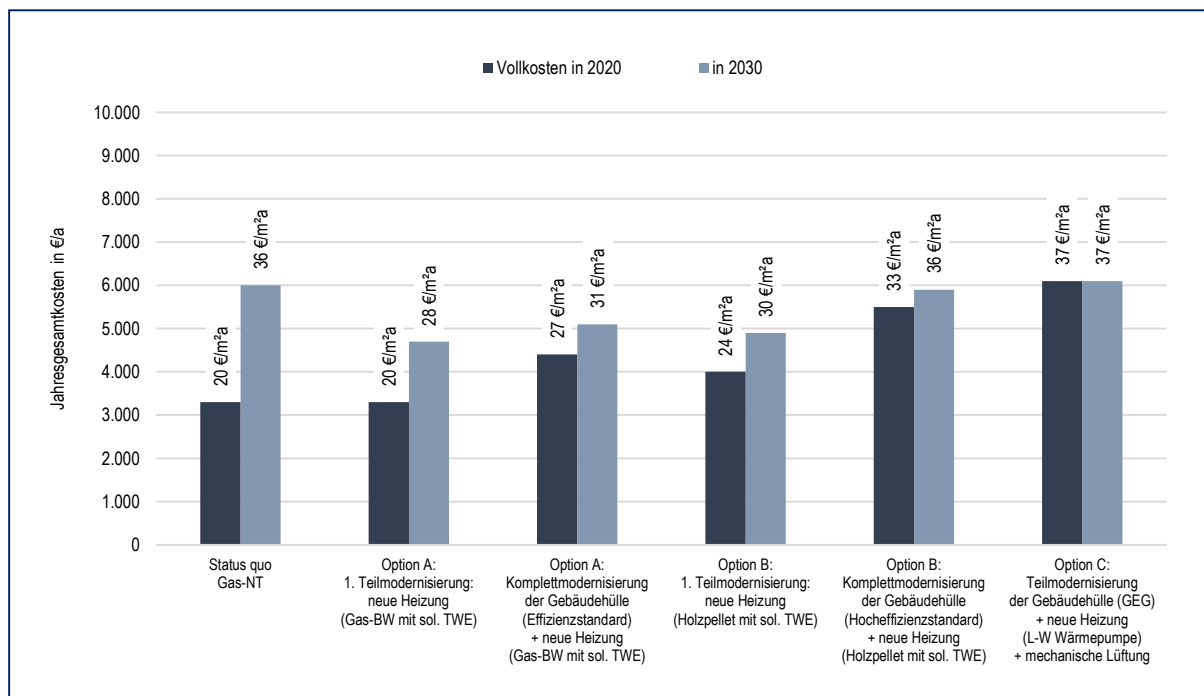


Abbildung 31: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 32 zeigt die verschiedenen Kostenanteile an den Vollkosten für das Jahr 2030. Die Darstellung der Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten beziehen sich dabei auf den unteren Preispfad. Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten unterscheiden sich für die drei Vollmodernisierungsoptionen deutlich und haben einen Anteil zwischen 12 (Option A) und 34% (Option B) an den gesamten Jahreskosten. Dabei ist Abbildung 32 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A, B und C von 860 €/a stark auf 3.420 €/a an. Für die Option C (Vollmodernisierung mit Wärmepumpe) liegen diese bei 2.990 €/a – und damit über den Kosten für die Modernisierung mit Brennwerttechnik und trotz des Einbaus einer zusätzlichen mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung noch unter denen der Holzpellet-Variante.

Der Status quo hat die geringsten betriebsbedingten Kosten mit 880 €/a, liegt aber nur geringfügig hinter den Kosten der beiden Brennwert-Varianten der Option A (920 bzw. 940 €/a). Die betriebsbedingten Kosten für die Optionen B und C (1.440 bzw. 1.380 €/a) liegen deutlich über denen des Status quo und den beiden Gas-Brennwert-Varianten. Dabei ist die Option C trotz zusätzlicher Wartung der Lüftungsanlage etwas günstiger als die Option B.

Die bereits für Abbildung 31 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der

zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Alle Modernisierungsvarianten werden dadurch günstiger als der Status quo, bzw. liegen zumindest auf dem gleichen Niveau. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 5.100 €/a betragen. Dieses lassen sich durch eine komplette energetische Modernisierung bis auf 1.000 €/a für die Option B senken.

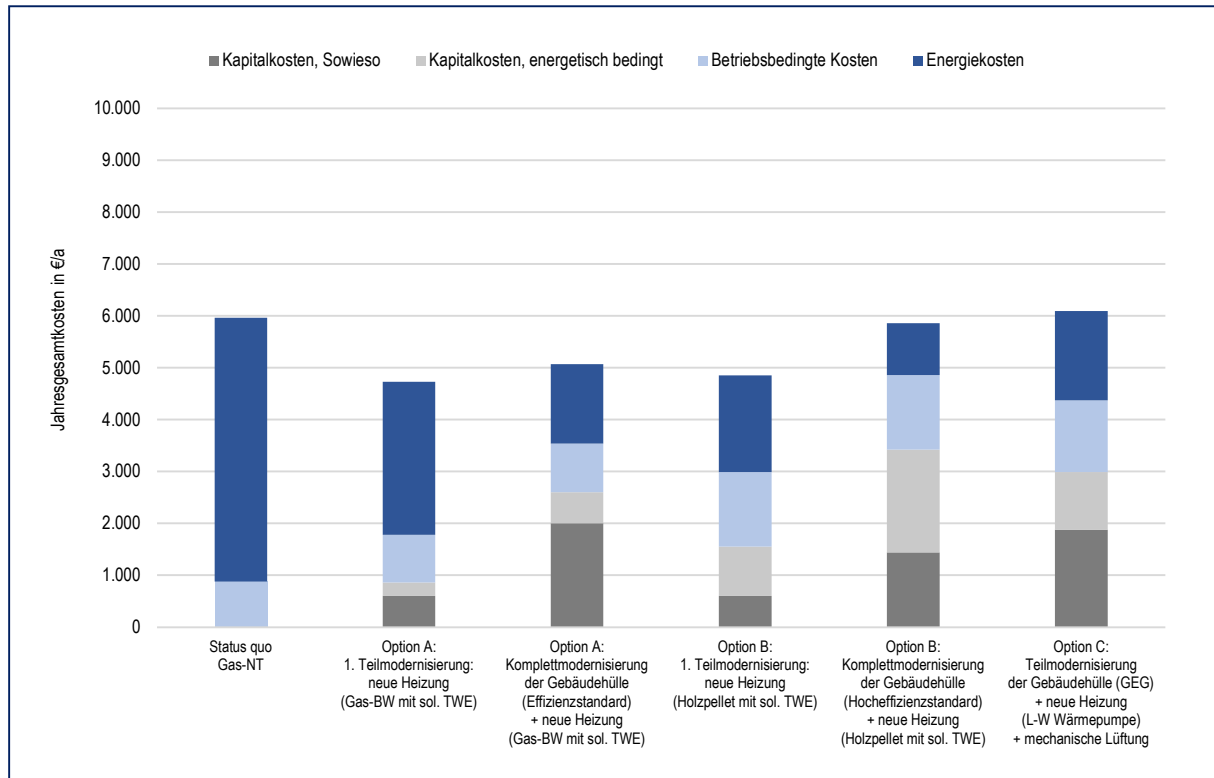


Abbildung 32: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.3.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 33 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt. Durch den Vergleich mit dem alten Gas-Niedertemperaturkessel, der höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärmegestehungskosten besitzt, errechnen sich die negativen Vermeidungskosten für die Optionen A und B. Die niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten der untersuchten Modernisierungen ergeben sich bei Option A mit Teilmodernisierung. Hier sind bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 1.230 €/a 7 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparbar. Mehr CO₂ (minus 10 bis 12 Tonnen pro Jahr) lässt sich durch Vollmodernisierungen bzw. den Einsatz eines Holzpelletkessels einsparen. Die dafür anzusetzenden Kosten sind für Option A und B noch negativ, was dem Investor Geld spart. Für Option C sind diese leicht positiv, d.h. es kostet die Investoren mehr als der Weiterbetrieb des Status quo.

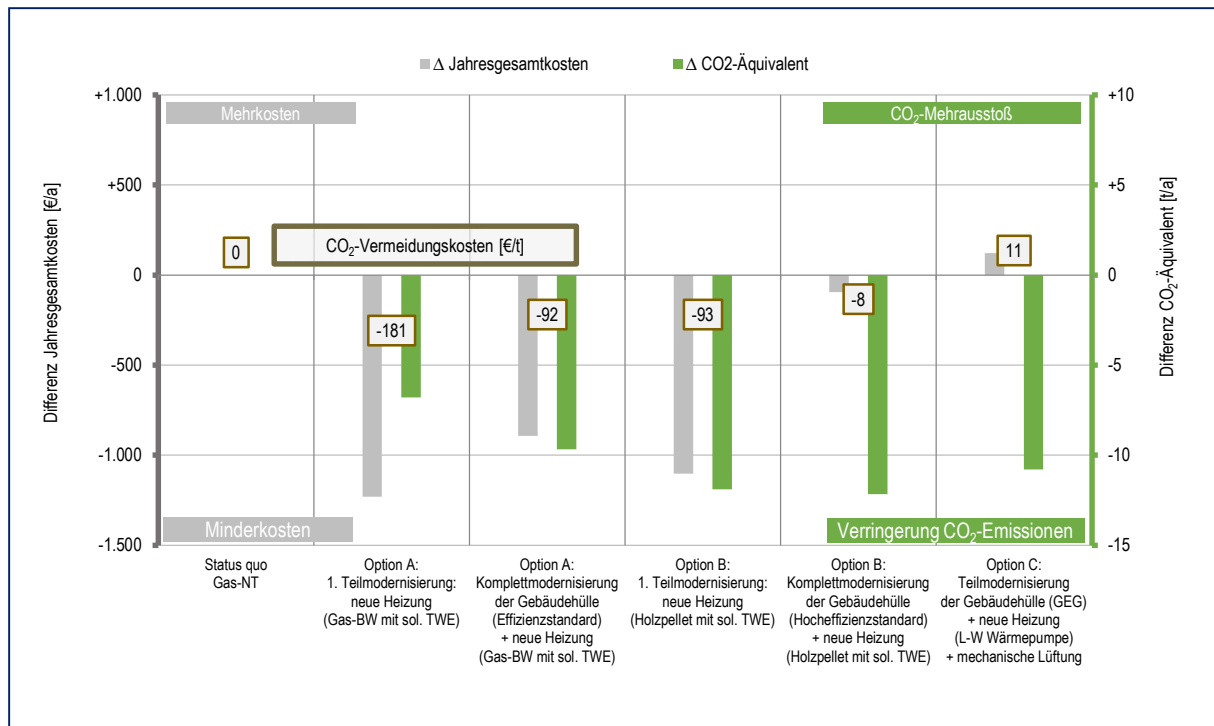


Abbildung 33: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.3.5 Diskussion der Ergebnisse

Bei Durchführung einer kompletten Modernisierung der Gebäudehülle nach dem Effizienzstandard erfüllen, in Kombination mit dem Austausch Heizungsanlage durch eine moderne energieeffiziente Heizungsanlage, drei Modernisierungsoptionen den Anspruch sowohl 2030 als 2050 kompatibel zu sein. Beide möglichen Teilmodernisierungsoptionen (Austausch der bestehenden Heizungsanlage) führen zu keinen Login Effekten und ermöglichen eine stufenweise Umsetzung. In der Option A erfolgt zuerst ein Austausch der Heizung, in dem der bestehende Niedertemperaturgaskessel durch einen neuen Brennwertkessel inklusiv solarer Trinkwassererwärmung ersetzt wird. In der Option B wird der vorhandene Niedertemperaturgaskessel durch eine Holzpelletheizung ebenfalls mit solare Trinkwassererwärmung ersetzt. Dadurch ist eine deutliche Reduzierung des Endenergiebedarfs zu erreichen. Die anschließende Komplettmodernisierung der Gebäudehülle in einem zweiten Modernisierungsschritt führt nochmal zu einer deutlichen Absenkung. Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 65 und 86% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden.

Das Erreichen des 2050 Ziels (Reduktion des Endenergiebedarfs um mehr als 60%) ist allerdings nur mit der hocheffizienten Gebäudehülle möglich. Für die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind, je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie, große Reduzierungen realisierbar. Schon für den Fall einer Modernisierung mit Gas-Brennwert und Dämmung der Kellerdecke lassen sich 54 bis 56% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Für die Teilmodernisierung mit Pelletkessel sind es bereits 94 bis 96 % je nach Betrachtungsjahr. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Option A auf 76 bis 78% und für Pellet-Option B sogar auf 96 bis 98%.

Die Jahresgesamtkosten in der Option A (Gas-BW mit sol. Trinkwassererwärmung) erhöhen sich um 10%, in der Option B (Holzpellet mit sol. Trinkwassererwärmung) um 20% sind aber im Vergleich zum

Status quo deutlich niedriger bzw. vergleichbar. Auch die Option C mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und mechanischer Lüftung resultiert zu ähnlichen Jahresgesamtkosten von 37 €/m². Hier wird allerdings mit einer Modernisierung der Gebäudehülle nach GEG das Endenergieziel nur knapp erreicht.

Für die Modernisierung auf Basis von Gas BW mit solarer Trinkwassererwärmung und die Holzpellet-Teilmodernisierung lassen sich negative Vermeidungskosten errechnen. Alle anderen Modernisierungsvarianten weisen bei Vollkostenbetrachtung höhere bzw. leicht positive CO₂ Vermeidungskosten auf. Damit lassen sich im Jahr 2030 alle drei Modernisierungsoptionen bei der angesetzten Förderung wirtschaftlich darstellen. Betrachtet man alleinig den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich negative Werte im Bereich zwischen -140 und -160 €/m². Es kommt also zu Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen und unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 31: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A		Option B		Option C
		1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Endenergieeinsparung	%	41	71	31	65	86
CO ₂ -Minderung	%	54	77	94	97	86
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/(m ² ·a)	-7	-5	-7	-1	1
Einfluss der Modernisierung	€/(m ² ·a)	-11	-17	-10	-9	-11
CO ₂ -Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-180	-90	-90	-10	10
Einfluss der Modernisierung	€/t	-260	-300	-140	-130	-160

5.4 Kleines Reihenmittelhaus

Das Reihenmittelhaus klein „RHM-klein“ ist ebenfalls ein Gebäude aus dem ZUB-Katalog. An dem in den 1960er Jahren errichteten Gebäude wurden in den 1990er Jahren neue Fenster eingesetzt und die oberste Decke bzw. das Steildach gedämmt. Die anderen Außenbauteile sind noch im Zustand wie bei der Errichtung. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellem Ausgangszustand sind noch unregulierten Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 80/60°C. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 32 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das beidseitig angebundene Reihenmittelhaus wieder.

Tabelle 32: Gebäudedaten des beidseitig angebundene kleinen Reihenmittelhauses „RMH-klein“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	125
Anzahl Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A _N in m ²	193
beheiztes Volumen V _e in m ³	458
wärmeübertragende Hüllfläche A _{Hülle} in m ²	236

5.4.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden drei mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, wobei Option A nochmal in drei Unteroptionen unterteilt ist. Alle drei Unteroptionen sehen einen Austausch des alten Öl-Niedertemperaturkessels durch eine Gas-Brennwertanlage vor, wovon die letzte Unteroption noch zusätzlich eine mechanische Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% erhält. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss diese in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung ausgetauscht werden. Bautechnisch gesehen wird für die Option A in der ersten Unteroption eine Teilmodernisierung der Gebäudehülle in Form der Dämmung der Kellerdeckenunterseite festgelegt, die verbleibenden Unteroptionen werden mit einer Vollmodernisierung der Gebäudehülle berechnet. Die Gebäudehüllen von Option B und C erhalten ebenfalls eine Vollmodernisierung, jedoch wird die alte Anlagentechnik bei Option B mit einer Pellet Heizungsanlage und bei Option C mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage ausgetauscht. Um „2050-ready“ zu werden, ist bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle notwendig. Die Optionen A bis C sind detailliert in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	Option A			Option B	Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Pellet	WP
Trinkwassererwärmung		indirekt	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	
Belüftung		Fenster			zentrale LA mit WRG		
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	1,0		0,20	0,20	0,20	0,20
	Sockelbereich	1,0		0,20	0,20	0,20	0,20
	Fenster / Dachfenster	1,9 / 1,9		0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Geneigtes Dach	0,45		0,14	0,14	0,14	0,14
	Oberste Geschossdecke	0,45		0,14	0,14	0,14	0,14
	Kellerboden / Kellerdecke	1,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrücken	0,10		0,03	0,03	0,03	0,03
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{p,Ref}$	190	128	75	55	21	62
	% von $H'_{T,Ref}$	229	183	77	77	77	77

Die Maßnahmen der Teil- und Komplettmodernisierungen der Gebäudehülle orientieren sich alle am Effizienzhausstandard. Die Außenwände werden dazu mit einem 140 mm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen und die Bestandsfenster durch Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Der für die Gebäudehülle relevante Bereich des Daches wird mit einer insgesamt 240 mm dicken Zwischensparren- und Aufsparrendämmung modernisiert und mit der oberen Geschossdecke, welche mit einer 200 mm dicken Dämmstoffschicht ausgekleidet wird, luftdicht verbunden. Die Kellerdeckenunterseite wird 100 mm dick gedämmt. Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung zeigt Abbildung 34. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände und den unteren Gebäudeabschluss, gefolgt vom oberen Gebäudeabschluss und den Fenstern. Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient H'_T von 0,288 W/(m²K) erreicht werden. Dies entspricht 77% des Referenzgebäudewertes.

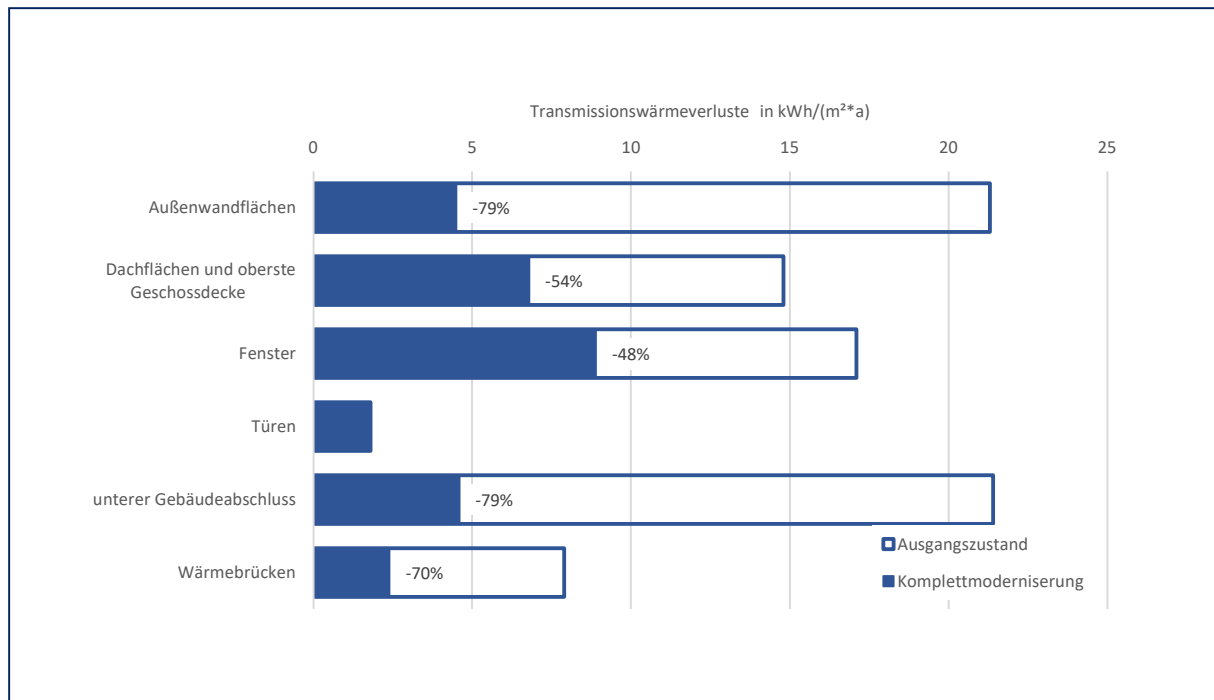


Abbildung 34: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.4.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 35 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen Reihenhauses. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (Option A Variante 1 mit dem Einbau einer neuen Heizung und der Dämmung der Kellerdecke) bereits zu Einsparungen bei der Endenergie von 33 % führen, aber nur die vier Varianten der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen. Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 48 und 80% gegenüber dem Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen ca. 80 (Option B) und 31 kWh/(m²·a) (Option C). Die beiden Varianten der Option A mit Gas-Brennwerttechnik liegen mit 62 bzw. 43 kWh/(m²·a) zwischen den Holzpelletkessel und Wärmepumpen-Varianten.

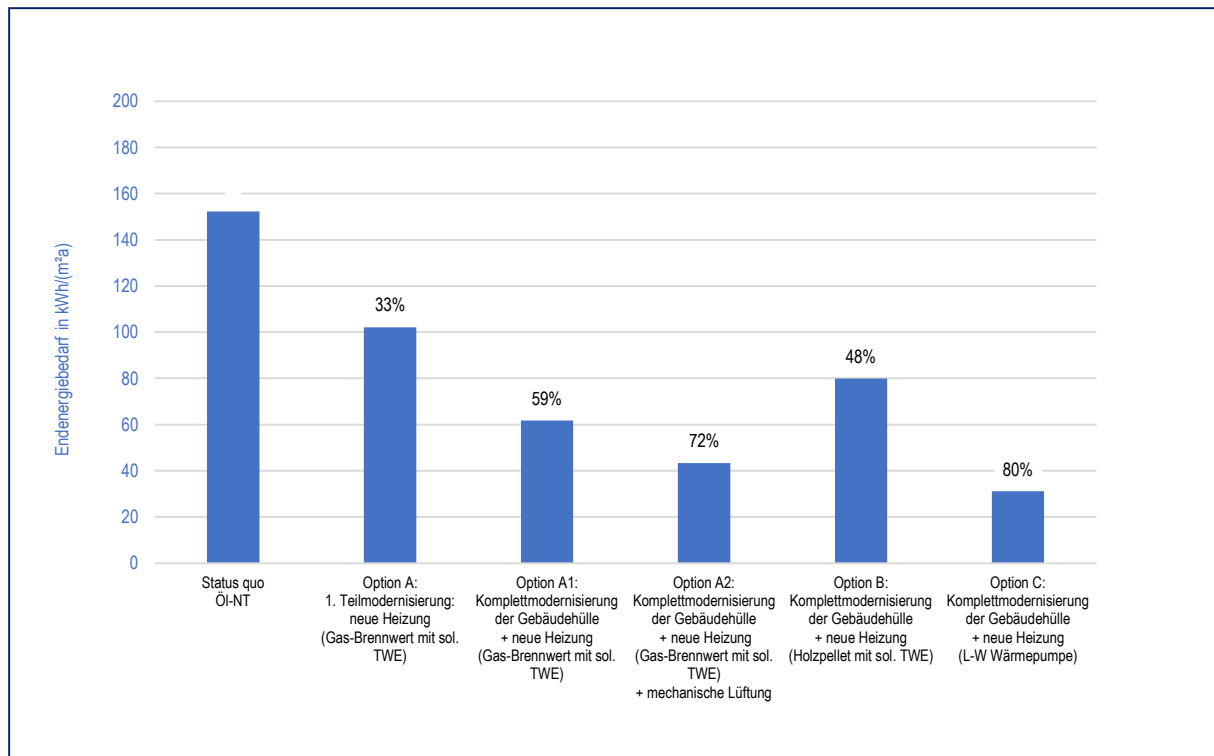


Abbildung 35: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 36 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet.

Auffällig ist der erhebliche Unterschied bei der Option B mit Pelletkessel und bei der Option C mit Wärmepumpe. Die Vollmodernisierung mit Holzpelletkessel reduziert den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um 89% (Option B) auf nur noch 18 kWh/(m²·a), aber den gesamten Primärenergiebedarf nur um 43% auf immer noch 97 kWh/(m²·a). Auch bei der Wärmepumpen-Option C ist der Unterschied zwischen erneuerbarem und gesamten Primärenergiebedarf recht groß. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf geht um 82% zurück, wohingegen der gesamte Primärenergiebedarf nur um 69% reduziert wird.

Der gesamte Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die vier Varianten mit Komplettmodernisierung der Gebäudehülle – und damit durch den baulichen Wärmeschutz - reduziert. Die Einsparungen betragen dann zwischen 43 und 70%.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 64,1 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option C bis auf 31 kWh/(m²·a).

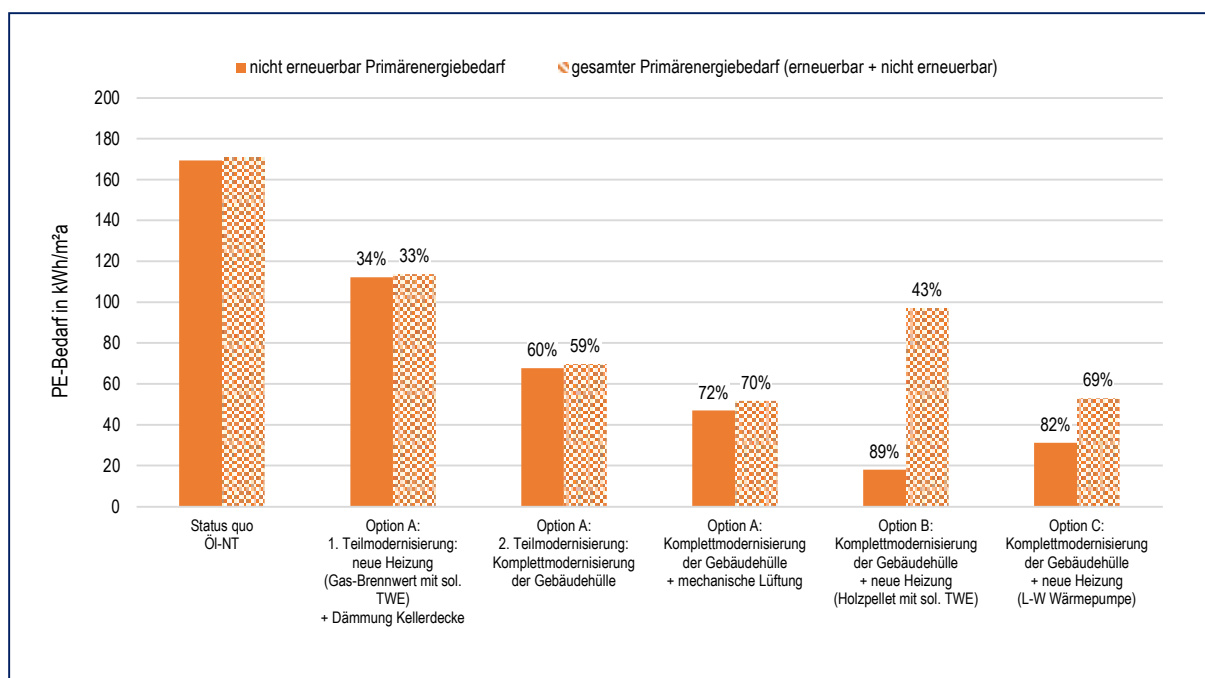


Abbildung 36: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 37 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Schon für den Fall einer Modernisierung mit Gas-Brennwert und Dämmung der Kellerdecke lassen sich 47 bis 50% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Option A um 67 bis 70 % für die Variante 2 und sogar um 74 bis 81% wenn auch noch eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut wird. Für die Pellet-Option B sinken die Emissionen sogar um 94 bis 97%. Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist an den zeitlich aufgelösten Säulen der Option C gut zu erkennen. Der derzeitige Strommix führt zu einer Einsparung von 64% der THG des Vergleichszustands. Bis 2050 ist hier – wie beim Holzpelletkessel – mit einer vollständigen Klimaneutralität zu rechnen – falls die Dekarbonisierung wie geplant voranschreitet. Hier ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich.

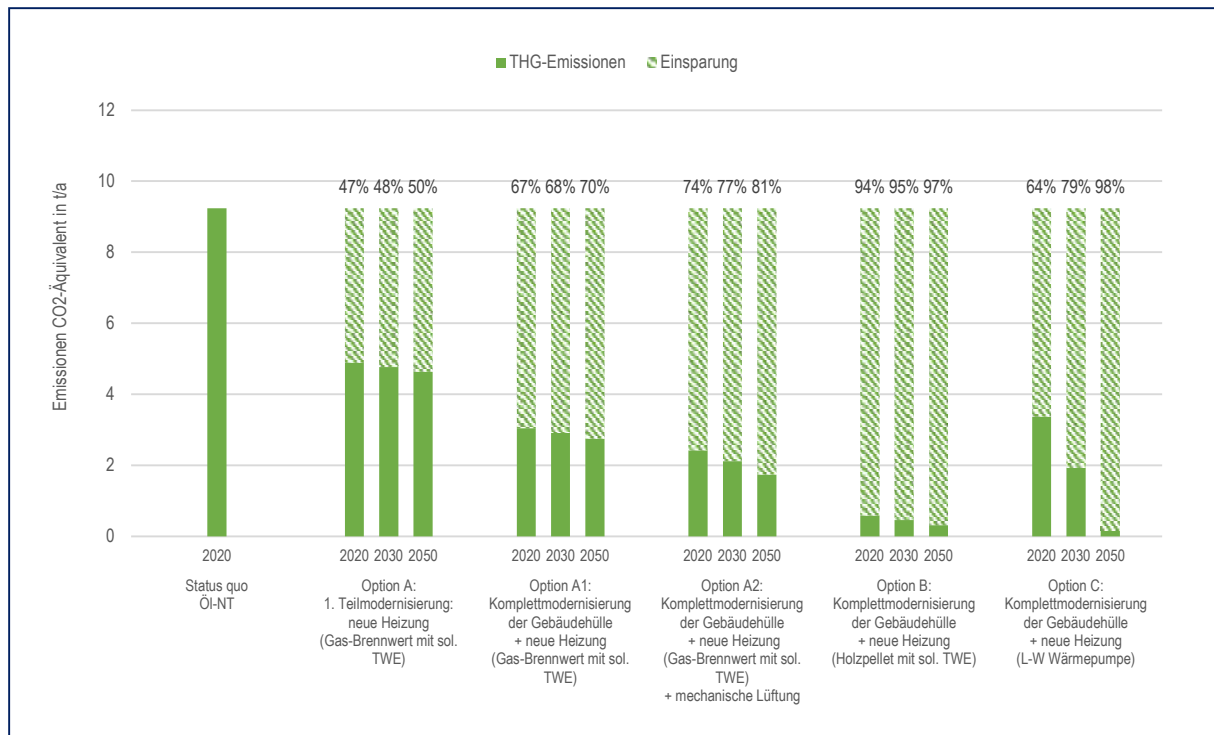


Abbildung 37: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.4.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 34 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 330 und 380 €/m².

Tabelle 34: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A			Option B	Option C
			1. Teil-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	1. Teil-modernisierung	Komplett-modernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	17.640	17.640	26.640	27.540	18.720
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	0	31.100	31.100	31.100	31.100
	Fenster	€	0	14.710	14.710	14.710	14.710
	Gesamt	€	17.640	63.450	72.450	73.350	64.530
		€/m²	90	330	380	380	330
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	6.400	6.400	15.400	16.300	7.480
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	-	16.740	16.740	16.740	16.740
	Fenster	€	-	3.160	3.160	3.160	3.160
	Gesamt	€	6.400	26.300	35.300	36.200	27.380
		€/m²	33	136	183	188	142
Förderung	Gesamt	€	3.530	12.690	14.490	14.670	12.910
		€/m²	20	70	80	80	70
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	14.110	50.760	57.960	58.680	51.620
		€/m²	70	260	300	300	260

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 35 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei der Option mit Gas-Brennwert-Technologie liegen diese bei 1090 bis 1540 €/a. Vor allem der Unterschied zwischen der Variante 2 und Variante 3 der Option A mit Gas-Brennwertkessel fällt auf und ist durch die aufwändigere Technik mit mechanischer Lüftungsanlage bedingt. Die Option B hat, durch die bei Pelletkesseln aufwändigere Wartung, Betriebskosten, die auf einem ähnlichen Niveau liegen wie die Kosten für die Gas-Brennwert-Variante mit Lüftungsanlage (ca. 1400 €/a). Die niedrigsten Betriebs- und Instandhaltungskosten hat die Option C mit der Wärmepumpe (ca. 1020 €/a).

Tabelle 35: Betriebs- und Instandhaltungskosten

	€	Ausgangszustand	Option A			Option B	Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	1.130	1.090	1.110	1.540	1.400	1.020
	€/m ²	6	6	6	8	7	5

Energiekosten

In Abbildung 30 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für die Energieträger Gas und Holz im Vergleich von 2030 mit 2020, mit Ausnahme der Variante 3 mit mechanischer Lüftungsanlage, bei der der Anstieg nur 50% beträgt. Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 9 auf 19 €/m²·a erhöhen. Im Falle der Komplettmodernisierung mit Gas-Brennwert-Technologie reduzieren sich, aufgrund der starken Reduktion des Endenergiebedarfs, die spezifischen Energiekosten auf 4 bis 8 (Variante 2) und sogar auf 4 bis 6 €/m²·a – wenn auch noch eine mechanische Lüftungsanlage verbaut wird. Besonders ist auch die Entwicklung bei der Option C (Wärmepumpe). Hier können die Energiekosten auf 9 €/m²·a gesenkt werden. Diese bleiben dann, aufgrund der nahezu konstanten Preisentwicklung beim Energieträger Strom, auch im Jahr 2030 auf diesem Niveau. Die niedrigsten Energiekosten hat die Komplettmodernisierung mit Holzpelletkessel für das Jahr 2020 mit 3 €/m²·a. Diese steigen auch 2030 nur auf 6 €/m²·a und liegen damit auf dem Niveau der Option A Variante 1 mit mechanischer Lüftungsanlage.

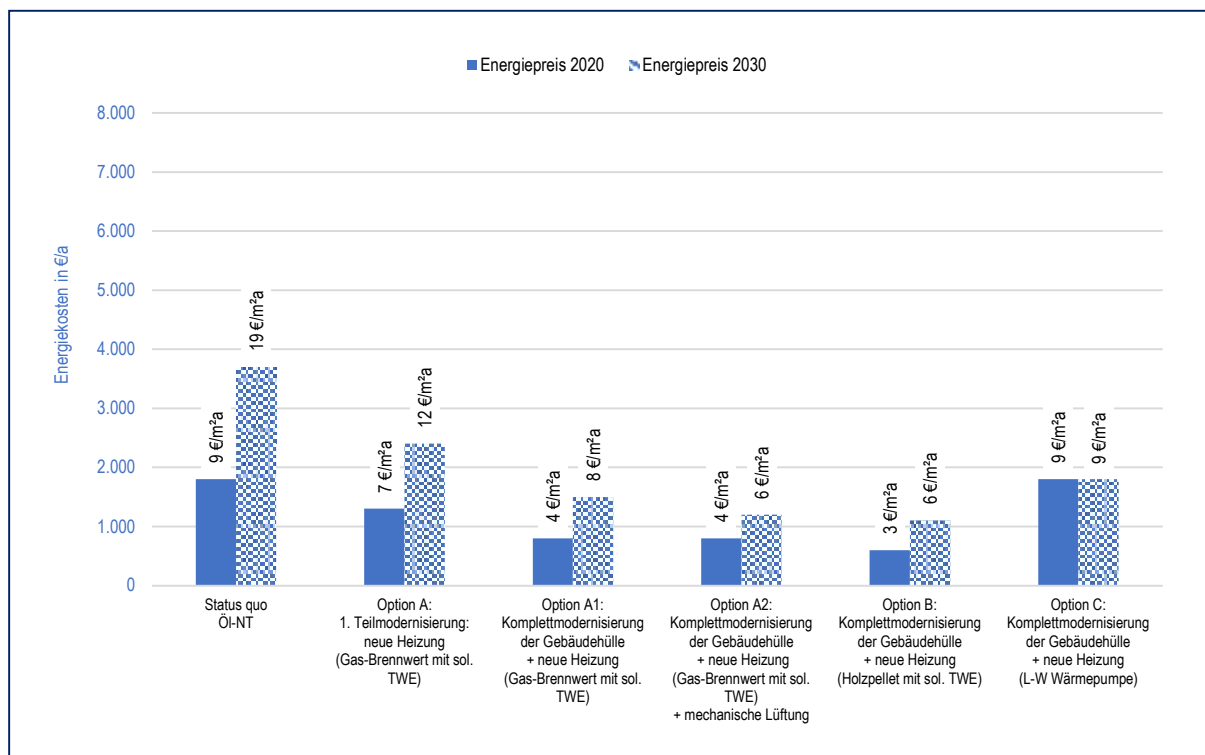


Abbildung 38: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 39 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für den Status quo (2.900 €/a) und die Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik (3.200 €/a). Alle Komplettmodernisierungen - „2050-ready“ – liegen mit 4300 bis 5200 €/a deutlich über den Jahresgesamtkosten des Status quo oder der Teilmodernisierungsvariante. Dabei ist die Option A Variante 2 mit Gas-Brennwerttechnik mit 4.300 €/a günstiger als die Vollmodernisierungen mit Lüftungsanlage, Pelletkessel oder Wärmepumpe.

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt ebenfalls einen Anstieg der Jahresgesamtkosten für die Komplettmodernisierungen. Lediglich die Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik und Dämmung der Kellerdecke führt hier zu im Vergleich mit dem Ausgangszustand niedrigeren Jahresgesamtkosten. Dabei steigen die Jahresgesamtkosten für den Status quo auf 4.800 €/a an und liegen nur noch geringfügig unter den 4 Vollmodernisierungen, die Kosten zwischen 5.000 und 5.500 €/a aufweisen. Alle Modernisierungen mit nennenswerter Reduktion der Primär- und Endenergie sind für den Investor teurer als den Status quo zu erhalten. Sollen hier Investitionen ausgelöst werden, müssen die Mehrkosten durch gezielte Förderung ausgeglichen werden.

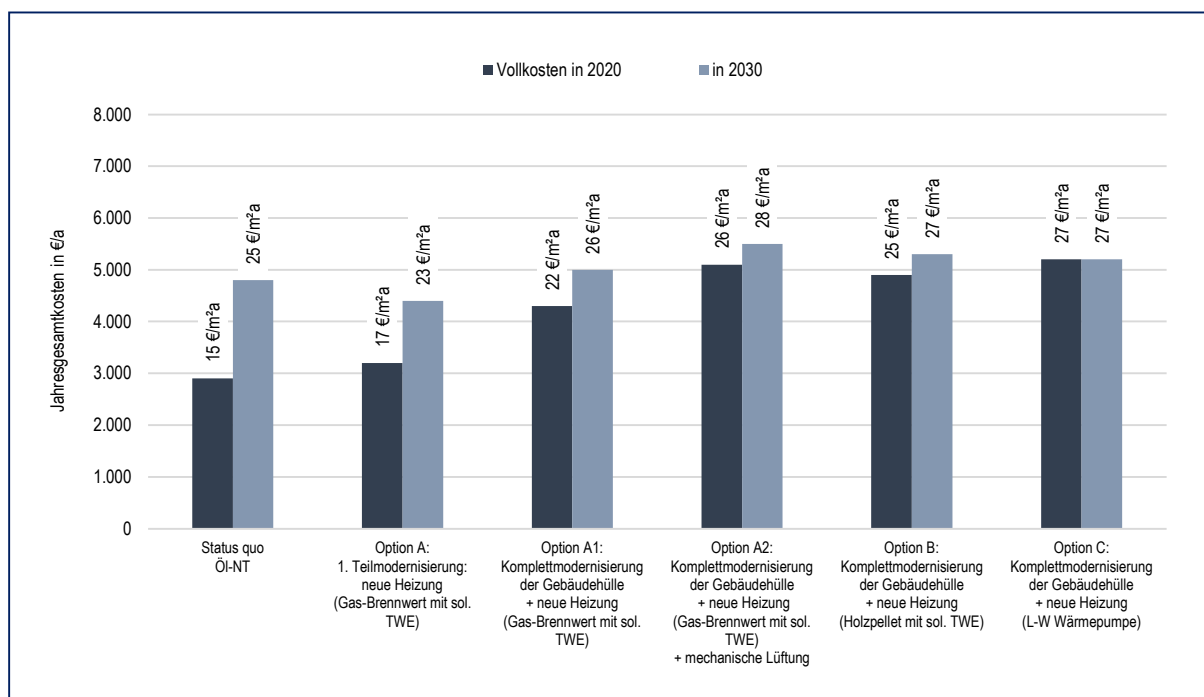


Abbildung 39: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 40 zeigt die verschiedenen Kostenanteile an den Vollkosten für das Jahr 2030. Die Darstellung der Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten beziehen sich dabei auf den unteren Preispfad. Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten unterscheiden sich für die drei Vollmodernisierungsoptionen deutlich und haben einen Anteil zwischen 4 (Option A mit Teilmodernisierung) und 19 % (Vollmodernisierung mit Einbau einer Lüftungsanlage) an den gesamten Jahreskosten. Dabei ist Abbildung 40 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die

Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A, B und C von 870 €/a stark auf 2.800 €/a an. Für die Option C (Vollmodernisierung mit Wärmepumpe) liegen diese bei 2.370 €/a – und damit über der günstigeren Modernisierung mit Brennwertechnik ohne Lüftungsanlage.

Der Status quo hat betriebsbedingte Kosten von 1.130 €/a und liegt damit etwa auf dem Niveau von Option A Variante 1 und 2 und Option C. Die Vollmodernisierung mit Lüftungsanlage und die Pelletvariante haben höhere Betriebskosten von 1410 bis 1540 €/a. Der Grund für die höheren Betriebskosten liegen in der erhöhten Wartung für die Option A mit Lüftungsanlage sowie für die aufwändigere Technik der Pelletvariante Option B.

Die bereits für Abbildung 39 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Da der Anstieg der Kapitalkosten jedoch höher ist als der Rückgang der Energiekosten, liegen alle Modernisierungsvarianten über dem Status quo – mit Ausnahme der Teilmodernisierung der Option A mit Kesseltausch und Dämmung der Kellerdecke. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 3.700 €/a betragen. Diese lassen sich durch eine komplette energetische Modernisierung bis auf 1.090 €/a für die Option B senken.

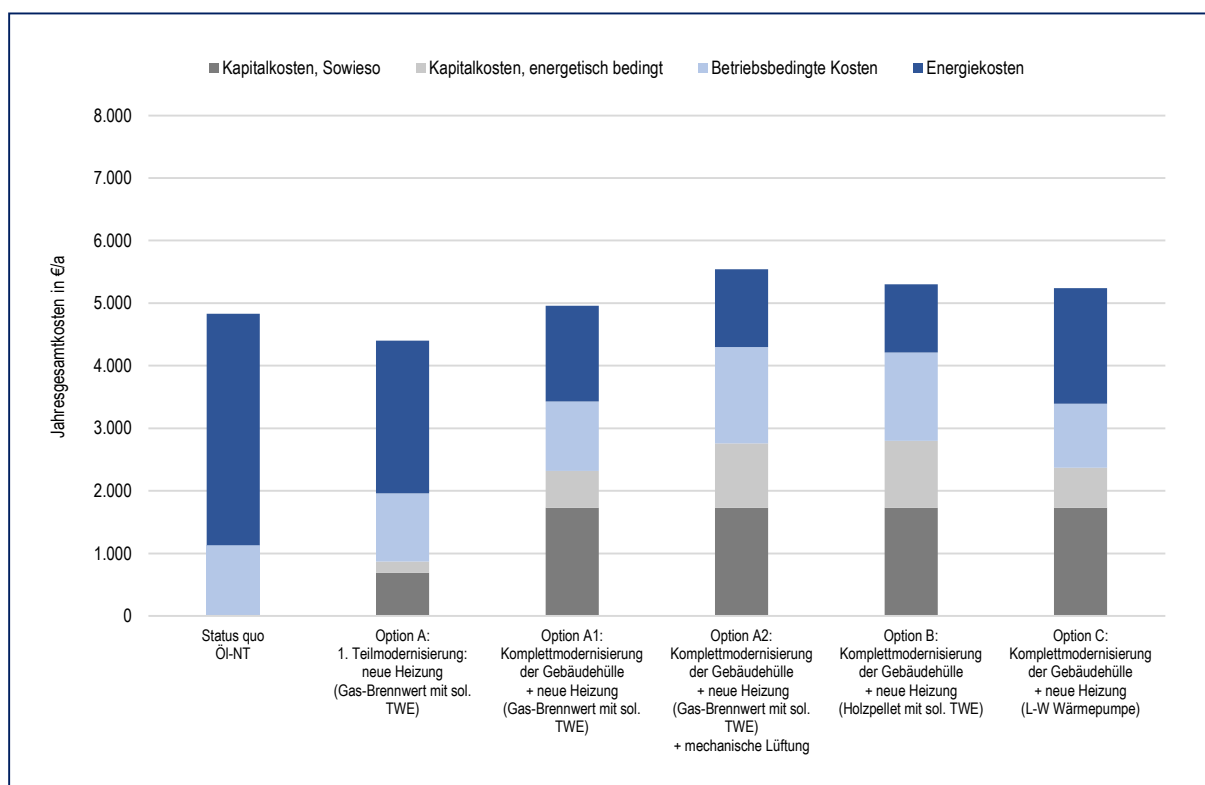


Abbildung 40: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.4.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 41 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt.

Durch den Vergleich mit dem alten Öl-Niedertemperaturkessel, der höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärmegestehungskosten besitzt, errechnen sich die negativen Vermeidungskosten für die Optionen A Variante 1. Alle anderen Modernisierungsvarianten haben CO₂ Vermeidungskosten größer Null, was bedeutet, dass zwar bis zu 9 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden, das aber mit höheren Kosten für die Investoren verbunden ist. Die damit verbundenen Kosten liegen jedoch mit 21 bis 102 €/t CO₂ auf einem niedrigen Niveau.

Die niedrigsten – und sogar negative - CO₂-Vermeidungskosten der untersuchten Modernisierungen ergeben sich bei Option A mit Teilmodernisierung. Hier sind bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 400 €/a 4 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparbar. Die Teilmodernisierung ist hier langfristig mit geringeren Kosten für die Investoren verbunden. Mehr CO₂ (minus 6 bis 9 Tonnen pro Jahr) lässt sich durch Vollmodernisierungen einsparen, was aber größere Investitionen erfordert und ggf. auch einer Förderung bedarf, um die Maßnahmen wirtschaftlich darstellen zu können.

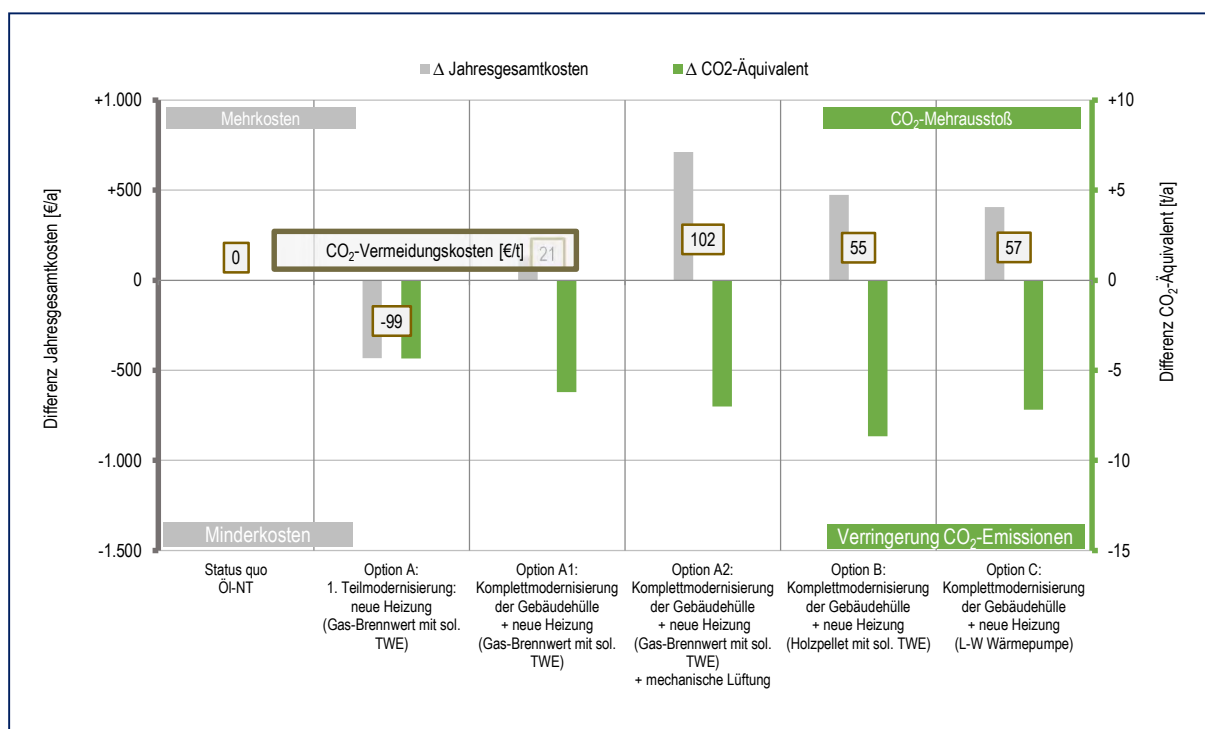


Abbildung 41: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.4.5 Diskussion der Ergebnisse

Für das beschriebene kleine Reihenmittelhaus sind hier drei zukunftsfähige und somit „2050-ready“ Modernisierungsmaßnahmen betrachtet worden. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Schon für den Fall einer Modernisierung mit Gas-Brennwert und Dämmung der Kellerdecke lassen sich 47 bis 50% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Option A um 67 bis 70 % für die Variante 2 und sogar um 74 bis 81% wenn auch noch eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut wird. Für die Pellet-Option B sinken die Emissionen sogar um 94 bis 97%. Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist an den zeitlich aufgelösten Säulen der Option C gut zu erkennen. Der derzeitige Strommix führt zu einer Einsparung von 64% der THG des Vergleichszustands. Bis 2050 ist hier – wie beim Holzpelletkessel – mit einer vollständigen Klimaneutralität zu rechnen – falls die Dekarbonisierung wie geplant voranschreitet.

Betrachtet man die Veränderung der Jahresgesamtkosten, also die Summe aller kapitalgebundenen, der betriebsbedingten und der Energiekosten kommt es allerdings zu leichter Erhöhung dieser Kosten um maximal 3 €/m². Betrachtet man alleinig den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten, also niedrigeren Energiekosten, veränderte Wartungs- und Instandsetzungskosten und zusätzliche Kapitalkosten für die rein energetischen Maßnahmen, so beträgt die Bereich der Reduzierung zwischen 5 und 8 €/m². Die resultierenden CO₂ Vermeidungskosten bewegen sich im Bereich zwischen 55 und 100 € pro Quadratmeter, was bedeutet, dass die CO₂-Verringerung sich ohne weitere Förderung nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Betrachtet man alleinig den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich negative Werte im Bereich zwischen -140 und -190 €/m². Es kommt also zu Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen und unter den angenommen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 36: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A			Option B	Option C
		1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Endenergieeinsparung	%	33	59	72	48	80
CO ₂ -Minderung	%	48	68	77	95	79
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/m ² ·a	-2	1	4	2	2
Einfluss der Modernisierung	€/m ² ·a	-6	-8	-5	-7	-7
CO₂-Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-100	20	100	55	60
Einfluss der Modernisierung	€/t	-250	-250	-140	-140	-190

5.5 Großes Reihenmittelhaus

Das große Reihenmittelhaus „RMH-groß“ ist ein in den 1980er Jahren errichtetes Gebäude aus der FIW Datenbank, dessen Fenster und Außenwand noch im Originalzustand der Errichtung sind. Dach und Kellerdecke sind bereits dünn gedämmt, weisen aber für die Zeit der Modernisierungsmaßnahmen nur moderate U-Werte auf. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellem Ausgangszustand sind noch unregelmäßig Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 80/60°C, die von einem Niedertemperatur-Ölkessel beheizt werden. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 37 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das beidseitig angebundene Reihenmittelhaus wieder.

Tabelle 37: Gebäudedaten des beidseitig angebundenes großen Reihenmittelhauses „RMH-groß“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	240
Anzahl Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A_N in m ²	228
beheiztes Volumen V_e in m ³	541
wärmeübertragende Hüllfläche $A_{Hülle}$ in m ²	213

5.5.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden drei mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, die in den Vollmodernisierungsvarianten ein „2050-Ready“ Gebäude abbilden. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung ein Austausch stattfinden. Option A sieht anlagentechnisch einen Austausch der alten Öl-Niedertemperaturanlage mit einer Pellet Heizungsanlage vor und die Gebäudehülle erhält in der ersten Unteroption eine Teilmodernisierung in Form eines Austausches der Fenster und in der zweiten Unteroption eine Vollmodernisierung nach Effizienzhausstandard. Optionen B und C sind Vollmodernisierungen, wobei für Option B noch je eine Variante mit und ohne mechanische Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% untersucht wird. Option B sieht den Austausch der alten Anlagentechnik mit einer neuen Gas-Brennwertanlage vor. Option C wird mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe berechnet. Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle benötigt.

Tabelle 38: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	Option A		Option B		Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		ÖI-NT	Pellet	Pellet	Gas-BW	Gas-BW	WP
Trinkwassererwärmung		indirekt	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	sol. TWE	
Belüftung		Fenster				zentrale LA mit WRG	
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,8		0,20	0,20	0,20	0,20
	Sockelbereich	0,8		0,20	0,20	0,20	0,20
	Fenster / Dachfenster	2,7 / 2,7	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Geneigtes Dach	0,5		0,14	0,14	0,14	0,14
	Oberste Geschossdecke	-		0,14	0,14	0,14	0,14
	Kellerboden / Kellerdecke	0,7		0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrücken	0,10		0,03	0,03	0,03	0,03
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{p,Ref}$	206	31	24	80	57	71
	% von $H'_{T,Ref}$	225	194	77	77	77	77

Für das große Reihenmittelhaus orientieren sich die Modernisierungsmaßnahmen an den Werten des Effizienzhausstandards. Die Außenwände werden dazu mit einem 140 mm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen und die Bestandsfenster durch Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Der für die Gebäudehülle relevante Bereich des Daches wird mit einer insgesamt 240 mm dicken Zwischensparren- und Aufsparrendämmung modernisiert und mit der oberen Geschossdecke, welche mit einer 200 mm dicken Dämmstoffschicht ausgekleidet wird, luftdicht verbunden. Die Kellerdeckenunterseite ist mit einer 100 mm dicken Dämmstoffschicht auszukleiden. Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung nach Effizienzhausstandard zeigt Abbildung 42. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände, Dach und oberen Gebäudeabschluss, sowie durch die Fenster. Auch die Kellerdecke hat noch einen nennenswerten Anteil an den spezifischen Transmissionswärmeverlusten.

Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient – H'_T – von 0,291 W/(m²K) erreicht werden. Dies entspricht 77% des Referenzgebäudewertes.

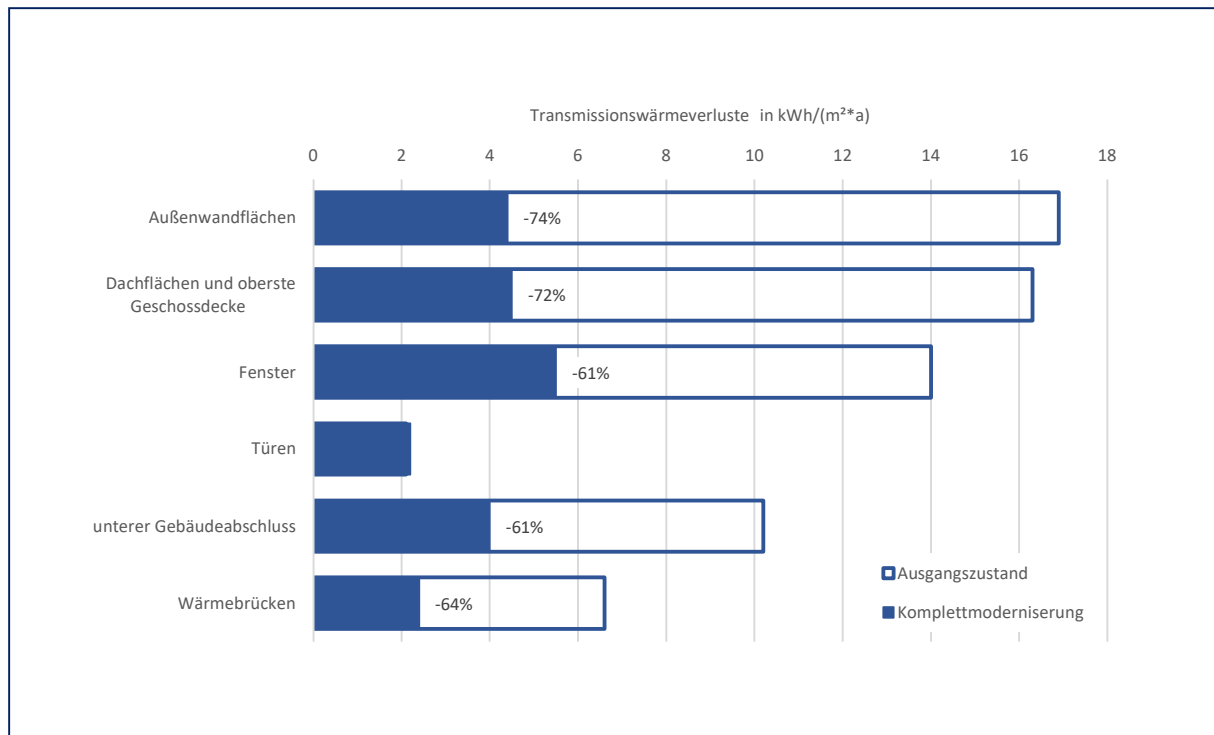


Abbildung 42: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.5.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 43 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Reihenmittelhauses. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (Option A Variante 1 mit dem Einbau einer neuen Heizung und dem Austausch der Fenster) bereits zu Einsparungen bei der Endenergie von 31 % führen, aber nur die vier Varianten der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen. Dabei wird mit dem Pelletkessel bei der Modernisierung nach Option A nur 48% Endenergie eingespart, allerdings 89% beim Primärenergiebedarf (Abbildung 44), daher kann auch hier mit Einschränkungen von einem „2050-ready“- Gebäude gesprochen werden.

Je nach Option kann der Endenergiebedarf durch eine Komplettmodernisierung zwischen 48 und 80% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen ca. 90 (Option B) und 35 kWh/(m²·a) (Option C). Die beiden Varianten der Option B mit Gas-Brennwerttechnik liegen mit 70 bzw. 46 kWh/(m²·a) zwischen den Holzpelletkessel- und der Wärmepumpen-Variante.

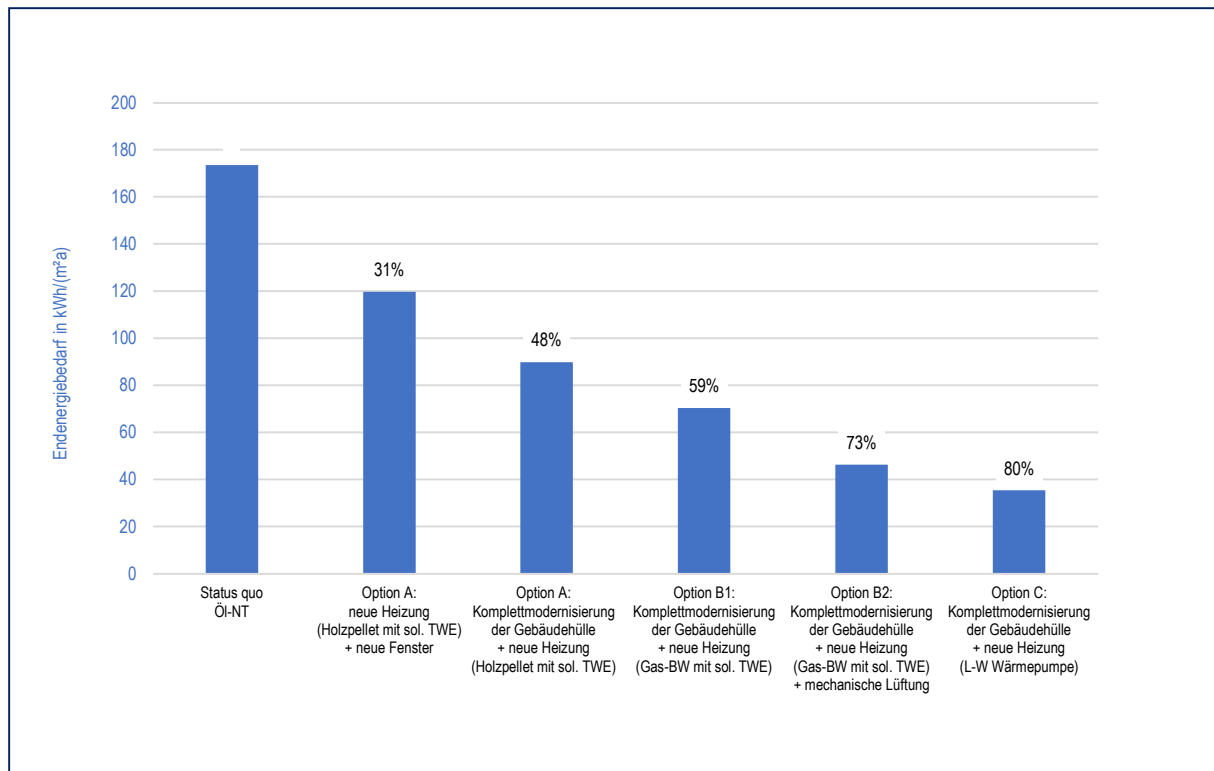


Abbildung 43: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 44 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet.

Auffällig ist der erhebliche Unterschied bei der Option A mit Pelletkessel und in geringerem Maße auch bei der Option C mit Wärmepumpe. Die Vollmodernisierung mit Holzpelletkessel reduziert den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um 89% (Option A Variante 2) auf nur noch 20 kWh/(m²·a), aber den gesamten Primärenergiebedarf nur um 43% auf immer noch 109 kWh/(m²·a). Auch bei der Wärmepumpen-Option C ist der Unterschied zwischen erneuerbarem und gesamten Primärenergiebedarf recht groß. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf geht um 82 % zurück, wohingegen der gesamte Primärenergiebedarf nur um 69% reduziert wird.

Der gesamte Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die vier Vollmodernisierungen – und damit durch den baulichen Wärmeschutz - reduziert. Die Einsparungen betragen dann zwischen 43 und 71%.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 63,4 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option C bis auf 35 kWh/(m²·a).

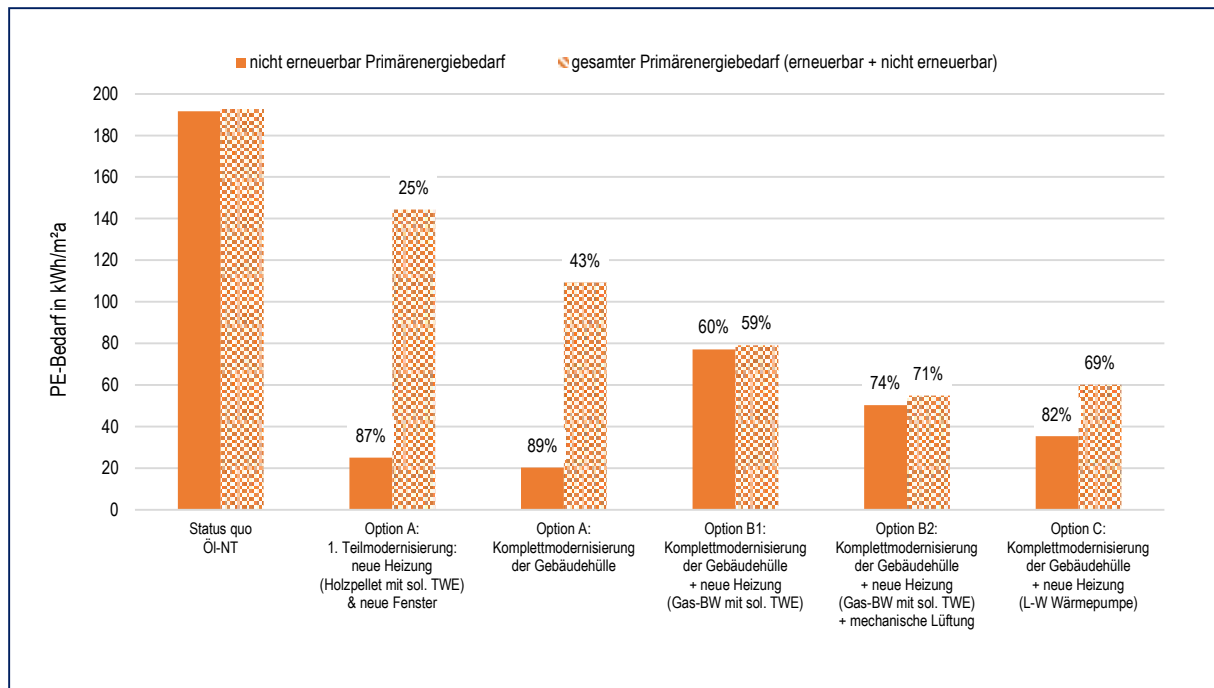


Abbildung 44: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 45 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Schon für den Fall einer Komplettmodernisierung unter Einsatz einer Gas-Brennwert-Heizung lassen sich 67 bis 70% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Wird dann noch zusätzlich eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut, können die THG Emissionen noch weiter reduziert werden. Hier sind bis zu 82% Verringerung möglich bis zum Jahr 2050. Dabei macht sich hier die Dekarbonisierung der Stromerzeugung, bedingt durch den relativ hohen Hilfsenergiebedarfs für den Betrieb der Lüftungsanlage bemerkbar, die von 2020 auf 2050 für einen Unterschied von 6 % sorgt.

Die Emissionen können für die Option A mit Pelletkessel noch deutlich weiter reduziert werden und sind schon für den Fall der Teilmodernisierung quasi klimaneutral. Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen bringt hier eine Vollmodernisierung der gesamten Gebäudehülle fast keine Verbesserung mehr.

Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist auch an den zeitlich aufgelösten Säulen der Option C gut zu erkennen. Der derzeitige Strommix führt zu einer Einsparung von 63% der THG des Vergleichszustands. Bis 2050 ist hier – wie beim Holzpelletkessel – mit einer vollständigen Klimaneutralität zu rechnen – falls die Dekarbonisierung wie geplant voranschreitet. Hier ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich.

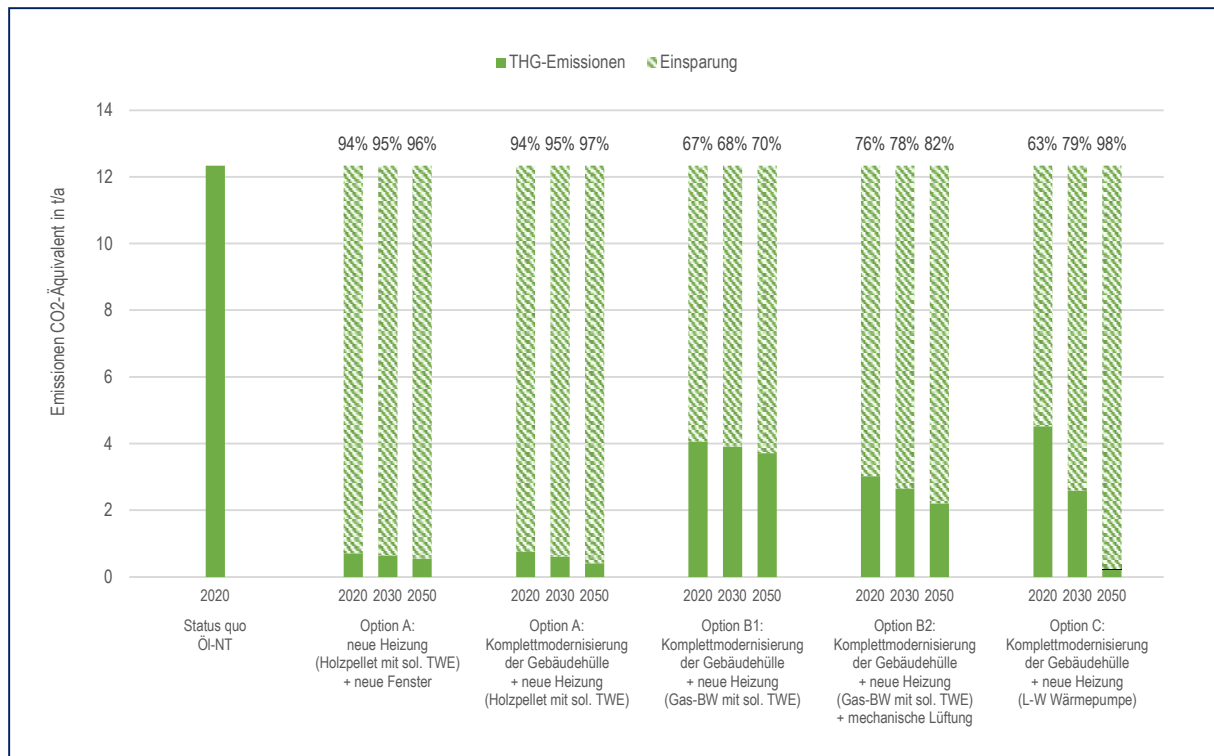


Abbildung 45: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.5.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 39 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 290 (Gas-Brennwert) und 350 (Pelletkessel) €/m². Der energiebedingte Mehrkostenanteil ist für die untersuchten Varianten ähnlich hoch und beträgt für die Gas-Brennwert-Variante 41% und für den Pelletkessel über 48%.

Tabelle 39: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A		Option B1	Option B2	Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	28.470	28.470	16.770	25.770	18.640
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	2.000	40.270	40.270	40.270	40.270
	Fenster	€	8.190	10.080	10.080	10.080	10.080
	Gesamt	€	38.660	78.820	67.120	76.120	68.990
		€/m²	170	350	290	330	300
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	19.000	19.000	7.700	16.700	9.570
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	2.000	17.480	17.480	17.480	17.480
	Fenster	€	1.740	2.160	2.160	2.160	2.160
	Gesamt	€	22.740	38.640	27.340	36.340	29.210
		€/m²	100	169	120	159	128
Förderung	Gesamt	€	7.730	15.760	13.420	15.220	13.800
		€/m²	30	70	60	70	60
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	30.930	63.060	53.700	60.900	55.190
		€/m²	140	280	230	260	240

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 40 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei der Option B mit Gas-Brennwert-Technologie liegen diese bei 1.220 bis 1.660 €/a. Der große Unterschied in den beiden Vollmodernisierungsvarianten ist durch die aufwändigere Technik mit mechanischer Lüftungsanlage bedingt. Die Option A hat, durch die bei Pelletkesseln aufwändigere Wartung, Betriebskosten, die nur geringfügig unter den Kosten für die Gas-Brennwert-Variante mit Lüftungsanlage liegen (1.470 €/a). Die niedrigsten Betriebs- und Instandhaltungskosten hat die Option C mit der Wärmepumpe (1.110 €/a). Die Option C liegt damit was die Betriebs- und Instandhaltungskosten angeht ziemlich genau bei dem Wert für den Ausgangszustand.

Tabelle 40: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Option A		Option B1	Option B2	Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	1.130	1.470	1.470	1.220	1.660	1.110
	€/m²	5	6	6	5	7	5

Energiekosten

In Abbildung 46 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist ein großer Anstieg der Energiekosten für die Energieträger Gas und Holz im Vergleich von 2030 mit 2020. Dabei kommt die Vollmodernisierung jeweils etwas günstiger weg als die Teilmodernisierung. Für die Gas-Brennwert-Varianten ergibt sich ein kleiner Vorteil bei den Energiekosten 2030 für die Ausführung mit mechanischer Lüftungsanlage.

Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 10 auf 21 €/m²·a erhöhen. Im Falle der Komplettmodernisierung mit Gas-Brennwert-Technologie reduzieren sich, aufgrund der starken Reduktion des Endenergiebedarfs, die spezifischen Energiekosten auf 4 bis 7 (Variante 2) bzw. auf 4 bis 9 €/m²·a für die einfachere Variante 1. Auffällig ist auch die Entwicklung bei der Option C (Wärmepumpe). Hier steigen die Energiekosten 2020 gegenüber dem Status quo sogar leicht auf 11 €/m²·a, bleiben aber dann auch in 2030 konstant. Die niedrigsten Energiekosten haben beide Modernisierungen mit Holzpelletkessel für das Jahr 2020 mit 4 €/m²·a. Ebenfalls 4 €/m²·a im Jahr 2020 hat die Variante 2 der Option B mit Brennwert und mechanischer Lüftungsanlage. Für die beiden vollmodernisierten Fälle steigen die Kosten auch 2030 nur auf 7 bzw. 9 €/m²·a. Die Teilmodernisierung mit Holzpelletkessel sowie die Gas-Brennwert Option B in der Variante ohne Lüftungsanlage liegen mit 8 bzw. 9 €/m²·a etwas darüber.

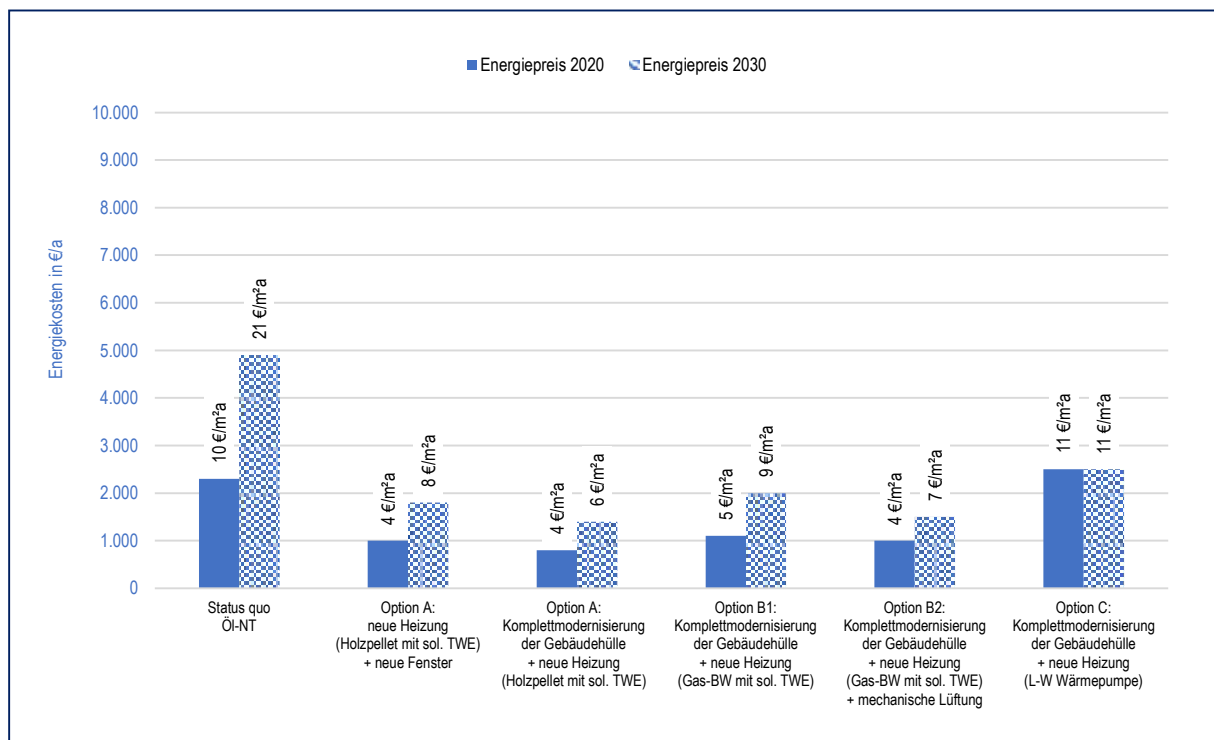


Abbildung 46: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) dargestellt und verglichen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für den Status quo (3.500 €/a). Die niedrigsten Jahresgesamtkosten aller Modernisierungen finden sich für die Teilmodernisierung mit Holzpelletkessel (4.200 €/a) und mit Einschränkungen auch noch für die Gas-Brennwert-Variante ohne Lüftungsanlage. Die anderen drei Komplettmodernisierungen - „2050-ready“ – liegen deutlich höher mit 5300 bis 6100 €/a. Damit führen alle Modernisierungen zu höheren Jahresgesamtkosten als der Status quo.

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt ein deutlich ausgeglicheneres Bild. Die Jahresgesamtkosten für den Status quo steigen auf 6000 €/a und liegen damit gleichauf mit der Vollmodernisierung mit Pelletkessel und mit der Gas-Brennwert-Variante mit Lüftungsanlage. Die Option C liegt nur noch minimal darüber (6.100 €/a). Die Teilmodernisierung mit Holzpelletkessel und die Gas-Brennwert-Option ohne Lüftungsanlage führen 2030 bereits zu geringeren Jahresgesamtkosten als die Ausgangssituation. Alle Modernisierungen mit nennenswerter Reduktion der Primär- und Endenergie sind für Investoren ähnlich teuer wie die Erhaltung des Status quo. Sollen hier Investitionen ausgelöst werden, müssen die Mehrkosten durch gezielte Förderung ausgeglichen werden.

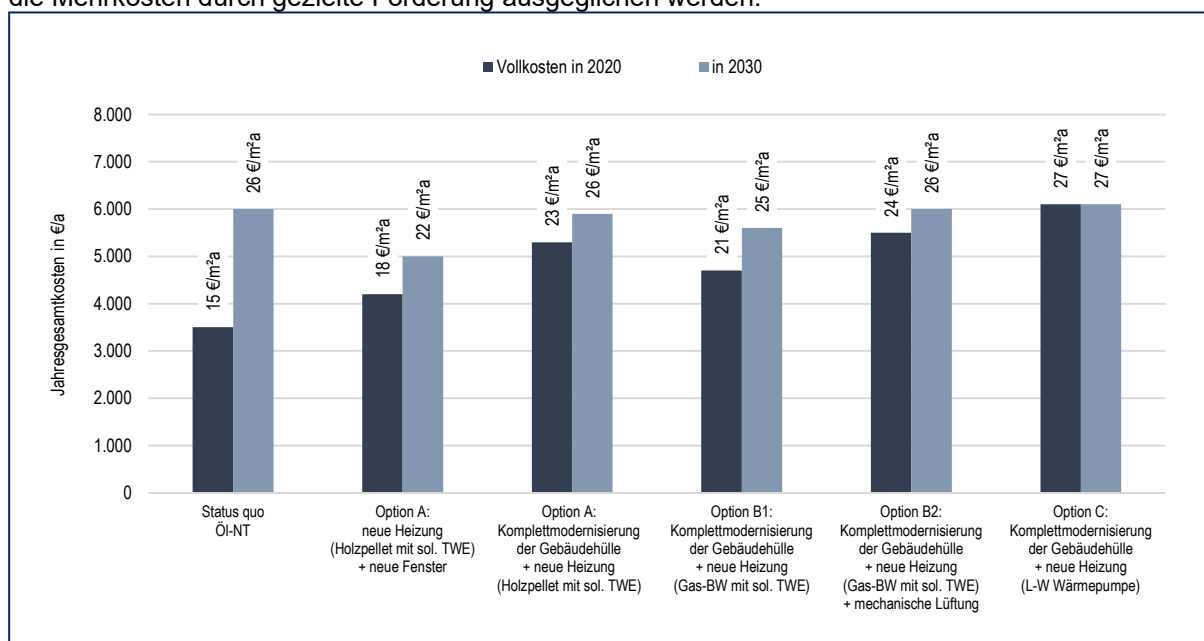


Abbildung 47: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt. Abbildung 48 ist nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A und B von 1.770 €/a stark auf 2.950 €/a an. Für die Option C (Vollmodernisierung mit Wärmepumpe) liegen diese mit 2.470 €/a etwa auf dem Niveau der Vollmodernisierung mit Gas-Brennwert-Gerät ohne Lüftungsanlage (2.380 €/a).

Die betriebsbedingten Kosten der beiden Pellet-Varianten (1.470 €/a) liegen nur geringfügig unter den Kosten der Modernisierung mit Gas-Brennwert und Lüftungsanlage (1.660 €/a). Die Option B Variante

1, Option C und der Status quo liegen bei ähnlichen Betriebskosten, wobei die Option C mit der Wärmepumpe mit 1.110 €/a die niedrigsten Betriebskosten hat.

Die bereits für Abbildung 47 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Alle Modernisierungsvarianten liegen dadurch zumindest auf dem gleichen Niveau wie der Status quo, bzw. führen zu niedrigeren Jahresgesamtkosten. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 4.910 €/a betragen. Dieses lassen sich durch eine komplette energetische Modernisierung bis auf 1.450 €/a für die Option A in der Ausführung als Vollmodernisierung senken.

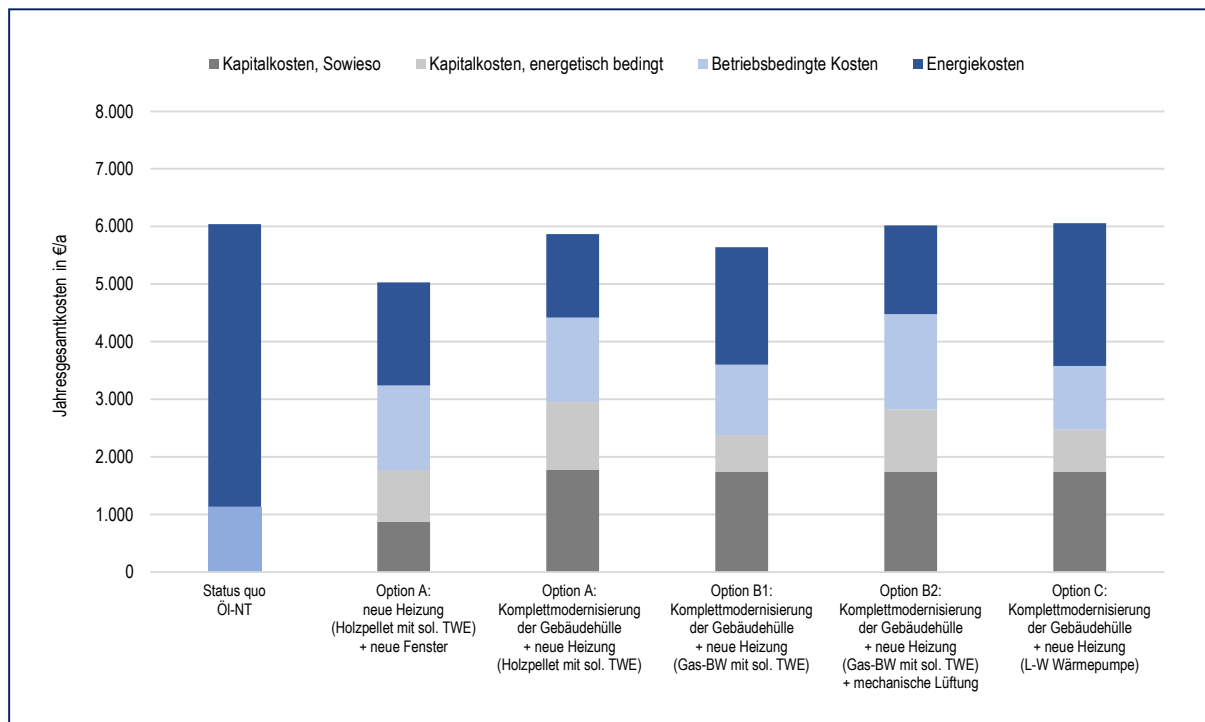


Abbildung 48: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.5.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Folgende Abbildung zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt. Durch den Vergleich mit dem alten Öl-Niedertemperaturkessel, der höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärmegestehungskosten besitzt, errechnen sich für alle Modernisierungsvarianten negative Vermeidungskosten. Lediglich die Option C hat mit 2 €/t minimal positive Vermeidungskosten. Damit sparen alle Modernisierungsvarianten nicht nur zwischen 8 und 12 Tonnen CO₂ pro Jahr ein, sondern sparen den Investoren zusätzlich auch Geld.

Die mit Abstand niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten der untersuchten Modernisierungen ergeben sich bei Option A mit Teilmodernisierung. Hier ist bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 1000 €/a zudem auch mit fast 12 Tonnen CO₂ die pro Jahr die höchste Verringerung der Emissionen feststellbar.

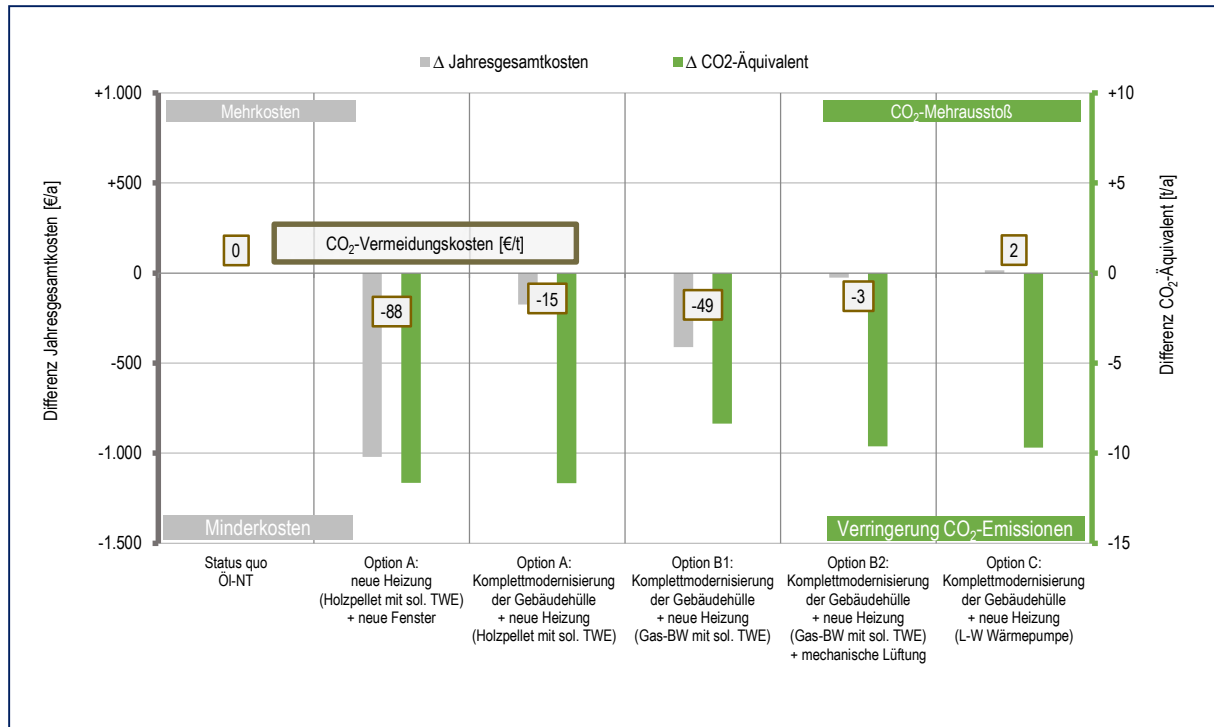


Abbildung 49: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.5.5 Diskussion der Ergebnisse

Für das große Reihenmittelhaus werden im Fall der Komplettmodernisierung der Gebäudehülle drei unterschiedliche Heizungsanlagenoptionen beispielhaft diskutiert. Betrachtet wird eine Variante Holzpellet inklusive solarer Trinkwassererwärmung, eine Variante Gas-Brennwert Kessel inklusive solarer Trinkwassererwärmung und eine Variante mit Luft Wasser Wärmepumpe. Bei der Gas-Brennwert-Option wird noch der Fall mit und ohne mechanische Lüftungsanlage untersucht. Bei der Holzpellet-Variante kann der Energiebedarf um 48%, bei der Variante Gasbrennwert um 59% beziehungsweise 73% (mit mechanischer Lüftungsanlage) und bei der Variante mit Luft-Wasserwärmepumpe um 80% gegenüber dem Ausgangsfall reduziert werden. Die Optionen A (Holzpellet) als auch die Option C (Wärmepumpe) sind 2050 nahezu klimaneutral. Bei den Gasbrennwert-Optionen erfolgt eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 70 - 80%.

Aufgrund des hohen Strompreises betragen die Jahresenergiekosten in der Option C 11 € pro Quadratmeter und sind damit deutlich teurer als die anderen beiden Optionen, aber trotzdem mehr als 50% günstiger als der Status quo. Für alle 3 Komplettmodernisierungsoptionen liegen die Kosten in der Größenordnung von 26 € pro Quadratmeter und sind nahezu identisch wie dem unsanierten und nicht klimaneutralen Status quo. Alle Modernisierungsvarianten weisen bei Vollkostenbetrachtung negative bzw. nahe Null liegende CO₂ Vermeidungskosten auf. Damit lassen sich im Jahr 2030 alle drei Modernisierungsoptionen bei der angesetzten Förderung wirtschaftlich darstellen. Betrachtet man zusätzlich alleinig den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten, so ergeben sich negative Werte im Bereich zwischen -160 und -270 €/m². Es kommt also zu Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen und unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 41: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A		Option B		Option C
		1. Teil-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung
Endenergieeinsparung	%	31	48	59	73	80
CO ₂ -Minderung	%	95	95	68	78	79
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/(m ² ·a)	-4	-1	-2	0	0
Einfluss der Modernisierung	€/(m ² ·a)	-8	-9	-9	-8	-8
CO₂-Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-90	-10	-50	0	0
Einfluss der Modernisierung	€/t	-160	-170	-250	-180	-180

5.6 Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten

Das MFH-6WE Gebäude ist ein Mehrfamilienhaus in geschlossener Bebauung und der Baualtersklasse 1960er Jahre. Flachdach und Kellerdecke sind bereits in den 1990er Jahren moderat gedämmt worden und die Fenster wurden einmalig erneuert. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellem Ausgangszustand sind noch unregelmäßig Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 80/60°C, die von einem Niedertemperatur-Ölkessel beheizt werden. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 42 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das beidseitig angebundene Mehrfamilienhaus wieder.

Tabelle 42: Gebäudedaten des beidseitig angebundenes kleinen Mehrfamilienhauses „MFH-klein 6WE“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	335
Anzahl Wohneinheiten	6
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A _N in m ²	474
beheiztes Volumen V _e in m ³	1125
wärmeübertragende Hüllfläche A _{Hülle} in m ²	647

5.6.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden fünf mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, wovon jede Option eine Vollmodernisierung der Gebäudehülle, jedoch nach unterschiedlichen energetischen Standards vorsieht. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung ein Austausch stattfinden. Option A beschreibt anlagentechnisch einen Austausch der alten Öl-Niedertemperaturanlage mit einer Gas Brennwertanlage. Dabei wird die erste Unteroption mit einer Vollmodernisierung nach minimalen Referenzgebäudestandard der EnEV und die zweite Unteroption mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% und einer Vollmodernisierung nach Effizienzhausstandard kombiniert. Die gleiche Modernisierungsstrategie der Gebäudehülle liegt auch bei den Unteroptionen der Option B vor, jedoch wird dort die alte Anlagentechnik mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zusammen mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% ausgetauscht. Abschließend berechnet Option C einen Austausch der Anlagentechnik mit einem Nah-/Fernwärmeanschluss, ebenfalls kombiniert mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80% und einer Vollmodernisierung der Gebäudehülle nach Hocheffizienzhausstandard. Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle benötigt.

Tabelle 43: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	Option A		Option B		Option C
			Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	WP	WP	Nah-/Fernwärme
Trinkwassererwärmung		indirekt	sol. TWE	sol. TWE			
Belüftung		Fenster		zentrale LA mit WRG	zentrale LA mit WRG	zentrale LA mit WRG	zentrale LA mit WRG
U-Wert in W/m^2K	Außenwand	1,0	0,28	0,20	0,28	0,20	0,15
	Sockelbereich	1,0	0,28	0,20	0,28	0,20	0,15
	Fenster / Dachfenster	1,9 / -	1,3 / -	0,95 / -	1,3 / -	0,95 / -	0,80 / -
	Flachdach	0,6	0,2	0,14	0,2	0,14	0,11
	Oberste Geschossdecke	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke	1,0	0,35	0,25	0,35	0,25	0,20
	Wärmebrücken	0,10	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{P,Ref}$	207	88	49	56	46	60
	% von $H'_{T,Ref}$	222	100	71	96	71	59

Für das kleine Mehrfamilienhaus sind für die Komplettmodernisierungen der Gebäudehülle drei verschiedene energetische Standards vorgesehen. Die Maßnahmen der Optionen A1 und B1 sehen eine Modernisierung nach den minimalen Anforderungen des Referenzgebäudestandards der EnEV vor. Die Außenwände werden dazu mit einem 80 mm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen und die Bestandsfenster durch Fenster mit 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung ersetzt. Das Flachdach ist mit einer insgesamt 120 mm dicken und die Kellerdeckenunterseite mit einer 60 mm dicken Dämmschicht auszukleiden.

Die Modernisierungsmaßnahmen der Unteroptionen A2 und B2 orientieren sich an den Werten des Effizienzhausstandards. Die Außenwände müssen dazu ein 140 mm dickes Wärmedämmverbundsystem erhalten und die Bestandsfenster durch Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgetauscht werden. Die Dämmschicht des Flachdaches muss dazu auf eine Dicke von 200 mm und die der Kellerdeckenunterseite auf 100 mm erhöht werden.

Die Vollmodernisierung der Option C basiert auf dem Hocheffizienzstandard, weshalb die einzelnen Bauteile mit entsprechend höheren Dämmstoffdicken oder wärmetechnisch besseren Eigenschaften modernisiert werden müssen. Die notwendige Dicke des Wärmedämmverbundsystems erhöht sich somit auf 200 mm, das Flachdach benötigt Dämmstoffdicken von 260 mm und die Dämmung der Kellerdecke wird auf 140 mm aufgestockt.

Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung nach Effizienzhausstandard (Option A2, B2 und C) die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 und für die Komplettmodernisierung nach Referenzgebäudestandard (Option A1 und B1) die Kategorie A angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung nach Effizienzhausstandard zeigt Abbildung 50. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände und den oberen Gebäudeabschluss und den Fenstern. Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient H'_T von $0,257 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden. Dies entspricht 60% des Referenzgebäudewertes.

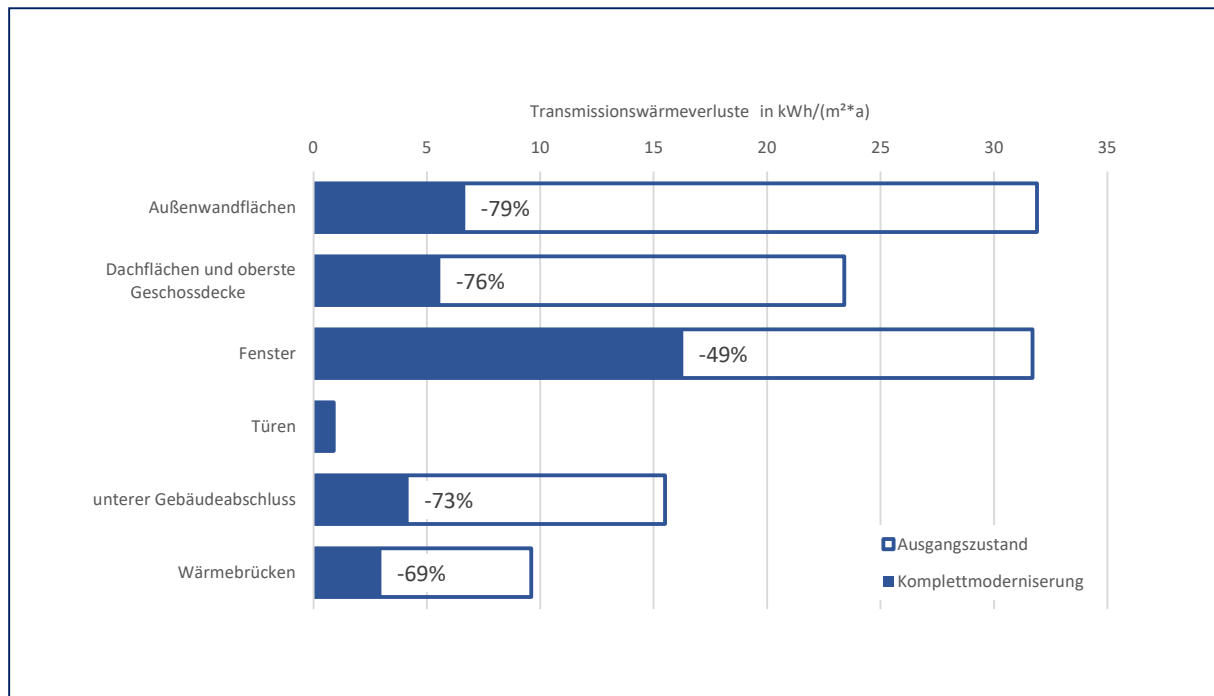


Abbildung 50: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.6.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 51 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen, beidseitig angebauten Mehrfamilienhauses.

Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Modernisierung auf den Referenzgebäudestandard (Option A Variante 1 mit dem Einbau einer neuen Heizung und der moderaten energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle) bereits zu Einsparungen bei der Endenergie von 58 % führt, aber nur die anderen vier Varianten der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen. Dabei wird mit den beiden Wärmepumpen-Varianten (Option B) die größte Einsparung an Endenergie erreicht (86 bzw. 89%). Bei Anschluss des Gebäudes an die Nah-/Fernwärme beträgt die Einsparung bei der Endenergie 76%, obwohl der Hocheffizienzstandard für die Gebäudehülle umgesetzt wurde.

Je nach Option kann der Endenergiebedarf durch eine Komplettmodernisierung zwischen 58 und 89% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen 78 (Option A Variante 1) und

21 kWh/(m²·a) (Option B Variante 2). Die Option C zeigt trotz des höchsten energetischen Standards der Gebäudehülle immer noch einen Endenergiebedarf von 43 kWh/(m²·a).

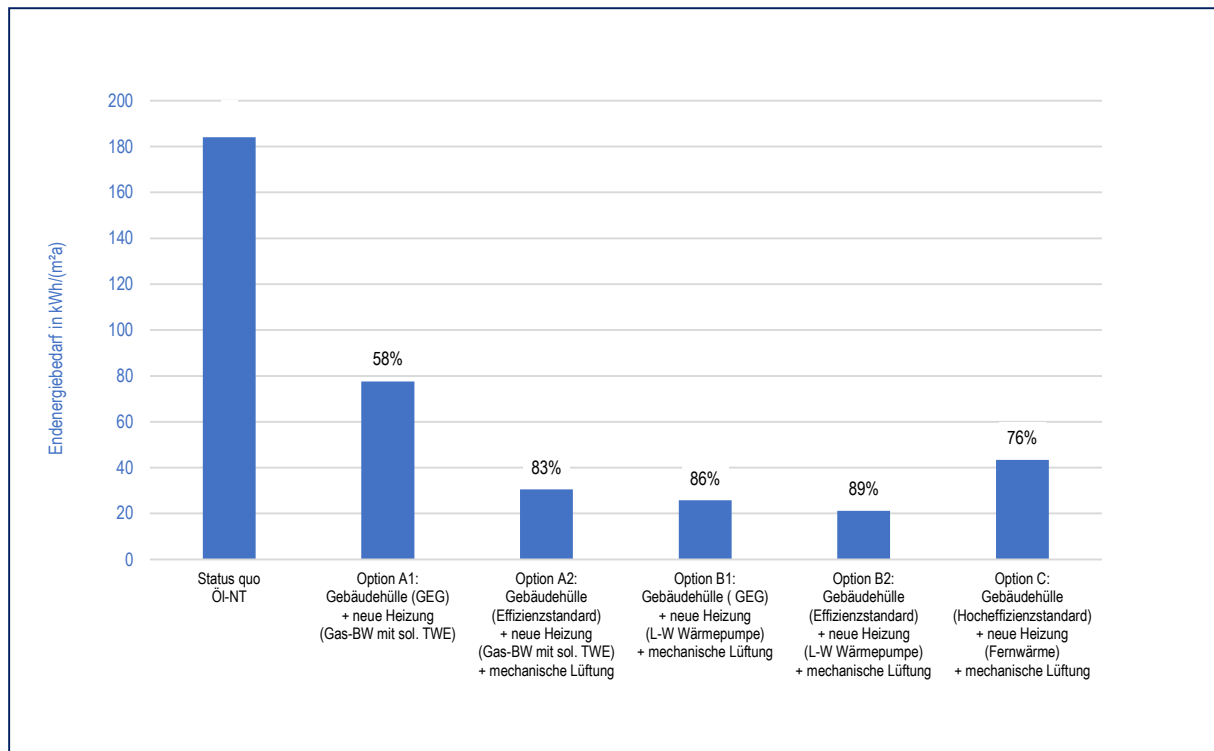


Abbildung 51: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 44 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet.

Bei den ausgewählten Modernisierungsoptionen mit Wärmepumpe – und in geringerem Maße auch bei der Option C mit Nah-/Fernwärme – ist ein Unterschied zwischen erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf zu sehen. Dieser hängt mit der Zusammensetzung der Energieträger bei der Erzeugung des Wärmepumpenstroms bzw. der Nah-/Fernwärme zusammen. Bei der Option A Variante 1 (Referenzstandard- Ausführung der Maßnahmen an der Gebäudehülle) kann sowohl der erneuerbare als auch der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf um 58% gesenkt werden. Mit fossiler Heiztechnik und Referenzausführung der Gebäudehülle ist somit eine Dekarbonisierung des Gebäudes nicht möglich. Hierfür bräuchte es einen verbesserten Dämmstandard (Option A Variante 2 mit Effizienzstandard) und zusätzlich auch eine mechanische Lüftungsanlage. Dann kann der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf auch mit Gas-Brennwerttechnik um 82% vermindert werden.

Die deutliche Reduzierung des Primärenergiebedarfs bei den beiden Wärmepumpenvarianten und bei der Option C mit Nah-/Fernwärme hängen direkt von der Dekarbonisierung der Energieerzeugung ab. Hier ist eine Reduzierung um 87 bis 90 % gegenüber dem Ausgangszustand machbar.

Alle Vollmodernisierungen auf Effizienzstandard und Hocheffizienzstandard reduzieren den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um mindestens 84% (Option A Variante 2) auf nur noch 33 kWh/(m²·a). Für die Wärmepumpenvariante mit mechanischer Lüftungsanlage sind sogar 90%

Reduzierung machbar, auf nur noch 21 kWh/(m²·a). Der gesamte Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die vier Vollmodernisierungen reduziert, welche einen vernünftigen energetischen Standard bei der Hülle aufweisen. Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 70,4 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option B V 2 bis auf 21 kWh(m²·a).

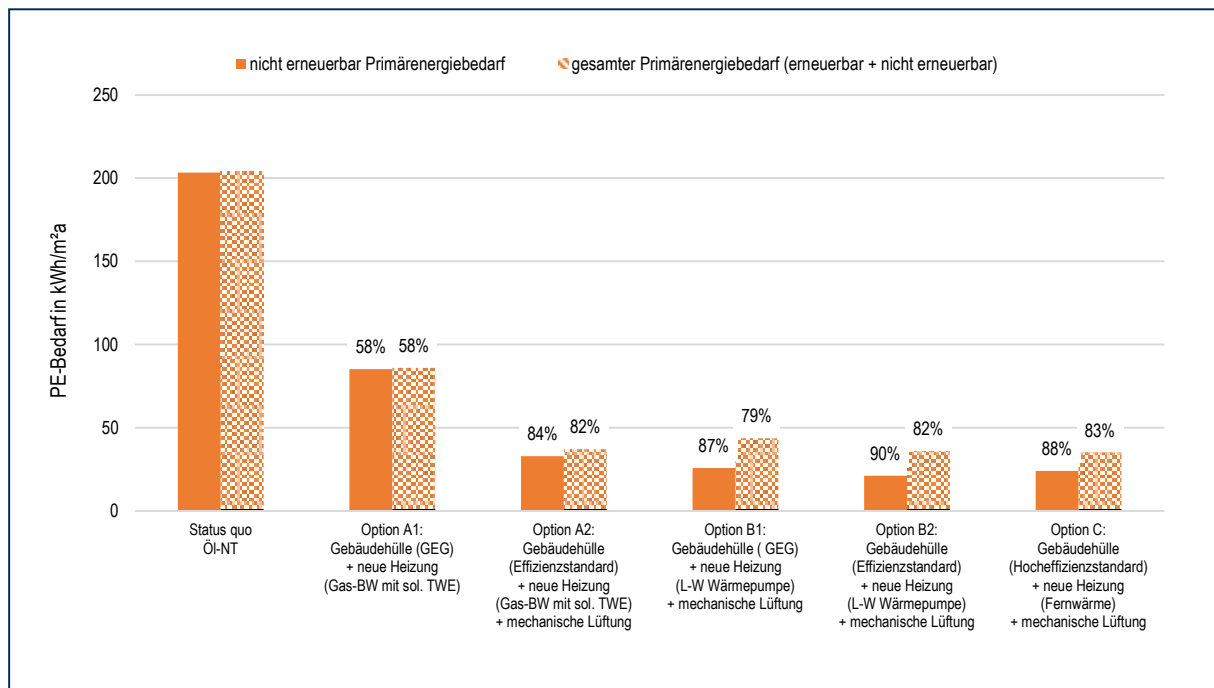


Abbildung 52: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 77 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Schon für den Fall einer Komplettmodernisierung unter Einsatz einer Gas-Brennwert-Heizung lassen sich 67 bis 68% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen, wenn auf den Referenzgebäudestandard gedämmt wird. Bei höherem Dämmniveau der Außenbauteile ergeben sich größere Einsparungen für die Option A Variante 2 von 84 bis 90% entsprechend der Betrachtungsjahre. Hier machen sich der höhere Gebäudestandard aber auch die eingesetzte mechanische Lüftungsanlage bemerkbar.

Die Reduzierung der THG Emissionen für die Wärmepumpen-Option B und die Nah-/Fernwärme hängen direkt an der Dekarbonisierung der Energieerzeugung. Wird diese umgesetzt, ist ebenfalls eine Dekarbonisierung des Gebäudes bis 2050 machbar. Es würden dann unabhängig vom realisierten Dämmstandard (Effizienzstandard oder Hocheffizienzstandard) fast keine Treibhausgase in dem Gebäude mehr anfallen. Hier ist es wichtig auch den Endenergiebedarf zu betrachten, um wenig ambitionierte Modernisierung an der Gebäudehülle zu vermeiden und stattdessen auf die

Dekarbonisierung der Energieerzeugung zu warten. Damit einher geht auch eine bessere Kostensicherheit für die Bewohner bei steigenden Energiepreisen.



Abbildung 53: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.6.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 44 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die Vollkosten für alle Komplettmodernisierungen auf einen etwas ambitionierteren energetischen Standard bei der Hülle liegen bei ca. 500 bis 540 €/m²

Tabelle 44: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A		Option B		Option C
			Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	27.540	81.810	94.570	91.970	66.500
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	41.970	48.520	41.970	48.520	54.890
	Fenster	€	99.130	117.520	99.130	117.520	127.840
	Gesamt	€/m²	168.640	247.850	235.670	258.010	249.230
		€	360	520	500	540	530
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	6.700	61.270	74.030	71.430	45.960
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	21.400	27.950	21.400	27.950	34.320
	Fenster	€/m²	8.140	26.530	8.140	26.530	36.850
	Gesamt	€	36.240	115.750	103.570	125.910	117.130
		€/m²	77	244	219	266	247
Förderungskosten	Gesamt		33.730	49.570	47.130	51.600	49.850
			70	100	100	110	110
Verbleibenden Kosten	Gesamt		134.910	198.280	188.540	206.410	199.380
			290	420	400	430	420

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 45 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Alle Optionen mit mechanischer Lüftungsanlage führen zu deutlich höheren jährlichen Aufwendungen (ca. 3.350 bis 3.690 €/a).

Tabelle 45: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Option A		Option B		Option C
			Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	2.180	2.230	3.690	3.630	3.540	3.350
	€/m²	5	5	8	8	7	7

Energiekosten

In Abbildung 78 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist.

Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für den Energieträger Öl für den Status quo und Gas in der Variante mit der einfachen Modernisierung der Hülle im Referenzstandard im Vergleich von 2030 mit 2020. Alle anderen Vollmodernisierungen auf bessere Standards der Hülle zeigen geringere Kostenanstiege für 2030 im Vergleich mit 2020.

Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 11 auf auf 23 €/((m²·a) erhöhen. Alle Komplettmodernisierungen schaffen es die Energiekosten deutlich zu reduzieren. Bei der Referenzniveau Variante auf 5 bis 10 €/m² (Option A Variante 1) bzw. noch deutlich darunter wenn die Hülle besser gedämmt wird und Lüftungsanlagen eingebaut werden. Die niedrigsten Energiekosten hat die Option A Variante 2 mit Gas-Brennwerttechnik und Lüftungsanlage bei gleichzeitig sehr gutem Gebäudestandard mit 3 €/((m²·a) in 2020 und 5 €/((m²·a) in 2030.

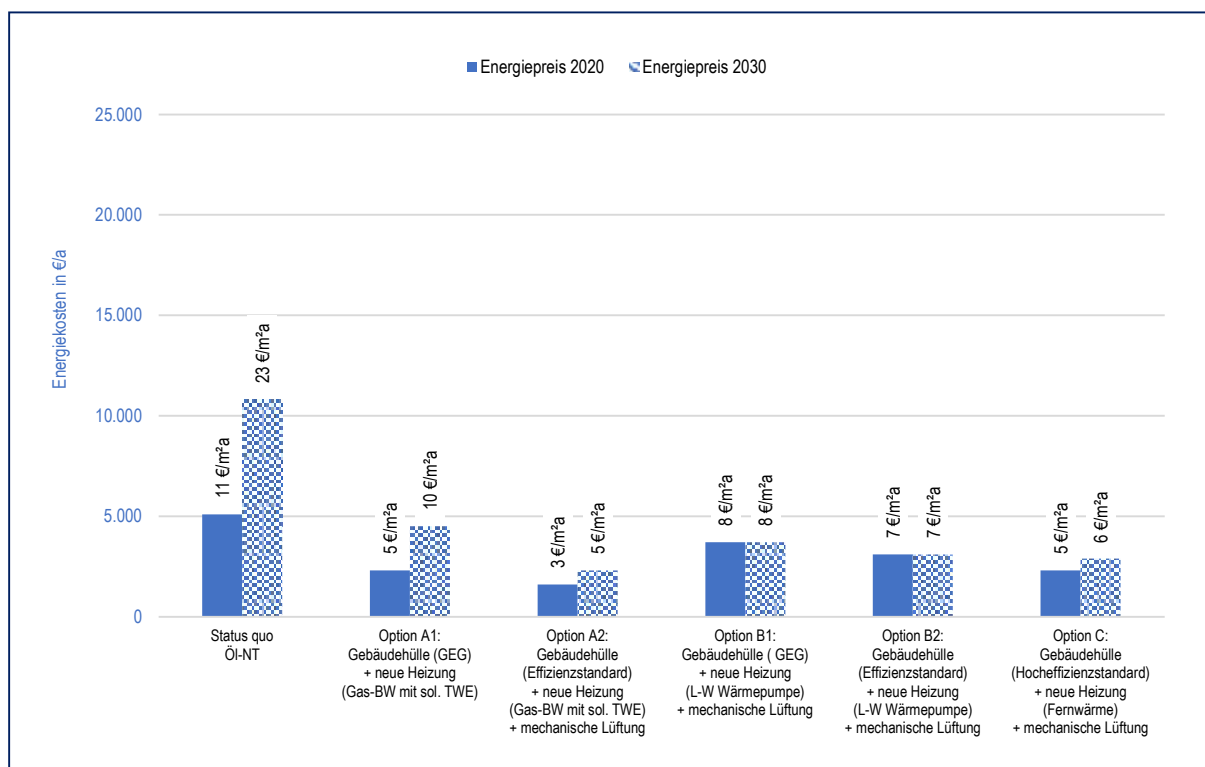


Abbildung 54: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 79 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für den Status quo (7.300 €/a) und die Komplettmodernisierung auf Referenzstandard mit Gas-Brennwerttechnik (10.300 €/a). Alle anderen Komplettmodernisierungen - „2050-ready“ – liegen mit bis zu 16.400 €/a deutlich darüber. Von Option A Variante 2 mit Gas-

Brennwerttechnik, Effizienzstandard bei der Dämmung und Lüftungsanlage bis zu Option C gibt es nur geringe Unterschiede.

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt ein sehr ähnliches Bild. Nur die Option A Variante 1 ist nun günstiger als der Status quo. Die anderen Komplettmodernisierungen auf bessere energetische Standards haben auch 2030 noch höhere Jahresgesamtkosten, wobei es fast nicht zu Kostensteigerungen gegenüber 2020 kommt. Alle Modernisierungen mit nennenswerter Reduktion der Primär- und Endenergie sind für den Investor teurer als den Status quo zu erhalten. Sollen hier Investitionen ausgelöst werden, müssen die Mehrkosten durch gezielte Förderung ausgeglichen werden.

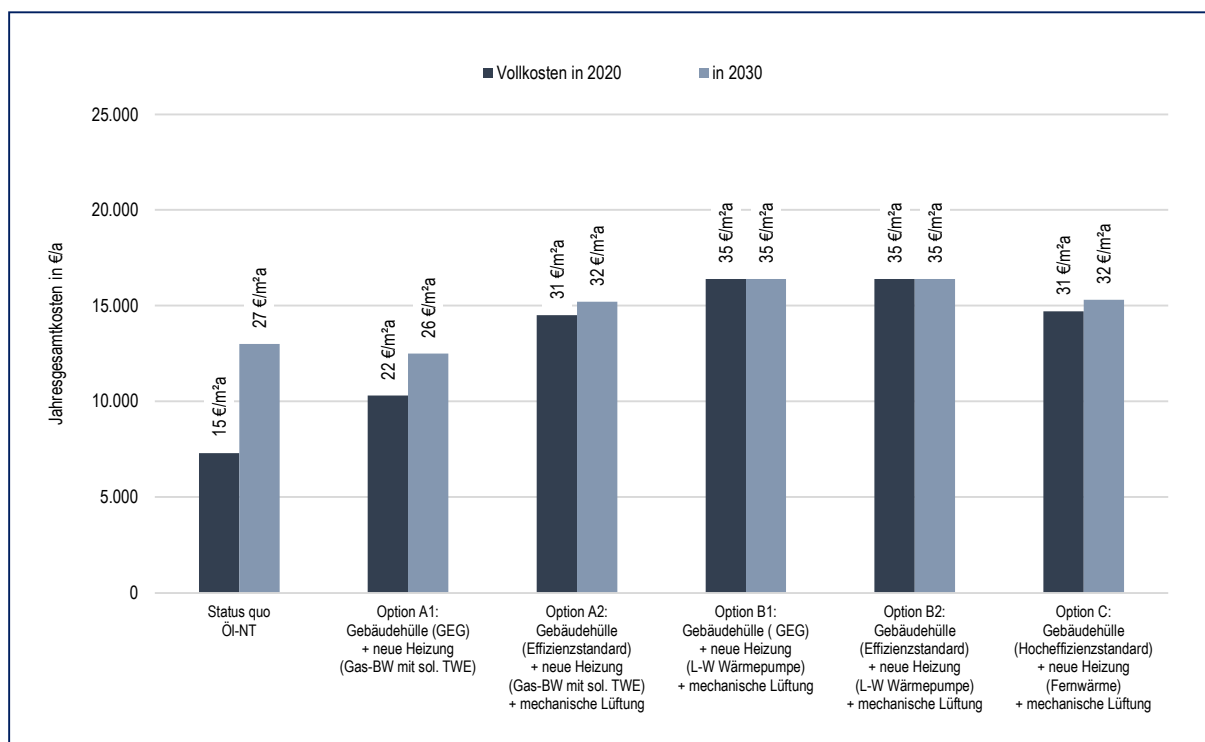


Abbildung 55: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 56 zeigt die verschiedenen Kostenanteile an den Vollkosten für das Jahr 2030. Die Darstellung der Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten beziehen sich dabei auf den unteren Preispfad. Die Kapitalkosten der ohnehin notwendigen Maßnahmen unterscheiden sich dabei nur wenig für die 5 Vollmodernisierungen. Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten sind für die Option A Variante 1 niedriger als bei den anderen 4 Vollmodernisierungen. Dabei ist Abbildung 56 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A, B und C von 5.500 €/a stark auf maximal 9.750 €/a (Option B Variante 2) an. Für die Option C (Vollmodernisierung im Hocheffizienzstandard mit Nah-/Fernwärme) liegen diese bei 9.030 €/a - und damit trotz höherem energetischem Standard der Hülle unter der Modernisierung mit Wärmepumpe.

Die bereits für Abbildung 55 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Da der Anstieg der Kapitalkosten jedoch höher ist als der Rückgang der Energiekosten, liegen alle Modernisierungsvarianten über dem Status quo – mit Ausnahme der Teilmodernisierung der Option A mit Kesseltausch und Dämmung

der Kellerdecke. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 10.800 €/a betragen. Diese lassen sich durch eine komplette energetische Modernisierung bis auf 2.300 €/a für die Option A 2 senken.

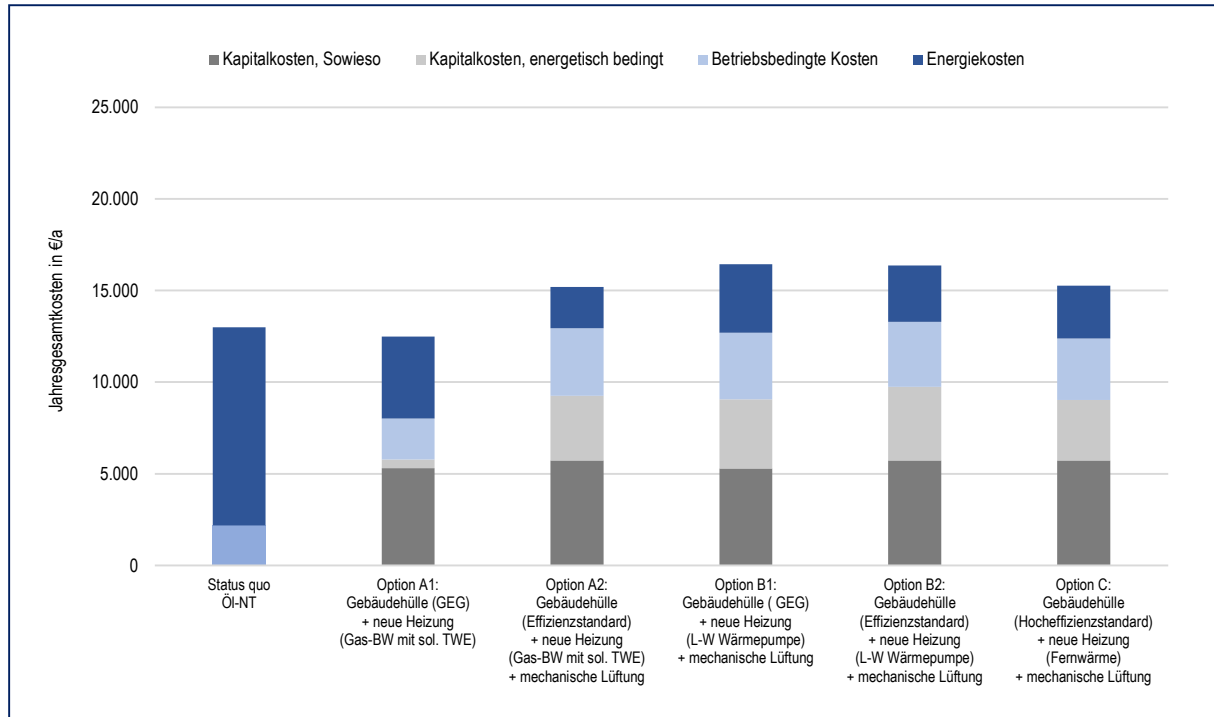


Abbildung 56: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.6.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 57 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt. Durch den Vergleich mit dem alten Öl-Niedertemperaturkessel, der höhere Emissionen und gleichzeitig auch höhere Wärmegestehungskosten besitzt, errechnen sich die negativen Vermeidungskosten für die Optionen A Variante 1. Alle anderen Modernisierungsvarianten haben CO₂ Vermeidungskosten größer Null, was bedeutet, dass zwar bis zu 24 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden, das aber mit deutlich höheren Kosten für die Investoren verbunden ist. Die damit verbundenen Kosten liegen zwischen 95 und 149 €/t CO₂.

Die niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten der untersuchten Modernisierungen ergeben sich bei Option A mit Modernisierung auf Referenzniveau bei der Hülle. Hier sind bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 500 €/a 18 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparbar. Die Teilmodernisierung ist hier langfristig mit geringeren Kosten für die Investoren verbunden. Mehr CO₂ (minus 23 bis 24 Tonnen pro Jahr) lässt sich durch die höherwertigen Vollmodernisierungen einsparen, was aber größere Investitionen erfordert und ggf. auch einer Förderung bedarf, um die Maßnahmen wirtschaftlich darstellen zu können.

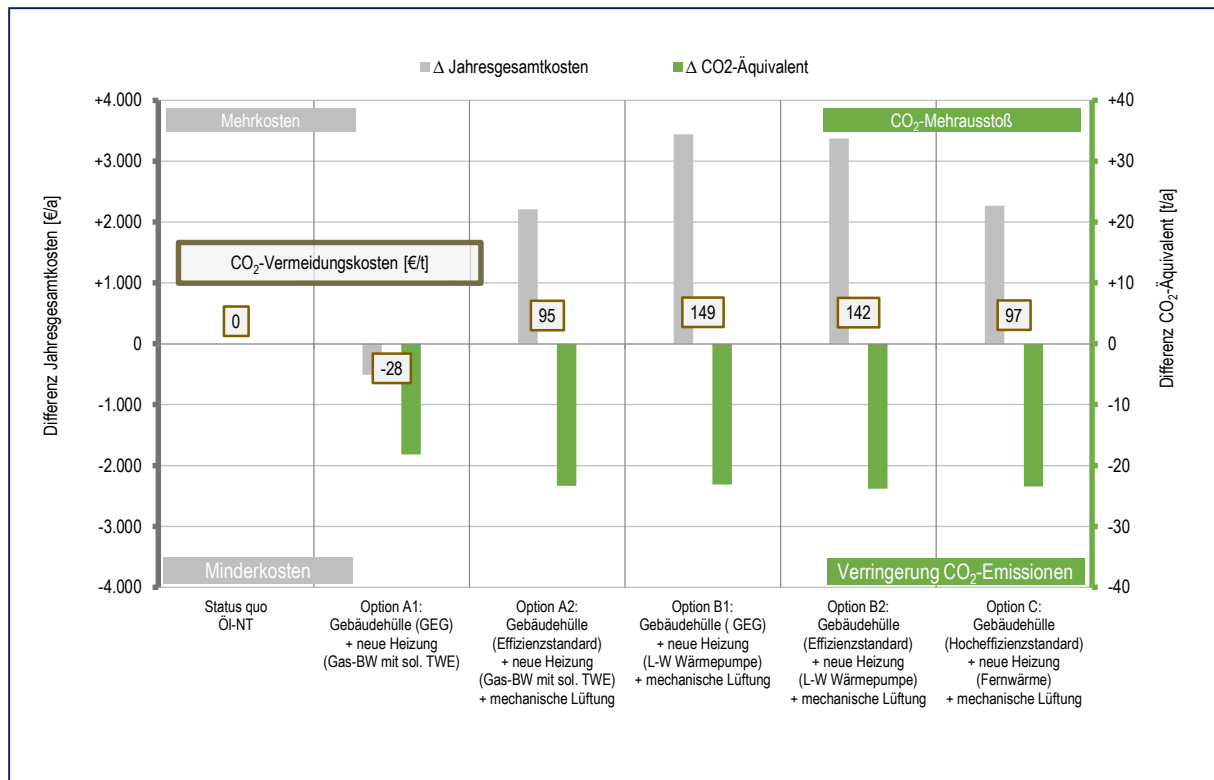


Abbildung 57: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.6.5 Diskussion der Ergebnisse

Für das, in geschlossener Bauweise in der 1960er Jahren errichtete Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten sind verschiedene „2050-ready“ Vollmodernisierungsmaßnahmen betrachtet worden. Die Option A beinhaltet einen Wechsel des Heizungssystems von Öl-Niedertemperatur auf Gas-Brennwert mit solarer Trinkwassererwärmung, die Option B den Umstieg auf eine Wärmepumpe und die Option C den Anschluss des Gebäudes an ein Wärmenetz. Sowohl für die Option A, als auch für die Option B wird zum einen eine Minimallösung (Modernisierung der Gebäudehülle nach GEG) als auch eine anspruchsvollere Variante (Modernisierung der Gebäudehülle nach Effizienzstandard und mechanischer Lüftungsanlage) betrachtet. Für die Option C (Fernwärmeanschluss) erfolgt die Modernisierung der Gebäudehülle sogar nach den Hocheffizienzanforderungen.

Dabei werden in der Option A 1 (Gebäudehülle nach GEG und auch weiterhin Luftaustausch durch Fensterlüftung) die THG Emissionen um nur 67% und der Endenergiebedarf um nur 58% gesenkt. Bei den anderen Optionen sind diese Reduktionen deutlich ausgeprägter. Das spiegelt sich auch in den Jahresgesamtkosten wider. Während die Option A 1 im Vergleich zum Status quo annähernd identische Jahresgesamtkosten (ca. 26 €/m²) aufweist, sind diese bei den anderen 4 verbleibenden Optionen zum Teil um bis zu 8 € pro Quadratmeter höher. Die Treibhausgase werden aber hier um durchschnittlich mehr als 85% reduziert. Die CO₂-Vermeidungskosten liegen hier in der Größenordnung von 95 bis zirka 150 € pro Tonne CO₂. Betrachtet man hingegen nur den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich negative Werte im Bereich zwischen -100 und -150 €/m². Es kommt also zu Minderkosten je eingesparter Tonne CO₂ gegenüber dem Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 46: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A		Option B		Option C
		Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung
Endenergieeinsparung	%	58	83	86	89	76
CO ₂ -Minderung	%	67	86	86	88	87
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/m ² ·a	-1	5	7	7	5
Einfluss der Modernisierung	€/m ² ·a	-12	-7	-4	-5	-7
CO₂-Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-30	90	150	140	100
Einfluss der Modernisierung	€/t	-320	-150	-80	-100	-150

5.7 Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten

Das Mehrfamilienhaus mit 8 WE (MFH-8WE) ist ein freistehendes Gebäude aus den 60er Jahren. Es hat ein moderat gedämmtes Dach und es wurden Anfang der 1990er Jahre bereits einmal die Fenster erneuert. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellen Ausgangszustand sind noch unregulierte Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 80/60°C, die von einem Niedertemperatur-Gaskessel beheizt werden. Die Trinkwassererwärmung geschieht über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 47 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das Mehrfamilienhaus mit 8 WE wieder.

Tabelle 47: Gebäudedaten des freistehenden mittleren Mehrfamilienhauses „MFH-mittel“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	500
Anzahl Wohneinheiten	8
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A_N in m ²	475
beheiztes Volumen V_e in m ³	1128

5.7.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage werden drei mögliche Modernisierungsoptionen abgeleitet, wobei für Option A und C zusätzlich auch eine Teilmodernisierungsvariante berechnet wird. Bedingt durch das Alter der bestehenden Heizungsanlage muss, in Folge der ohnehin anstehenden Instandsetzung, ein Austausch stattfinden. Für Option A wird der Gas-Niedertemperaturkessel durch einen Gas-Brennwertkessel ersetzt und in der Teilmodernisierungsvariante zusätzlich die Kellerdecke gedämmt. In der Vollmodernisierungsvariante der Option A werden auch alle anderen Bauteile nach dem Effizienzhausstandard modernisiert. Die Option B ersetzt die Gas-Niedertemperaturheizung durch eine Wärmepumpe und wird nur mit einer Vollmodernisierung der Gebäudehülle nach den minimalen Vorgaben des Referenzgebäudestandards der EnEV berechnet. Die Option C setzt auf den Ersatz der Gas-Niedertemperaturheizung durch einen Fernwärmeanschluss. In der Teilmodernisierungsvariante wird – wie bei der Option A – die Kellerdecke gedämmt. Die Vollmodernisierungsvariante umfasst zusammen mit der Modernisierung der Außenbauteile auch einen Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80%. Für die 2050-Zielerreichung wird bei allen drei Optionen eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle benötigt.

Tabelle 48: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand	Option A		Option B	Option C	
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung
Wärmeerzeuger		Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	WP	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme
Trinkwassererwärmung		indirekt	sol. TWE	sol. TWE			
Belüftung		Fenster			zentrale LA mit WRG		zentrale LA mit WRG
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	1,5		0,20	0,28		0,20
	Sockelbereich	1,5		0,20	0,28		0,20
	Fenster / Dachfenster	1,9 / 1,9		0,95 / 1,0	1,3 / 1,4		0,95 / 1,0
	Geneigtes Dach	0,7		0,14	0,2		0,14
	Oberste Geschossdecke	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke	1,2	0,25	0,25	0,35	0,25	0,25
	Wärmebrücken	0,1		0,03	0,05		0,03
Effizienzhaus-Standard	% von $Q'_{P,Ref}$	259	190	80	58	232	71
	% von $H'_{T,Ref}$	307	282	77	101	282	77

Die vorgesehenen Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle des mittleren Mehrfamilienhauses orientieren sich an zwei unterschiedlichen Standards. Die Modernisierungsmaßnahmen der Option A und C verwenden die Grenzwerte des Effizienzhausstandards. Dazu werden die Außenwände mit einem 140 mm dicken Wärmedämmverbundsystem versehen und die Bestandsfenster durch Fenster mit 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung ausgetauscht. Das geneigte Zwischensparrendach wird mit einer insgesamt 240 mm dicken Zwischensparren- und Aufsparrendämmung gedämmt und die Kellerdeckenunterseite mit einer 100 mm dicken Dämmstoffschicht ausgekleidet.

Der Option B liegt der deutlich niedrigere Referenzgebäudestandard der EnEV zugrunde. Dies reduziert die notwendigen Dämmstoffdicken des Wärmedämmverbundsystems auf 80 mm, des oberen Gebäudeabschlusses auf 120 mm und der Kellerdeckenunterseite auf 60 mm. Für den Fensteraustausch dieser Variante ist eine 2-Scheiben Verglasung ausreichend. Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung der Optionen A und C die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 und für die Option B die Kategorie A angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung zeigt Abbildung 58. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung überwiegend durch die Außenwände und den unteren Gebäudeabschluss, gefolgt vom oberen Gebäudeabschluss und den Fenstern. Der große Anteil der Außenwand bei den Transmissionswärmeverlusten erklärt sich durch den schlechten U-Wert der Wand im Ausgangszustand und die mit ca. 380 m² große Außenwandfläche. Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeflusskoeffizient – H'_T – von 0,327 W/(m²K) erreicht werden. Dies entspricht 77% des Referenzgebäudewertes.

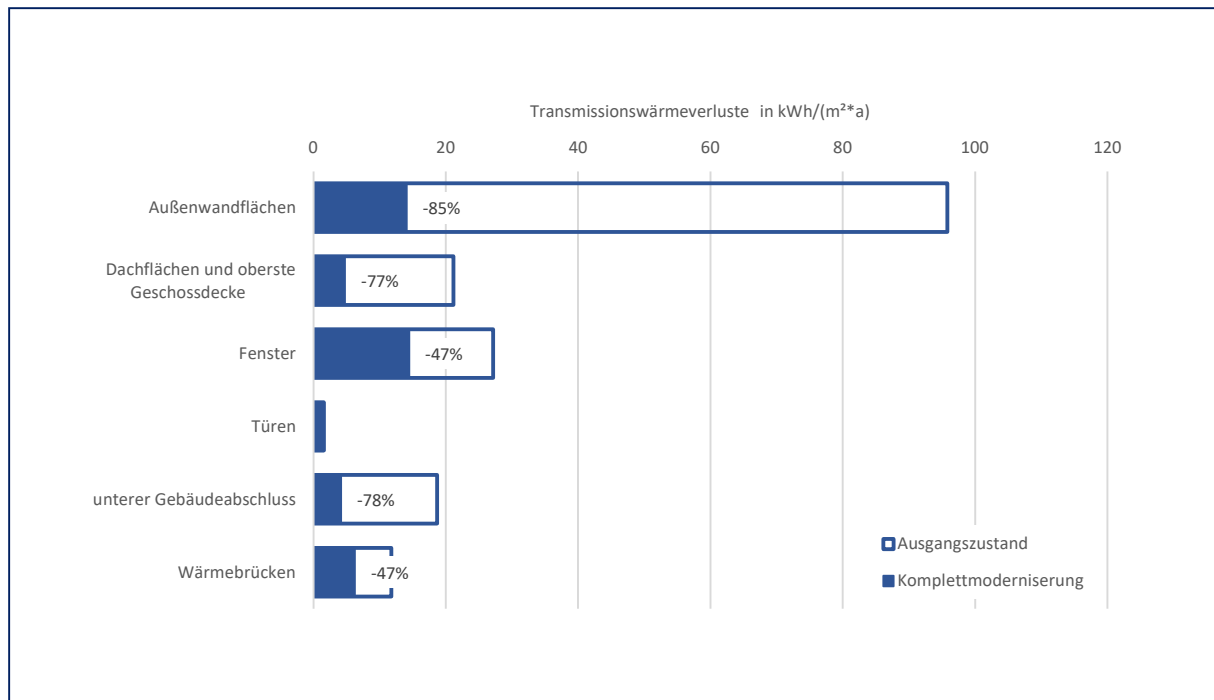


Abbildung 58: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.7.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 59 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des mittleren Mehrfamilienhauses. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierungsmaßnahmen (Option A Variante 1 und Option C Variante 1) bereits zu Einsparungen bei der Endenergie von 26 bzw. 29 % führen, aber nur die drei Varianten der Komplettmodernisierung zu einem „2050-ready“ Gebäude führen.

Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 72 und 87% gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen 72 (Option A V2) und 35 kWh/(m²·a) (Option B). Die zweite Variante der Option C mit Nah-/Fernwärme liegt mit 51 kWh/(m²·a) dazwischen.

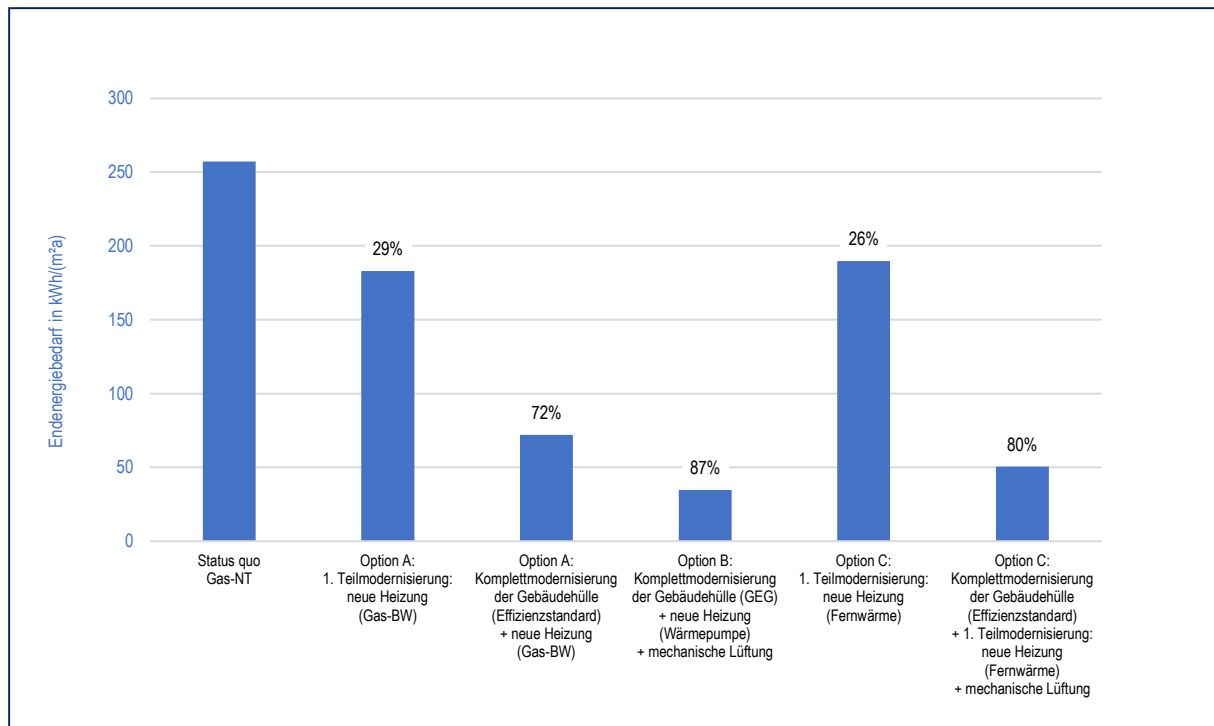


Abbildung 59: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 60 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet.

Bei den Ausführungen mit Nah-/Fernwärme und Wärmepumpe Option B und Option C mit Variante 1 und 2 ist ein Unterschied beim Primärenergiebedarf erneuerbar gegenüber nicht erneuerbar zu sehen. Das ist bedingt durch die Zusammensetzung der Stromerzeugung und der Quellen der Nah-/Fernwärme. Die Vollmodernisierungen der Optionen A, B und C reduzieren den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf um 72% (Option A) auf 79 kWh/(m²·a) bzw. sogar um 88 bzw. 90% (Option B und Option C V2) auf nur noch 33 bzw. 28 kWh/(m²·a). Die Verminderung ist beim gesamten Primärenergiebedarf nur etwas kleiner (79 bzw. 86%).

Der gesamte Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die drei Vollmodernisierungen – und damit durch den baulichen Wärmeschutz - reduziert. Die Einsparungen betragen dann zwischen 72 und 86%.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 80,0 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Option B schon im Jahr 2030 bis auf 35 kWh/(m²·a).

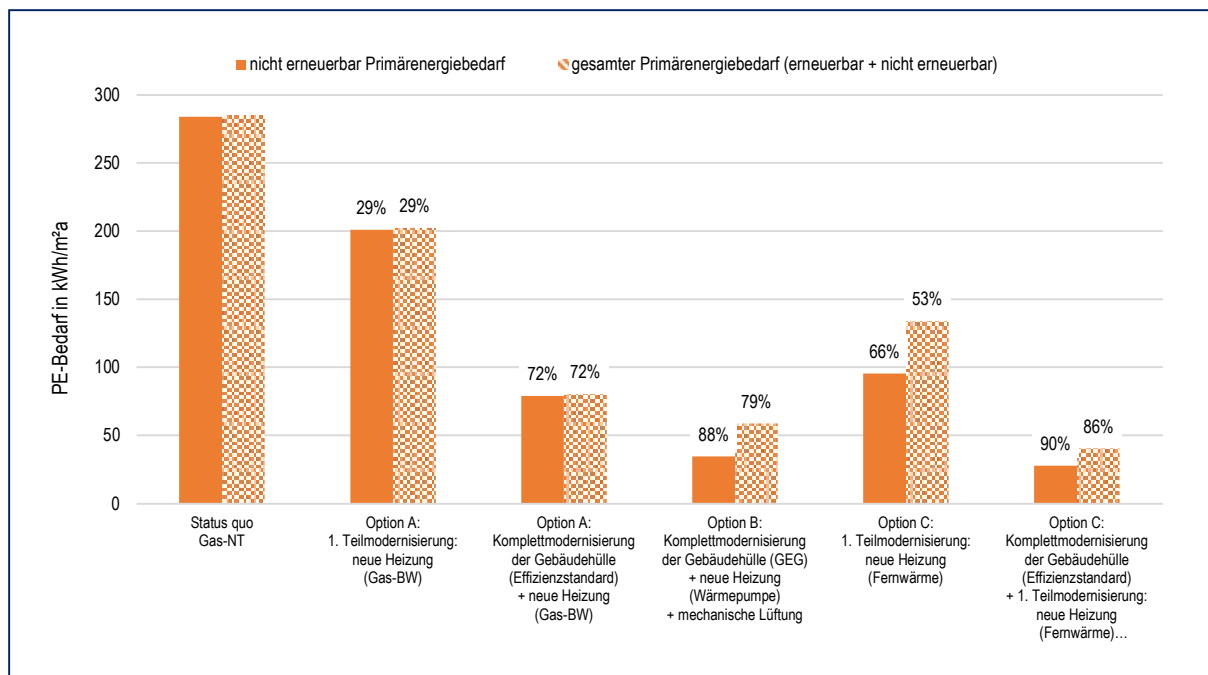


Abbildung 60: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 61 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar.

Mit einer Teilmodernisierung unter Einsatz einer Gas-Brennwert-Heizung lassen sich 28 bis 30% der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Wird dann noch zusätzlich die Hülle komplett modernisiert, dann lassen sich die THG Emissionen noch weiter reduzieren. Hier sind bis zu 73% Verringerung möglich bis zum Jahr 2050.

Die Option B ermöglicht eine vollständige Klimaneutralität bis 2050, falls die Dekarbonisierung der Stromerzeugung wie geplant voranschreitet. Hier ist die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung ersichtlich. Der derzeitige Strommix führt zu einer Einsparung von 69% der THG des Vergleichszustands. Bis 2050 ist hier mit einer vollständigen Klimaneutralität zu rechnen.

Die Emissionen können für die Option C mit Nah-/Fernwärme ebenfalls deutlich reduziert werden. Hier ist schon für die (der Option A Variante 1 vergleichbare) Teilmodernisierung eine Reduzierung um 38 (2020) bis 88% (2050) möglich. Dieser Rückgang hängt direkt mit der Dekarbonisierung der Nah- bzw. Fernwärme zusammen. Bei der Vollmodernisierung Option C Variante 2 sinken die Emissionen schon in 2020 um 81% ab und gehen bis 2050 fast vollständig auf Null zurück. Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen bringt hier eine Vollmodernisierung der gesamten Gebäudehülle fast keine Verbesserung mehr. Wichtig ist daher die Berücksichtigung des Endenergiebedarfs, der sich durch die beiden Teilmodernisierungen nur eingeschränkt reduzieren lässt und damit hinsichtlich der Energiepreisentwicklung eine Unsicherheit für die Mieter und Eigentümer darstellt.

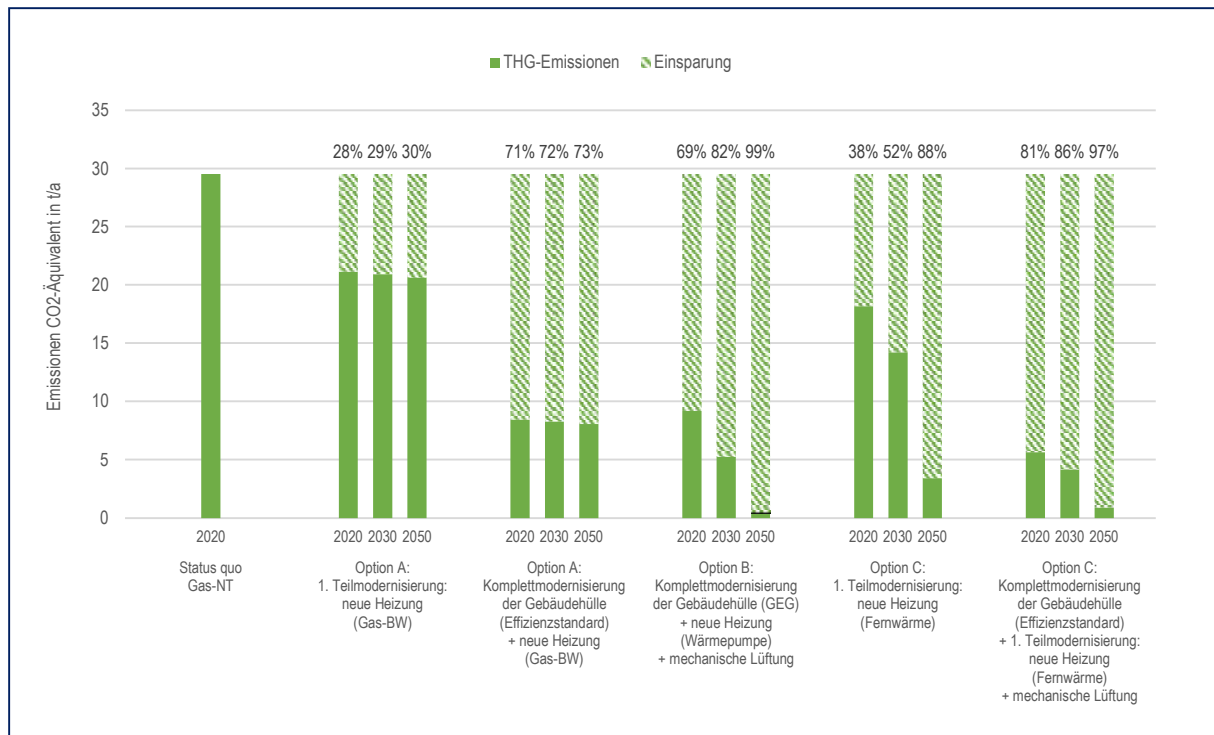


Abbildung 61: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.7.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 49 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen bei Komplettmodernisierung zwischen 460 (Gas-Brennwert) sowie 560 (Wärmepumpen Option B) bzw. 580 €/m² (Option C mit Nah-/Fernwärme). Die beiden Varianten mit Teilmodernisierung liegen mit flächenspezifischen Kosten von 80 €/m² weit darunter. Der energiebedingte Mehrkostenanteil variiert kaum und beträgt zwischen 38 % für die Gas-Brennwert-Variante mit Teilmodernisierung und 48 % für die Wärmepumpen -Vollmodernisierung der Option B.

Tabelle 49: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A		Option B	Option C	
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	27.330	27.330	107.930	26.650	82.650
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	9.500	84.130	72.540	9.500	84.130
	Fenster	€	0	107.360	86.900	0	107.360
	Gesamt	€	36.830	218.820	267.370	36.150	274.140
		€/m²	80	460	560	80	580
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	8.200	17.140	88.800	7.520	63.520
	Beleuchtung	€	-	-	-	-	-
	Dämmung	€	9.500	38.630	27.040	9.500	38.630
	Fenster	€	0	27.840	12.080	0	27.840
	Gesamt	€	17.700	83.610	127.920	17.020	129.990
		€/m²	37	176	269	36	274
Förderung	Gesamt	€	7.370	43.760	53.470	7.230	54.830
		€/m²	20	90	110	20	120
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	29.460	175.060	213.900	28.920	219.310
		€/m²	60	370	450	60	460

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 50 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei der Option mit Gas-Brennwert-Technologie liegen diese bei 2.260 €/a und sind damit dem Status quo vergleichbar. Die Nah- bzw. Fernwärme Option C liegt für die Teilmodernisierung auf dem gleichen Niveau (2.170 €/a), weist aber für die Vollmodernisierung wegen der Wartungs- und Betriebskosten für die mechanische Lüftungsanlage bereits Betriebskosten von 3.810 €/a auf. Die höchsten Betriebs- und Instandhaltungskosten hat die Option B mit Wärmepumpe und mechanischer Lüftungsanlage mit 4.040 €/a.

Tabelle 50: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Option A		Option B	Option C	
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	2.130	2.260	2.260	4.040	2.170	3.810
	€/m²	4	5	5	8	5	8

Energiekosten

In Abbildung 62 sind sowohl die gesamten, als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für die Energieträger Öl und Gas im Vergleich von 2020 mit 2030, wobei sogar die Vollmodernisierung der Option A noch fast eine Verdopplung auf 2030 zeigt, jedoch mit 5 bis 9 €/m²·a auf einem deutlich niedrigeren Niveau im Vergleich mit dem Ausgangszustand. Im Falle des Status quo würden sich die spezifischen Energiekosten von 15 auf 31 €/m²·a im Jahr 2030 erhöhen. Auffällig ist auch die Entwicklung bei der Option C (Nah-/Fernwärme). Die Teilmodernisierung führt hier 2020 zu einem leichten Anstieg der Energiekosten und auch 2030 sind diese mit 23 €/m²·a noch höher als bei allen anderen Modernisierungslösungen. Erst die Vollmodernisierung bringt bei der Nah-/Fernwärme-Option C eine Reduzierung auf niedrige 6 bis 7 €/m²·a. Für die Wärmepumpen-Option B können die Energiekosten auf 11 €/m²·a gesenkt werden. Diese bleiben dann, aufgrund der nahezu konstanten Preisentwicklung beim Energieträger Strom, auch im Jahr 2030 auf diesem Niveau. Die niedrigsten Energiekosten hat die Komplettmodernisierung mit Gas-Brennwertkessel für das Jahr 2020 mit 5 €/m²·a und die Nah-/Fernwärme Vollmodernisierung mit 7 €/m²·a im Jahr 2030.

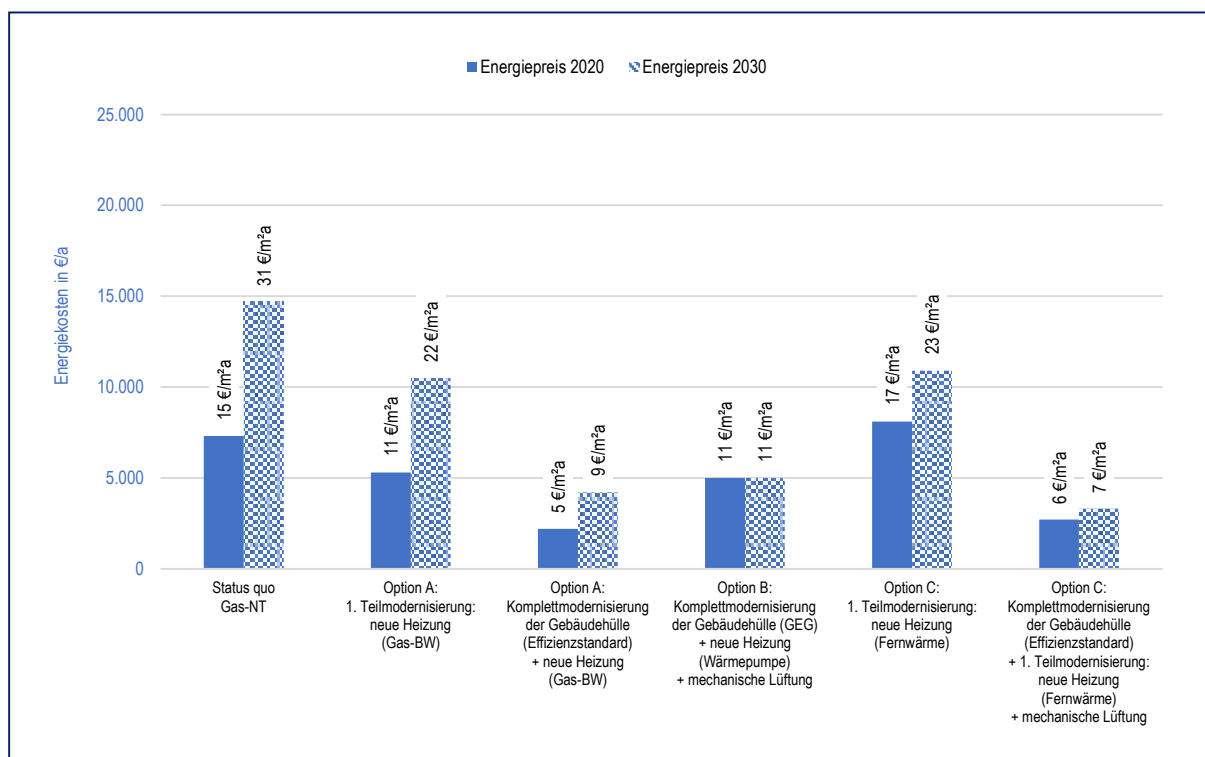


Abbildung 62: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 63 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei.

Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für den Status quo (9.500 €/a) und die Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik (9.200 €/a). Alle anderen Modernisierungen – insbesondere die Vollmodernisierungen mit Wärmepumpe (Option B mit 19.300 €/a) und Nah-/Fernwärme (Option C Variante 2 mit 16.500€/a) liegen deutlich darüber. Die günstigste Komplettmodernisierung ist die Variante mit Gas-Brennwerttechnik, die auf 11.800 €/a Jahresgesamtkosten kommt. Damit liegt diese Variante etwa bei der Teilmodernisierung mit Nah-/Fernwärme (Option C Variante 1). Niedrigere Vollkosten als der Status quo hat nur die Teilmodernisierung mit Gas-Brennwerttechnik. Alle anderen Varianten weisen höhere Jahresgesamtkosten auf.

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt einen deutlichen Anstieg der Jahresgesamtkosten für den Status quo auf 16.800 €/a. Damit liegt der Status quo etwa auf dem Niveau der Option C in der Variante 2 und über allen anderen Modernisierungsoptionen, mit Ausnahme der Option B mit Wärmepumpe und Komplettmodernisierung. Bei der berücksichtigten Energiepreisentwicklung bis zum Jahr 2030 wären alle Modernisierungsvarianten mit Ausnahme der Wärmepumpe hinsichtlich der Jahresgesamtkosten eine lohnende Investition.

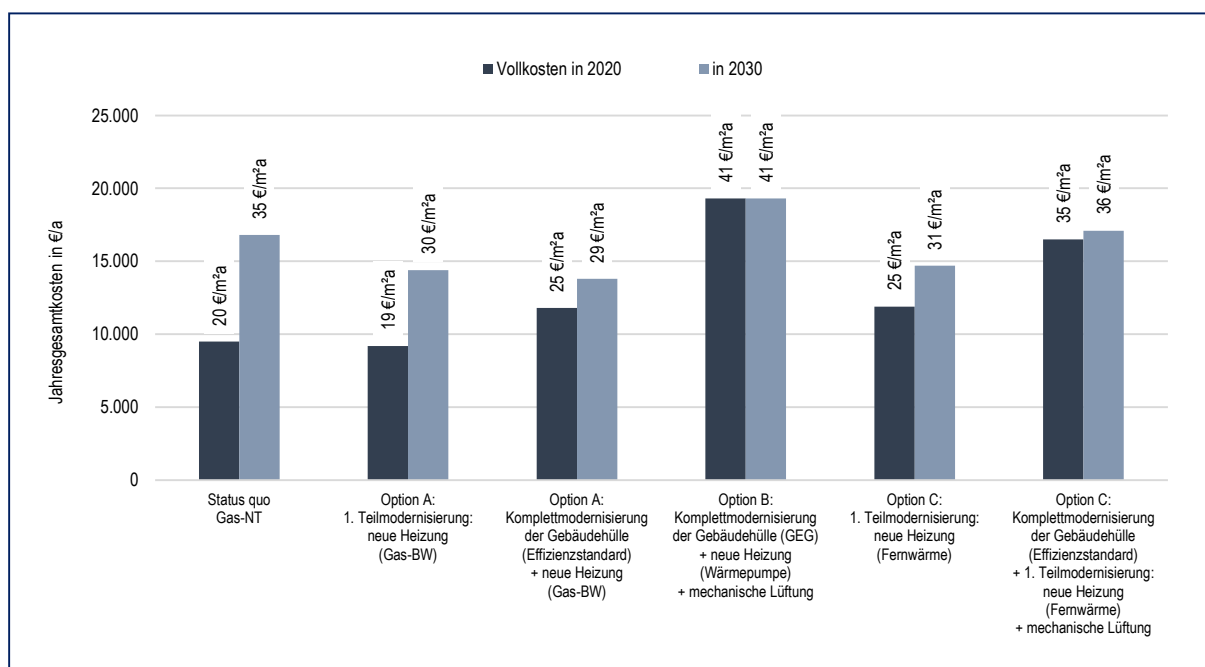


Abbildung 63: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 64 zeigt die verschiedenen Kostenanteile an den Vollkosten für das Jahr 2030. Die Darstellung der Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten beziehen sich dabei auf den unteren Preispfad. Dabei ist Abbildung 64 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten. Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten A, B und C von 1.620 €/a stark auf 10.220 €/a an.

Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten unterscheiden sich für die drei Vollmodernisierungsoptionen deutlich und haben einen Anteil zwischen 3 (Option A mit Teilmodernisierung) und 24 % (Vollmodernisierung der Option mit Wärmepumpe und Einbau einer Lüftungsanlage) an den gesamten Jahreskosten.

Der Status quo hat betriebsbedingte Kosten von 2.130 €/a und liegt damit etwa auf dem Niveau von Option A und Option C Variante 1. Die Vollmodernisierung mit Wärmepumpe und Nah-/Fernwärme –

jeweils mit Lüftungsanlage - haben höhere Betriebskosten von 4030 bzw. 3810 €/a. Der Grund für die höheren Betriebskosten liegt in der erhöhten Wartung für die Lüftungsanlage sowie für die Wärmepumpe der Option B.

Die bereits für Abbildung 63 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Speziell für die niedriginvestiven Teilmodernisierungen mit Gas-Brennwert und Nah-/Fernwärme gehen die Energiekosten stärker zurück als die Kapitalkosten ansteigen. Gleiches gilt für die Vollmodernisierung mit Gas-Brennwertkessel (Option A Variante 2), welche insgesamt sogar die niedrigsten Jahresgesamtkosten hat. Die Vollmodernisierungen mit Wärmepumpe und Nah-/Fernwärme haben so hohe Kapitalkosten, dass die Rückgänge bei den Energiekosten die Mehrkosten nicht wettmachen können. Die Energiekosten des Status quo würden 2030 für den unteren Preispfad 14.700 €/a betragen. Diese lassen sich durch eine komplette energetische Modernisierung bis auf 3.300 €/a für die Option C senken.

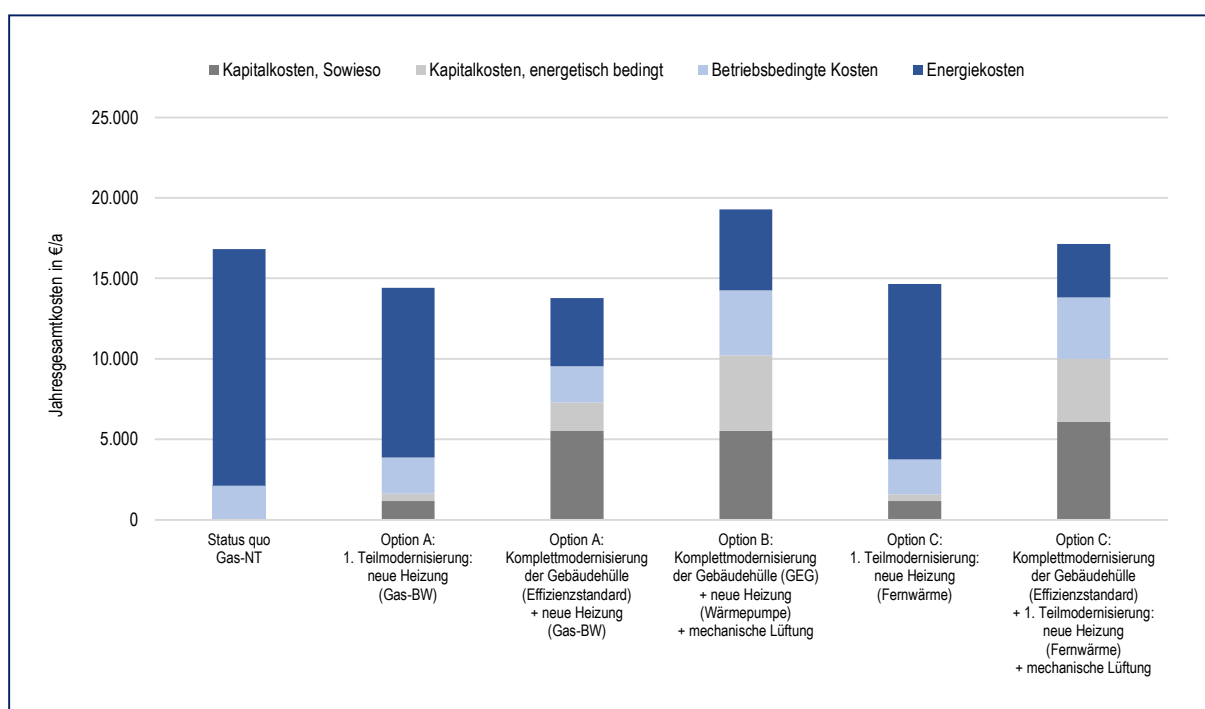


Abbildung 64: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.7.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 65 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt. Durch den Vergleich mit dem alten Gas-Niedertemperaturkessel, der höhere Emissionen hat, errechnen sich die negativen Vermeidungskosten für die Optionen A und C Variante 1. Option B (Wärmepumpe) und Option C als Vollmodernisierung haben CO₂ Vermeidungskosten größer Null, was bedeutet, dass zwar bis zu 25 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden (Option C), das aber mit höheren Kosten für die Investoren verbunden ist. Die damit verbundenen Kosten liegen jedoch mit 12 bis 103 €/t CO₂ auf einem niedrigen Niveau.

Die niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten der untersuchten Modernisierungen ergeben sich bei Option A mit Teilmodernisierung. Hier sind bei einer Reduktion der Jahresgesamtkosten um 2.400 €/a 8 Tonnen CO₂ pro Jahr einsparbar. Mehr CO₂ (minus 15 bis 25 Tonnen pro Jahr) lässt sich durch Vollmodernisierungen einsparen, was aber deutlich größere Investitionen erfordert und ggf. auch einer Förderung bedarf, um die Maßnahmen wirtschaftlich darstellen zu können.

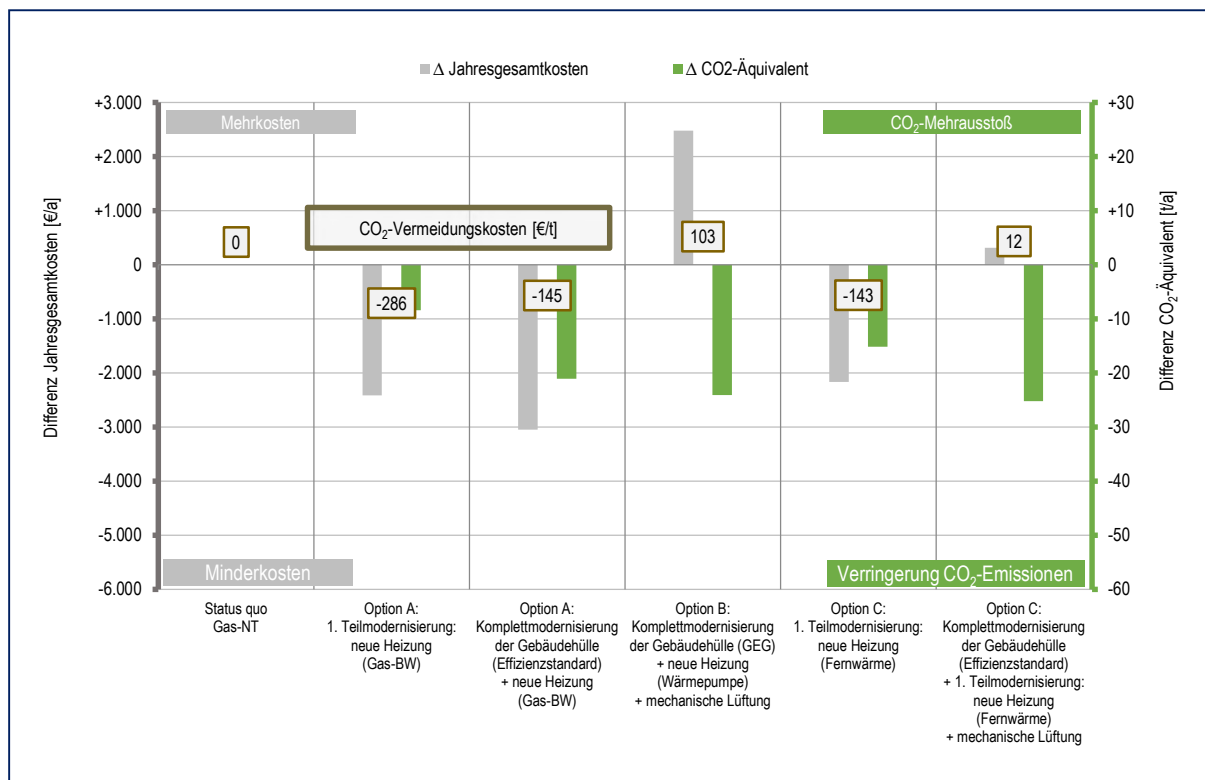


Abbildung 65: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.7.5 Diskussion der Ergebnisse

Für das aus den 1960er Jahren stammende Mehrfamilienhaus wurde anhand von verschiedenen Veränderungen an der Gebäudehülle und des Heizungssystems demonstrativ gezeigt, wie man ein solches Gebäude nahezu klimaneutral und zukunftsfähig modernisieren kann. Untersucht wurde, wie man einen bestehenden Gasanschluss weiterverwenden kann, bzw. welche Alternativen wie Anschluss an ein Wärmenetz oder der Einsatz einer Wärmepumpe möglich sind. Dabei muss die Gebäudehülle entweder vollständig nach dem Effizienzstandard oder nach den derzeit geltenden Regelungen des GEG modernisiert werden. In zwei Fällen ist auch der Einfluss einer mechanischen Lüftungsanlage mit hoher Effizienz analysiert worden.

Für das betrachtete Gebäude kann durch die alleinige Erneuerung des Heizungssystems der Endenergiebedarf um knapp 30% gesenkt werden. Damit sind aber noch nicht die Forderungen nach einem nahezu klimaneutralen Gebäude erfüllt. Hierzu sind weitere Maßnahmen nötig. Durch eine entsprechende Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach dem Effizienzstandard können, im Vergleich zum aktuellen Zustand, sowohl Endenergie, Primärenergie als auch CO₂-Emissionen um ca. 70% reduziert werden. Dies führt auch zu einer deutlichen Senkung der Jahresgesamtkosten von 35 €/m² auf 29 €/m². Die höchste Einsparung an Endenergie erreicht man mit der Variante einer kompletten Modernisierung der Gebäudehülle nach den aktuellen geltenden Regeln (GEG) und dem Einsatz einer Wärmepumpe in Kombination mit einer mechanischen Lüftungsanlage. Diese Variante hat

allerdings auch die höchsten Jahresgesamtkosten von 41€/m². Auch der Anschluss an das Wärmenetz und vollständige Modernisierung der Gebäudehülle nach Effizienzanforderung vermindert den Energiebedarf um nahezu 80%. Die resultierenden Jahresgesamtkosten sind im Vergleich zum unveränderten Status quo im Jahr 2030 nahezu identisch.

Die Treibhausgase werden bei einem Wechsel des Energieträgers von Gas auf Strom bzw. Nah-/Fernwärme um durchschnittlich mehr als 85% reduziert. Nur für das System mit Wärmepumpe und mechanischer Lüftungsanlage liegen die CO₂-Vermeidungskosten mit 100 €/t im positiven Bereich, d.h. hier fallen Mehrkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber dem Referenzfall an. Diese könnten aber durch eine höhere Förderung wieder kompensiert werden. Betrachtet man hingegen nur den Einfluss der Modernisierungsmaßnahme auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich deutlich negative Werte. Es kommt also zu Minderkosten je eingesparte t CO₂ gegenüber dem Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen unter den angenommen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 51: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A		Option B	Option C	
		1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung
Endenergieeinsparung	%	29	72	87	26	80
CO ₂ -Minderung	%	29	72	82	52	86
Δ Jahresgesamtkosten						
Vollkosten	€/(m ² ·a)	-5	-6	5	-5	1
Einfluss der Modernisierung	€/(m ² ·a)	-8	-18	-6	-7	-12
CO ₂ -Vermeidungskosten						
Vollkosten	€/t	-280	-140	100	-140	10
Einfluss der Modernisierung	€/t	-420	-400	-130	-220	-230

5.8 Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten

Das Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten (MFH-22WE) ist ein freistehendes Gebäude aus den 1980er Jahren. Die Dämmung der Rohrleitungen im Heizungskeller ist entsprechend dem damaligen Stand der Technik moderat. Im aktuellen Ausgangszustand sind noch unregelmäßige Heizkreispumpen eingebaut. Ein hydraulischer Abgleich hat nicht stattgefunden. Die Wärmeübergabe in den Räumen erfolgt über Radiatoren mit Vor- bzw. Rücklauftemperaturen von 80/60°C. Das Gebäude wird in zwei Ausgangszuständen berechnet, die sich in der Wärmequelle unterscheiden. Der erste Ausgangszustand wird mit Nah-/Fernwärme gerechnet und der zweite Ausgangszustand hat als Anlage eine Niedertemperatur-Gasheizung. Die bauliche Ausführung der beiden Ausgangszustände unterscheidet sich nicht. Die Trinkwassererwärmung erfolgt über das Heizsystem und das Trinkwasser wird in einem Speicher zur Verfügung gestellt. Tabelle 52 gibt eine kurze Übersicht der wichtigsten gebäuderelevanten Daten für das freistehende, große Mehrfamilienhaus wieder.

Tabelle 52: Gebäudedaten des freistehenden großen Mehrfamilienhauses „MFH-groß“

Jahr der Errichtung bzw. der letzten Modernisierung	Ca. 1995
Netto-Grundfläche in m ²	1700
Anzahl Wohneinheiten	22
Keller	unbeheizt
Beheizte Nutzfläche A_N in m ²	1530
beheiztes Volumen V_e in m ³	3825
wärmeübertragende Hüllfläche $A_{Hülle}$ in m ²	2003

5.8.1 Ausgewählte Modernisierungsoptionen

Für die beiden Ausgangszustände mit Nah-/Fernwärme und mit Gas-Niedertemperaturkessel werden aus der Analyse nach DIN V 18599 der einzelnen Bauteile und der Heizungs- und Trinkwarmwasseranlage jeweils eine Modernisierungsoption abgeleitet, wobei Option A für den Nah-/Fernwärme Ausgangszustand noch in drei Varianten unterteilt ist, wovon eine als Teilmodernisierung ausgeführt wird. Die Modernisierungsoption B baut auf dem Ausgangszustand mit einer alten Gas-Niedertemperaturanlage auf. Die Gebäudehülle des Bestandes ist bei beiden Ausgangszuständen identisch. Alle Unteroptionen der Option A sehen eine Erneuerung der alten Wärmeübergabestelle vor. Die erste Unteroption kombiniert den erneuerten Nah-/Fernwärmeanschluss mit einer Teilmodernisierung des Flachdaches und der Kellerdecke. Die verbleibenden zwei Unteroptionen werden mit einer Vollmodernisierung der Gebäudehülle berechnet, wobei sie sich jedoch in der Ausführung der Belüftung unterscheiden (Option B Variante 2 ohne und Variante 3 mit mechanischer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung). Option B simuliert den Einbau eines Nah-/Fernwärmeanschlusses bei einer zuvor installierten Gas-Niedertemperaturanlage und kombiniert diese mit einer Vollmodernisierung der Gebäudehülle inklusive einer mechanischen Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80%. Um „2050-ready“ zu werden, ist eine komplette Modernisierung der Gebäudehülle notwendig.

Tabelle 53: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen bzw. Teilschritte

		Ausgangszustand Nah-/ Fernwärme	Option A			Ausgangszustand NT-Gas	Option B
			1. Teil- moderni- sierung	Komplett- moderni- sierung	Komplett- moderni- sierung		Komplett- moderni- sierung
		Nah-/Fern- wärme	Nah-/Fern- wärme	Nah-/Fern- wärme	Nah-/Fern- wärme	Gas-NT	Nah-/Fern- wärme
Wärmeerzeuger		Nah-/Fern- wärme				Gas-NT	Nah-/Fern- wärme
Trinkwassererwärmung		Indirekt				Indirekt	
Belüftung		Fenster			zentrale LA mit WRG	Fenster	zentrale LA mit WRG
U-Wert in W/m^2K	Außenwand	0,8		0,2	0,2	0,8	0,2
	Sockelbereich	0,8		0,2	0,2	0,8	0,2
	Fenster / Dachfenster	1,9 / -		0,95 / -	0,95 / -	1,9 / -	0,95 / -
	Flachdach	0,45	0,14	0,14	0,14	0,45	0,14
	Oberste Geschossdecke	-				-	
	Kellerboden / Kellerdecke	0,6	0,25	0,25	0,25	0,6	0,25
	Wärmebrücken	0,1		0,03	0,03	0,1	0,03
Effizienzhaus- Standard	% von $Q'_{P,Ref}$	188	160	82	64	182	64
	% von $H'_{T,Ref}$	218	192	71	71	218	71

Die Teil- und Vollmodernisierungen der Gebäudehülle orientieren sich am Effizienzhausstandard, welcher für die Außenwände ein 140 mm dickes Wärmedämmverbundsystem, eine 3-Scheiben Wärmeschutzverglasung, eine 240 mm dicke Dämmschicht für das Flachdach und eine 100 mm dicke Dämmschicht für die Kellerdeckenunterseite notwendig macht. Zur Berechnung der Wärmebrückenwirkung wird für die Komplettmodernisierung nach Effizienzhausstandard (Option A3 und B) die Kategorie B nach DIN 4108 Bbl. 2 in Verbindung mit DIN V 18599-2 angesetzt.

Die Veränderung der bauteilspezifischen Transmissionswärmeverluste vor und nach der Komplettmodernisierung zeigt Abbildung 66. Die größten Transmissionsverluste erfolgen vor der Modernisierung durch die Außenwände und die Fenster, gefolgt vom oberen und unteren Gebäudeabschluss und den Wärmebrücken. Durch die Komplettmodernisierung kann ein spezifischer Transmissionswärmeferkoeffizient H'_T von $0,311 W/(m^2 \cdot K)$ erreicht werden. Dies entspricht 70% des Referenzgebäudewertes und würde nach heutigem Stand dem KfW-Effizienzhaus 55 entsprechen.

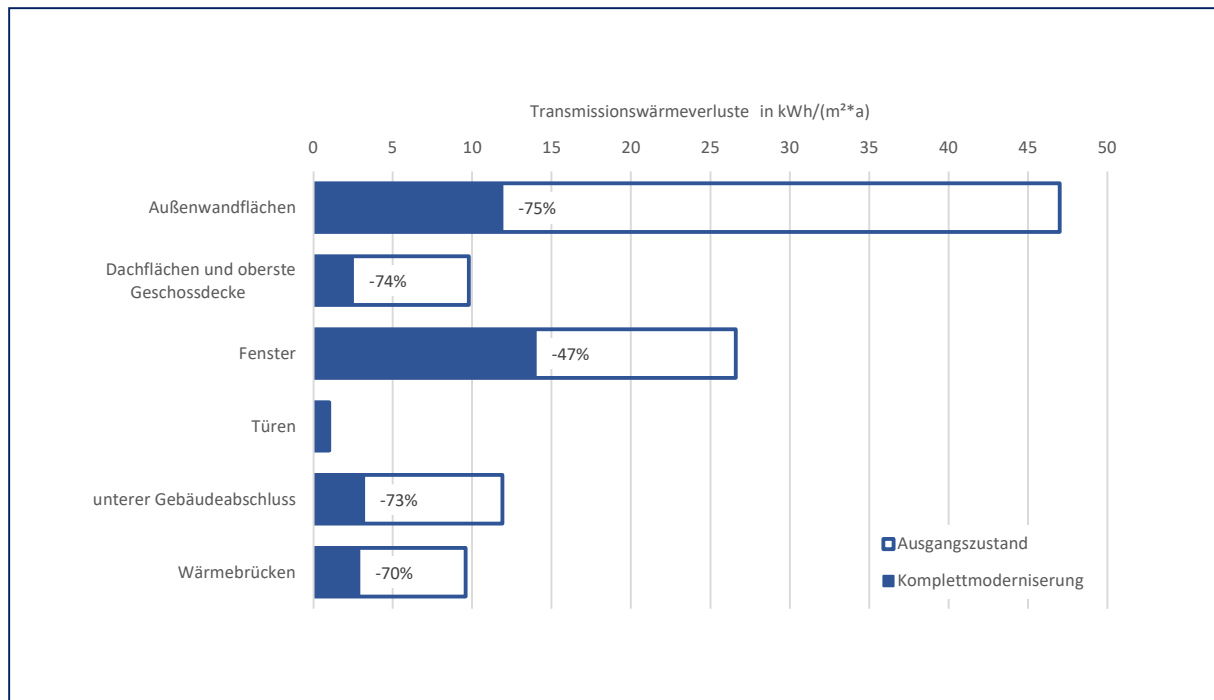


Abbildung 66: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard

5.8.2 Energetische und ökologische Bewertung

Die Energiebilanz des Gebäudes wird unter den vorgegebenen **Randbedingungen der EnEV** rechnerisch ermittelt. Dabei wird insbesondere von einem Norm-Nutzerverhalten und einem Norm-Außenklima ausgegangen. Die Berechnungen sind im Anhang dargestellt.

Endenergiebedarf

Abbildung 67 zeigt den Endenergiebedarf nach der jeweiligen Teil- bzw. Komplettmodernisierung im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Mehrfamilienhauses. Zu erkennen ist, dass die Durchführung der Teilmodernisierung für die Option A (Variante 1) mit dem Einbau einer neuen Wärmeübergabestation, der Dämmung der Kellerdecke und der Dämmung des Flachdachs nur 15% an Endenergie einspart. Die vollständige Modernisierung der Option A spart hier mit 58% weitaus mehr. Hier machen sich die Dämmung der Außenwand und der Austausch der Fenster bemerkbar. Wird noch eine Lüftungsanlage eingebaut, sinkt der Endenergiebedarf sogar um 80%. Eine fast identische Einsparung ist auch bei der Vollmodernisierung des zweiten Ausgangszustands erreichbar. Ein „2050-ready“ Gebäude ist damit nur durch eine Komplettmodernisierung zu bekommen.

Der spezifische Endenergiebedarf im komplett modernisierten Zustand liegt, je nach Option, damit zwischen ca. 64 (Option A Variante 2) und 31 kWh/(m²·a) (Option A Variante 3 und Option B).

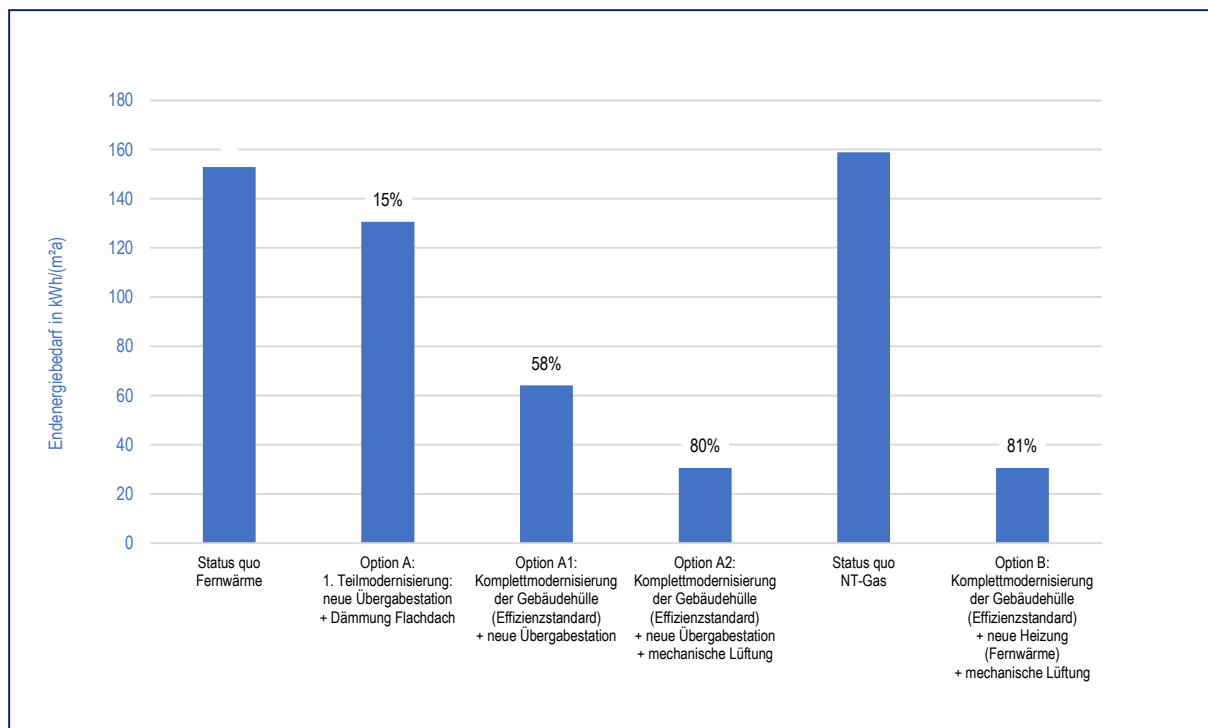


Abbildung 67: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten.

Primärenergiebedarf

In Abbildung 68 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für nicht erneuerbare Energien als auch der gesamte, also die Summe aus erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf abgebildet.

Auffällig ist der erhebliche Unterschied der beiden Ausgangsfälle. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf liegt beim Gas-NT Ausgangsfall mit 175 kWh/(m²·a) fast doppelt so hoch wie beim Nah-/Fernwärme-Ausgangsfall. Hier macht sich schon für das Jahr 2030 die Dekarbonisierung der Nah-/Fernwärme stark bemerkbar.

Die Teilmodernisierung der Option A mit neuem Nah-/Fernwärmeanschluss und Dämmung des Flachdachs und der Kellerdecke spart 29% nicht-erneuerbare Primärenergie ein. Für die gesamte Primärenergie sind es nur 15 %. Die Vollmodernisierung mit Nah-/Fernwärmeanschluss Option A Varianten 2 und 3 reduziert den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf deutlich um 65 bzw. sogar 83 % auf nur 32 bzw. 16 kWh/(m²·a). Auch die Vollmodernisierung des zweiten Ausgangsfalls spart 91% bei der nicht erneuerbaren Primärenergie ein und hat damit nur noch einen Primärenergiebedarf von ebenfalls 16 kWh/(m²·a). Der Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) wird vor allem durch die Vollmodernisierungen – und damit durch den baulichen Wärmeschutz - reduziert. Die Einsparungen betragen dann zwischen 58 und 87%.

Der Wert des Referenzgebäudes liegt mit den Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) nach den aktuellen Berechnungsvorschriften (Basis 2020) bei 75,5 kWh/(m²·a). Aufgrund des prognostizierten starken Ausbaus der erneuerbaren Energien bei der Nah-/Fernwärme bis zum Jahr 2050 sinkt vor allem durch die daraus resultierend niedrigen Primärenergiebedarfsfaktoren der spezifische Primärenergiebedarf für die Optionen A und B bis auf 16 kWh/(m²·a).

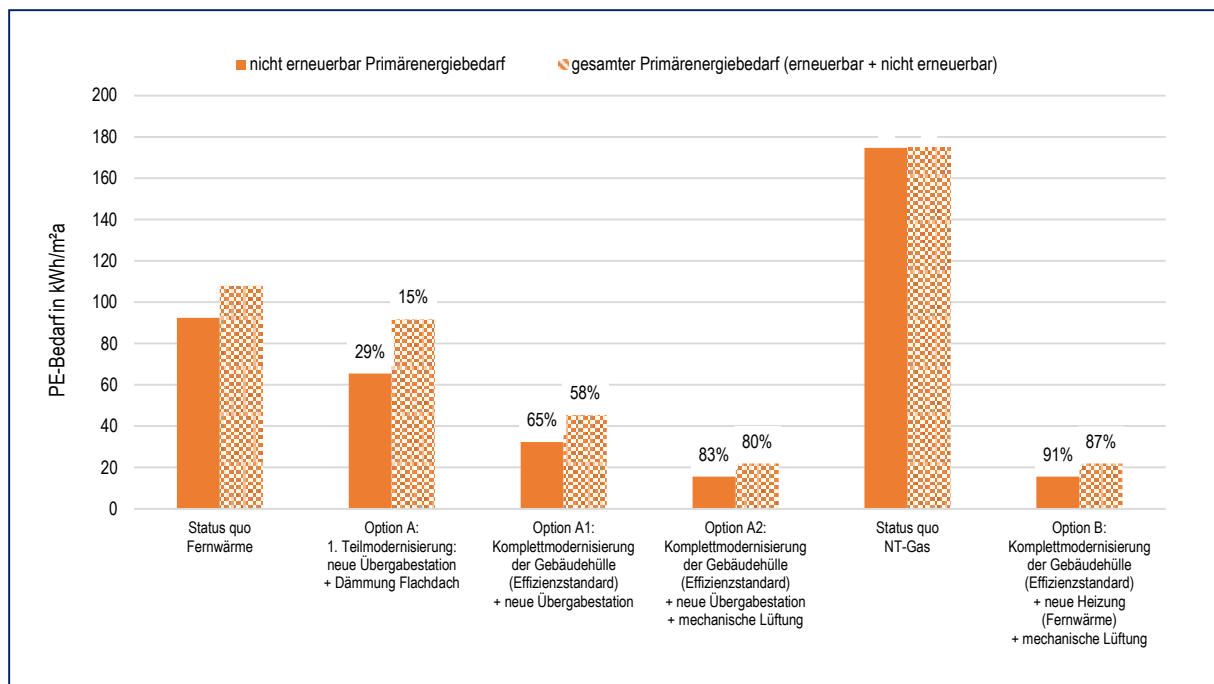


Abbildung 68: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind für die Jahre 2020, 2030 und 2050 in Abbildung 69 abgebildet. Je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie sind große Reduzierungen machbar. Die Teilmodernisierung der Option A mit Nah-/Fernwärme und Dämmung des Daches und der Kellerdecke spart hingegen 2020 nur 15 % THG Emissionen im Vergleich zum Status quo ein. Durch die Dekarbonisierung der Nah-/Fernwärme-Erzeugung bis 2050 stellen sich aber Reduktionen bis zu 84% gegenüber dem Ausgangszustand ein.

Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Option A um 58 % für die Variante 2 im Jahr 2020 und bis 2050 sogar um 92%. Durch den Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung lässt sich schon 2020 eine Reduzierung um 80% erreichen. Bis 2050 ist diese Variante sogar klimaneutral.

Für den zweiten Ausgangsfall mit Gas-NT Kessel sinken die Emissionen sogar schon 2020 um 84%. Bis 2050 wird mit 97% Verringerung ebenfalls die Klimaneutralität erreicht. Bei allen betrachteten Optionen sieht man die starke Abhängigkeit von der Entwicklung des Ausbaus der erneuerbaren Wärmeerzeugung für die Nah-/Fernwärme.



Abbildung 69: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.

5.8.3 Ökonomische Bewertung

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Energiesparmaßnahme werden sowohl Sowieso- als auch energetisch bedingte Investitionskosten herangezogen. Daraus lassen sich zusammen mit den Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten die Jahresgesamtkosten bestimmen.

Investitionskosten

Die auf Basis der Gebäudegeometrie und den Kostenfunktionen für die Bauteile und Anlagen ermittelten, energetisch bedingten Kosten und Vollkosten sind Tabelle 54 zu entnehmen. Diese werden, entsprechend des geforderten energetischen Niveaus (Tabelle 10), ermittelt. Ebenfalls ist der Förderbetrag entsprechend den in Kapitel 4.3.5 beschriebenen Bedingungen aufgelistet. Die nutzflächenspezifischen Gesamt-Vollkosten betragen zwischen 100 (Teilmodernisierung mit neuer Übergabestation und Dämmung des Flachdachs und der Kellerdecke) und 350 €/m² (Vollmodernisierungen mit Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung). Der energiebedingte Mehrkostenanteil variiert stark und beträgt für die Teilmodernisierung 15 % und für die kompletten Maßnahmen der Variante 3 über 58%.

Tabelle 54: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Option A			Option B
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung
Vollkosten	Anlagentechnik	€	33.340	38.840	192.840	196.240
	Beleuchtung	€	-	-	-	-
	Dämmung	€	22.710	216.170	216.170	216.170
	Fenster	€	90.140	127.100	127.100	127.100
	Gesamt	€	146.190	382.110	536.110	539.510
		€/m²	100	250	350	350
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	-	5.500	159.500	153.450
	Beleuchtung	€	-	-	-	-
	Dämmung	€	22.710	95.190	95.190	95.190
	Fenster	€/m ²	-	58.590	58.590	58.590
	Gesamt	€	22.710	159.280	313.280	307.230
		€/m²	15	104	205	201
Förderung	Gesamt	€	29.240	76.420	107.220	107.900
		€/m²	20	50	70	70
Verbleibenden Kosten	Gesamt	€	116.950	305.690	428.890	431.610
		€/m²	80	200	280	280

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 55 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten zu sehen. Bei der Option A Varianten 1 und 2 (Teilmodernisierung und Modernisierung komplett aber ohne Lüftungsanlage) liegen diese etwa auf demselben Niveau zwischen 5.800 und 5.990 €/a. Die Varianten mit Lüftungsanlage liegen durch die aufwändigere Technik mit mechanischer Lüftungsanlage bei über 9.000 €/a.

Tabelle 55: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand Nah-/Fernwärme	Option A			Ausgangszustand NT-Gas	Option C
			1. Teilmodernisierung	Komplettmodernisierung	Komplettmodernisierung		Komplettmodernisierung
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	5.800	5.910	5.990	9.130	5.870	9.180
	€/m ²	4	4	4	6	4	6

Energiekosten

In Abbildung 70 sind sowohl die gesamten als auch die spezifischen Energiekosten für die betrachteten Varianten dargestellt. Abgebildet sind die Energiekosten für die Jahre 2020 und 2030, wobei für das Jahr 2030 zur besseren Übersicht nur der untere Preispfad dargestellt ist. Deutlich zu erkennen ist eine Verdopplung der Energiekosten für den Energieträger Gas im zweiten Ausgangsfall im Vergleich von 2030 mit 2020.

Für den Ausgangsfall 1 würden sich die spezifischen Energiekosten von 14 auf 18 €/m²·a erhöhen. Im Falle der Teilmodernisierung mit Nah-/Fernwärme sinken die Energiekosten 2020 auf 12 €/m²·a und 2030 auf 16 €/m²·a. Die Komplettmodernisierung führt dann nochmals zu einer Reduzierung der Energiekosten auf 6 bis 8 €/m²·a bzw. auf 3 bis 4 €/m²·a wenn auch noch eine Lüftungsanlage eingebaut wird. Das ist bedingt durch den Rückgang des Endenergiebedarfs, der sich hier für die Verbraucher direkt bemerkbar macht. Für den oberen Preispfad (siehe Anhang) verdoppeln sich die Energiekosten fast noch ein weiteres Mal.

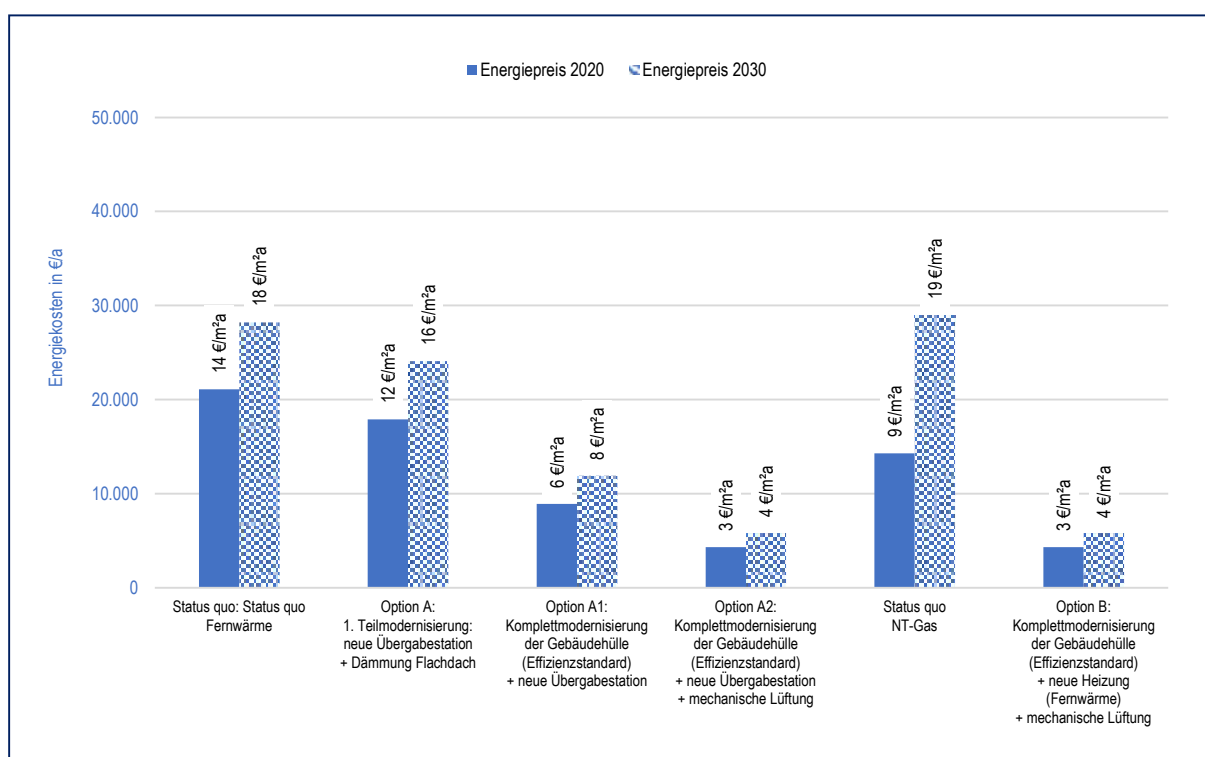


Abbildung 70: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.

Jahresgesamtkosten

Aus Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie den Energiekosten lassen sich die Jahresgesamtkosten bestimmen. In der folgenden Auswertung werden diese nur für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) erörtert. Diese sind in Abbildung 71 vergleichend zu sehen. Die restlichen Ergebnisse liegen dem Bericht als Anhang bei. Der Vergleich für das Jahr 2020 zeigt die geringsten Jahresgesamtkosten für die beiden Ausgangszustände mit 26.900 €/a für die Nah-/Fernwärme und 20.200 €/a für die Gas-NT Heizung. Auf einem ähnlichen Niveau wie der Nah-/Fernwärme-Ausgangszustand liegen auch noch die beiden ersten Varianten der Option A mit Teil- bzw. Vollmodernisierung (ohne Lüftungsanlage). Die beiden Optionen der Vollmodernisierung mit mechanischer Lüftung haben höhere Jahresgesamtkosten (33.400 bzw. 33.400 €/a).

Die Betrachtung für das Jahr 2030 zeigt einen deutlichen Anstieg der Jahresgesamtkosten für den Ausgangszustand mit Gas-NT Heizung. Lediglich die Vollmodernisierung Option A 1 ohne Lüftungsanlage führt hier zu im Vergleich mit dem Ausgangszustand niedrigeren Jahresgesamtkosten. Alle anderen Varianten haben mehr oder minder dieselben Jahresgesamtkosten von 34.000 bis 34.900 €/a.

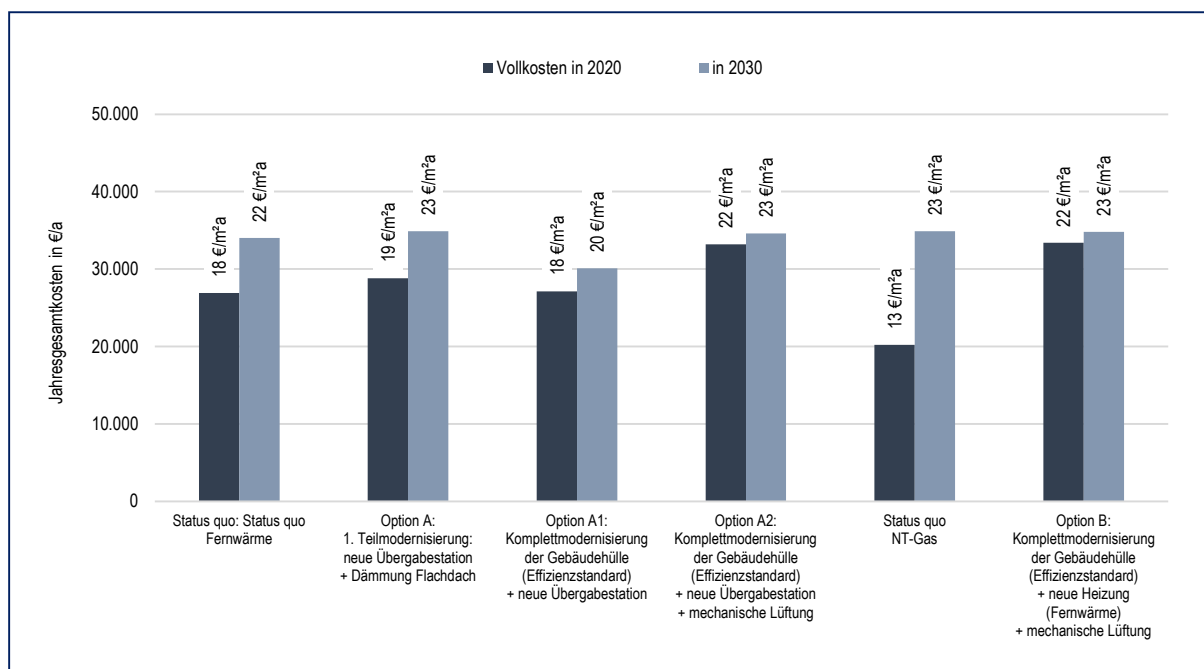


Abbildung 71: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)

Abbildung 72 zeigt die verschiedenen Kostenanteile an den Vollkosten für das Jahr 2030. Die Darstellung der Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten beziehen sich dabei auf den unteren Preispfad. Dabei ist Abbildung 72 nach Kapitalkosten gegliedert (weiter unterteilt nach Sowieso-Kapitalkosten und energetisch bedingten Kapitalkosten), betriebsbedingten Kosten und Energiekosten.

Die rein energetisch bedingten Kapitalkosten unterscheiden sich für die drei Vollmodernisierungsoptionen deutlich und haben einen Anteil zwischen 11 (Option A 1) und 31 % (Vollmodernisierungen mit Einbau einer Lüftungsanlage) an den gesamten Jahreskosten.

Die Summe der Kapitalkosten steigt mit dem Aufwand für die energetische Modernisierung der untersuchten Varianten von 4.930 €/a auf 19.720 €/a stark an.

Der Status quo mit Nah-/Fernwärme hat betriebsbedingte Kosten von 5.800 €/a und liegt damit etwa auf dem Niveau von Option A und Option A1 und dem Ausgangszustand 2 mit Gas-NT Heizung. Die Vollmodernisierungen mit Lüftungsanlage haben deutlich höhere Betriebskosten von 9.130 bzw. 9.180 €/a. Der Grund für die höheren Betriebskosten liegen in der erhöhten Wartung für die Lüftungsanlage.

Die bereits für Abbildung 71 beschriebenen Zusammenhänge für die Jahresgesamtkosten werden durch die Aufschlüsselung der Kostenanteile noch deutlicher. So zeigt sich der Einfluss der zurückgegangenen Energiekosten gegenüber den angestiegenen Kapitalkosten. Da der Anstieg der Kapitalkosten in der gleichen Größenordnung liegt wie der Rückgang der Energiekosten, liegen alle Modernisierungsvarianten ähnlich wie der Status quo. Es wird also Energie und CO₂ eingespart aber die Investition bringt keinen Vorteil bei den Jahresgesamtkosten. Einzige Ausnahme ist hier die

Vollmodernisierung der Option A ohne Lüftungsanlage. Hier sind die Energieeinsparungen größer als die Kapitalkosten.

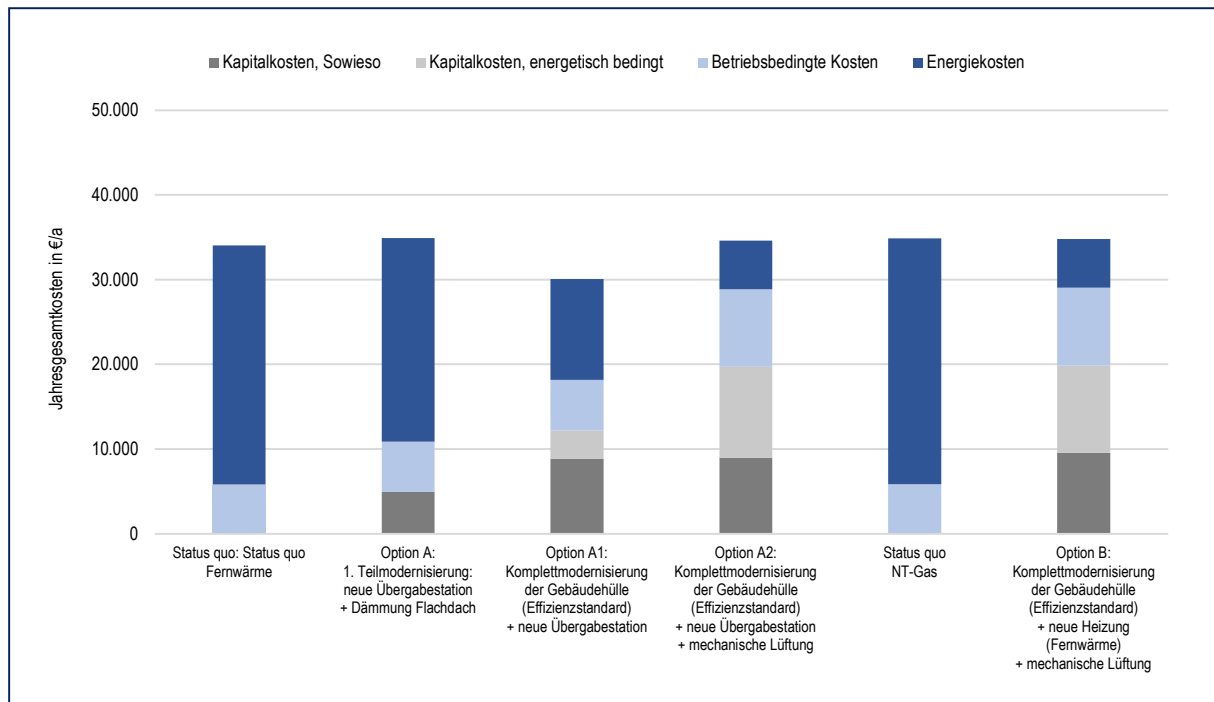


Abbildung 72: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

5.8.4 CO₂-Vermeidungskosten

Aus den oben beschriebenen jährlichen CO₂-Reduzierungen und den Jahresgesamtkosten lassen sich die effektiven Kosten einer Modernisierungsvariante pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen bestimmen. Abbildung 73 zeigt die Bandbreite der ermittelten CO₂-Vermeidungskosten in graphischer Darstellung für das Jahr 2030 und den unteren Preispfad. Zusätzlich ist der CO₂-Ausstoß dargestellt.

Die mit Abstand niedrigsten CO₂-Vermeidungskosten von -187 €/t hat die Option A in der Vollmodernisierungsvariante ohne Lüftungsanlage. Die Teilmodernisierung und die beiden Varianten mit Lüftungsanlagen liegen bei oder minimal über der Kostenneutralität. Das bedeutet, dass zwar bis zu 29 bzw. bezogen auf die Gas-Niedertemperaturheizung der zweiten Ausgangsvariante sogar 51 Tonnen CO₂ pro Jahr eingespart werden, das aber mit minimal höheren Kosten für die Investoren verbunden ist, was durch gezielte Förderung ausgeglichen werden sollte.

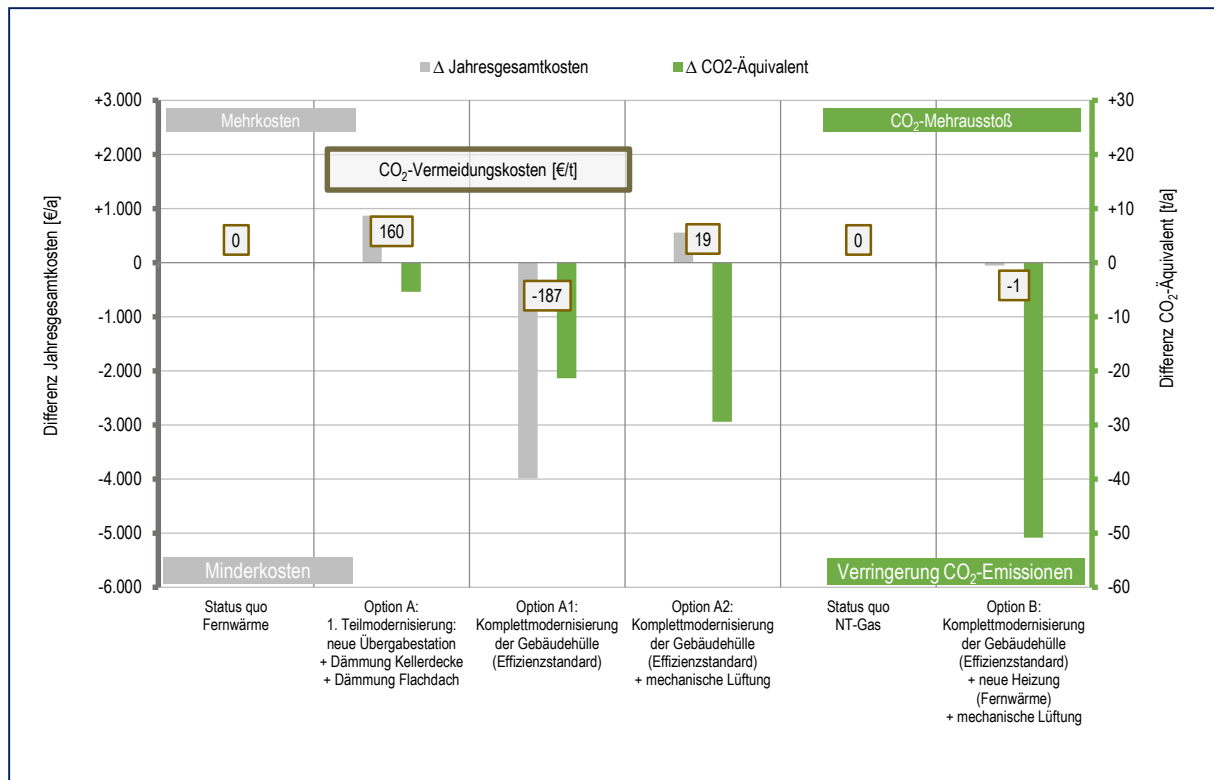


Abbildung 73: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.

5.8.5 Diskussion der Ergebnisse

Das aus den 1980er Jahren stammende große Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten erhielt innerhalb der typischen Sanierungszyklen bisher nur eine Erneuerung der Heizungsanlage. Es wurde anhand von verschiedenen Veränderungen an der Gebäudehülle und dem Heizungssystem demonstrativ gezeigt, wie man ein solches Gebäude zukunftsfähig und somit „2050-ready“ modernisieren kann. Untersucht wurde zwei Ausgangsfälle. In einem Fall bestand bereits ein Fern/Nah-Wärmeanschluss, im anderen ist der Anschluss an ein solches Netz vorgesehen. Dabei muss die Gebäudehülle vollständig nach dem Effizienzstandard modernisiert werden. In zwei Fällen ist auch der Einfluss einer mechanischen Lüftungsanlage mit hoher Effizienz analysiert worden.

Für das betrachtete Gebäude kann bei Erneuerung der Übergabestation und Komplettmodernisierung der Gebäudehülle der Endenergiebedarf um knapp 60%, bei Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage sogar um 80% reduziert werden. Damit sind die Forderungen nach einem nahezu klimaneutralen Gebäude durch Senkung der THG-Emission um 85% im Jahr 2030 nahezu erfüllt. Interessanterweise führen diese beiden Optionen zu keiner wesentlichen Veränderung der Jahresgesamtkosten von 23 €/m². Dadurch dass aber die Treibhausgase um durchschnittlich mehr als 85% reduziert werden ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten von nahezu 0 €/t. D.h. es fallen keine Mehrkosten je eingesparter t CO₂ gegenüber dem Referenzfall an. Betrachtet man hingegen nur den Einfluss der Modernisierungsmaßnahmen auf die Jahresgesamtkosten und die CO₂ Vermeidungskosten so ergeben sich sogar deutlich negative Werte. Es kommt also zu Minderkosten je eingesparter t CO₂ gegenüber dem Referenzfall. Das bedeutet, dass sich die hier diskutierten Maßnahmen unter den angenommenen Randbedingungen für den Eigentümer rechnen und sowohl die 2030 als auch 2050 Ziele erfüllen.

Tabelle 56: Übersicht der erzielten energetischen bzw. ökologischen Veränderungen, resultierende Jahresgesamtkosten und sich ableitende CO₂-Vermeidungskosten für das Betrachtungsjahr 2030 und den unteren Preispfad.

		Option A			Option B
		1. Teil-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung	Komplett-modernisierung
Endenergieeinsparung	%	22	89	122	128
CO ₂ -Minderung	%	16	32	40	40
Δ Jahresgesamtkosten					
Vollkosten	€/m ² ·a	880	-3.980	560	-50
Einfluss der Modernisierung	€/m ² ·a	-4.050	-12.810	-8.410	-9.590
CO₂-Vermeidungskosten					
Vollkosten	€/t	60	-120	10	0
Einfluss der Modernisierung	€/t	-250	-400	-210	-240

6 Ergebnisse und Bewertung Nichtwohngebäude

6.1 Schule

6.1.1 Gebäudedaten

Bei der betrachteten Schule mit 28 Klassenzimmern und einer Netto-Grundfläche von 3.600 m² handelt es sich um ein 4-geschossiges Gebäude, das in einen Ost- und einen Westflügel unterteilt ist. Beide Gebäudeflügel sind durch drei Zwischenbauten, welche Gänge und Treppenhäuser enthalten, miteinander verbunden. Das Kellergeschoss liegt innerhalb der thermischen Hülle (vgl. Abbildung 74).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Die Schule verfügt über eine Wärmeübergabestation mit einem zentralen Verteilnetz (Dämmung der Rohrleitungen entsprechend dem Stand der Technik moderat) und Röhrenradiatoren zur Wärmeübergabe mit Systemauslegungstemperaturen von 80/60°C. Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind ungeregelt und überdimensioniert. Die Trinkwassererwärmung erfolgt für den Küchenbereich über einen zentralen Trinkwarmwasserspeicher, Sanitärräume etc. sind mit elektrischen Durchlauferhitzern ausgestattet. Die Beleuchtung wird über stabförmige Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten realisiert. Das Gebäude verfügt im Ausgangszustand über keine mechanische Lüftung und Kühlung.

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	3.600 m ²
Anzahl Klassenräume	28
Keller	beheizt
beheiztes Volumen	12.000 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	6.632 m ²

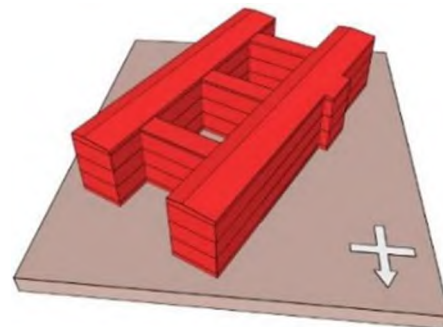


Abbildung 74: Gebäudedaten Schule

6.1.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 ermöglichen.

Die Schule wird mit Fernwärme versorgt, so dass bei den Modernisierungsoptionen ein Energieträgerwechsel nicht vorgesehen wird. Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen in Verbindung mit Fenstertausch unterstellt. Nähere Erläuterungen zu den hybriden Lüftungsanlagen enthält Abschnitt 4.2. Da der Einbau aus hygienischer Sicht

zwingend angeraten ist, werden die Kosten der raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung als Ohnehin-Kosten angesehen.

Als anlagenseitige Energieeinsparmaßnahmen werden geringinvestive Maßnahmen (Dämmung der Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich inkl. Austausch Heizungsumwälzpumpe), der Tausch der Wärmeübergabestation, Einbau neuer Elektro-Durchlauferhitzer, Einbau LED-Beleuchtung sowie der Einbau der Hybridlüftung betrachtet. Diese werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung des Kellerbodens wird nicht unterstellt.

Tabelle 57: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Schule		Ausgangszustand	Modernisierungsoption				Komplettmodernisierung
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme			Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme
Wärmeübergabe		Radiatoren 80/60 °C	Radiatoren 55/45 °C		Absenkung 70/55 °C	Radiatoren 55/45 °C	Radiatoren 55/45 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden		vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe		Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL		Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE			Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen			LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		-		raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG
Kühlung		-					
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85					0,16
	Sockelbereich	0,85					0,16
	Fenster	1,90		0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	-					
	Flachdach	0,40					0,17
	Kellerboden	0,60					
	Wärmebrückenzuschlag	0,10					0,05
Dichtheitsprüfung		ohne		mit	mit	mit	mit

6.1.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugsweise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anlage 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 75 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Schule. Die berücksichtigten 4 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung zwischen 12 % und 36 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 59 % verbunden.

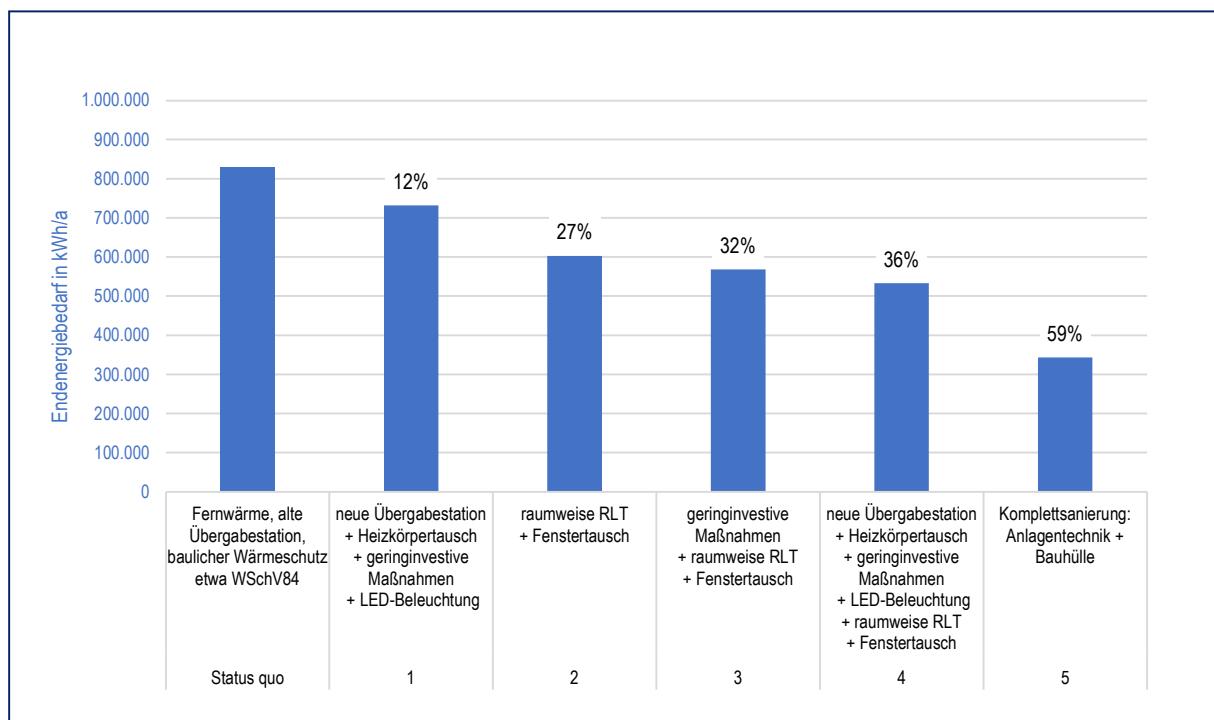


Abbildung 75: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Schule

Primärenergiebedarf

In Abbildung 76 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 32% bis 65 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Schule erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 18 % und 56 % liegen.

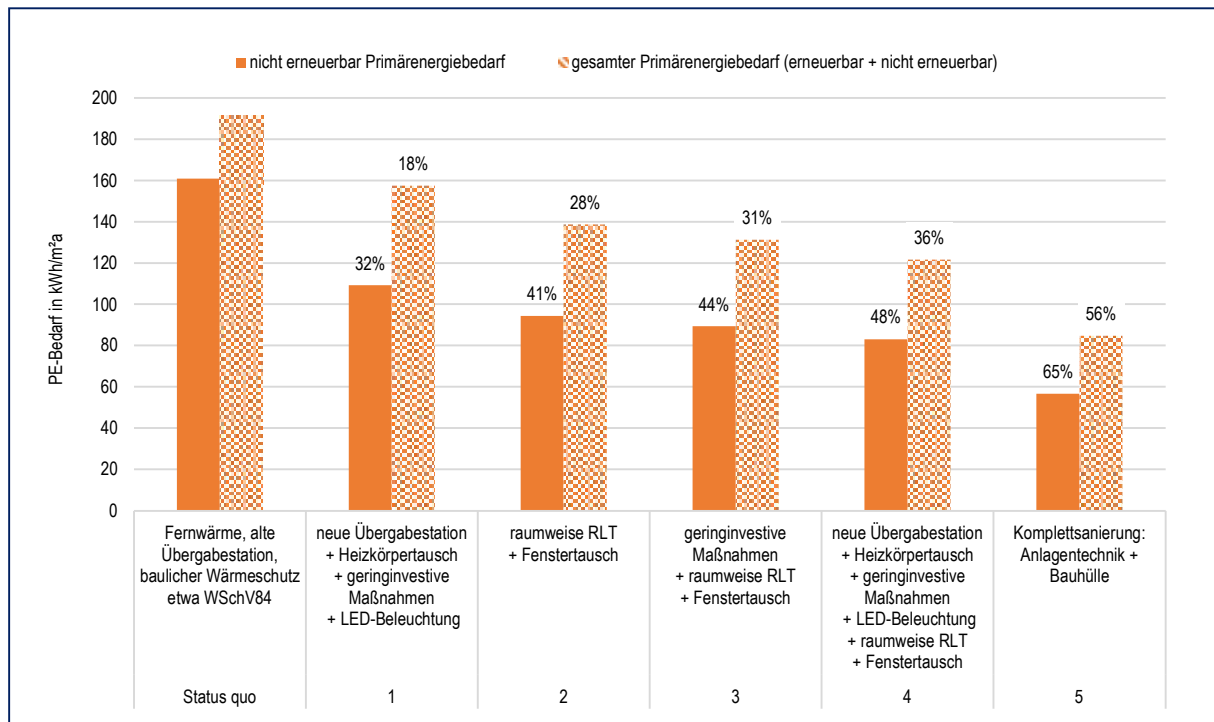


Abbildung 76: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Schule

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 77 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 35 % bis rund 50 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von ca. 66 % verbunden.

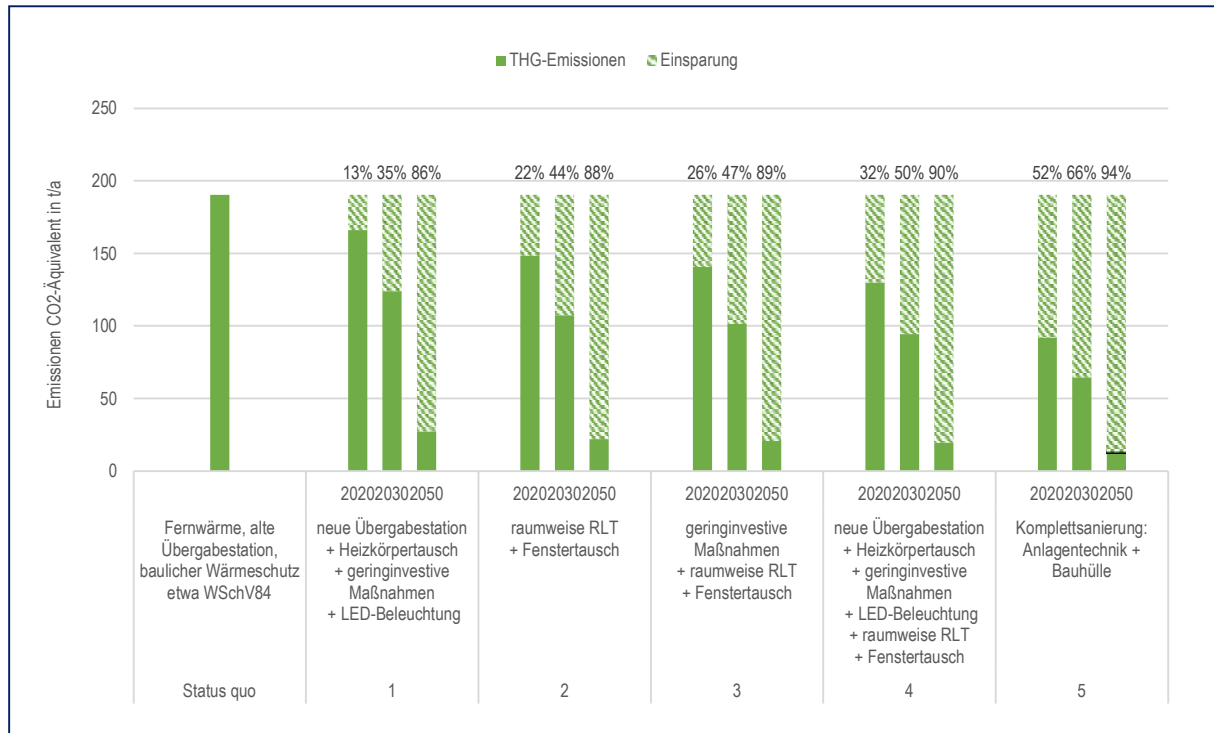


Abbildung 77: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Schule

6.1.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 58 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung liegen zwischen 150 und 810 €/m² ANGF. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 58: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	402.400	294.100	338.300	634.700	562.400
	Beleuchtung	€	137.300	0	0	137.300	137.300
	Dämmung	€	0	0	0	0	1.019.200
	Fenster	€	0	1.198.000	1.198.000	1.198.000	1.198.000
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	150	414	427	547	810
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	127.000	1.100	23.700	105.400	79.000
	Beleuchtung	€	27.500	0	0	27.500	27.500
	Dämmung	€	0	0	0	0	391.200
	Fenster	€	0	342.300	342.300	342.300	342.300
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	43	95	102	132	233
Förderung	gesamt	€	107.940	298.420	307.260	394.000	583.380
	flächenspezifisch	€/m ²	30	83	85	109	162

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 59 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben. Diese steigen ab Variante 2 infolge des Neueinbaus der raumweisen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, da damit ein höherer Wartungs- und Instandsetzungsaufwand verbunden ist.

Tabelle 59: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	19.300	19.200	29.000	28.900	27.900	26.800
	€/m ²	5	5	8	8	8	7

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 78 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der unterstellten Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den angenommenen Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 3 €/m²a und 12 €/m²a und entspricht einer relativen Minderung von 12 % bis 49 %. Unter Berücksichtigung der unterstellten Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 4 €/m²a bis 16 €/m²a erhöhen.

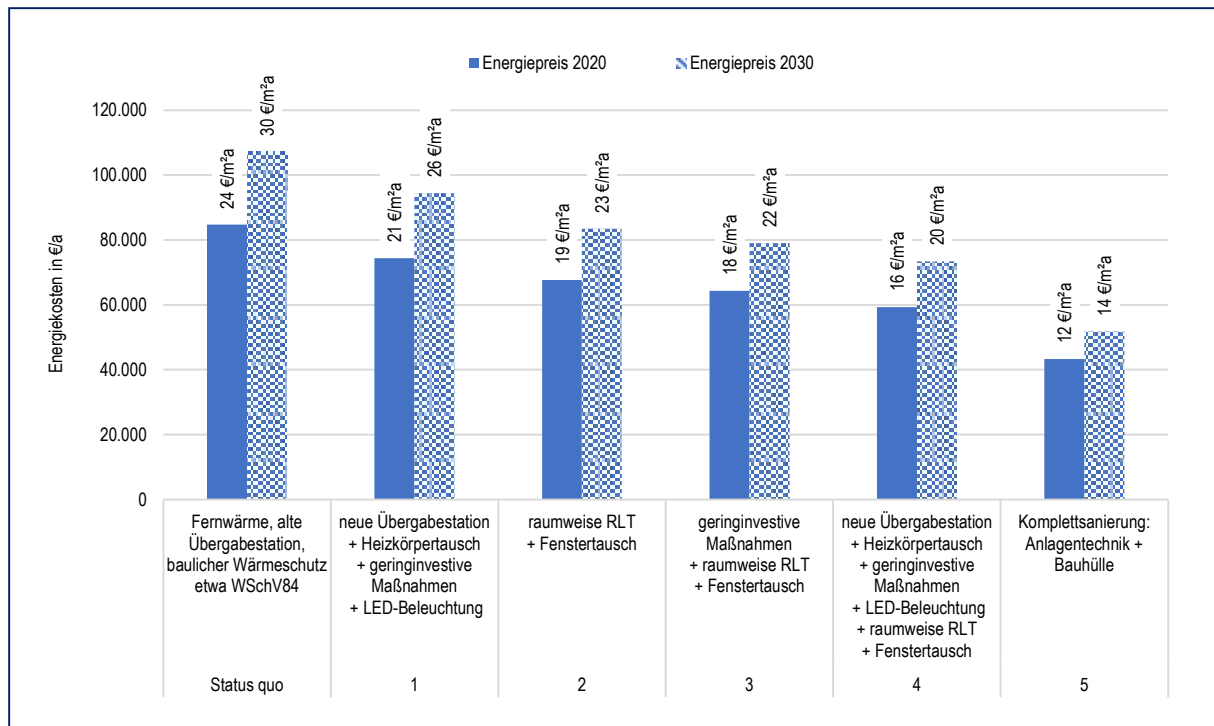


Abbildung 78: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Schule

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 79.

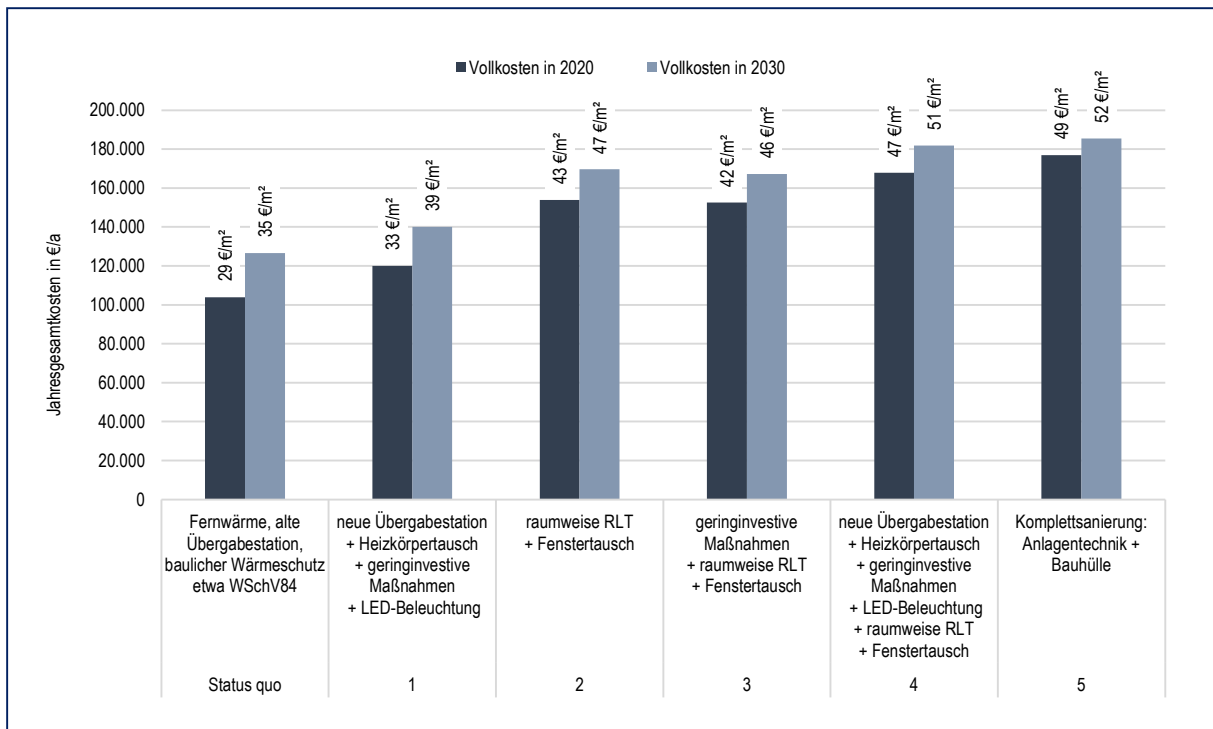


Abbildung 79: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Schule

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

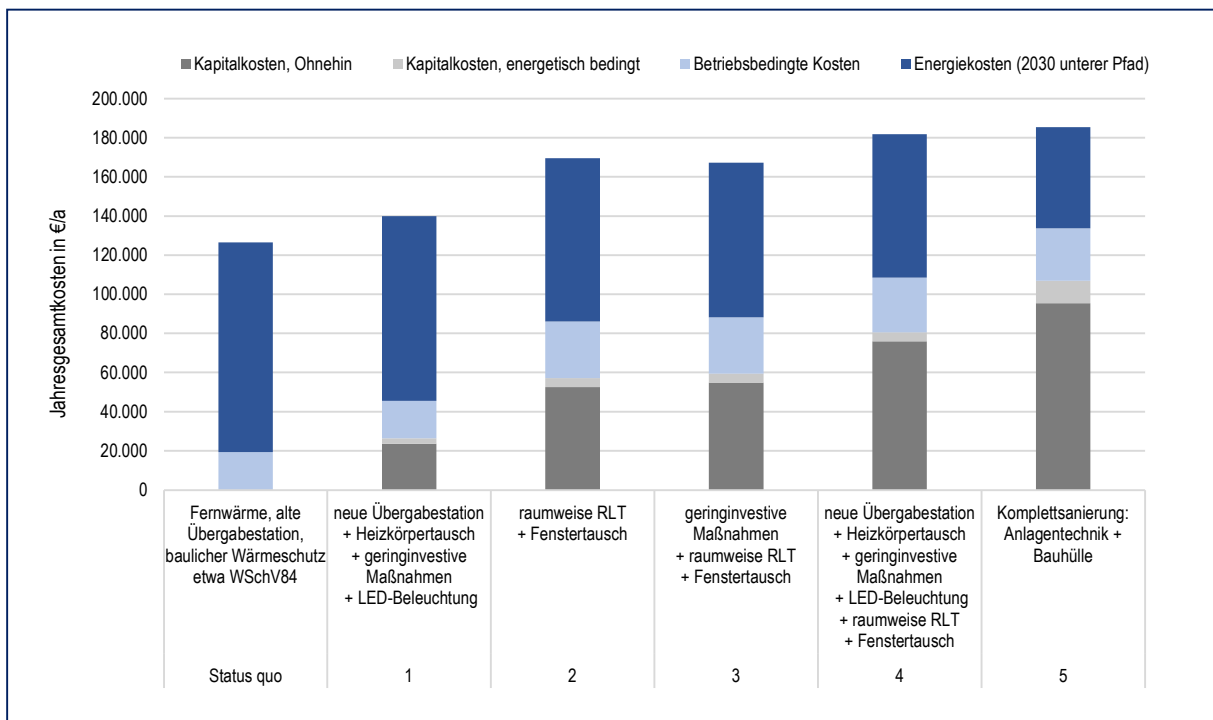


Abbildung 80: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für die Schule auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.1.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 81 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für die Schule betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und unterstellten Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

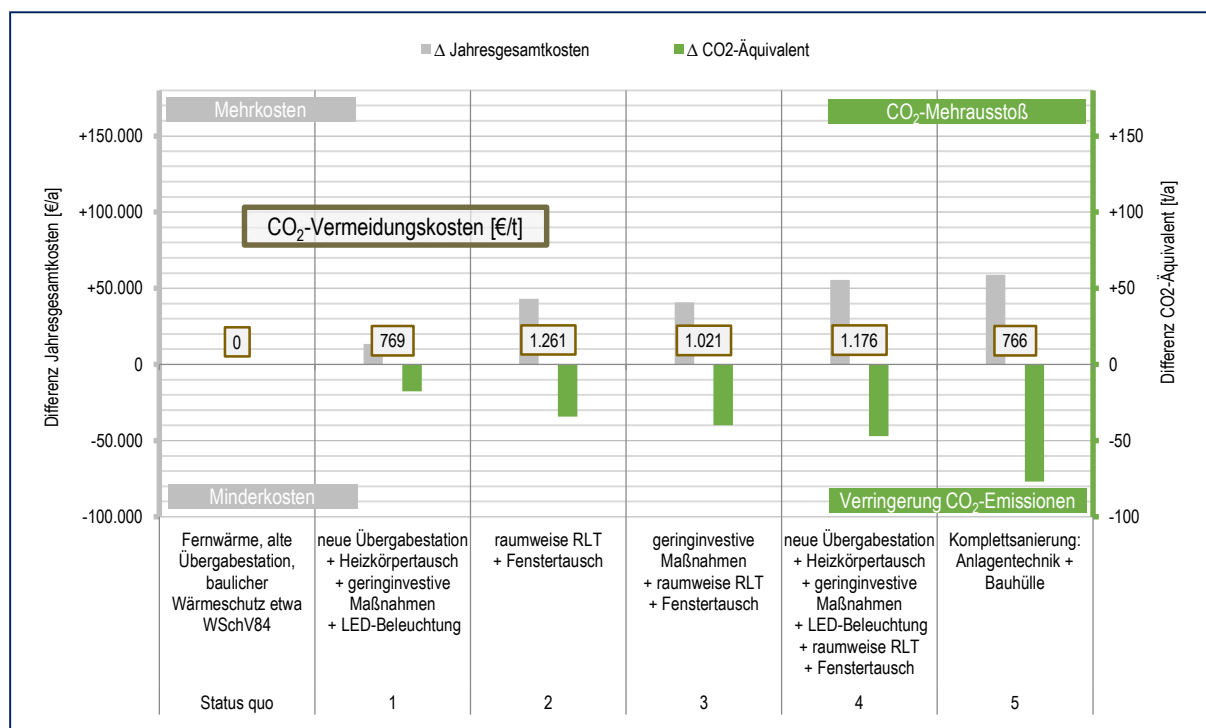


Abbildung 81: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Schule

6.1.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 12 % und 36 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 35 % bis ca. 66 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs um ca. 59 % möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 94 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 entsprechend den Randbedingungen angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich. Allerdings sind die möglichen THG-Einsparungen mit Nah-/Fernwärme insbesondere für das Zieljahr 2050 stark von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängig. Dies gilt analog für das mögliche Einsparpotenzial an Primärenergie.

6.2 Einfeld-Sporthalle

6.2.1 Gebäudedaten

Bei der Sporthalle handelt es sich um eine Einfeld-Sporthalle mit einer Netto-Grundfläche von 1.715 m², (vgl. Abbildung 82).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Die Sporthalle wird wie die Schule über Fernwärme zur Heizung und Trinkwassererwärmung versorgt. Die Sporthalle selbst verfügt über eine Fußbodenheizung, die Sanitäranlagen sind mit Heizkörpern und einer Abluftanlage ausgestattet. Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind unregelt und überdimensioniert. Die Trinkwassererwärmung erfolgt für den Sanitärbereich über einen zentralen Trinkwarmwasserspeicher.

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.715 m ²
Länge / Breite / Hallenhöhe	45 m / 38 m / 9 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	11.779 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	5.213 m ²

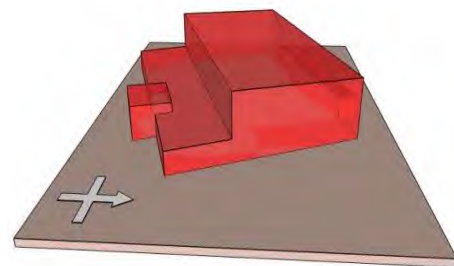


Abbildung 82: Gebäudedaten Sporthalle

6.2.2 Modernisierungsoptionen

Die Sporthalle wird mit Fernwärme versorgt, so dass bei den Modernisierungsoptionen ein Energieträgerwechsel nicht vorgesehen wird.

Anlagenseitige Energieeinsparmaßnahmen beinhalten den Tausch der Wärmeübergabestation, geringinvestive Maßnahmen (Dämmung der Verteilleitungen, hydraulischer Abgleich inkl. Austausch Heizungsumwälzpumpe) sowie der Einbau einer LED-Beleuchtung. Diese werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zudem kann infolge baulicher Maßnahmen eine Absenkung der Systemtemperaturen der Fußbodenheizung und der Heizkörper erfolgen.

Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte wird nicht unterstellt.

Tabelle 60: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Einfeld-Sporthalle		Ausgangszustand	Modernisierungsoption			Komplettmodernisierung	
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme	Nah-/ Fernwärme
Wärmeübergabe		FBH 55/40°C Heizkörper 80/60°C	FBH 55/40°C Heizkörper 80/60°C	Absenkung 50/40 °C / 70/55 °C	Absenkung 50/40 °C / 70/55 °C	Absenkung 50/40 °C Heizkörper neu 55/45 °C	Absenkung 50/40 °C Heizkörper neu 55/45 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / unregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG			LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		Abluftanlagen in Sanitärräumen					
Kühlung		-	-	-	-	-	-
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85				0,16	0,16
	Fenster	1,90		0,80	0,80	0,80	0,80
	Flachdach	0,40					0,12
	Bodenplatte	0,60					
	Wärmebrückenzuschlag	0,10				0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne		mit	mit	mit	mit

6.2.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugswise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 83 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes. Die berücksichtigten 3 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung zwischen 5 % und 25 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 44 % (ohne Dämmung Flachdach) und 54 % incl. Dämmung Flachdach verbunden.

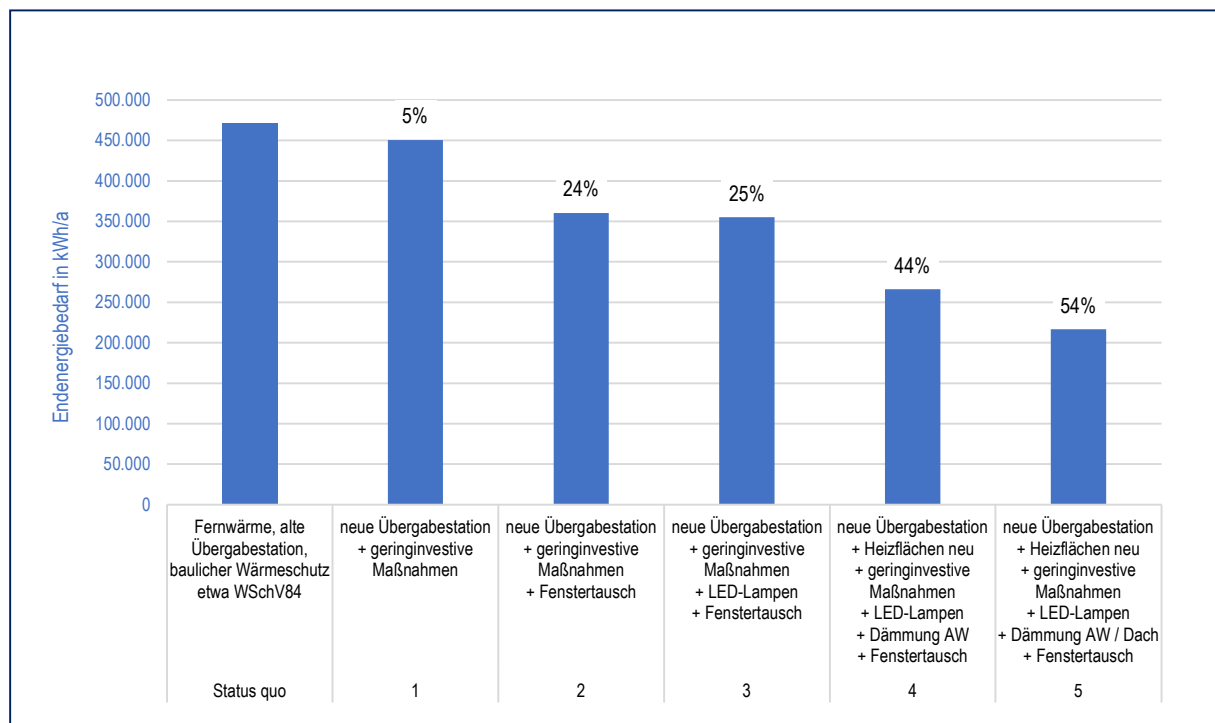


Abbildung 83: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Sporthalle

Primärenergiebedarf

In Abbildung 84 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 26% bis 64 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Sporthalle erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 10 % und 57 % liegen.

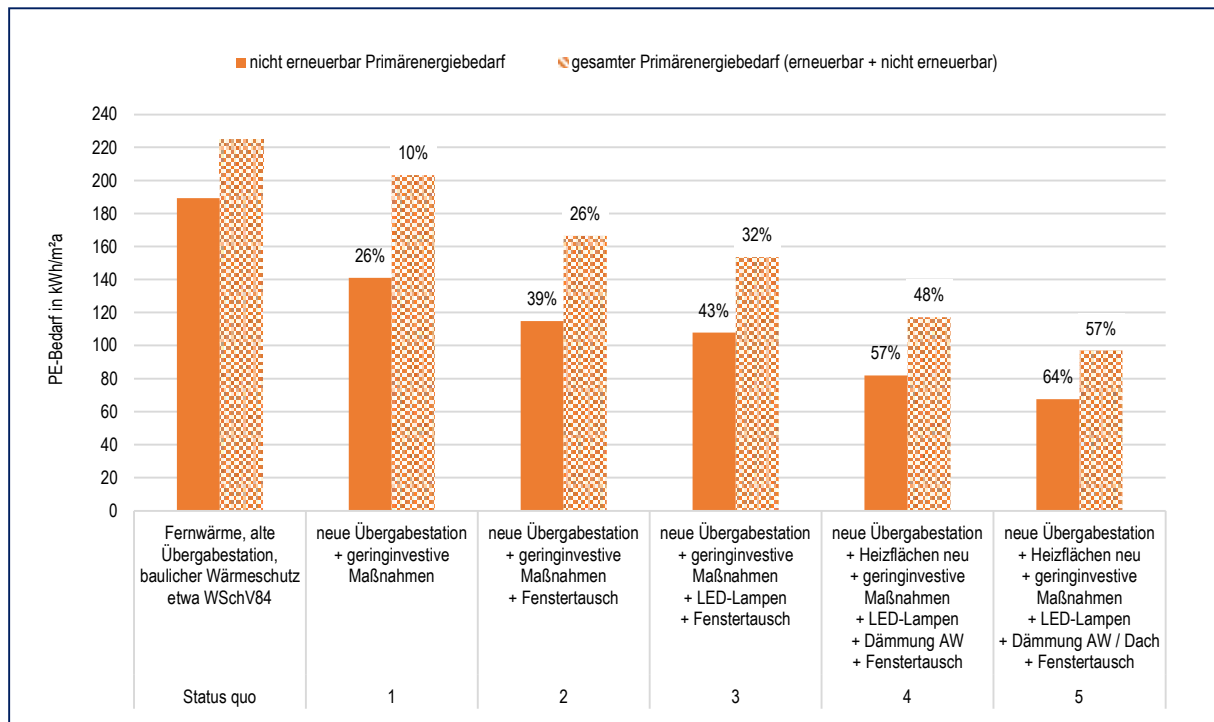


Abbildung 84: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Sporthalle

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 85 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 46 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von 59 % (ohne Dämmung Flachdach) und 66 % incl. Dämmung Flachdach verbunden.

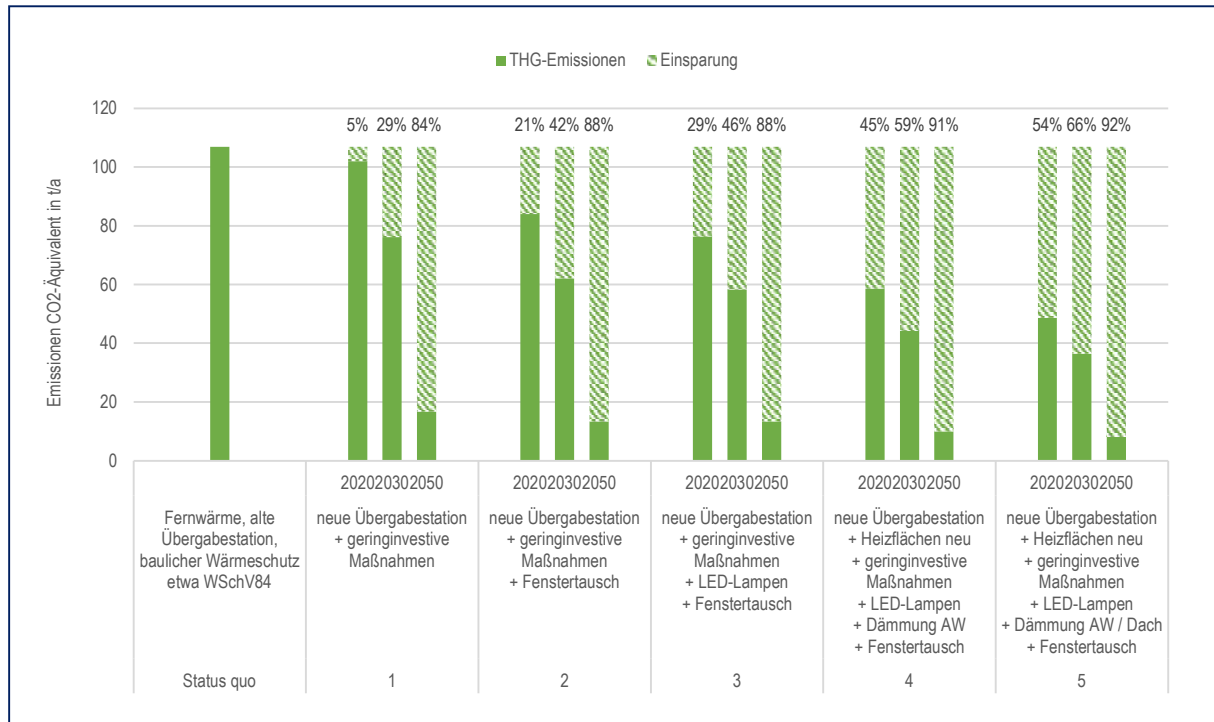


Abbildung 85: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Sporthalle

6.2.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 61 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig, entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung liegen zwischen 27 und 718 €/m² A_{NGF}. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 61: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	45.800	45.600	45.600	54.500	52.000
	Beleuchtung	€	0	0	42.800	42.800	42.800
	Dämmung	€	0	0	0	287.300	839.700
	Fenster	€	0	296.400	296.400	296.400	296.400
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	27	199	224	397	718
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	18.000	19.100	19.100	24.600	24.100
	Beleuchtung	€	0	0	8.600	8.600	8.600
	Dämmung	€	0	0	0	140.500	292.300
	Fenster	€	0	84.700	84.700	84.700	84.700
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	10	61	66	151	239
Förderung	gesamt	€	9.160	68.400	76.960	136.200	246.180
	flächenspezifisch	€/m ²	5	40	45	79	144

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 62 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 62: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	6.900	6.900	6.900	6.900	6.800	6.700
	€/m ²	4	4	4	4	4	4

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 86 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der unterstellten Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den angenommenen Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 1 €/m²a und 15 €/m²a. Unter Berücksichtigung der entsprechend den Randbedingungen angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 1 €/m²a bis 18 €/m²a erhöhen.

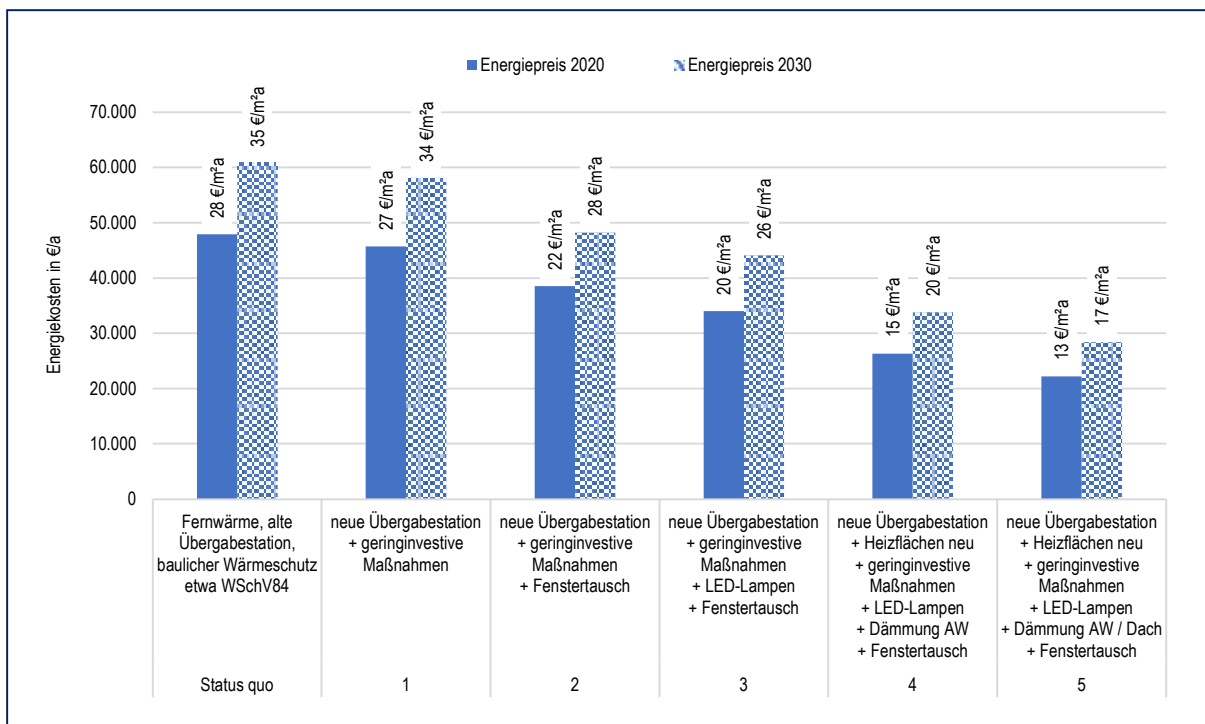


Abbildung 86: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Sporthalle

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 87.

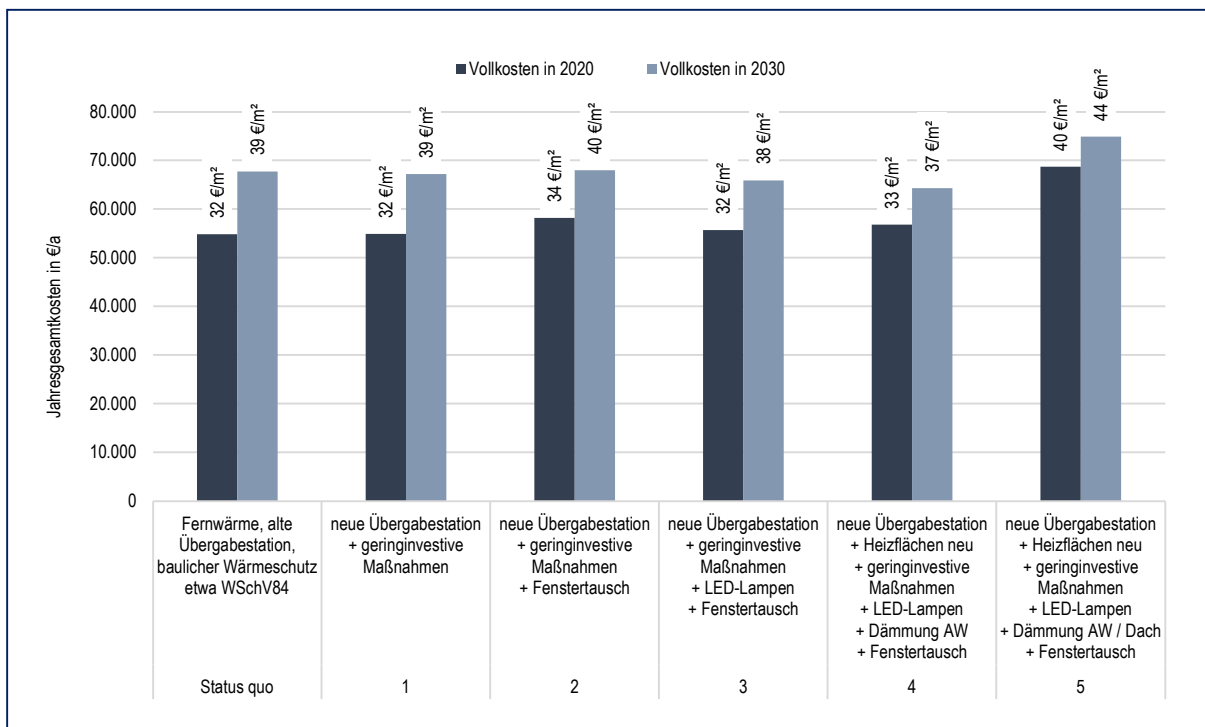


Abbildung 87: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Sporthalle

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

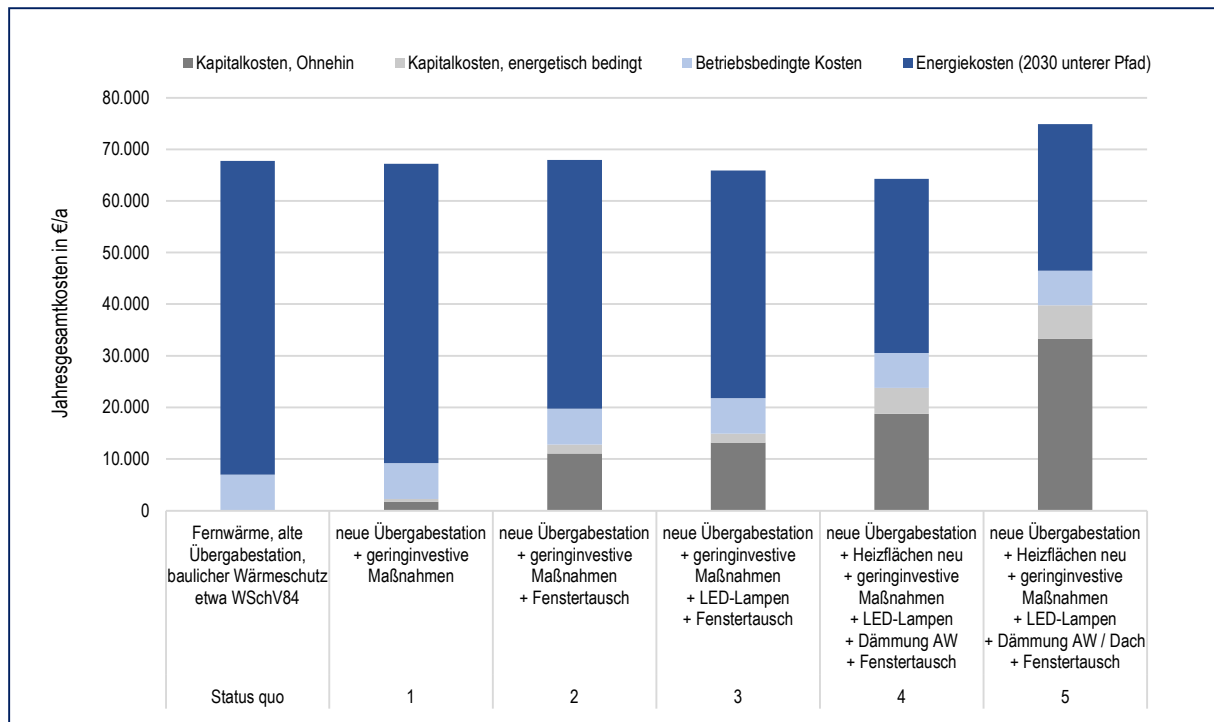


Abbildung 88: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.2.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 89 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für die Sporthalle betrachteten Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

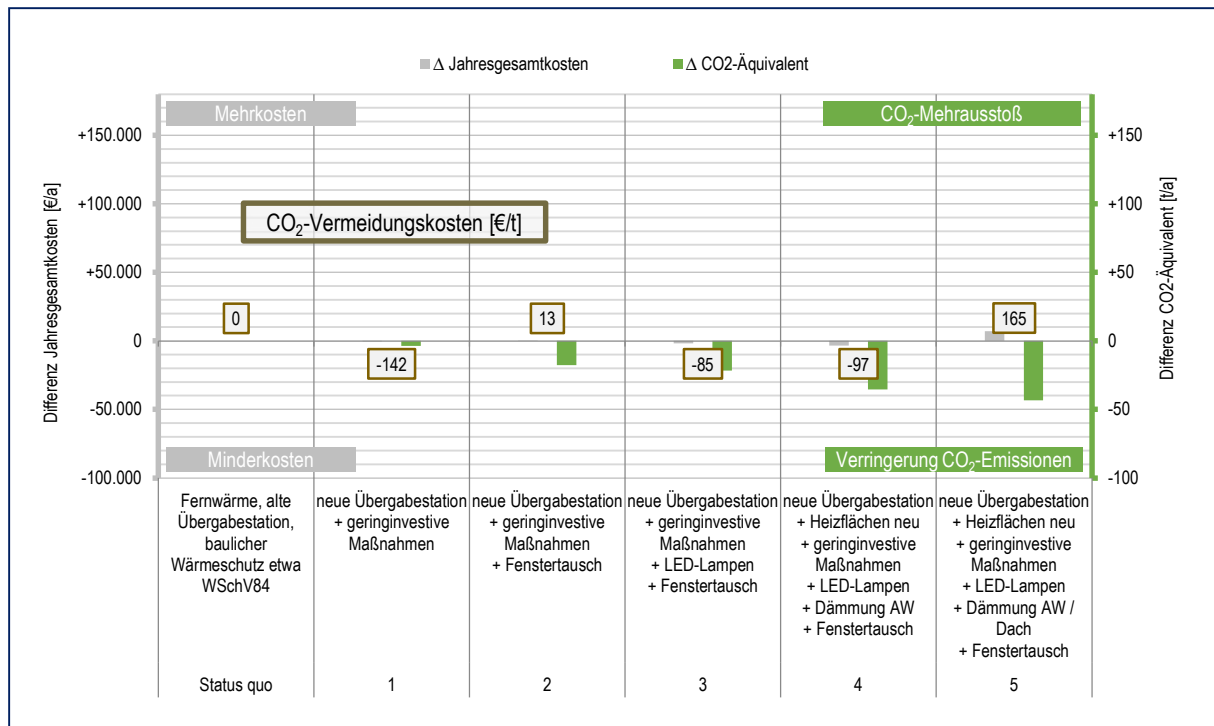


Abbildung 89: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Sporthalle

6.2.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 5 % und 25 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 46 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs von 44 % (ohne Dämmung Flachdach) und 54 % incl. Dämmung Flachdach möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 92 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich. Allerdings sind die möglichen THG-Einsparungen mit Nah-/Fernwärme insbesondere für das Zieljahr 2050 stark von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängig. Dies gilt analog für das mögliche Einsparpotenzial an Primärenergie.

6.3 Kindergarten

6.3.1 Gebäudedaten

Bei dem betrachteten Kindergarten mit 15 Gruppen-, Ruhe- und Vielzweckräumen und einer Netto-Grundfläche von 1.254 m² handelt es sich um ein 2-geschossiges Gebäude ohne Keller.

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Der Kindergarten wird mit einem Öl-Niedertemperaturkessel und zentralem Verteilnetz (Dämmung der Rohrleitungen entsprechend dem Stand der Technik moderat) und Heizkörper zur Wärmeübergabe mit Systemauslegungstemperaturen von 80/60°C versorgt. Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind ungeregelt und überdimensioniert. Die Trinkwassererwärmung erfolgt mit einem zentralen Trinkwarmwasserspeicher. Die Beleuchtung wird über stabförmige Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten realisiert. Das Gebäude verfügt im Ausgangszustand über keine mechanische Lüftung und Kühlung.

Baulter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.254 m ²
Anzahl Gruppen-, Ruhe- und Vielzweckräume	15
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	3.152 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	2.489 m ²

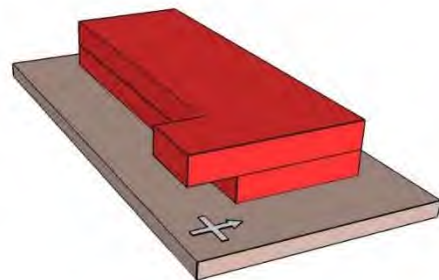


Abbildung 90: Gebäudedaten Kindergarten

6.3.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 ermöglichen.

Ein Energieträgerwechsel von Heizöl auf Erdgas wird beim Kindergarten nicht betrachtet, es wird unterstellt, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe verfügbar ist (beispielsweise im ländlichen Bereich). Damit ergeben sich folgende anlagenseitigen Modernisierungsoptionen (immer in Kombination mit geringinvestiven Maßnahmen):

- Einbau eines Öl-Brennwertkessels in Verbindung mit solarer Trinkwassererwärmung
- Einbau eines Pelletkessels mit indirekt beheiztem Speicher
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe mit indirekt beheiztem Speicher

Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen in Verbindung mit Fenstertausch unterstellt. Nähere Erläuterungen zu den hybriden

Lüftungsanlagen enthält Abschnitt 4.2. Da der Einbau aus hygienischer Sicht zwingend angeraten ist, werden die Kosten der raumluftechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung als Ohnehin-Kosten angesehen.

Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt nicht.

Tabelle 63: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Kindergarten		Ausgangszustand	Modernisierungsoption			Komplettmodernisierung	
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Öl-NT-Kessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Pelletkessel	Pelletkessel	Luft-Wasser-Wärmepumpe
Wärmeübergabe		Heizkörper 80/60°C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 70/55 °C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / unregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		Speicher	solare TWE	solare TWE	Speicher	Speicher	Speicher
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG				LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		-	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-/ Abluftanlage mit WRG
Kühlung		-					
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85				0,16	0,16
	Fenster	1,90		0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	-					
	Flachdach	0,40				0,12	0,12
	Bodenplatte	0,60					
	Wärmebrückenanschlag	0,10				0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne		mit	mit	mit	mit

6.3.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugsweise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 91 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Kindergartens. Die berücksichtigten 3 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung zwischen 19 % und 36 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 54 % beim Einsatz eines Pelletkessels und von 79% bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe verbunden.

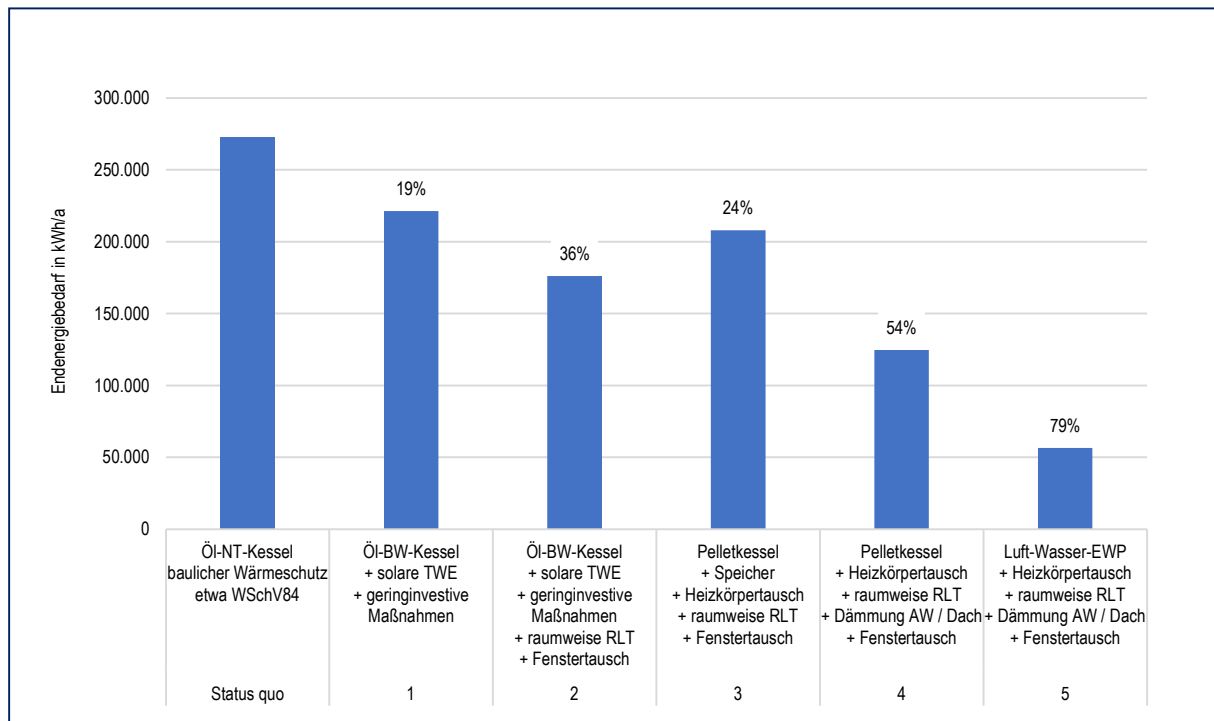


Abbildung 91: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Kindergartens

Primärenergiebedarf

In Abbildung 92 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 21 % bis 89 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Kindergartens erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde je nach eingesetztem Energieträger im Bereich zwischen 18 % und 69 % liegen.

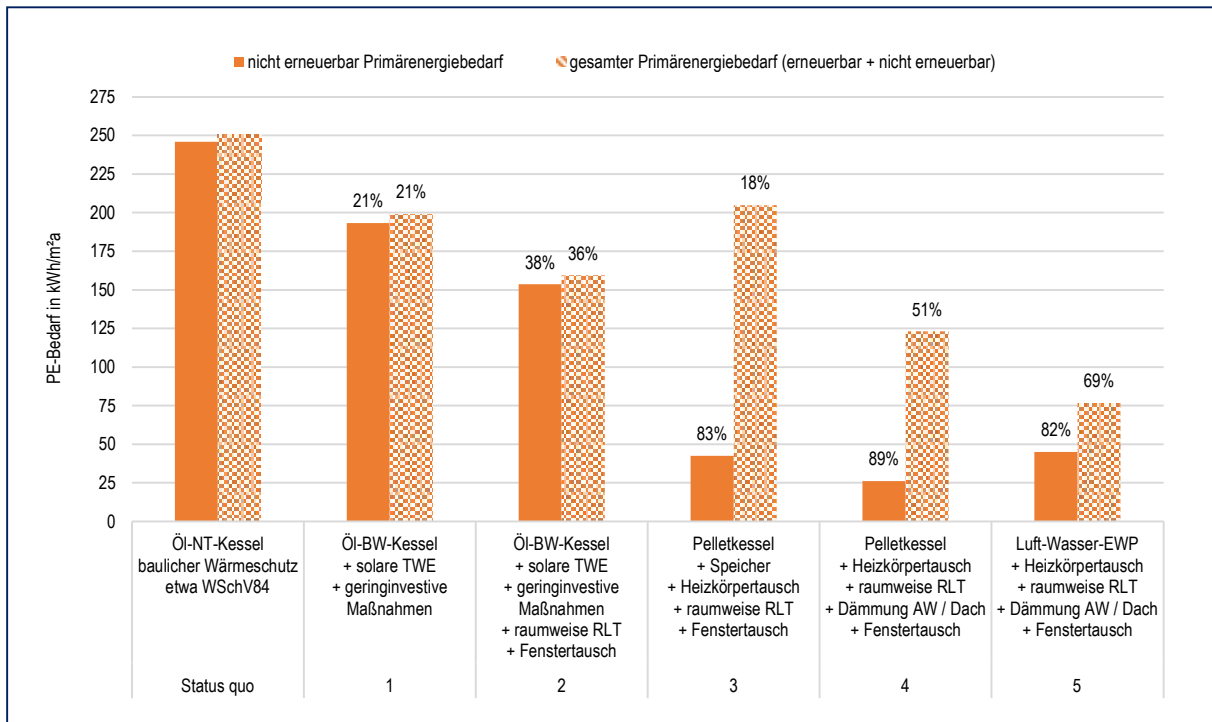


Abbildung 92: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Kindergartens

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 93 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 21 % bis 90 % (Pellets) und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von 94 % beim Einsatz eines Pelletkessels und von 79 % bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe verbunden.

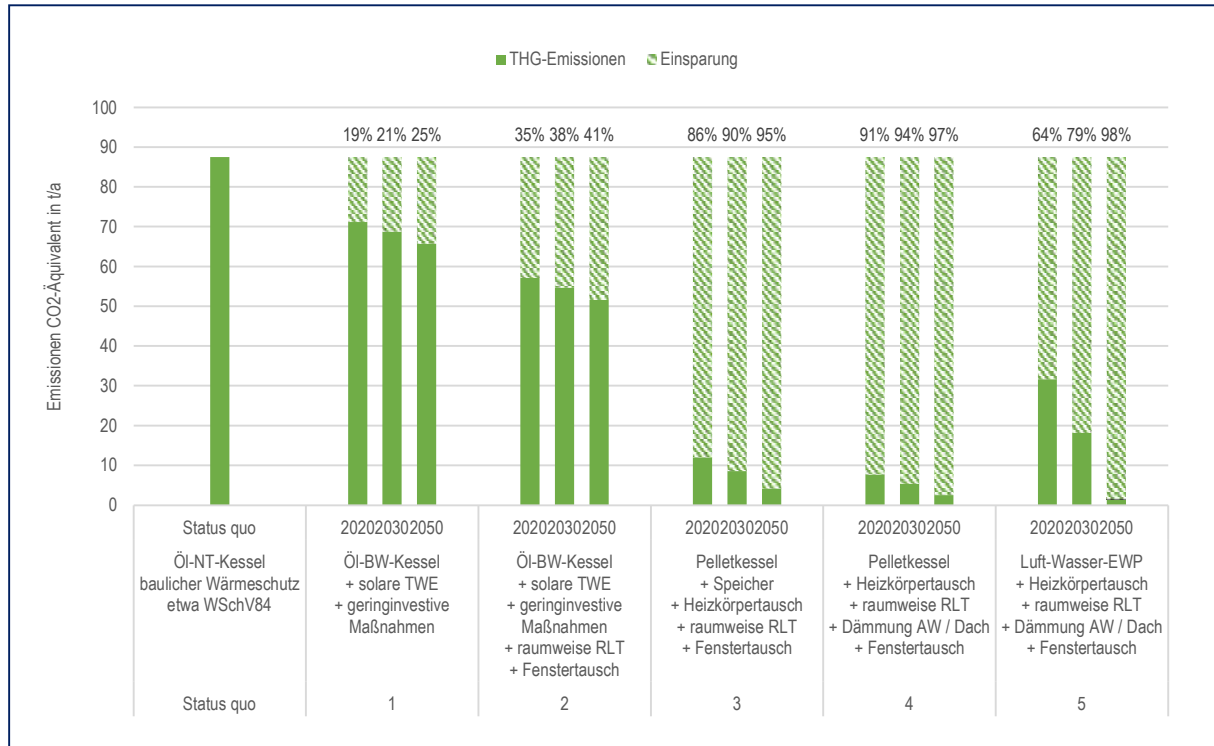


Abbildung 93: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Kindergartens

6.3.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 64 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung

liegen zwischen 62 und 757 €/m² ANGF. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 64: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	77.300	232.200	267.700	253.700	266.900
	Beleuchtung	€	0	0	0	69.800	69.800
	Dämmung	€	0	0	0	390.200	390.200
	Fenster	€	0	221.800	221.800	221.800	221.800
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	62	362	390	746	757
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	49.500	50.200	64.900	56.400	69.600
	Beleuchtung	€	0	0	0	14.000	14.000
	Dämmung	€	0	0	0	138.800	138.800
	Fenster	€	0	63.400	63.400	63.400	63.400
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	39	91	102	217	228
Förderung	gesamt	€	15.460	90.800	97.900	187.100	189.740
	flächenspezifisch	€/m ²	12	72	78	149	151

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 65 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben. Diese steigen ab Variante 2 deutlich infolge des Neueinbaus der raumweisen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, da damit ein höherer Wartungs- und Instandsetzungsaufwand verbunden ist.

Tabelle 65: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	6.700	6.800	11.900	12.200	11.900	11.800
	€/m ²	5	5	9	10	9	9

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 94 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der entsprechend den Randbedingungen angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Die betrachteten Modernisierungsvarianten führen zu Energiekosteneinsparungen gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes (Ausnahme mit unveränderten Kosten: Luft-Wasser-Wärmepumpe). Diese liegen unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 2 €/m²a und 8 €/m²a. Unter Berücksichtigung der unterstellten Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparungen auf 5 €/m²a bis 13 €/m²a erhöhen.

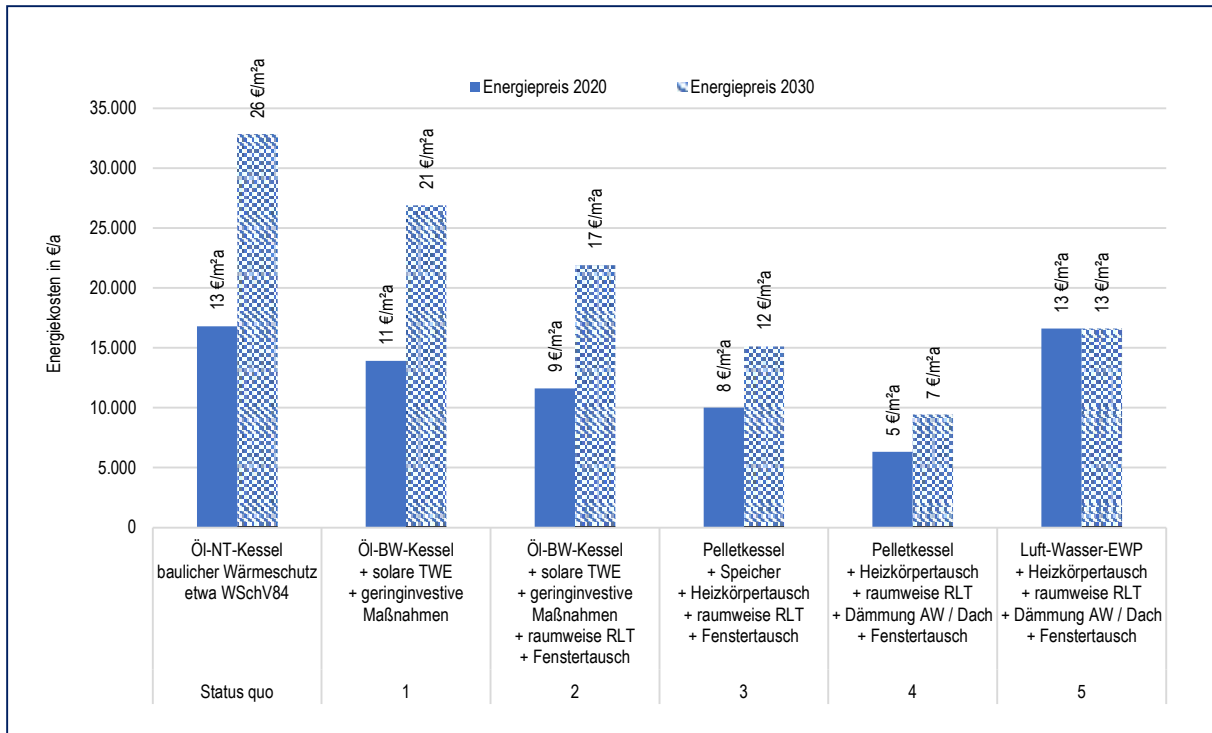


Abbildung 94: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Kindergarten

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 95.

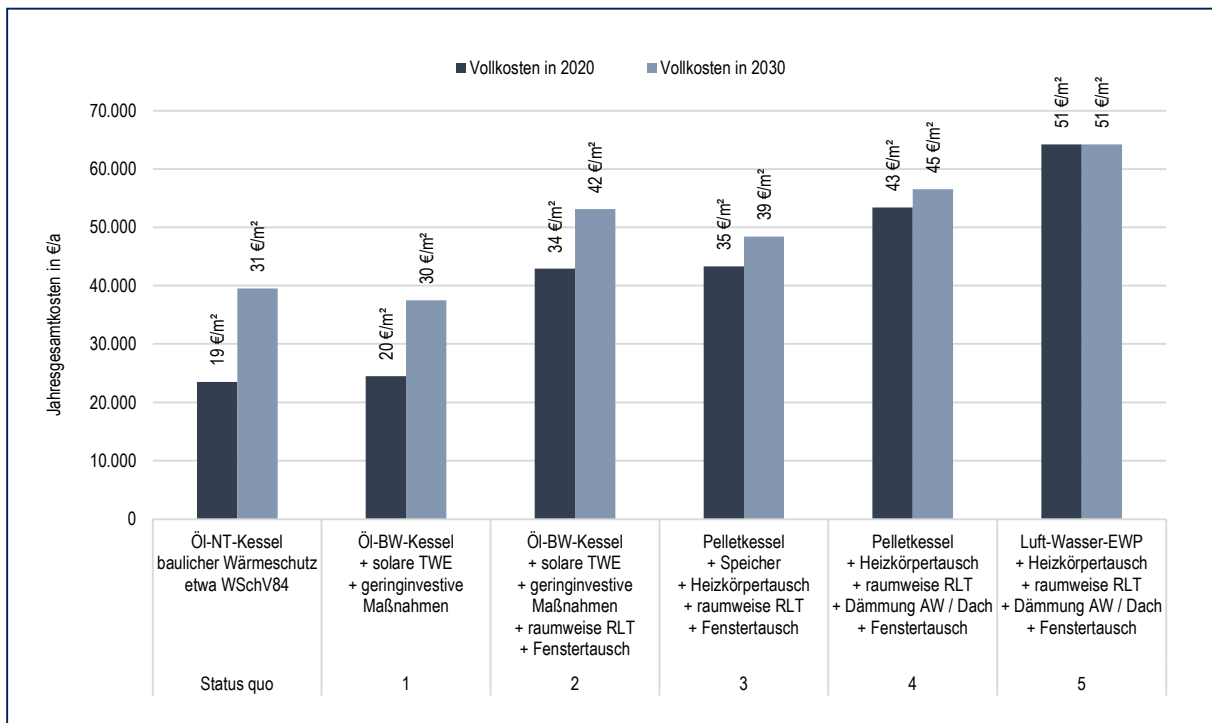


Abbildung 95: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Kindergarten

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

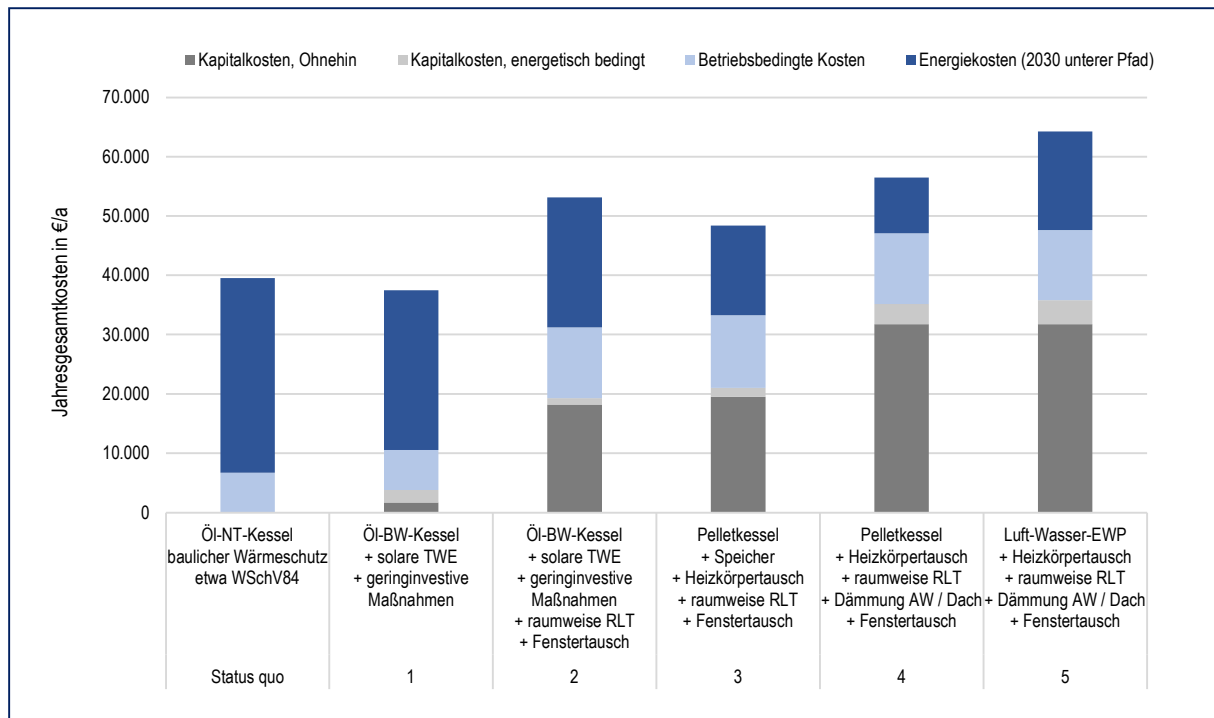


Abbildung 96: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Kindergarten auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.3.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 97 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für den Kindergarten betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und unterstellten Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

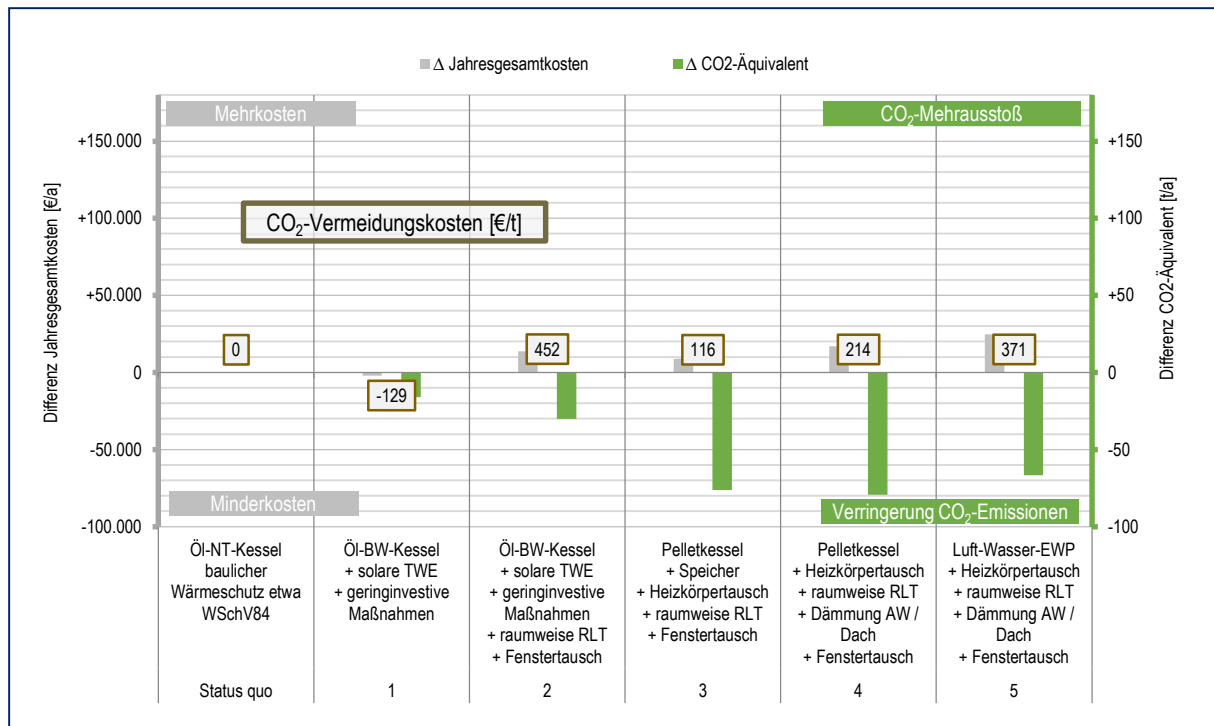


Abbildung 97: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Kindergarten

6.3.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 19 % und 36 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 21 % bis 90 % (Pellets) erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs um 54 % bzw. 79 % möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 98 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich.

6.4 Verwaltungsgebäude

6.4.1 Gebäudedaten

Bei dem betrachteten Verwaltungsgebäude mit einer Netto-Grundfläche von rund 1.700 m² handelt es sich um ein kleines freistehendes Bürogebäude, das nicht unterkellert ist (vgl. Abbildung 98).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Für den anlagentechnischen Ausgangszustand wird ein ca. 30 Jahre alter Gas-Niedertemperaturkessel, eine nicht hydraulisch abgeglichenen Anlage mit unregelmäßiger, überdimensionierter Pumpe und Systemauslegungstemperaturen von 80/60°C sowie nicht zeitgemäßer Dämmung der Verteilungen unterstellt. Die Warmwasserbereitung in den Sanitärräumen erfolgt dezentral über Elektro-Kleinspeicher (Untertischspeicher). Die Beleuchtung wird über stabförmige Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten realisiert. Das Gebäude verfügt im Ausgangszustand über mechanische Lüftung (Abluftanlagen in den Sanitärräumen). Das Verwaltungsgebäude wird nicht gekühlt.

Baulter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.676 m ²
A_{NGF} Büroräume	1.267 m ²
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	5.979 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	2.750 m ²

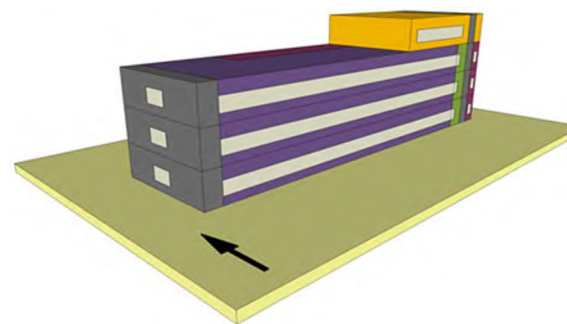


Abbildung 98: Gebäudedaten Verwaltungsgebäude

6.4.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 erreichen können.

Für das Verwaltungsgebäude werden folgende anlagenseitigen Modernisierungsoptionen (immer in Kombination mit geringinvestiven Maßnahmen) betrachtet:

- Einbau eines Gas-Brennwertkessels und Elektro-Durchlauferhitzer
- Einbau einer Gas-Wärmepumpe und Elektro-Durchlauferhitzer
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Elektro-Durchlauferhitzer

Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt nicht.

Tabelle 66: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Verwaltungsgebäude		Ausgangszustand	Modernisierungsoption		Komplettmodernisierung		
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Gas-NT-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-Wärmepumpe	Elektro-Wärmepumpe
Wärmeübergabe		Heizkörper 80/60 °C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 70/55 °C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		E-Kleinspeicher	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG			LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		Abluftanlagen in Sanitärräumen					
Kühlung		-					
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85			0,16	0,16	0,16
	Fenster	1,90		0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	-	-	-	-	-	-
	Flachdach	0,40			0,12	0,12	0,12
	Bodenplatte	0,60					
	Wärmebrückenzuschlag	0,10			0,05	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne			mit	mit	mit

6.4.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugsweise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 99 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes. Die berücksichtigten 2 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 41 %. Eine Kompletmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 63 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 73% bei einer Gas-Wärmepumpe und 82% bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden.

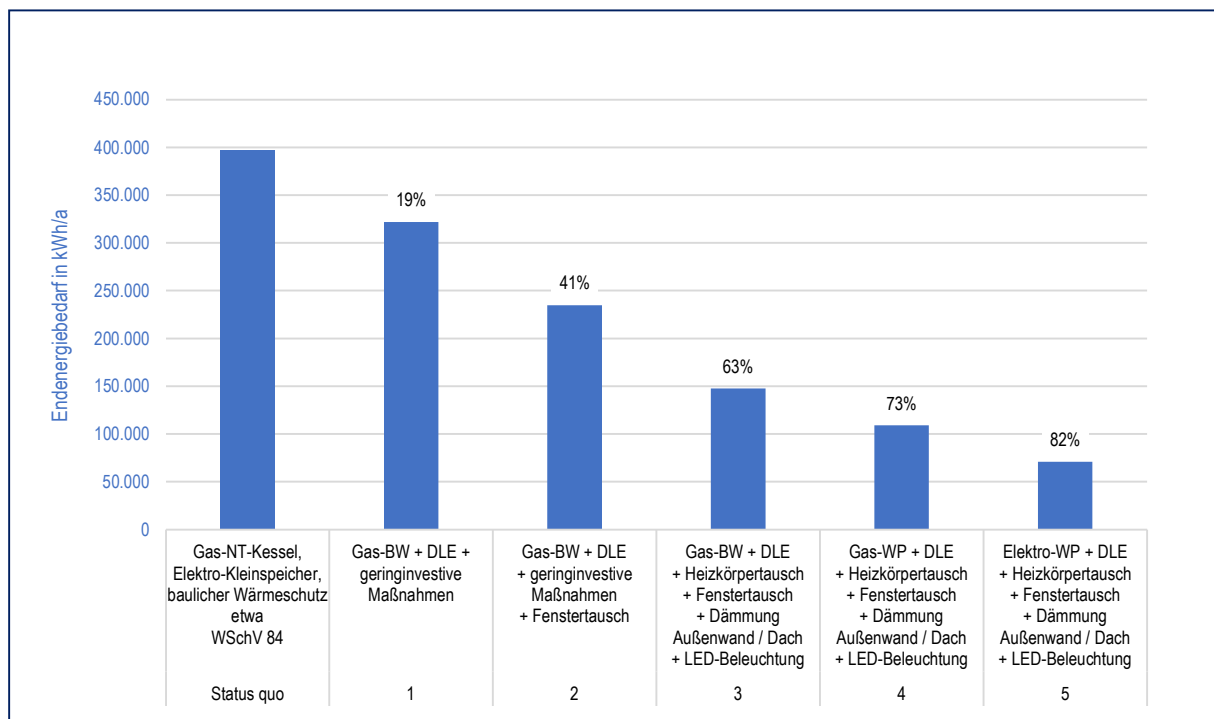


Abbildung 99: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes

Primärenergiebedarf

In Abbildung 100 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 25% bis 85 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verwaltungsgebäudes erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 22 % und 75 % liegen.

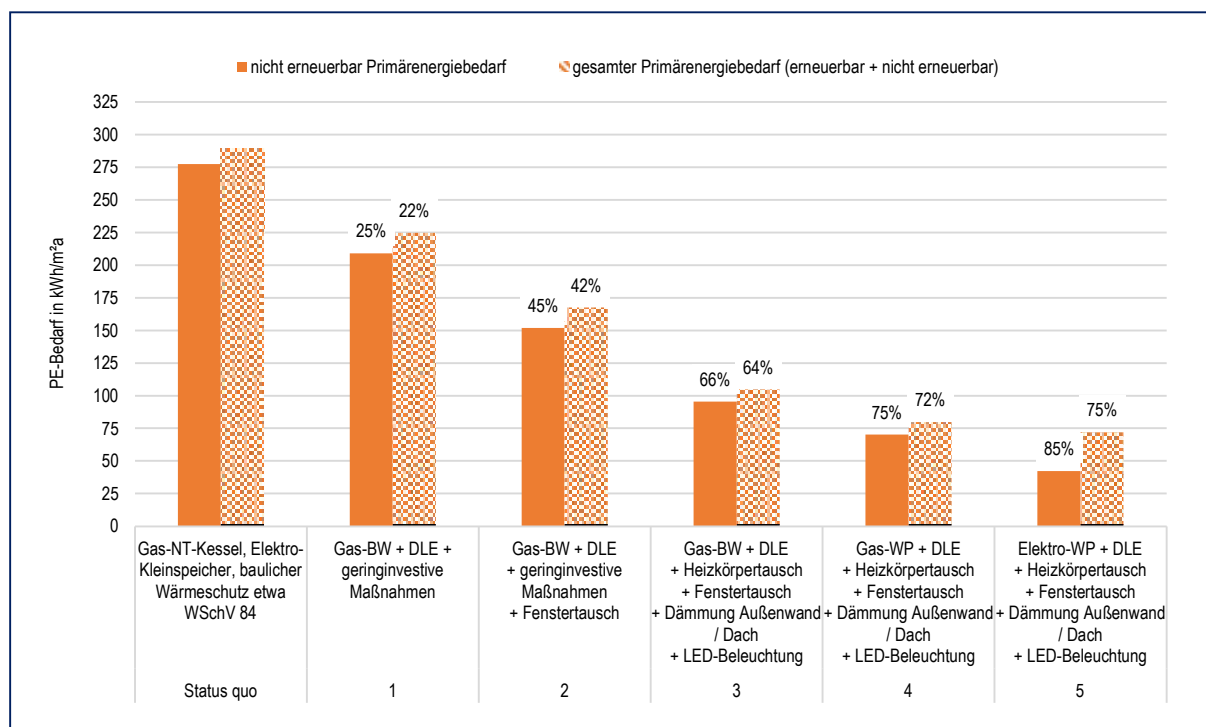


Abbildung 100: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verwaltungsgebäudes

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 101 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 26 % bzw. 45 % und sind somit zielreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von ca. 66 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 74 % bei einer Gas-Wärmepumpe und 79 % bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden.

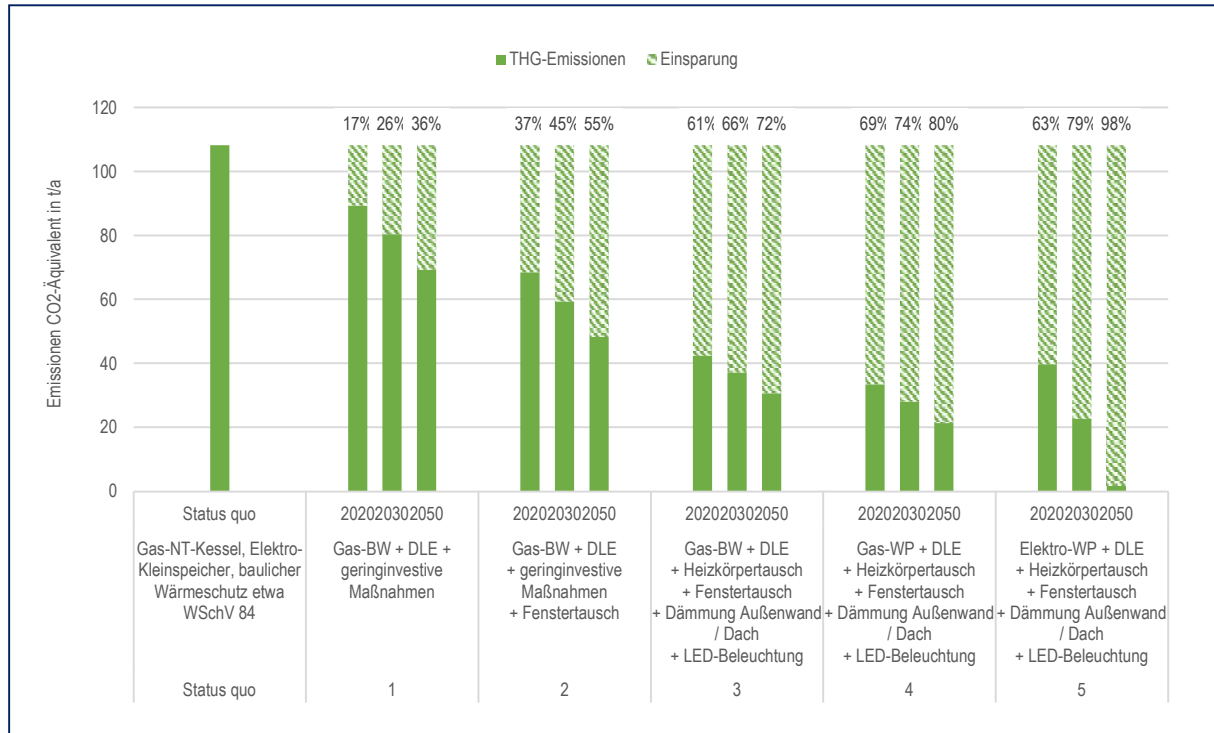


Abbildung 101: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes

6.4.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 67 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung

liegen zwischen 36 und 848 €/m² ANGF. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 67: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	59.800	58.000	80.600	168.500	125.900
	Beleuchtung	€	0	0	360.000	360.000	360.000
	Dämmung	€	0	0	407.200	407.200	407.200
	Fenster	€	0	485.200	485.200	485.200	485.200
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	36	324	795	848	822
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	24.300	25.000	26.800	114.700	72.100
	Beleuchtung	€	0	0	72.000	72.000	72.000
	Dämmung	€	0	0	152.500	152.500	152.500
	Fenster	€	0	138.600	138.600	138.600	138.600
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	14	98	233	285	260
Förderung	gesamt	€	11.960	108.640	266.600	284.180	275.660
	flächenspezifisch	€/m ²	7	65	159	170	164

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 68 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 68: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	12.634	12.604	12.554	11.824	13.299	12.459
	€/m ²	8	8	7	7	8	7

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 102 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 2 €/m²a und 11 €/m²a. Unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 5 €/m²a bis 20 €/m²a erhöhen.

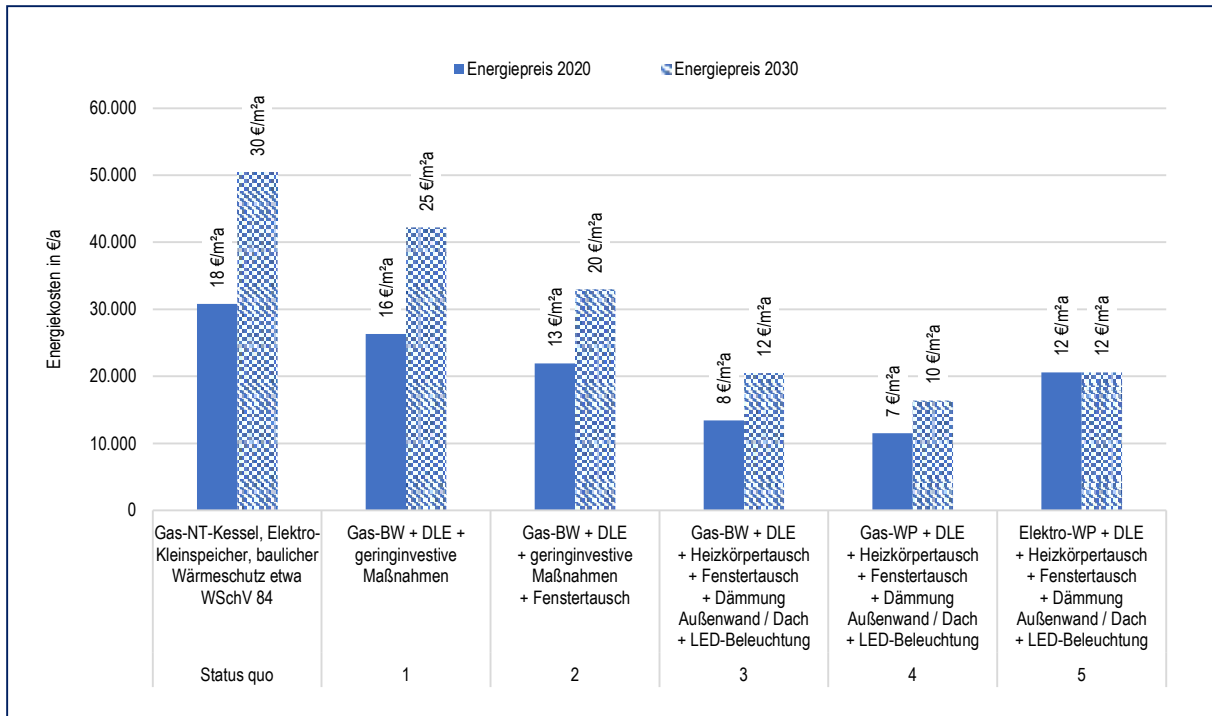


Abbildung 102: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Verwaltungsgebäude

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 103.

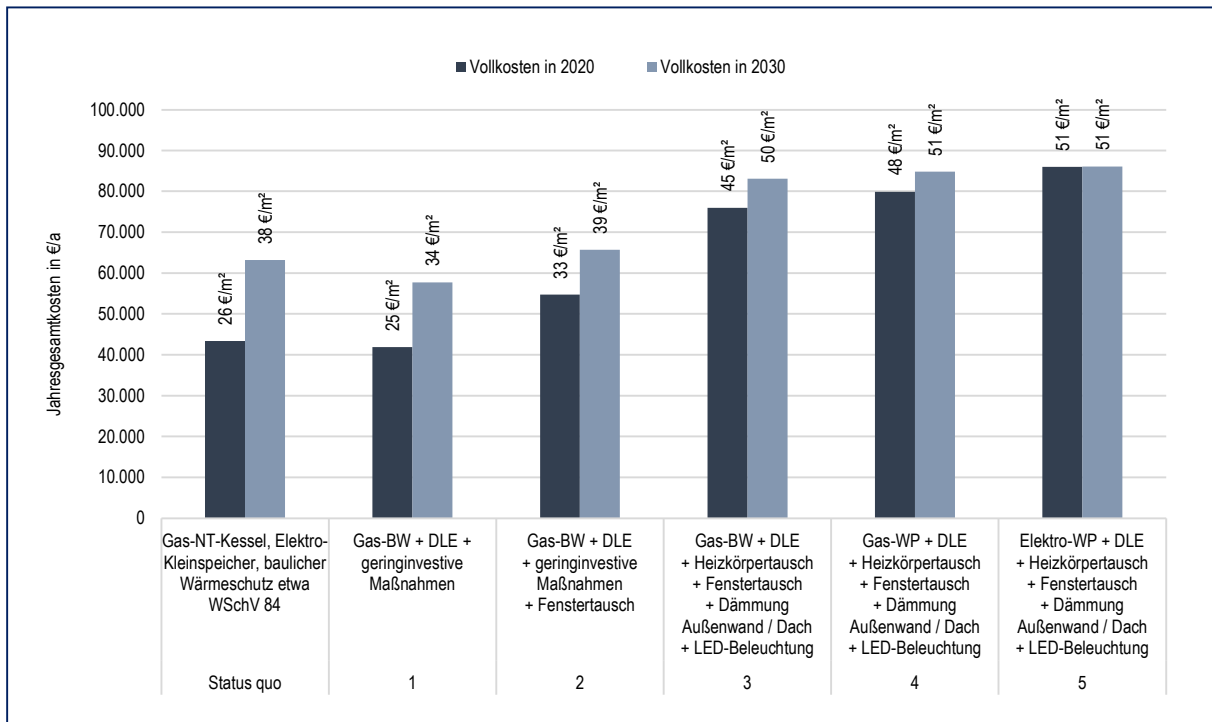


Abbildung 103: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Verwaltungsgebäude

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

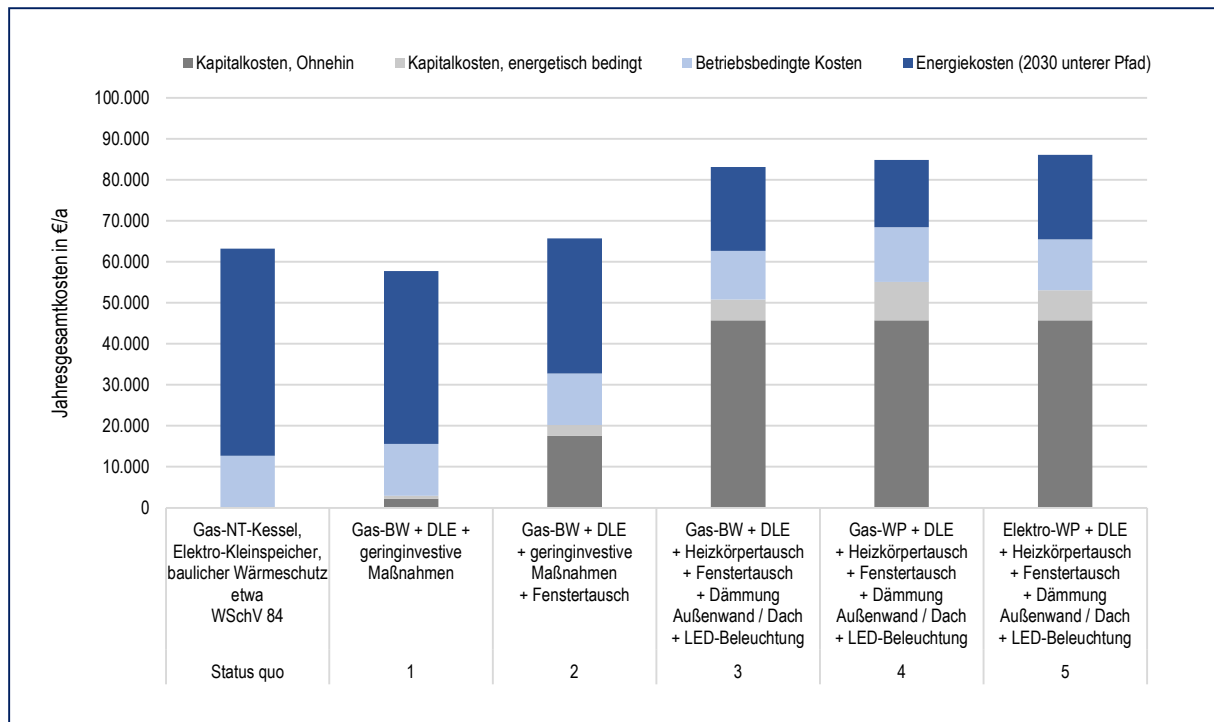


Abbildung 104: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für das Verwaltungsgebäude auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.4.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 105 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für die Schule betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

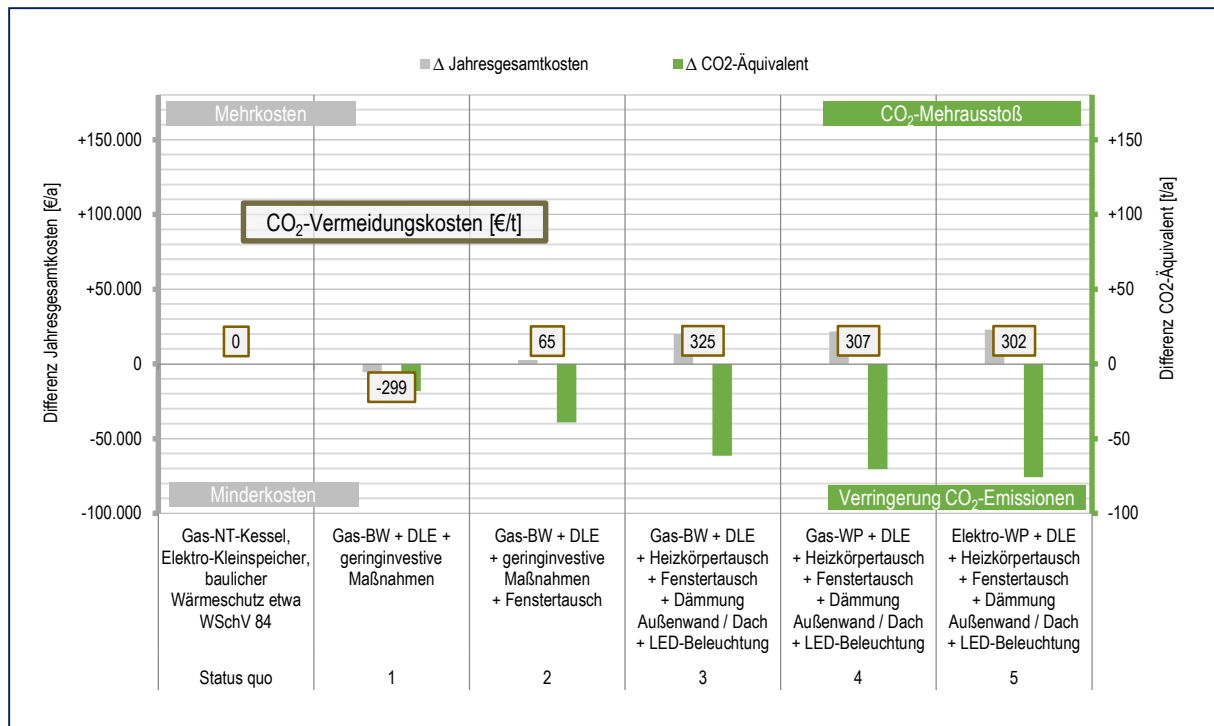


Abbildung 105: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Verwaltungsgebäude

6.4.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 41 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 26 % bzw. 45 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 63 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 73% bei einer Gas-Wärmepumpe und 82% bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von ca. 72 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 80 % bei einer Gas-Wärmepumpe und 98 % bei einer Elektro-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 entsprechend den Randbedingungen angesetzten THG-Emissionsfaktoren möglich.

6.5 Verbrauchermarkt

6.5.1 Gebäudedaten

Für die Betrachtungen wird ein größerer Verbrauchermarkt mit einer Nettogrundfläche von 4.850 m² herangezogen.

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984 mit üblichen Instandsetzungen bis 1995.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Der Verbrauchermarkt verfügt im Ausgangszustand über einen Öl-Niedertemperaturkessel mit zentralem Verteilnetz (Dämmung der Rohrleitungen entsprechend dem Stand der Technik moderat) mit Deckenstrahlplatten zur Wärmeübergabe (Systemtemperaturen 80/60 °C). Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind ungeregelt und überdimensioniert. Die Trinkwassererwärmung erfolgt mit elektrischen Durchlauferhitzern. Das Beleuchtungssystem besteht aus stabförmigen Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten. Der Verbrauchermarkt wird über eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung belüftet.

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	4.850 m ²
Länge / Breite / Höhe	100 m / 50 m / 11 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	48.500 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	13.300 m ²

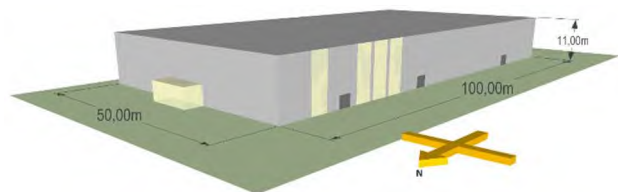


Abbildung 106: Gebäudedaten Verbrauchermarkt

6.5.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 erreichen können.

Ein Energieträgerwechsel von Heizöl auf Erdgas wird beim Verbrauchermarkt nicht betrachtet, es wird unterstellt, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe verfügbar ist (beispielsweise Stadtrandlage). Damit ergeben sich folgende anlagenseitigen Modernisierungsoptionen (immer in Kombination mit geringinvestiven Maßnahmen):

- Einbau eines Öl-Brennwertkessels
 - Einbau eines Pelletkessels
- in Kombination mit
- Austausch der zentralen Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der

Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt nicht.

Tabelle 69: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Verbrauchermarkt		Ausgangszustand	Modernisierungsoption			Komplettmodernisierung	
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Öl-Niedertemperaturkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Pelletkessel
Wärmeübergabe		Deckenstrahlplatten, P-Regler 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 60/50 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 60/50 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / unregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		E-DLE					
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG		LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		Zu-/Abluft, WRG 50%		Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%
Kühlung		-					
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85				0,20	0,20
	Tür	3,00				1,50	1,50
	Fenster	1,90			1,00	1,00	1,00
	Trapezblechdach	0,40				0,18	0,18
	Bodenplatte	0,60					
	Wärmebrückenanschlag	0,10				0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne			mit	mit	mit

6.5.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugsweise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 107 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes. Die berücksichtigten 3 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 43 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 68 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und von 65 % bei einem Pelletkessel verbunden.

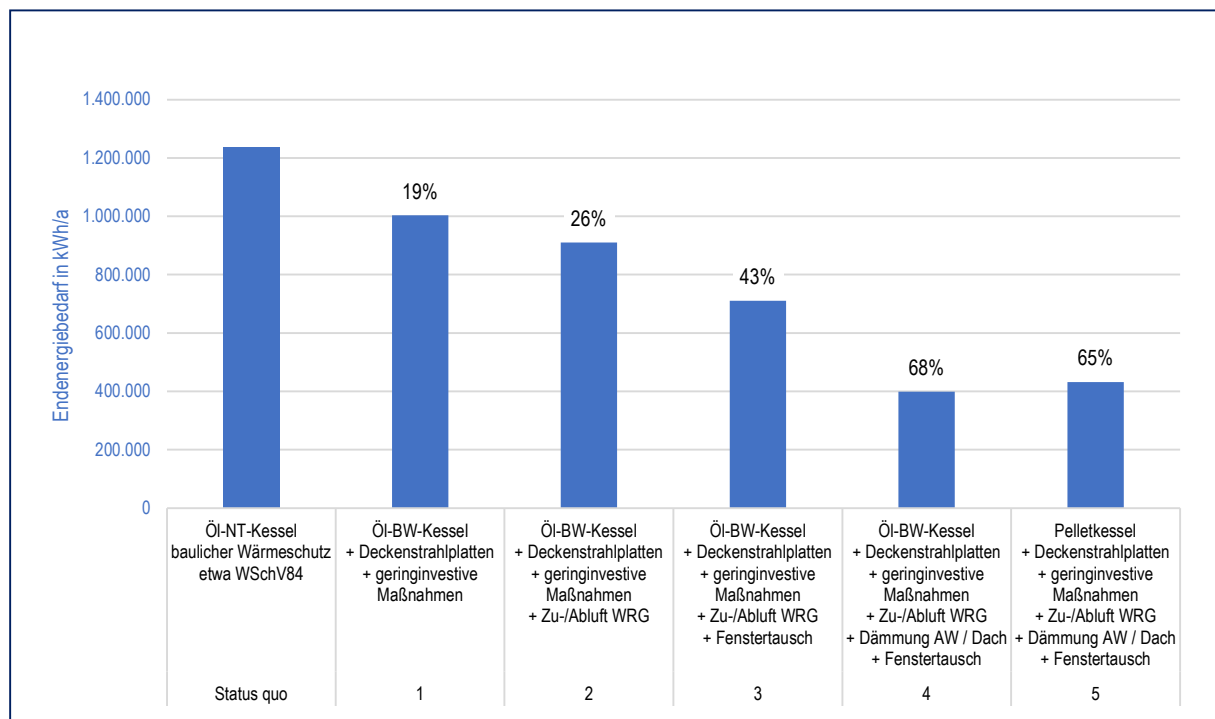


Abbildung 107: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verbrauchermarktes

Primärenergiebedarf

In Abbildung 108 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 28% bis 88 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verbrauchermarktes erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 24 % und 68 % liegen.

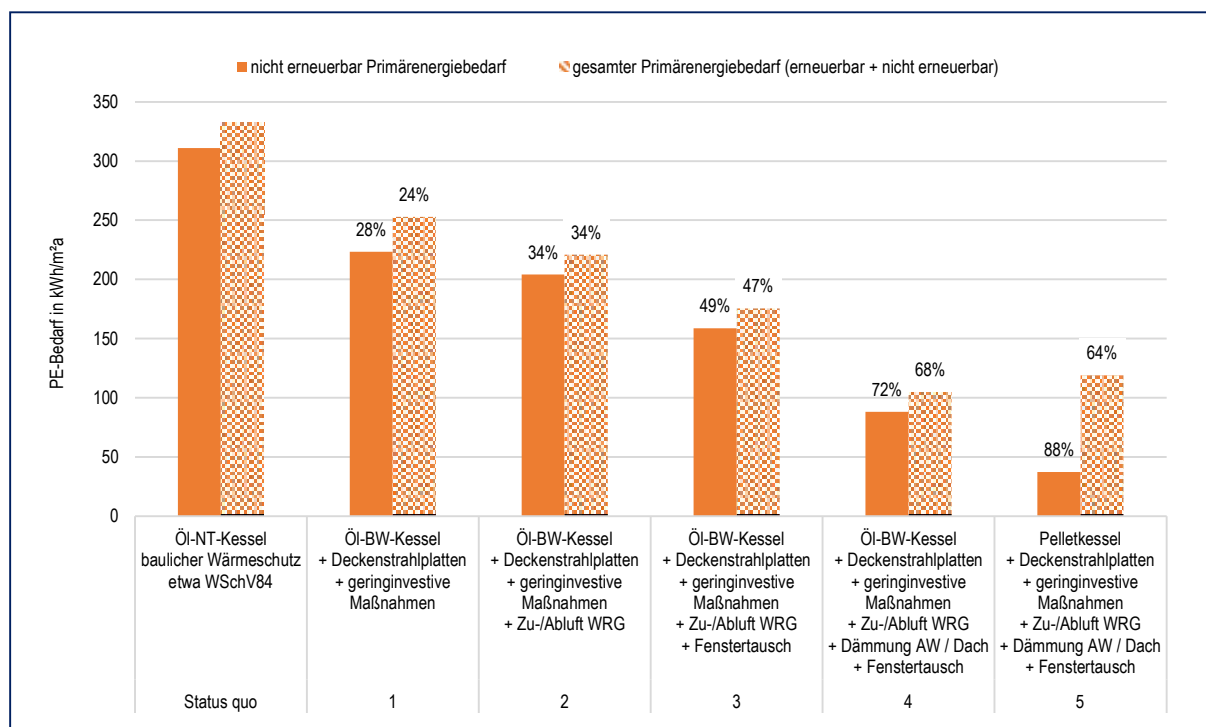


Abbildung 108: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verbrauchermarktes

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 109 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 28 % bis 49 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von 71 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und 90 % bei einem Pelletkessel verbunden.

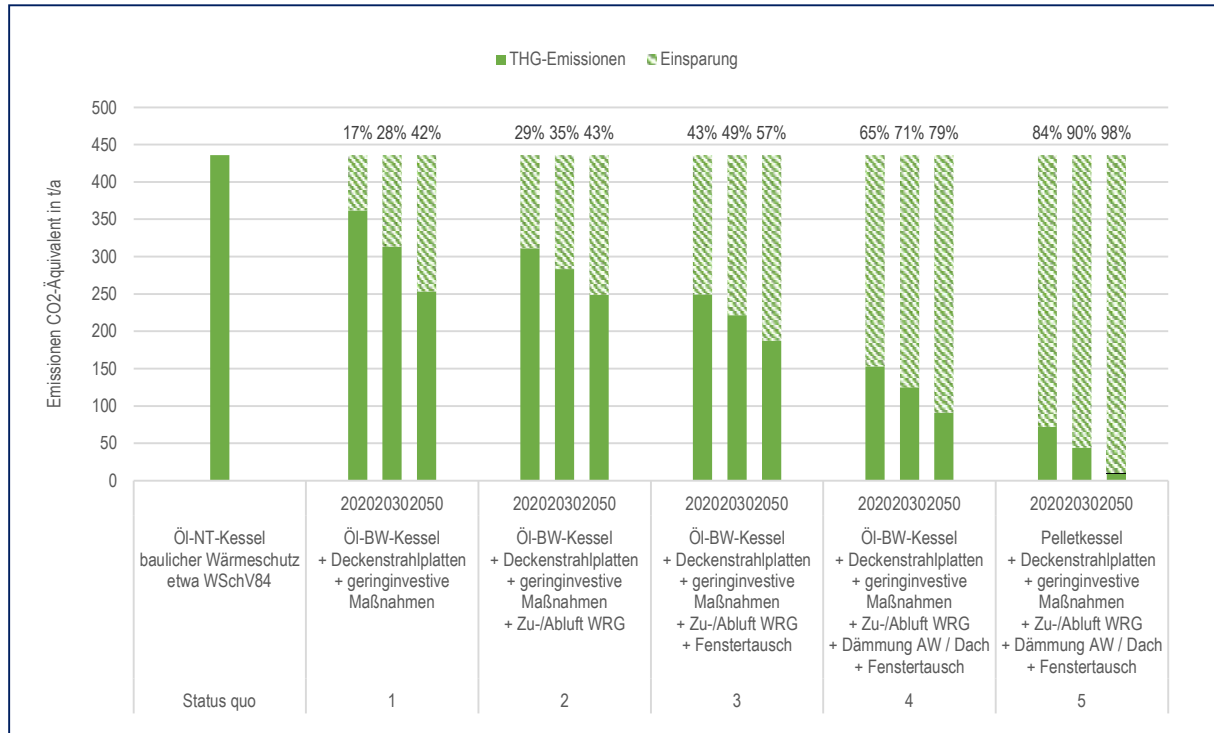


Abbildung 109: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verbrauchermarktes

6.5.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 70 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung

liegen zwischen 67 und 463 €/m² ANGF. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 70: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	323.400	421.100	386.700	349.600	418.800
	Beleuchtung	€	0	70.900	70.900	70.900	70.900
	Dämmung	€	0	0	0	1.602.200	1.602.200
	Fenster	€	0	0	154.300	154.300	154.300
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	67	101	126	449	463
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	29.100	29.100	31.400	31.400	100.600
	Beleuchtung	€	0	14.200	14.200	14.200	14.200
	Dämmung	€	0	0	0	1.179.300	1.179.300
	Fenster	€	0	0	32.800	32.800	32.800
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	6	9	16	259	274
Förderung	gesamt	€	64.680	98.400	122.380	435.400	449.240
	flächenspezifisch	€/m ²	13	20	25	90	93

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 71 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 71: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	26.100	24.400	23.700	23.200	22.500	23.700
	€/m ²	5	5	5	5	5	5

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 110 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 2 €/m²a und 12 €/m²a. Unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 4 €/m²a bis 23 €/m²a erhöhen.

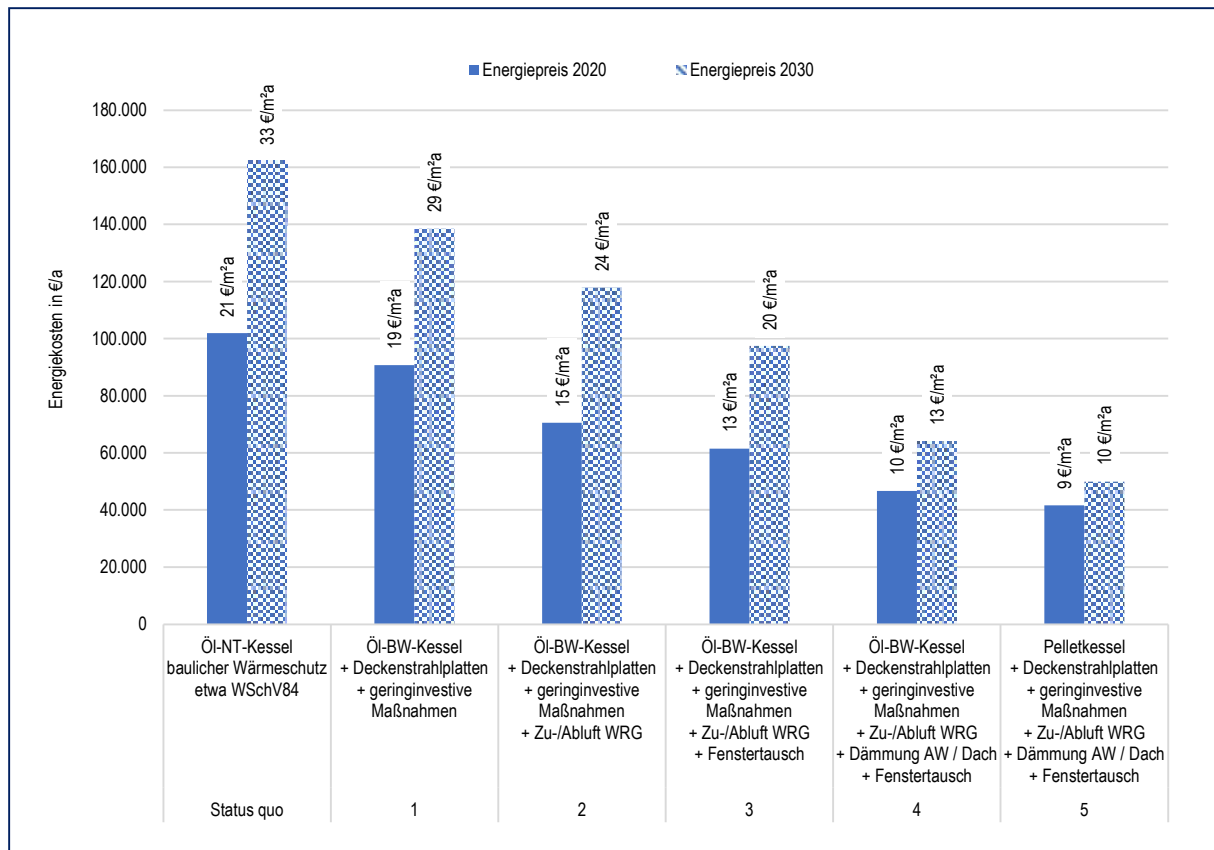


Abbildung 110: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Verbrauchermarkt

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preisfad) betrachtet, vgl. Abbildung 111.

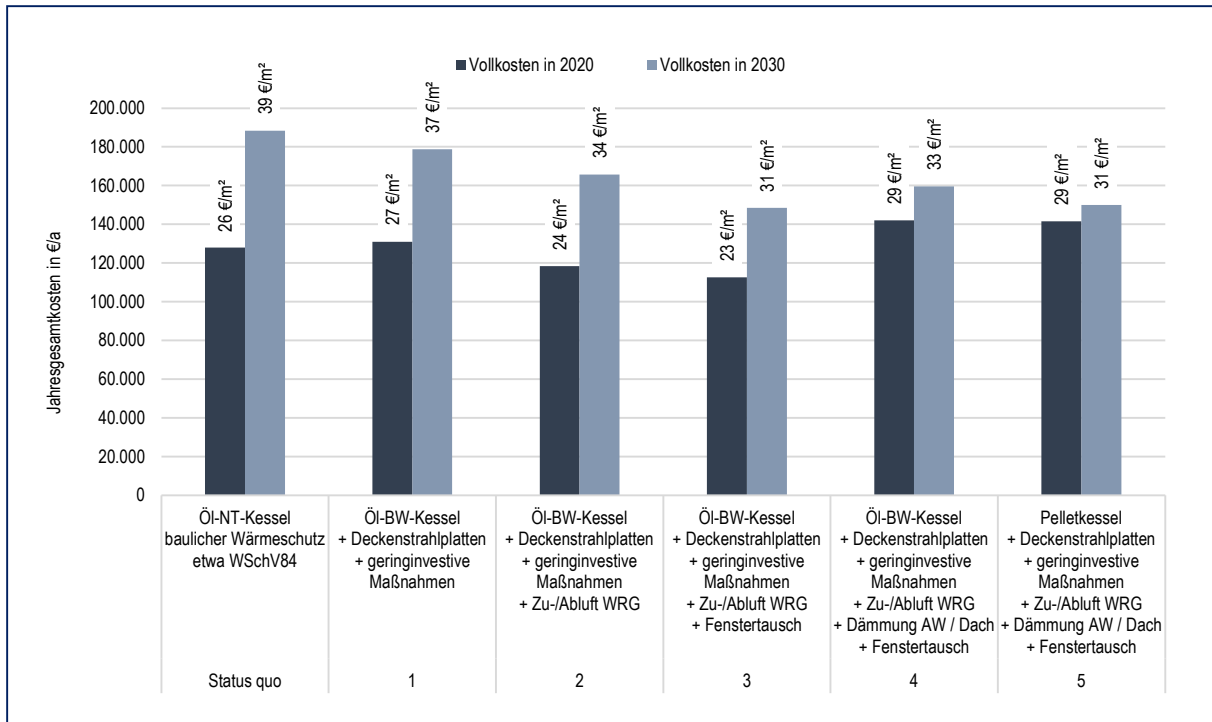


Abbildung 111: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Verbrauchermarkt

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

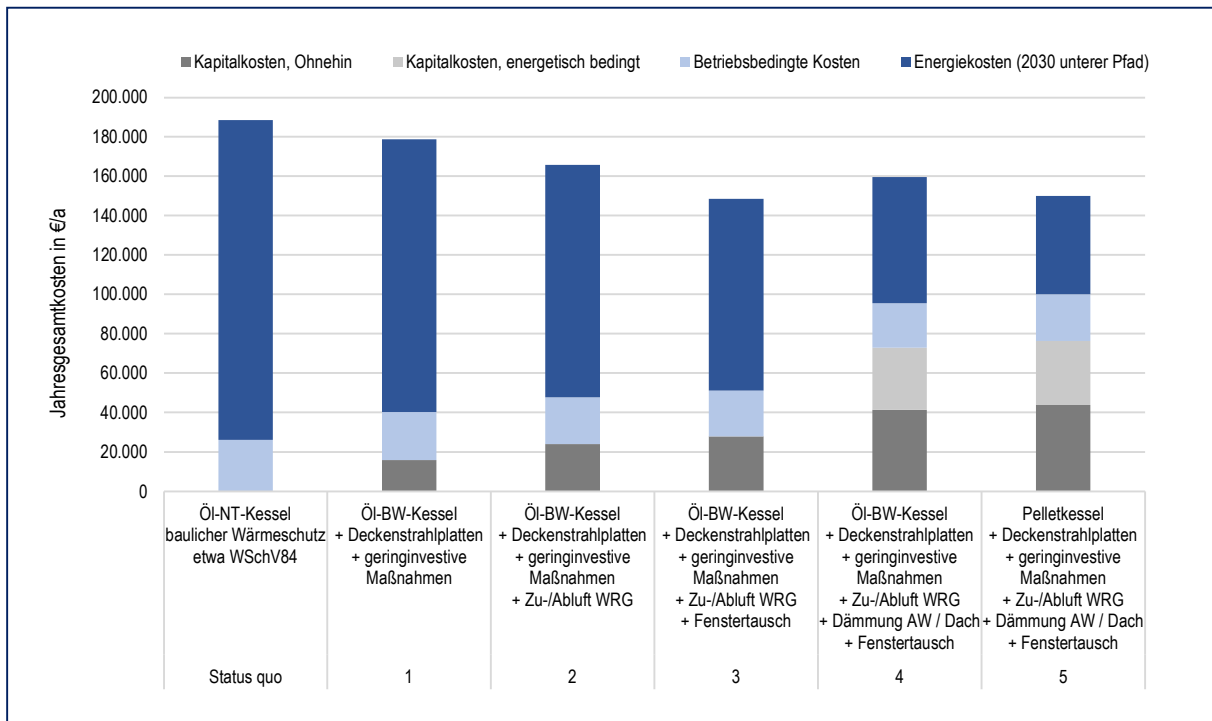


Abbildung 112: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.5.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 113 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für den Verbrauchermarkt betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

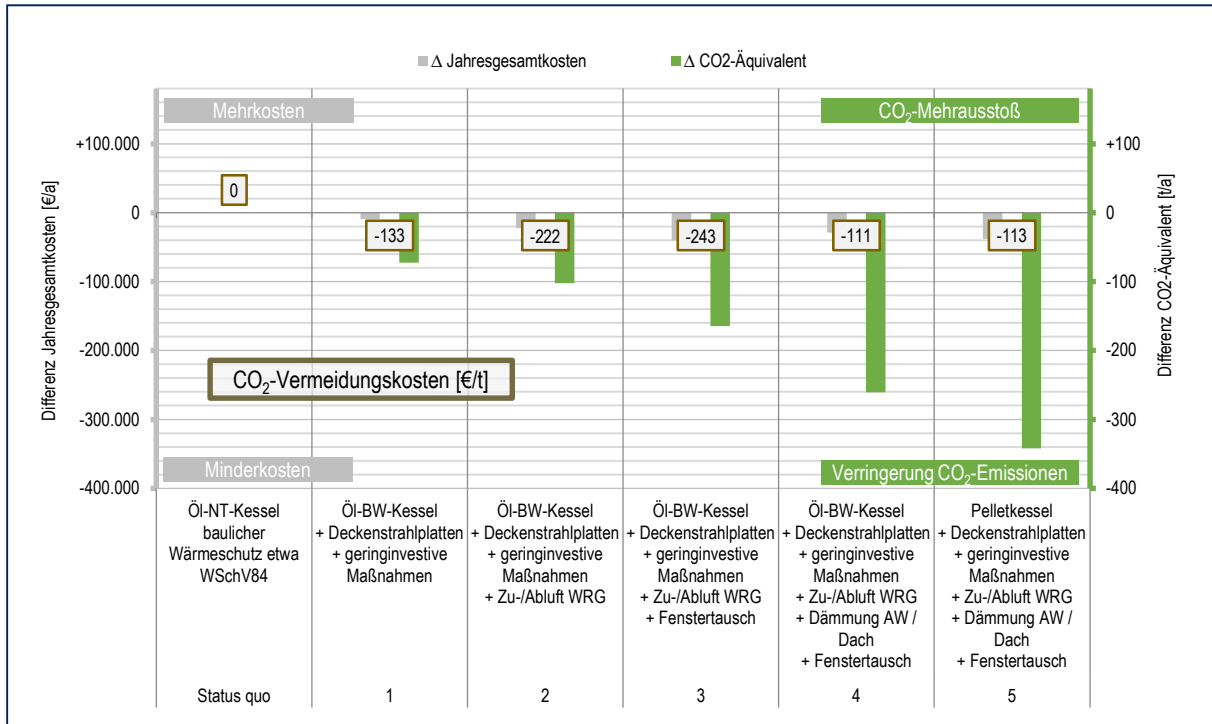


Abbildung 113: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Verbrauchermarkt

6.5.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 43 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 28 % bzw. 49 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 68 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und von 65 % bei Einsatz eines Pelletkessels verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von 79 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und 98 % bei Einsatz eines Pelletkessels unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 unterstellten THG-Emissionsfaktoren möglich.

6.6 Großes Hotel

6.6.1 Gebäudedaten

Das Hotel mit einer Nettogrundfläche von 8.636 m² (ohne Parkhaus) verfügt über 230 Hotelzimmer, ein Restaurant mit Küche sowie Büroräume (vgl. Abbildung 114).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Das Hotel wird mit einem Gas-Niedertemperaturkessel und zentralem Verteilnetz (Dämmung der Rohrleitungen entsprechend dem Stand der Technik moderat) versorgt. Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind ungeregelt und überdimensioniert. Die Hotelzimmer und das Restaurant werden zudem gekühlt. Wärme- und Kälteübergabe erfolgen über Gebläsekonvektoren (Systemtemperaturen 80/60°C / 14/18 °C). Das Trinkwarmwasser wird über einen zentralen Trinkwarmwasserspeicher erzeugt. Das Beleuchtungssystem besteht aus stabförmigen Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten. Sanitärräume, Parkhaus und die Küche verfügen über eine Abluftanlage, das Restaurant über eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung.

Bei der Berechnung des Primärenergiebedarfes wird entsprechend EnEV-Bilanzierung die Beleuchtung und Belüftung des Parkhauses nicht berücksichtigt. Der Endenergiebedarf und die sich daraus ergebenden THG-Emissionen werden jedoch unter Berücksichtigung der Beleuchtung und Belüftung des Parkhauses ausgewiesen.

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	8.636 m ² + 3.056 m ² (Parkhaus)
Anzahl Hotelzimmer	230
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	25.968 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	8.073 m ²

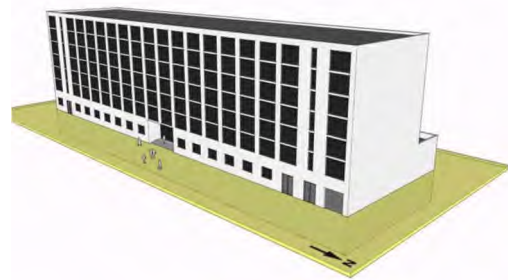


Abbildung 114: Gebäudedaten Hotel, groß

6.6.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 ermöglichen.

Für das große Hotel werden folgende anlagenseitige Modernisierungsoptionen (immer in Kombination mit geringinvestiven Maßnahmen) betrachtet:

- Einbau eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung
- Einbau einer elektrischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Speicher

Zudem erfolgt je nach Variante der Austausch der Kältemaschine bzw. des zentralen Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung.

Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches, der Außenwände und der Kellerdecke.

Tabelle 72: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Hotel, groß		Ausgangszustand	Modernisierungsoption			Komplettmodernisierung	
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Gas-Niedertemperatur-Kessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Elektro-Wärmepumpe
Wärmeübergabe		Gebälsekonvektoren 80/60°C / 14/18 °C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 70/55 °C	Absenkung 55/45 °C	Absenkung 55/45 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		Speicher	solare Trinkwassererwärmung	solare Trinkwassererwärmung	solare Trinkwassererwärmung	solare Trinkwassererwärmung	solare Trinkwassererwärmung
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG		LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		Fenster / Abluftanlage / Lüftungsanlage mit WRG				Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG
Kühlung		Kompressionskältemaschine		Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85				0,16	0,16
	Fenster	1,90			0,80	0,80	0,80
	Flachdach	0,40				0,12	0,12
	Kellerdecke	0,60				0,22	0,22
	Wärmebrückenzuschlag	0,10				0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne			mit	mit	mit

6.6.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugswise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 115 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes. Die berücksichtigten 3 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung zwischen 21 % und 36 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 50 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und von 70% bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden.

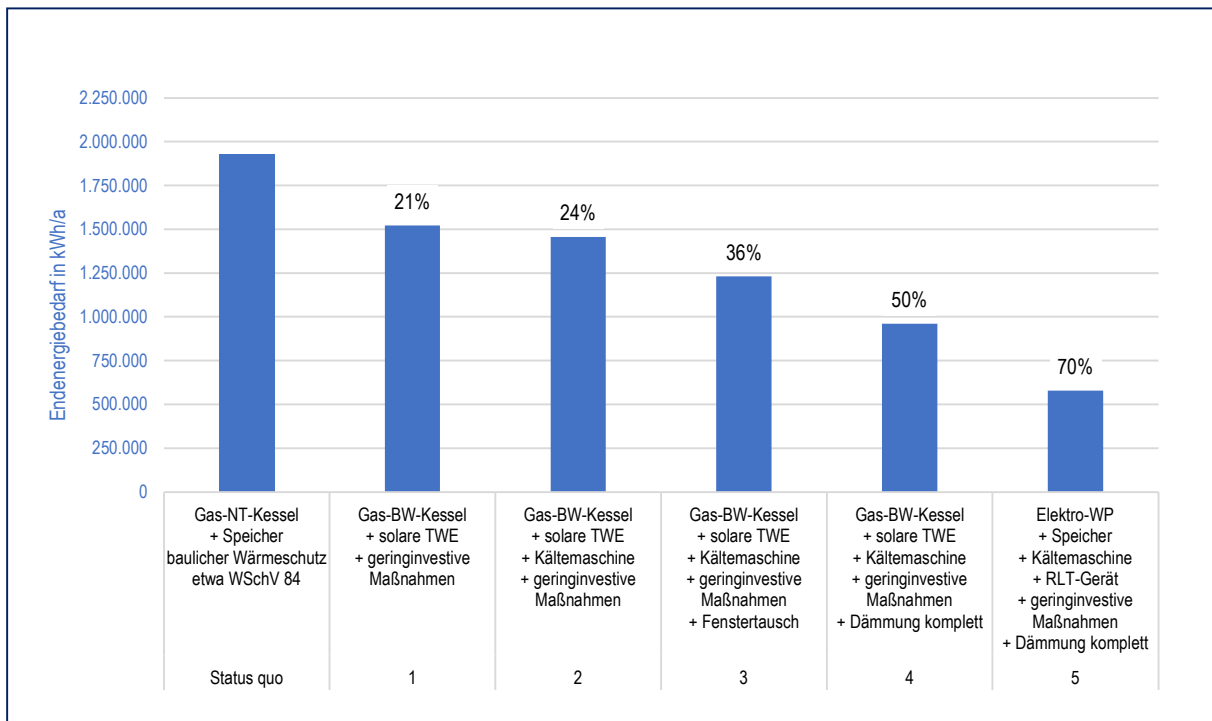


Abbildung 115: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Hotels

Primärenergiebedarf

In Abbildung 116 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 29 % bis 75 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Hotels erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 25 % und 60 % liegen.

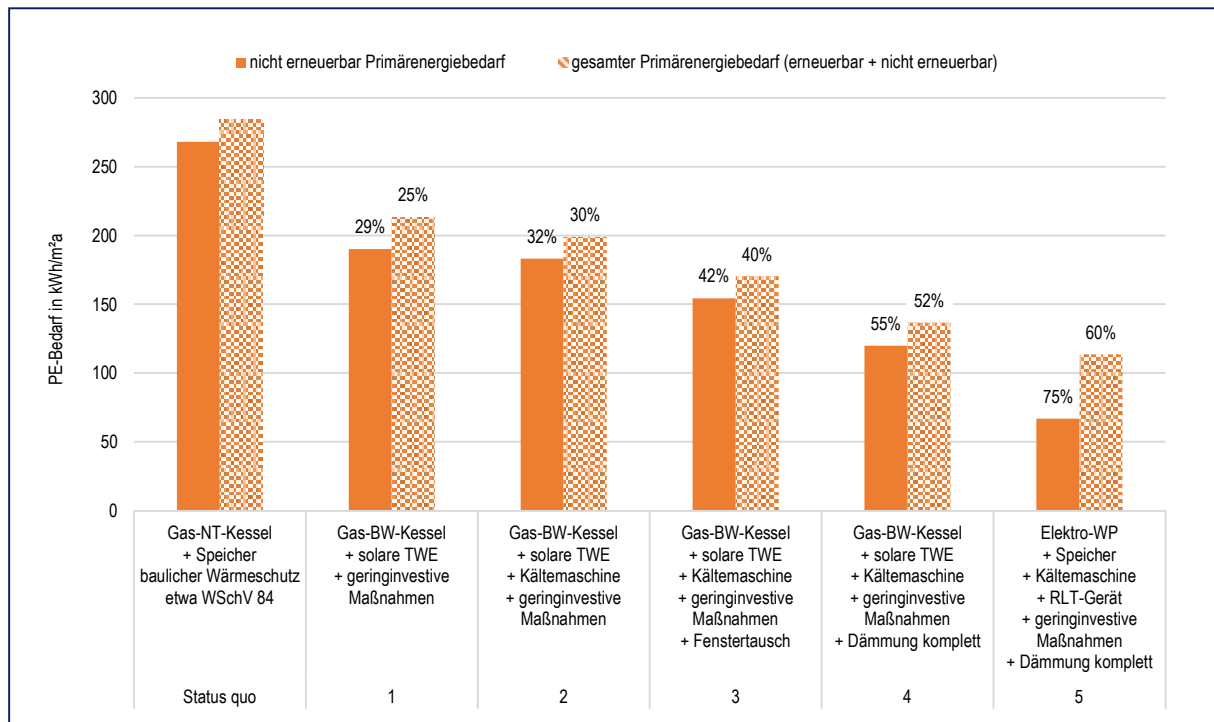


Abbildung 116: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des großen Hotels

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 117 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 30 % bis 44 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von ca. 55 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und 66 % bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden.

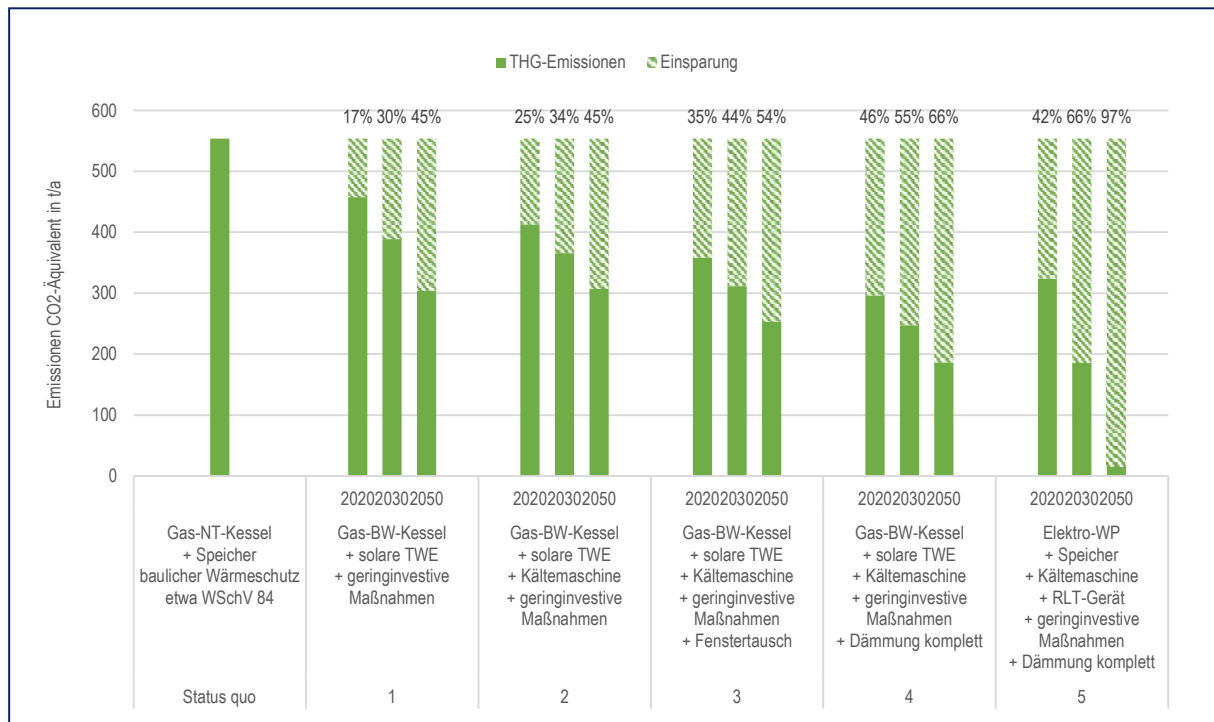


Abbildung 117: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Hotels

6.6.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 73 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig, entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung

liegen zwischen 59 und 470 €/m² ANGF. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 73: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	508.400	635.900	605.800	658.400	499.600
	Beleuchtung	€	0	681.800	681.800	681.800	681.800
	Dämmung	€	0	0	0	1.334.300	1.334.300
	Fenster	€	0	0	1.382.900	1.382.900	1.382.900
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	59	153	309	470	451
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	403.100	433.400	411.000	404.600	245.800
	Beleuchtung	€	0	136.400	136.400	136.400	136.400
	Dämmung	€	0	0	0	585.400	585.400
	Fenster	€	0	0	395.100	395.100	395.100
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	47	66	109	176	158
Förderung	gesamt	€	101.680	263.540	534.100	811.480	779.720
	flächenspezifisch	€/m ²	12	31	62	94	90

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 74 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 74: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	37.400	42.800	51.900	51.100	50.300	48.200
	€/m ²	4	5	6	6	6	6

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 118 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 1 €/m²a und 4 €/m²a. Unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 4 €/m²a bis 15 €/m²a erhöhen.

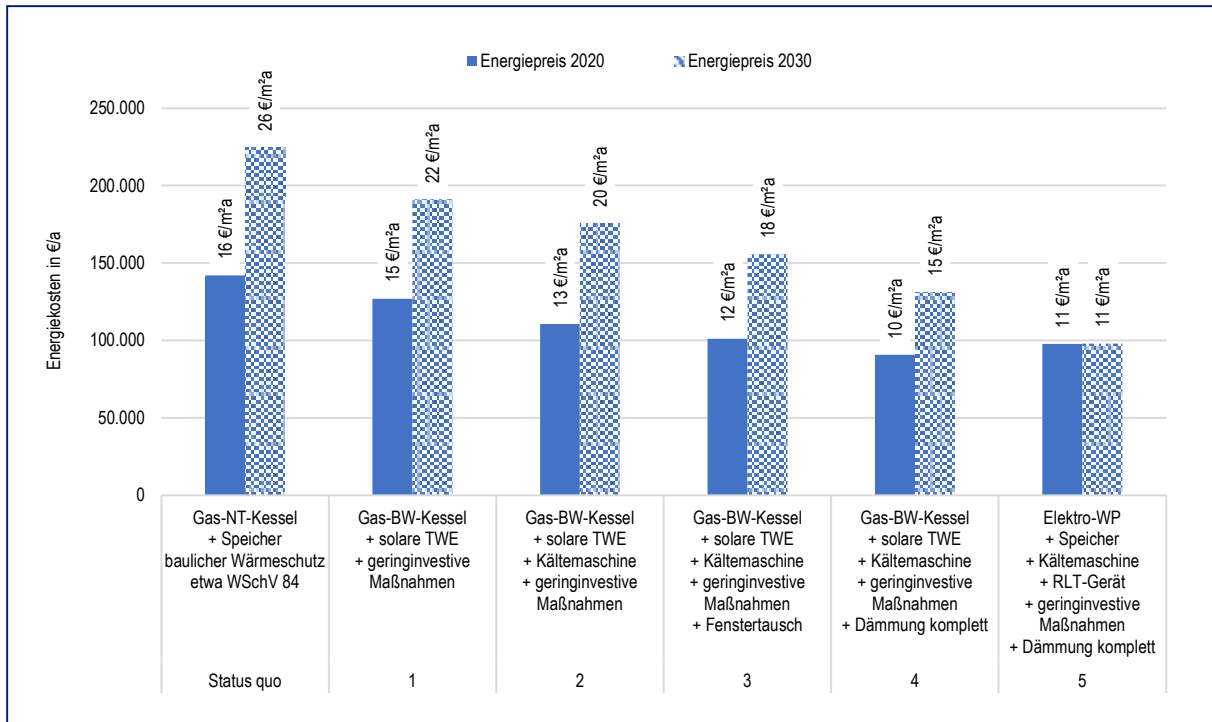


Abbildung 118: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Hotel, groß

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 119.

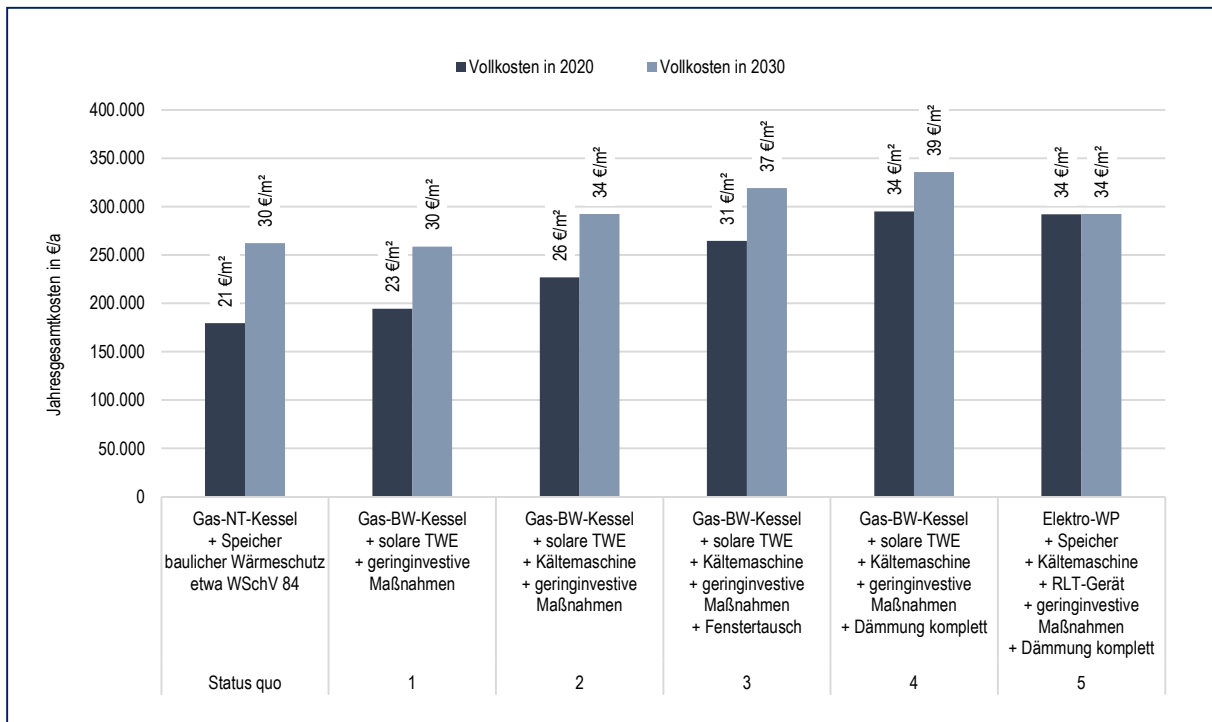


Abbildung 119: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Hotel, groß

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

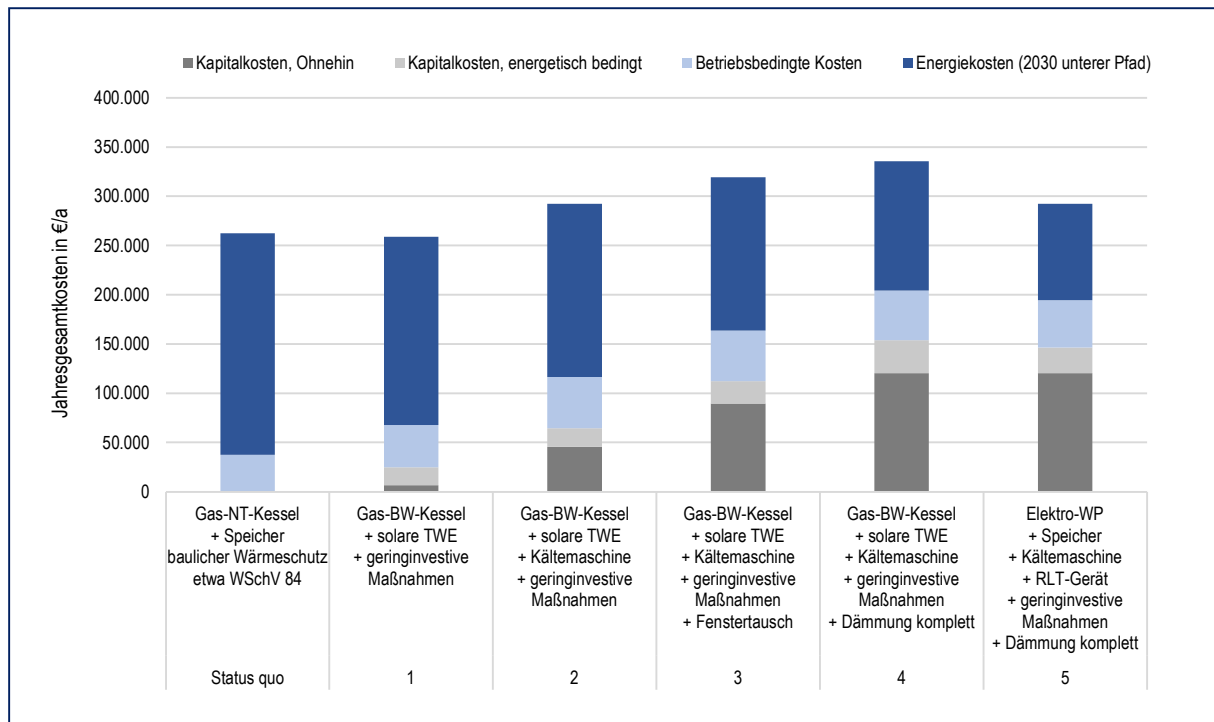


Abbildung 120: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unmodernisierten Zustand für das große Hotel auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.6.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 121 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für das Hotel betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

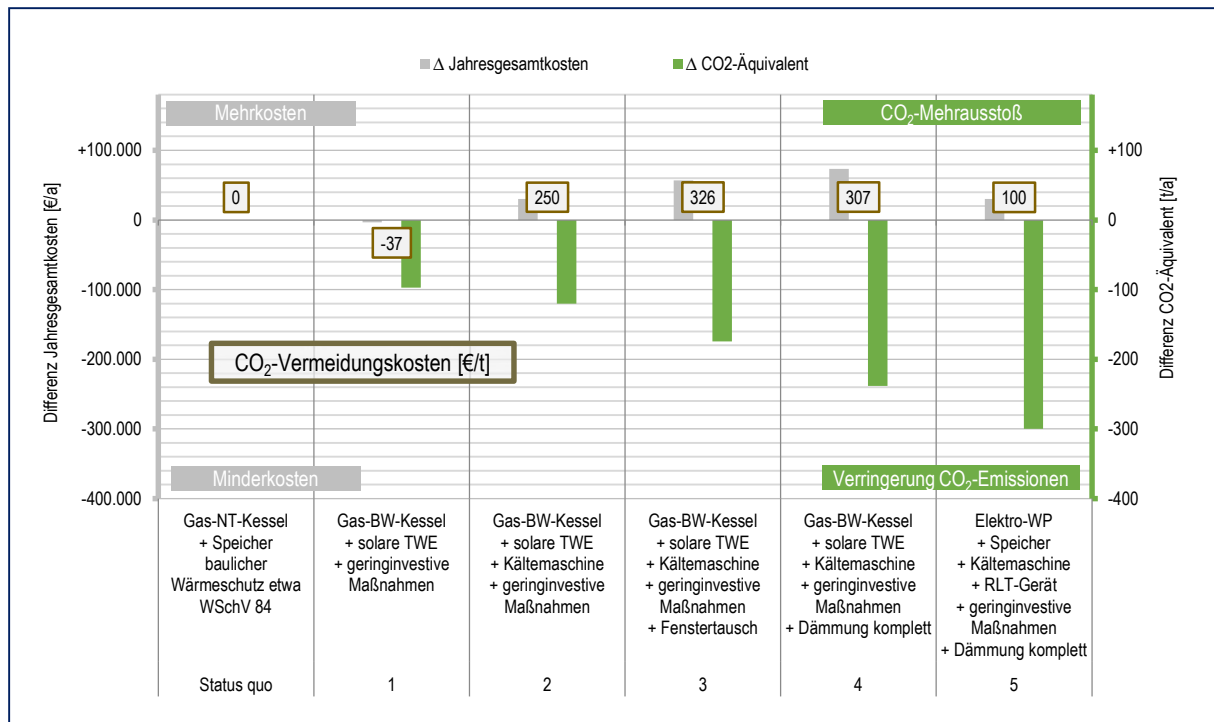


Abbildung 121: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Hotel, groß

6.6.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung 21 % und 36 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 28 % bis 49 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 50 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und 70 % bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von ca. 66 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und 97 % bei einer Elektro-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich.

6.7 Bürogebäude

6.7.1 Gebäudedaten

Das Bürogebäude verfügt über 9 Geschosse und ein Technikgeschoss, die Nettogrundfläche beträgt 4.657 m² (vgl. Abbildung 122).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984, im Rahmen üblicher Instandsetzungen erfolgte etwa 1995 bereits ein Austausch der Fenster.

Die anlagentechnische Ausstattung im Ausgangszustand entspricht einer etwa 25 bis 30 Jahre alten Anlage. Das große Bürogebäude wird mit einem Gas-Niedertemperaturkessel und zentralem Verteilnetz (Dämmung der Rohrleitungen entsprechend dem Stand der Technik moderat) versorgt. Das Heizungssystem ist nicht hydraulisch abgeglichen, die Heizungsumwälzpumpen sind ungeregelt und überdimensioniert. Das Gebäude verfügt über eine zentrale Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion. Elektrische Durchlauferhitzer übernehmen die Trinkwassererwärmung. Das Beleuchtungssystem besteht aus stabförmigen Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten.

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	4.657 m ²
Geschosse	9 + Technikgeschoss
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	14.234 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	5.297 m ²

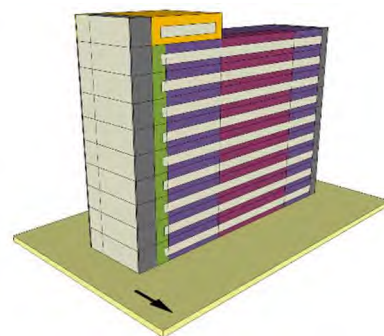


Abbildung 122: Gebäudedaten Bürogebäude (groß)

6.7.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 ermöglichen.

Die grundsätzliche Modernisierungsoption besteht im Einbau eines neuen Gas-Brennwertkessels mit gleichzeitigem Tausch der Heizkörper und Absenkung der Systemtemperaturen. Zudem werden je nach Variante das zentrale Lüftungsgerät, die Kälteerzeugung sowie das Beleuchtungssystem (LED-Lampen) modernisiert. Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt nicht.

Tabelle 75: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Bürogebäude, groß		Ausgangszustand	Modernisierungsoption				Komplettmodernisierung
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Gas-NT-Kessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel	Gas-Brennwertkessel
Wärmeübergabe		Heizkörper 80/60 °C	Heizkörper 55/45 °C	Heizkörper 55/45 °C	Heizkörper 55/45 °C	Heizkörper 55/45 °C	Heizkörper 55/45 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		E-DLE					
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG				LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion		Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion
Kühlung		Kompressionskältemaschine		Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85					0,20
	Fenster	1,90			1,00	1,00	1,00
	Flachdach	0,40					0,18
	Bodenplatte	0,60					
	Wärmebrückenzuschlag	0,10					0,05
Dichtheitsprüfung		ohne			mit	mit	mit

6.7.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugswise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 123 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des Bürogebäudes. Die berücksichtigten 4 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung von 12 % bzw. 40 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 58 % verbunden.

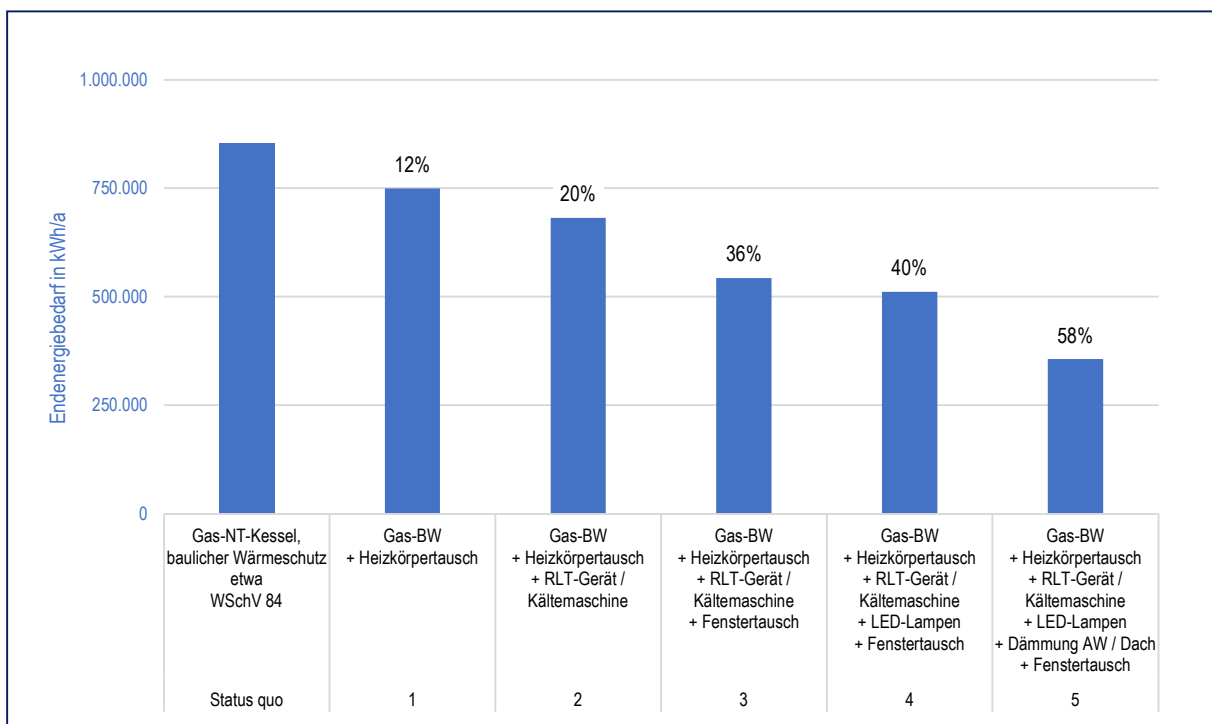


Abbildung 123: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Bürogebäudes

Primärenergiebedarf

In Abbildung 124 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 27 % bis 66 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Bürogebäudes erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 21 % und 59 % liegen.

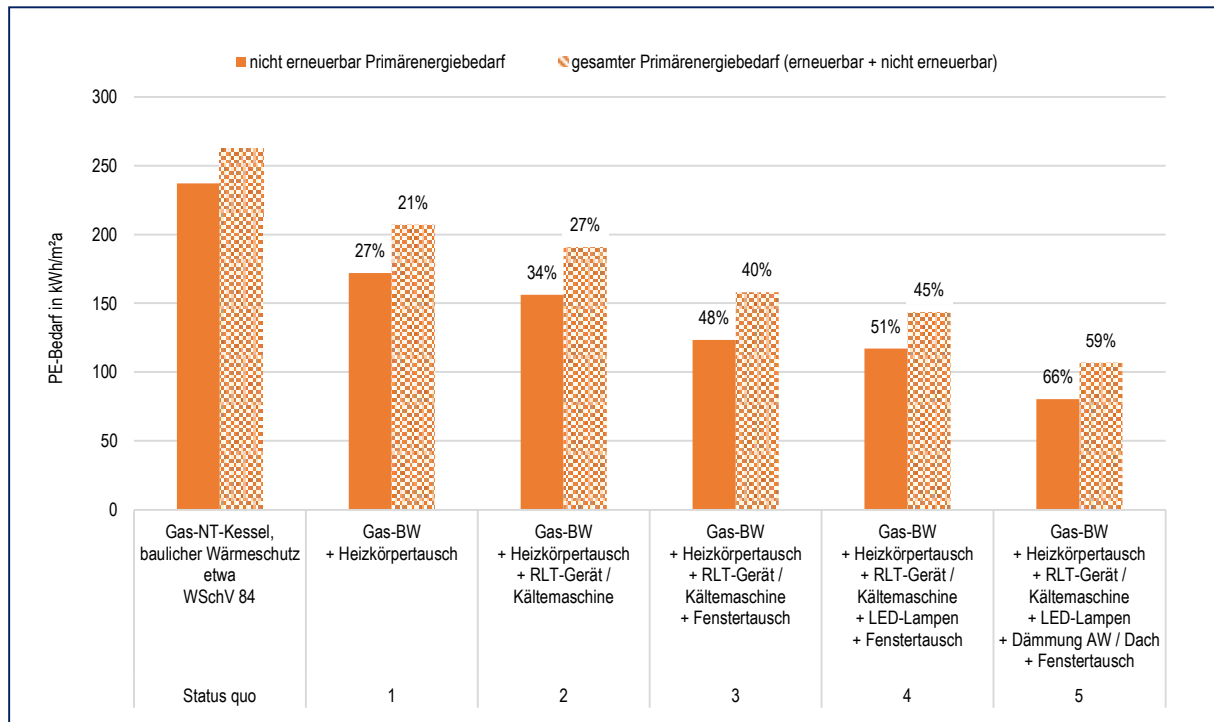


Abbildung 124: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des großen Bürogebäudes

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 125 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 51 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von 64 % verbunden.

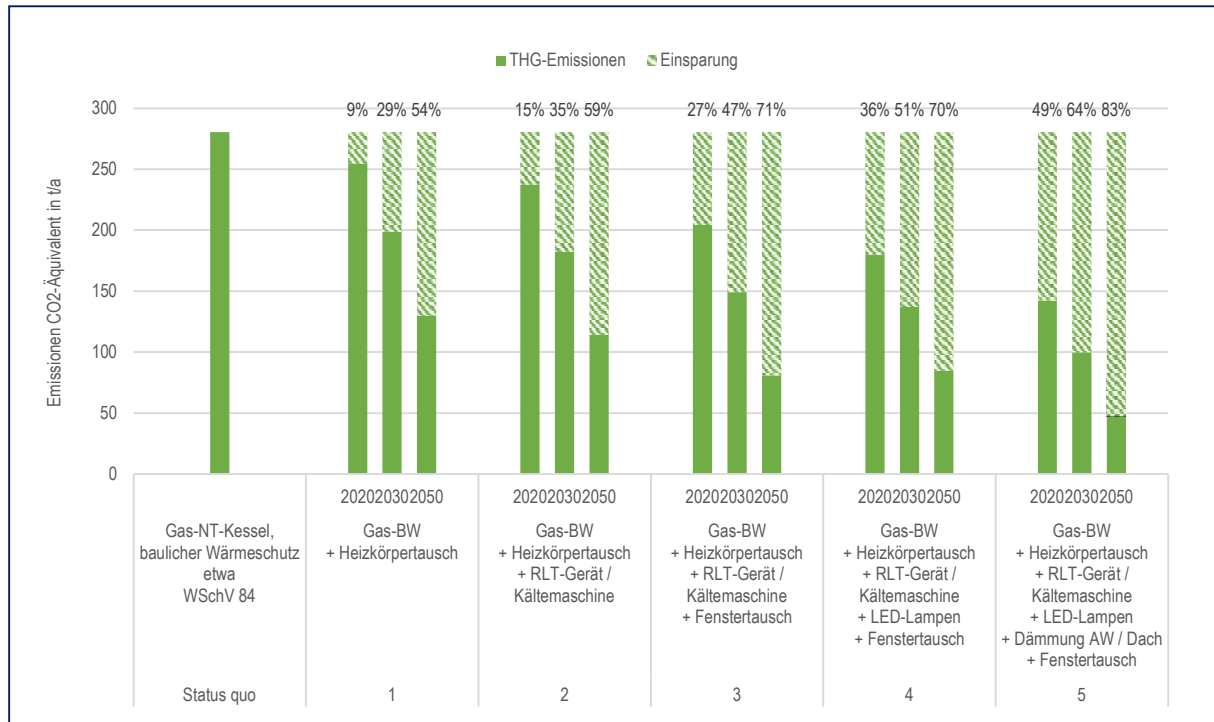


Abbildung 125: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Bürogebäudes

6.7.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugswise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 76 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig, entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung liegen zwischen 35 und 497 €/m² A_{NGF}. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 76: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	162.600	302.000	283.800	283.800	265.300
	Beleuchtung	€	0	0	0	248.600	248.600
	Dämmung	€	0	0	0	0	722.800
	Fenster	€	0	0	1.079.400	1.079.400	1.079.400
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	35	65	293	346	497
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	27.900	147.500	144.300	144.300	139.800
	Beleuchtung	€	0	0	0	49.700	49.700
	Dämmung	€	0	0	0	0	244.900
	Fenster	€	0	0	229.500	229.500	229.500
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	6	32	80	91	143
Förderung	gesamt	€	32.520	60.400	272.640	322.360	463.220
	flächenspezifisch	€/m ²	7	13	59	69	99

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 77 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 77: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	26.500	25.800	24.900	24.600	24.300	24.000
	€/m ²	6	6	5	5	5	5

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 126 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 1 €/m²a und 7 €/m²a. Unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 3 €/m²a bis 13 €/m²a erhöhen.

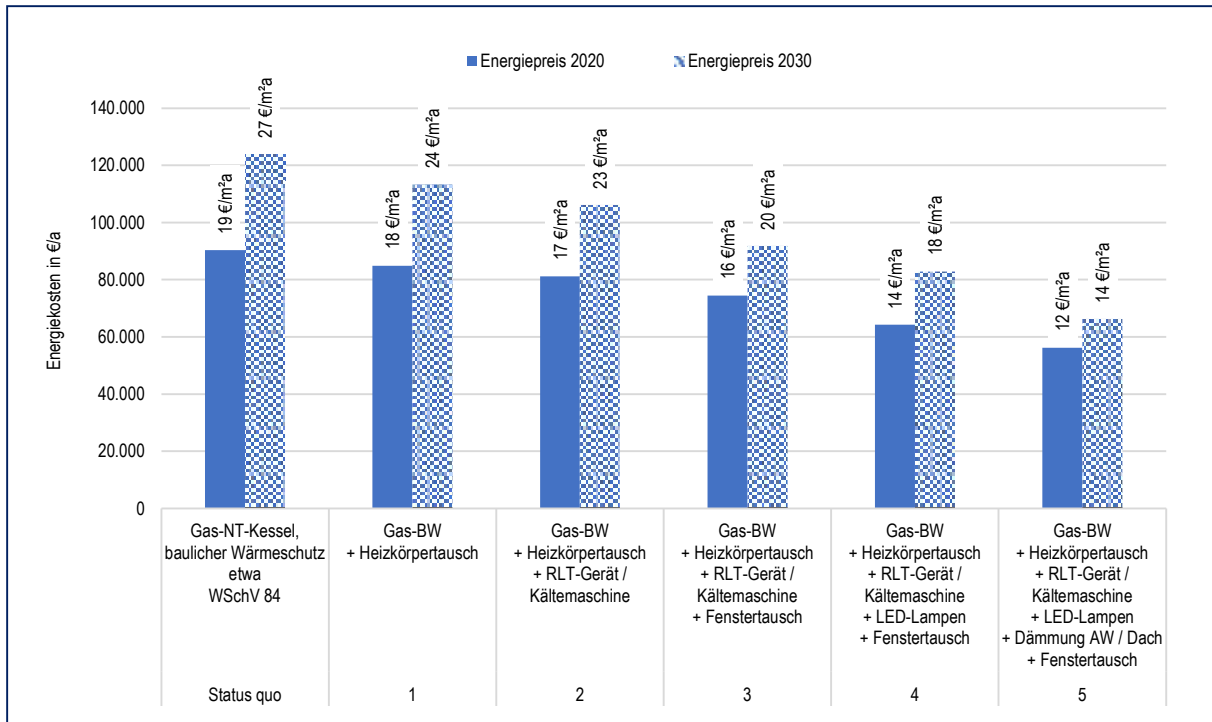


Abbildung 126: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; großes Bürogebäude

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 127.

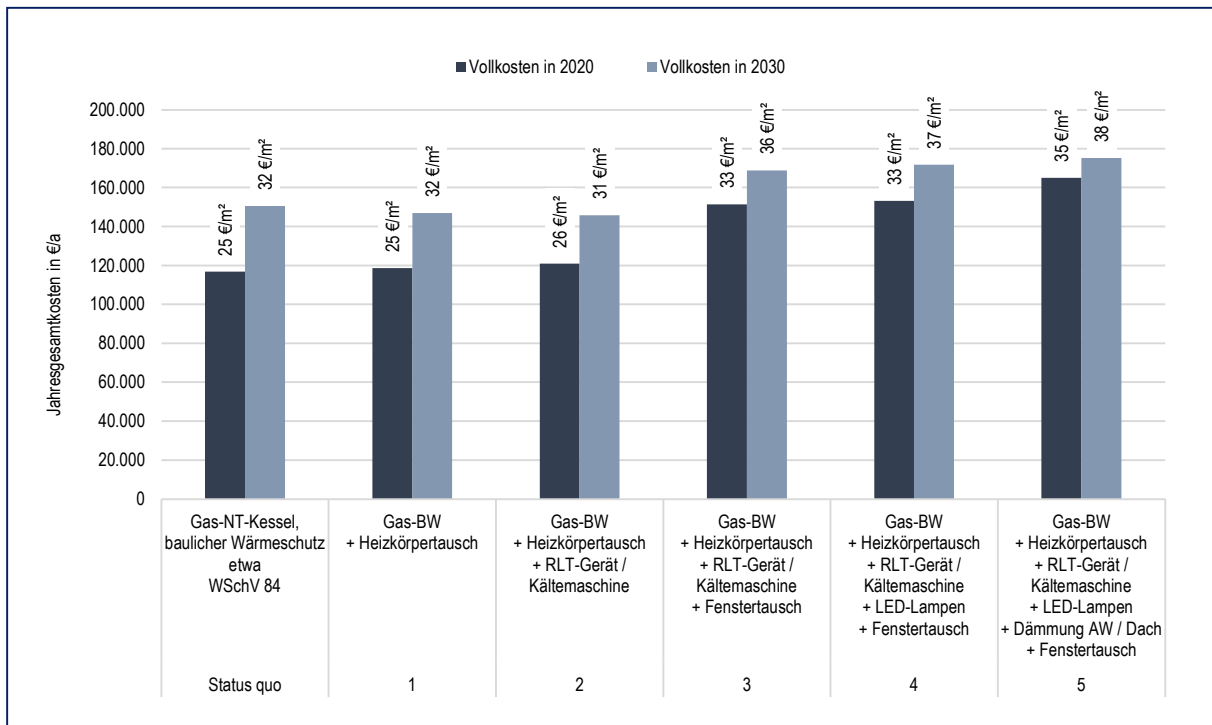


Abbildung 127: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Bürogebäude groß

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

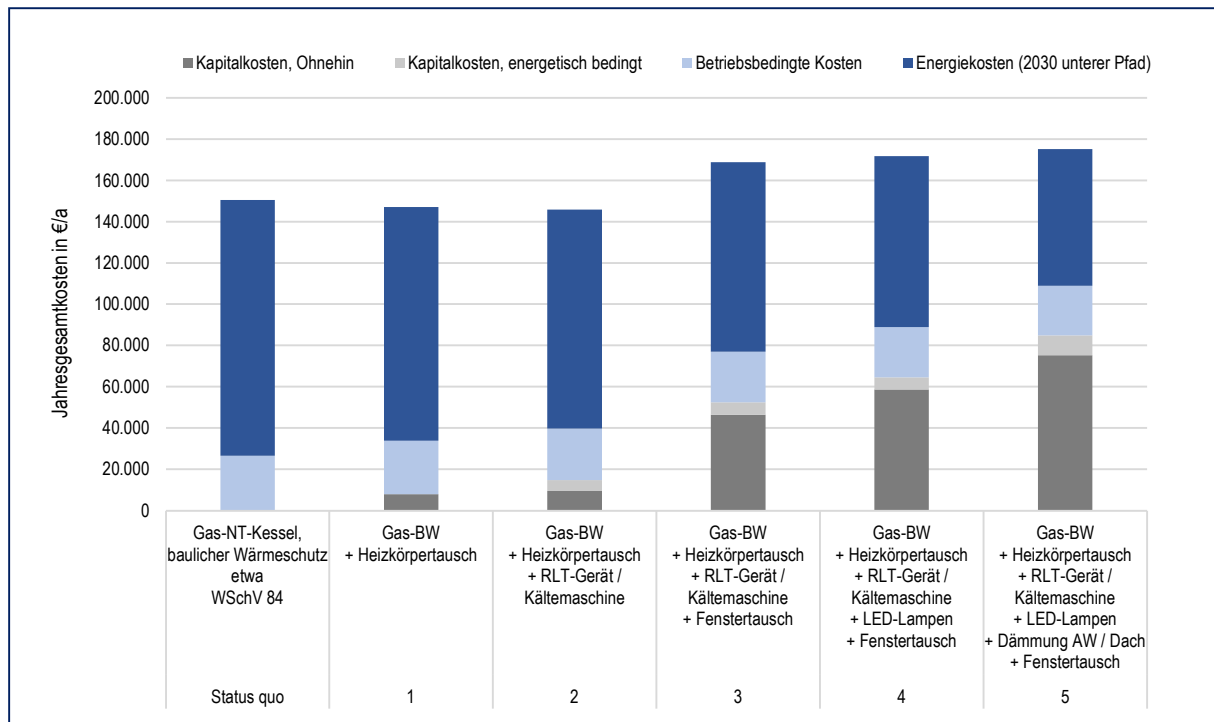


Abbildung 128: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unmodernisierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.7.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 129 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für das große Bürogebäude betrachteten Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

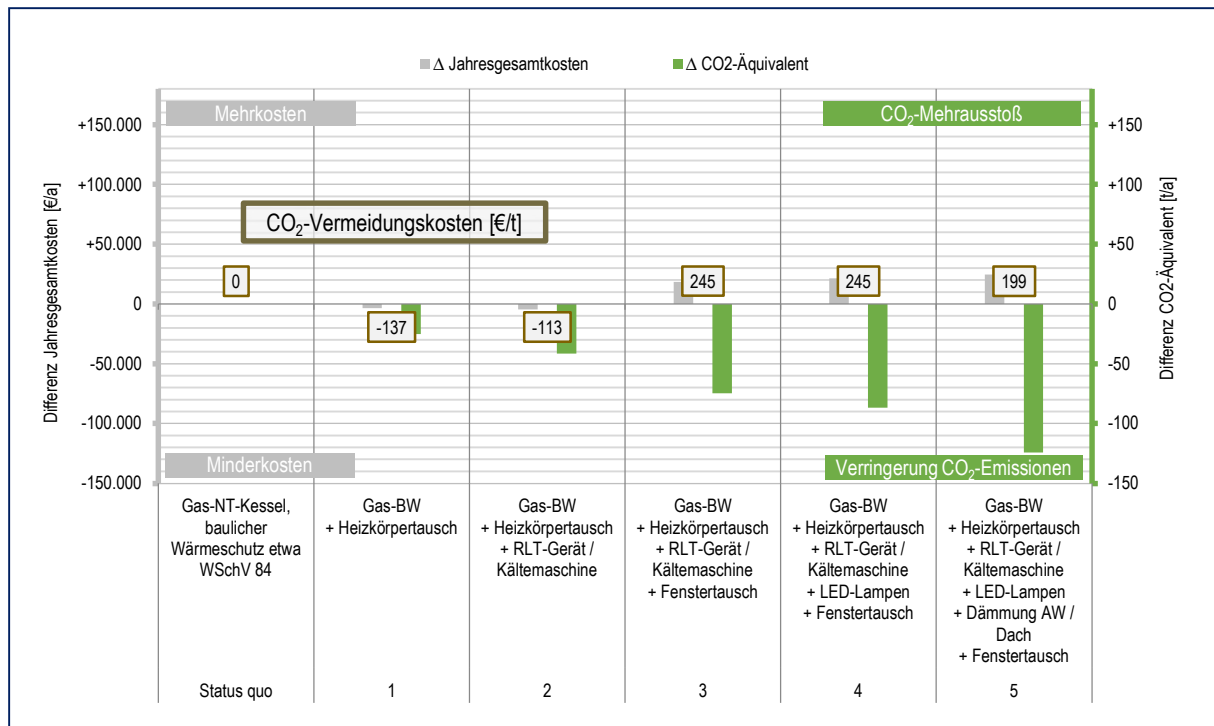


Abbildung 129: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Bürogebäude groß

6.7.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 12 % bzw. 40 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 51 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 58 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von 83 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 unterstellten THG-Emissionsfaktoren möglich.

6.8 Fertigungshalle

6.8.1 Gebäudedaten

Bei der betrachteten Fertigungshalle mit einer Netto-Grundfläche von rund 2.300 m² handelt es sich um ein freistehendes Gebäude, das nicht unterkellert ist (vgl. Abbildung 130).

Entsprechend den grundsätzlichen Annahmen entspricht der bauliche Wärmeschutz im Ausgangszustand etwa der Wärmeschutzverordnung 1984 mit üblichen Instandsetzungen bis 1995.

Die Fertigungshalle ist ein typisches Hallengebäude mit Trapezblechdach und integrierten Lichtbändern. Die Wärmeversorgung erfolgt dezentral über erdgas-betriebene Warmlufterzeuger (nicht kondensierend).

Die Warmwasserbereitung in den Sanitärräumen erfolgt dezentral über Elektro-Durchlauferhitzer. Die Beleuchtung wird über stabförmige Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten realisiert. Die Fertigungshalle wird nicht gekühlt.

Baulter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	2.300 m ²
Länge / Breite / Höhe	60 m / 40 m / 6 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	12.650 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	6.000 m ²

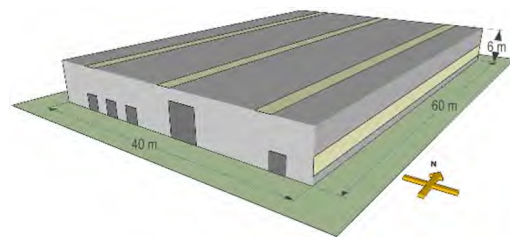


Abbildung 130: Gebäudedaten Fertigungshalle

6.8.2 Modernisierungsoptionen

Die untersuchten Modernisierungsoptionen bilden unterschiedliche energetische Modernisierungsmöglichkeiten ab, welche die notwendigen Einsparungen an Endenergie und damit an CO₂-Emissionen zur Erreichung des Zwischenziels 2030 und des politischen Ziels 2050 erreichen können.

Für das dezentrale Hallenheizsystem in der Fertigungshalle werden folgende anlagenseitigen Modernisierungsoptionen betrachtet:

- Einbau neuer Warmlufterzeuger, nicht kondensierend, mehrstufig/modulierend mit Verbrennungsluftanpassung
- Einbau neuer Warmlufterzeuger, kondensierend, mehrstufig/modulierend mit Verbrennungsluftanpassung

Die genannten anlagenseitigen Modernisierungsoptionen werden mit verschiedenen baulichen Energieeinsparmaßnahmen kombiniert. Zu den baulichen Modernisierungsoptionen zählen der Fenstertausch mit Erneuerung Lichtband sowie die Dämmung des Daches und der Außenwände. Eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte erfolgt nicht.

Tabelle 78: Gegenüberstellung des Ausgangszustandes sowie Veränderung des baulichen und anlagentechnischen Zustands für die verschiedenen Modernisierungsoptionen

Fertigungshalle		Ausgangszustand	Modernisierungsoption			Komplettmodernisierung	
			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wärmeerzeuger		Wärmeluftheizer (Erdgas); nicht kondensierend; einstufig	Wärmeluftheizer; nicht kondensierend; mehrstufig/modulierend	Wärmeluftheizer; kondensierend; mehrstufig/modulierend	Wärmeluftheizer kondensierend; mehrstufig/modulierend	Wärmeluftheizer kondensierend; mehrstufig/modulierend	Wärmeluftheizer kondensierend; mehrstufig/modulierend
Wärmeübergabe		Luftauslass seitlich, Radialventilator; P-Regler	Geringe Ausblastemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblastemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblastemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblastemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblastemperatur; Radialventilator; PI-Regler
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich						
	Pumpe	-	-	-	-	-	-
	Dämmung Rohrleitungen						
Trinkwassererwärmung		E-DLE					
Beleuchtung		Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung		-					
Kühlung		-					
U-Wert in W/m ² K	Außenwand	0,85				0,34	0,28
	Tor	3,00				1,00	1,00
	Fenster	1,90			1,30	1,30	1,30
	Lichtband	3,10			2,00	2,00	2,00
	Trapezblechdach	0,40				0,28	0,24
	Bodenplatte	3,00					
	Wärmebrückenzuschlag	0,10				0,05	0,05
Dichtheitsprüfung		ohne			mit	mit	mit

6.8.3 Energetische und ökologische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der energetischen und ökologischen Bewertung der betrachteten Modernisierungsoptionen auszugsweise dargestellt und dem Status quo gegenübergestellt. Es wird zum einen der Endenergiebedarf und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen und zum anderen der Primärenergiebedarf betrachtet. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden

Endenergiebedarf

Abbildung 131 zeigt den Endenergiebedarf der verschiedenen Modernisierungsoptionen im Vergleich zum Status quo. Die prozentualen Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Fertigungshalle. Die berücksichtigten 3 (Teil-)Modernisierungsoptionen führen zu einer Endenergieminderung von 10 % bis 35 %. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 54 bzw. 57 % verbunden.

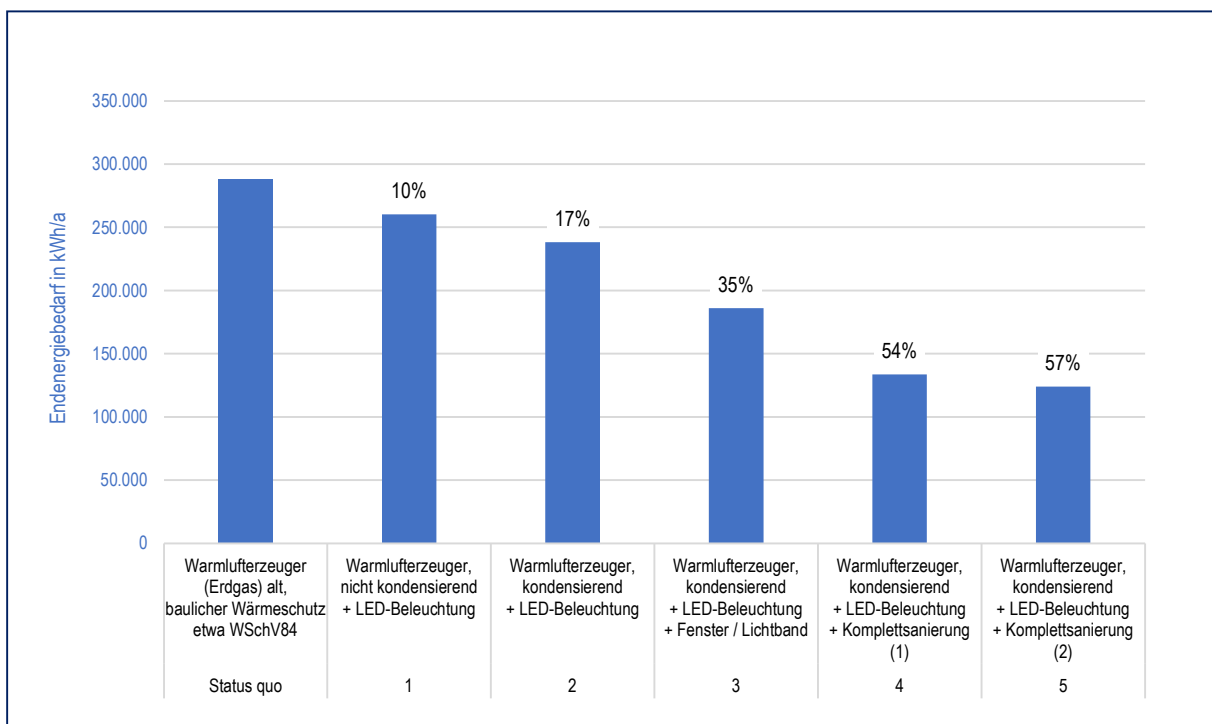


Abbildung 131: Endenergiebedarf nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo, prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Endenergiebedarfs gegenüber den aktuellen Kennwerten der Fertigungshalle

Primärenergiebedarf

In Abbildung 132 sind mit Hilfe der angesetzten Primärenergiefaktoren für das Jahr 2030 sowohl der nach EnEV bzw. GEG auszuweisende Primärenergiebedarf für den nicht erneuerbaren Anteil als auch der gesamte (erneuerbar + nicht erneuerbar) Primärenergiebedarf abgebildet. Mit den betrachteten Modernisierungsvarianten könnte eine Minderung des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs von rund 22% bis 64 % gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Fertigungshalle erreicht werden. Die Minderung des gesamten Primärenergiebedarfs würde im Bereich zwischen 19 % und 58 % liegen.

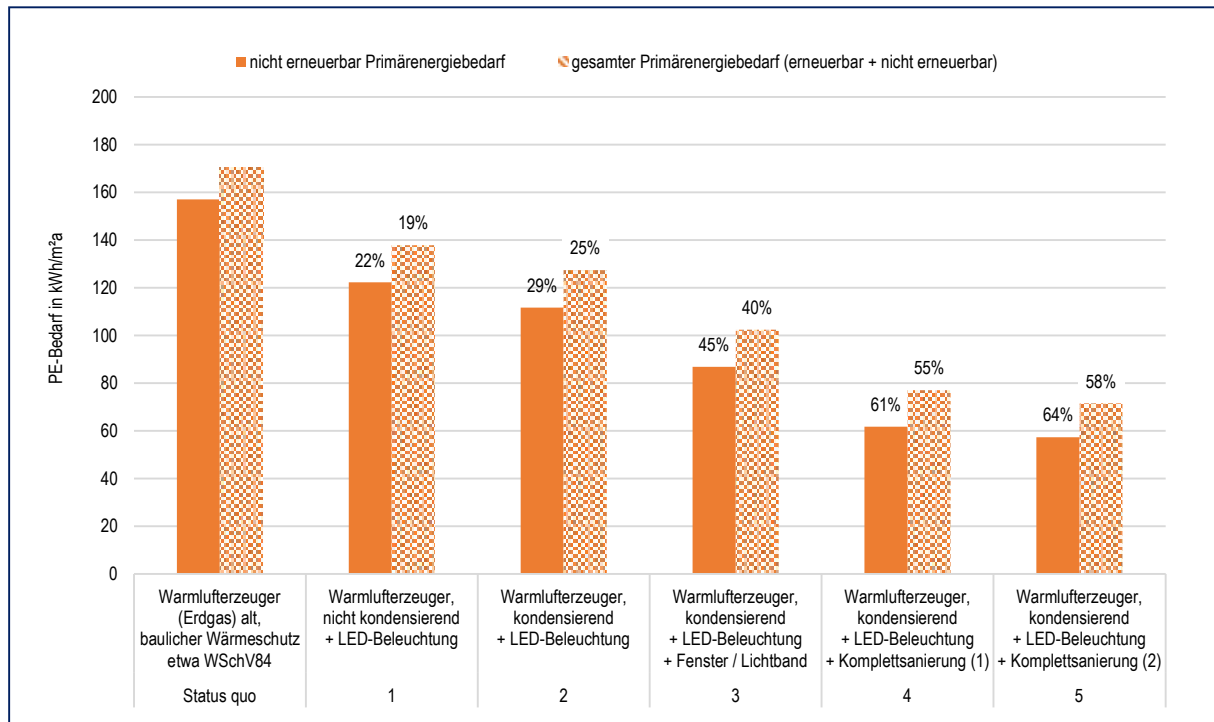


Abbildung 132: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Fertigungshalle

THG-Emissionen

Die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind in Abbildung 133 für die Jahre 2020, 2030 und 2050 dargestellt. Die Maßnahmenpakete erreichen eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 25 % bis 45 % und sind somit zielerreichend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo von 60 % bzw. 62 % verbunden.

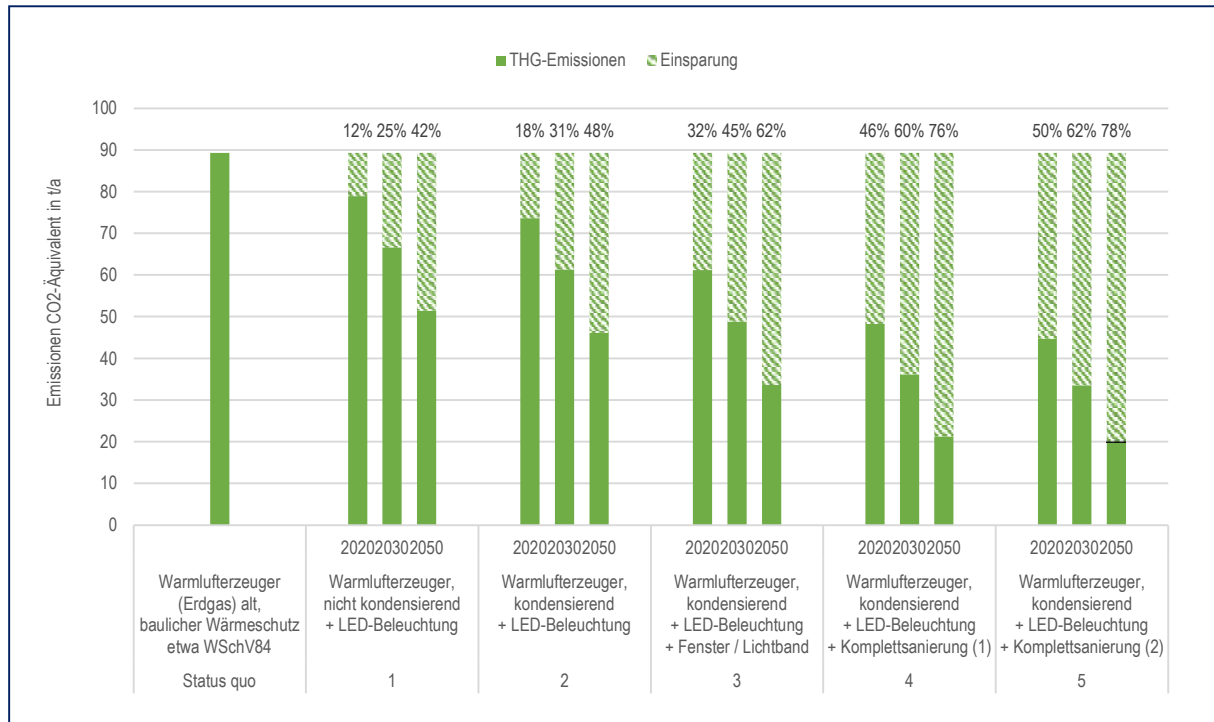


Abbildung 133: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Fertigungshalle

6.8.4 Ökonomische Bewertung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung der betrachteten Modernisierungsvarianten auszugsweise dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen können Anhang 12 entnommen werden.

Investitionskosten

In Tabelle 79 werden Investitionskosten der betrachteten Modernisierungsvarianten jeweils aufgeteilt in die Kostengruppen Anlagentechnik (Heizung, TWE, Belüftung), Beleuchtung, Dämmung und Fenster sowie flächenspezifische Gesamtinvestitionskosten ausgewiesen. Dabei wird zwischen den Vollkosten und den energiebedingten Mehrkosten unterschieden. Der Ansatz energiebedingter Mehrkosten unterstellt, dass die Anlagenkomponente ohnehin zu ersetzen wäre und nur Kosten für eine darüber hinaus verbesserte Anlagentechnik zur zusätzlichen Energieeinsparung entstehen. Beim Ansatz der Vollkosten ist die auszutauschende Anlagentechnik funktionsfähig entspricht jedoch nicht mehr dem neuesten Stand der Technik. Analog dazu wird dieser Ansatz auf bauliche Komponenten übertragen. Die flächenspezifischen Vollkosten der berücksichtigten Optionen zur Endenergieminderung liegen zwischen 38 und 471 €/m² A_{NGF}. Durch Inanspruchnahme bundesweiter und lokaler Förderungen können diese entsprechend reduziert werden.

Tabelle 79: Investitionskosten der Modernisierungsvarianten und mögliche Förderung

			Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Vollkosten	Anlagentechnik	€	34.700	38.200	31.800	24.200	24.200
	Beleuchtung	€	51.800	51.800	51.800	51.800	51.800
	Dämmung	€	0	0	0	515.100	534.400
	Fenster	€	0	0	473.200	473.200	473.200
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	38	39	242	463	471
Energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik	€	2.200	5.700	5.600	4.300	4.300
	Beleuchtung	€	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Dämmung	€	0	0	0	381.400	400.800
	Fenster	€	0	0	74.900	74.900	74.900
	gesamt, flächenspezifisch	€/m ²	5	7	40	205	213
Förderung	gesamt	€	17.300	18.000	111.360	212.860	216.720
	flächenspezifisch	€/m ²	8	8	48	93	94

Betriebs- und Instandhaltungskosten

In Tabelle 80 sind die Betriebs- und Instandhaltungskosten angegeben.

Tabelle 80: Betriebs- und Instandhaltungskosten

		Ausgangszustand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Betriebs- und Instandhaltungskosten	€	9.000	8.800	8.900	8.800	8.600	8.600
	€/m ²	4	4	4	4	4	4

Energiekosten

Hinsichtlich der Energiekosten wird in Abbildung 134 differenziert zwischen den Kosten, die sich mit aktuellen Energiepreisen ergeben und Kosten, die sich unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 (vgl. Abschnitt 4.3.4) ergeben würden. Bei den unterstellten Energiepreisen wird die Entwicklung des zukünftigen CO₂-Preises mit zwei Pfaden berücksichtigt. Im Folgenden werden die Ergebnisse basierend auf dem unteren Preispfad ausgewiesen. Die Ergebnisse für den oberen Preispfad, der einen höheren CO₂-Preis enthält, können Anhang 12 entnommen werden.

Jede betrachtete Modernisierungsvariante führt zu einer Energiekosteneinsparung gegenüber dem Beibehalt des baulichen und anlagentechnischen Ausgangszustandes. Diese liegt unter Zugrundelegung aktueller Energiekosten zwischen rund 1 €/m²a und 5 €/m²a. Unter Berücksichtigung der angenommenen Energiepreise für 2030 würde sich die Energiekosteneinsparung auf 2 €/m²a bis 9 €/m²a erhöhen.

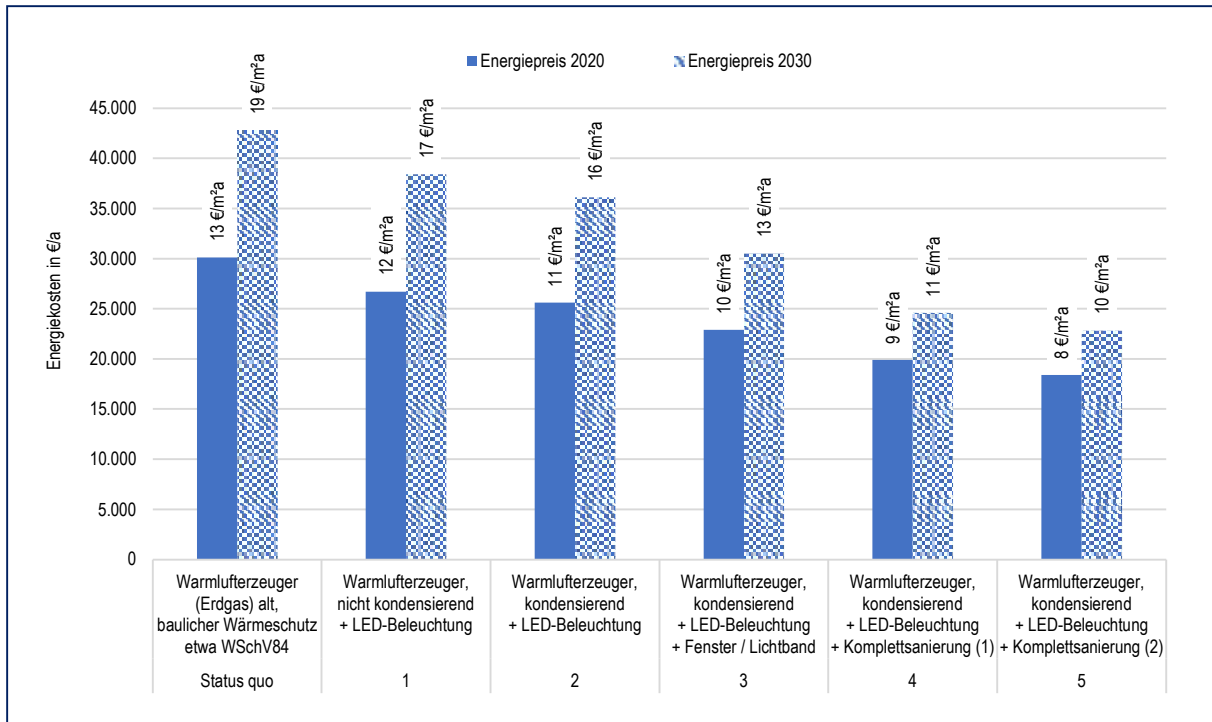


Abbildung 134: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Fertigungshalle

Jahresgesamtkosten

Nachfolgend werden die Jahresgesamtkosten bestehend aus Energiekosten, kapitalgebundenen Kosten und betriebsbedingten Kosten betrachtet. Diese werden für das Jahr 2020 und 2030 (unterer Preispfad) betrachtet, vgl. Abbildung 135.

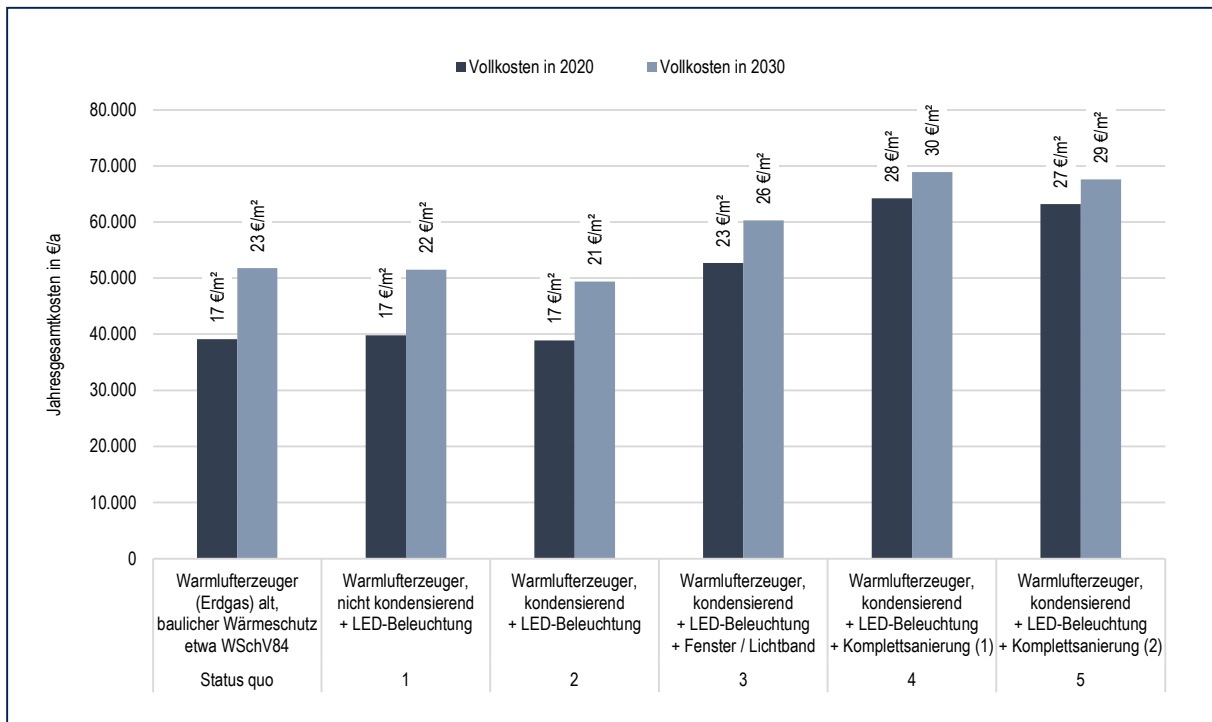


Abbildung 135: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Fertigungshalle

Nachfolgend sind die Anteile der verschiedenen Kosten an den jeweiligen Jahresgesamtkosten für den unteren Preispfad im Jahr 2030 dargestellt.

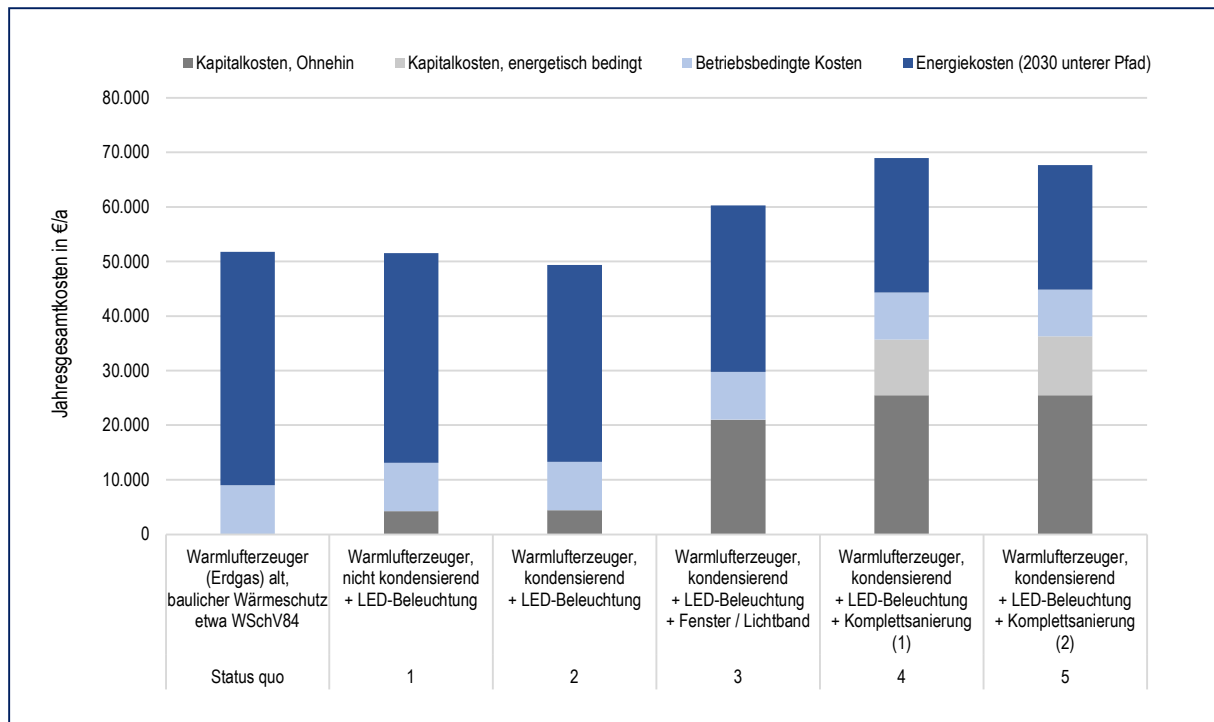


Abbildung 136: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unmodernisierten Zustand für die Fertigungshalle auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)

6.8.5 CO₂-Vermeidungskosten

In Abbildung 137 werden die CO₂-Vermeidungskosten der für die Fertigungshalle betrachteten zielkompatiblen Modernisierungsvarianten dargestellt. Für die Interpretation der Ergebnisse werden sowohl die vermiedenen Treibhausgasemissionen (in t/a) als auch die Differenz der Jahresgesamtkosten (in €/a) für jede Variante gegenüber dem Ausgangszustand abgebildet. Die ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten basieren auf Vollkosten und angenommenen Energiepreisen für 2030 (unterer Preispfad).

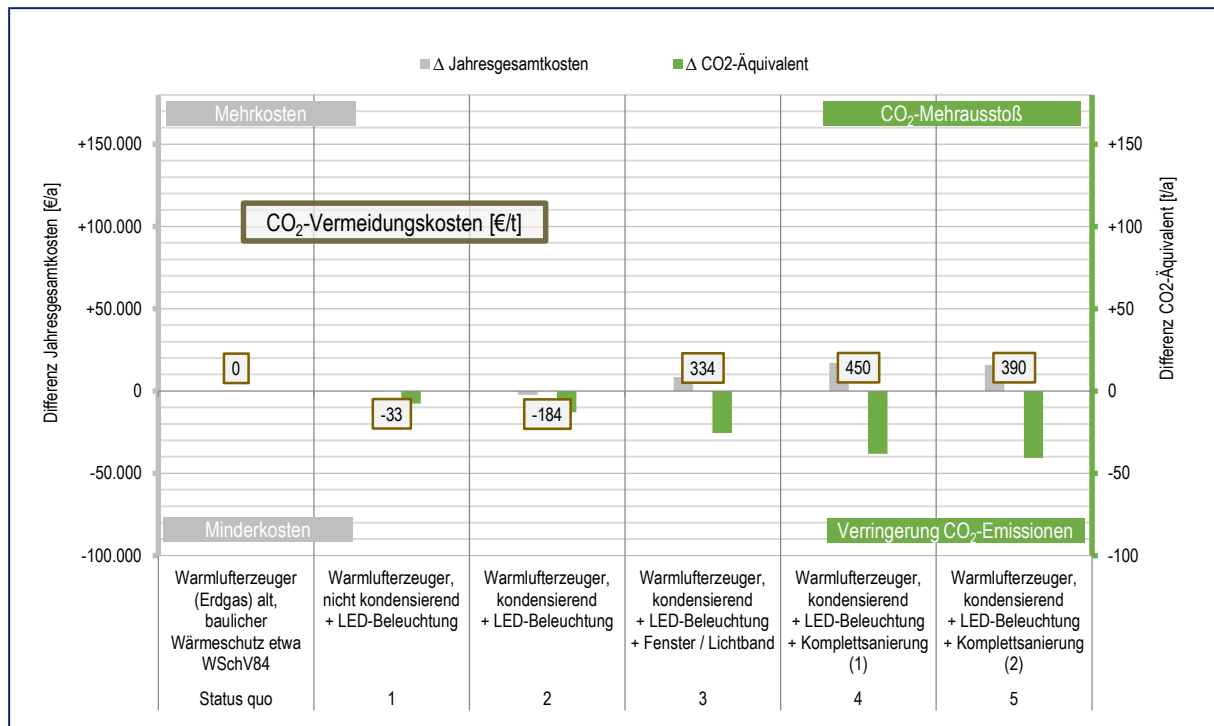


Abbildung 137: CO₂-Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Fertigungshalle

6.8.6 Diskussion der Ergebnisse

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 10 % bzw. 35 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 25 % bzw. 45 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung 54 % bzw. 57 % verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von 78 % der für das Jahr 2050 unterstellten THG-Emissionsfaktoren möglich.

7 Beurteilung und Fazit

Bei der nachhaltigen Modernisierung von Gebäuden ist das Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen eine zentrale Entscheidungsgrundlage. Für dieses spielt das Ausgangsniveau eine entscheidende Rolle, sowohl beim Wärmeschutz als auch bei der Anlagentechnik. Energetisch ungünstigere Ausgangszustände bedeuten ein größeres Einsparpotential, bergen allerdings auch die Gefahr einer Überschätzung möglicher Einsparungen. Bei der Auswahl der Gebäude und Anlagen ist in der vorliegenden Untersuchung daher ein nicht allzu ungünstiger Ausgangszustand gewählt worden. Ein Teil der Gebäude ist zwar deutlich vor Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung in den 1960er Jahren gebaut worden, aber es haben typischerweise zwischenzeitlich einige energetische Modernisierungsmaßnahmen im Rahmen der üblichen Instandsetzungsmaßnahmen stattgefunden. Die anderen Gebäude stammen aus den 1980er Jahren und erfüllen somit die damals geltenden Wärmeschutzverordnungen. Für diese erfolgte ebenfalls innerhalb der typischen Sanierungszyklen eine Erneuerung der Heizungsanlage.

Modernisierungen sind immer mit einem finanziellen Aufwand verbunden. Besonders wirtschaftlich sind Energiesparmaßnahmen an Komponenten der Gebäudehülle oder Anlagentechnik, wenn diese ohnehin ersetzt werden müssen. Bei Teilmodernisierungen sollte sich die Reihenfolge der Maßnahmen daher am Zustand der vorhandenen Bau- und Anlagenkomponenten orientieren. Anlagentechnische Maßnahmen, wie z.B. der Einbau eines Brennwertkessels, der Anschluss an ein Fernwärmenetz oder die Installation einer PV- bzw. Solarthermieanlage können weitgehend unabhängig vom Zustand der Gebäudehülle vorgenommen werden. Der Einsatz von Wärmepumpen hingegen sollte vorzugsweise nach vorheriger Modernisierung der Gebäudehülle erfolgen, da hier Kosten und Effizienz des Gerätes durch den baulichen Wärmeschutz deutlich verbessert werden. Wenn mehrere Maßnahmen gemeinsam durchgeführt werden oder ein Gebäude komplett modernisiert wird, dann können Synergien optimal genutzt werden. Der finanzielle Aufwand einer kompletten baulichen und anlagentechnischen Modernisierung ist jedoch erheblich.

In der Regel gibt es eine Vielzahl von Modernisierungsmöglichkeiten. Im Rahmen der Untersuchung wird bewusst auf ambitionierte und damit zukunftssichere Maßnahmen für die Gebäudehülle gesetzt, um weitere Modernisierungen desselben Bauteils bis 2050 zu vermeiden und damit zusätzliche Kosten und Lock-In-Effekte zu verhindern. Für die Anlagentechnik wird das durch die Kopplung an die Verminderung des Heizwärmebedarfs durch einen entsprechend ambitionierten Wärmeschutz und die Auswahl zukunftssicherer Technologien gewährleistet.

Die hier betrachteten Modernisierungsoptionen erreichen bei einer vollständigen Modernisierung im Vergleich zum jeweiligen Ausgangszustand sehr deutliche CO₂ – Einsparungen, üblicherweise 70% und mehr. Die genaue Größenordnung hängt neben den baulichen Veränderungen stark vom gewählten Energieträger ab. Vollmodernisierungen mit fossilen Energieträgern erreichen bei sehr gutem Wärmeschutz und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eine Minderung der THG Emissionen in Bereich von 80%. Darüberhinausgehende Emissionsminderungen erfordern den Einsatz emissionsfreier oder zumindest erheblich dekarbonisierter Energieträger. Diese sind jedoch nur begrenzt verfügbar, ihre Bereitstellung verursacht erhebliche finanzielle Aufwendungen. Einzelgebäude können durch den Einsatz eines Holzpelletkessels oder den Anschluss an ein THG-optimiertes Wärmenetz auch ohne weitere Maßnahmen sehr hohe Emissionsminderungen erreichen. Für den gesamten Gebäudesektor ist dies jedoch keine verfügbare Option, da eine nachhaltige und kostengünstige Versorgung des Gesamtbestandes mit seinen aktuellen Energiekennwerten nicht realisierbar ist.

Die erforderliche Dekarbonisierung des Gebäudesektors kann daher wirtschaftlich und technisch sinnvoll nur durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und den Einsatz energieeffizienter Anlagentechnik bei gleichzeitigem Einsatz möglichst emissionsarmer Energieträger erreicht werden.

Sektorspezifische Ziele zur THG-Emissionsminderung sind durch weitere Vorgaben, beispielsweise zur Verringerung der bezogenen Endenergie, zu ergänzen, um eine nachhaltige Zielerreichung sicherzustellen. Primärenergetische Zielkennwerte sind hingegen sehr stark von den politisch definierten Rahmenbedingungen abhängig, wie von der Festlegung bzw. Ermittlung der Primärenergiefaktoren. Primärenergetische Ziele können damit perspektivisch vollständig durch THG-Ziele ersetzt werden.

Deutschland will bis 2030 die THG-Emissionen um 55% gegenüber 1990 senken, im Gebäudebereich soll die Minderung 66 bis 67% betragen. Bis 2018 wurde bereits eine Einsparung von ca. 40% erreicht. **Die Berechnungen für die betrachteten 16 Beispielgebäude zeigen, dass sowohl das Sektorziel für 2030 als auch das Ziel für 2050 grundsätzlich realisierbar sind, wenn entsprechende energetische Modernisierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik durchgeführt werden.** Das 2030-Ziel kann durch eine vollständige Modernisierung eines (vergleichsweise geringen) Teils der Bestandsgebäude, oder aber durch eine Teilmodernisierung eines höheren Anteils des Gebäudebestands erreicht werden.

Für das 2030-Ziel würde in vielen Fällen, insbesondere in Wohngebäuden, beispielsweise eine Teilmodernisierung mit Gas-Brennwertkessel und solarer Trinkwassererwärmung sowie energetisch anspruchsvoller Ertüchtigung einzelner Komponenten der Gebäudehülle weitgehend ausreichen. Das heißt, dass bis zumindest 2030 eine weitgehende Technologieoffenheit möglich ist. Um aber „2050-ready“ zu sein, dürfen durch die Teilmodernisierungsmaßnahmen keine Lock-In Effekte entstehen. Wie bereits oben erwähnt, sind nur bei anspruchsvollem Wärmeschutz der Gebäudehülle 2050-zielkonforme Reduzierungen möglich. Die perspektivische klimapolitische Vertretbarkeit der Wärmeerzeugung durch eine Verbrennung von Brennstoffen hängt davon ab, ob diese Brennstoffe emissionsfrei oder zumindest dekarbonisiert in ausreichender Menge zu akzeptablen Preisen verfügbar sein werden. Aktuelle Kostenanalysen lassen bei großtechnischer Herstellung für 2030 sehr hohe Kosten für strombasierte Brennstoffe erwarten. Im Rahmen dieses Gutachtens wurde daher keine Nutzung derartiger Brennstoffe für die THG-Einsparung bei der Wärmeversorgung von Gebäuden bis 2030 angenommen.

Während die mögliche CO₂-Emissionsminderung die Auswirkungen der einzelnen Optionen in Hinblick auf das klimapolitische Ziel widerspiegelt, stellen die spezifischen CO₂-Vermeidungskosten in €/t ein Maß hinsichtlich der Effizienz der einzelnen Optionen dar. Die einfache Betrachtung der absoluten Investitionskosten ermöglicht zunächst keine Aussagen über den Nutzen einer Investition. Dazu ist die Jahresgesamtkosteneinsparung eine wesentlich geeignetere Größe. Sehr aufschlussreich ist dabei eine Betrachtung der Jahresgesamtkosten in der Aufschlüsselung nach Kapital- (sowieso und energiebedingt), Betriebs- und Energiekosten. Man erkennt für die verschiedenen Modernisierungsoptionen, ob sich die höheren energiebedingten Investitionen über Betriebs- und vor allem über Energiekostenreduzierungen amortisieren („rechnen“). Wirtschaftlich sind Modernisierungsmaßnahmen aus Sicht des Gebäudeeigentümers dann, wenn die Jahresgesamtkosten nach der Modernisierung nicht höher als im Ausgangszustand sind. In diesem Fall ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten kleiner oder gleich Null. Im vorliegenden Bericht werden die CO₂-Vermeidungskosten anhand der für 2030 angesetzten Energiepreise ausgewiesen. Nicht monetäre Aspekte bleiben bei einer solchen betriebswirtschaftlichen Betrachtung unberücksichtigt.

Negative CO₂-Vermeidungskosten werden nicht bei allen Gebäuden und sinnvollen Maßnahmenkombinationen erreicht. Das Ergebnis für die CO₂-Vermeidungskosten der Vollmodernisierungen ist nicht eindeutig. Für einige Anlagentypen ist es sehr vom Betrachtungsjahr (hier 2030) abhängig. Fernwärme und Strom sind bis dahin nur teilweise dekarbonisiert, daher sind die Einsparungen an CO₂ in einigen Fällen noch nicht so ausgeprägt. Dem stehen oft eher hohe Kosten (Jahresgesamtkosten) in der Modernisierung gegenüber. Hier würde sich ein noch höherer Energiepreis bzw. eine stärkere Förderung positiv bemerkbar machen. Im Vergleich mit dem Ausgangszustand, der bedingt durch die unzureichende Effizienz von Wärmeschutz und Anlagentechnik sowie oft auch den eingesetzten Brennstoff hohe Emissionen und meistens gleichzeitig auch hohe Energiekosten aufweist, errechnen sich in vielen Fällen negative Vermeidungskosten. Hohe CO₂-Einsparungen ergeben sich insbesondere, wenn alte Öl-Niedertemperatursysteme ersetzt und dabei der Energieträger gewechselt wird. Eine deutliche Steigerung der Energiekosten und damit der Jahresgesamtkosten ist bis 2030 zu beobachten, wenn der Energieverbrauch konstant bleibt, weil keine Modernisierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Großen Einfluss hat auch der Energieträger und seine unterstellte Preisentwicklung. In der vorliegenden Untersuchung wird auf Basis von Modellrechnungen zum Klimaschutzgesetz 2030 davon ausgegangen, dass der Strompreis bis 2040 real etwa konstant bleibt, während der Preis für Erdgas sehr deutlich steigt und zusätzlich – ebenso wie Heizöl - durch eine CO₂-Bepreisung belastet wird. Der dadurch bedingte Anstieg der Energiekosten gegenüber dem aktuellen Zustand wird durch Teilmodernisierungen zwar verringert, jedoch nicht vollständig ausgeglichen.

Da die zukünftigen Energiekostensteigerungen kaum einschätzbar sind, führen Investitionen in Energiesparmaßnahmen auch zu deutlich höherer Kostensicherheit. Die Folgekosten (Energiekosten) von heute nicht getätigten Investitionen in Energieeinsparung sind nicht präzise kalkulierbar. Das betrifft sowohl die einzelwirtschaftliche Sichtweise des Gebäudeeigentümers als auch volkswirtschaftliche Kostenkalkulationen. Die Energiepreise werden aus dem Rahmendatenpapier des Nationalen Energie- und Klimaplan (NECP) abgeleitet. Die hier diskutierten Ergebnisse beziehen sich immer für den unteren Preispfad. Alle Ergebnisse für den oberen Preispfad sind dem Anhang zu entnehmen. Die diskutierten Preispfade weisen eine hohe Unsicherheit auf. Die tatsächlichen Marktpreise können von der im Rahmen dieser Studie angesetzten Energiepreisentwicklung abweichen.

Die in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Maßnahmen zur Einsparung von Energie und THG-Emissionen werden anhand betriebswirtschaftlicher Kriterien und der Auswirkungen auf die THG-Emissionen in der Nutzungsphase der Gebäude bewertet. Dies entspricht dem Bilanzkreis von EnEG, EnEV und EEWärmeG bzw. GEG. Darüberhinausgehende Bilanzierungen, z.B. des gesamten Lebenszyklus, werden auftragsgemäß nicht vorgenommen. Ebenso werden andere Aspekte, die im Zusammenhang mit Maßnahmen an der Gebäudehülle oder Anlagentechnik stehen, nicht beleuchtet.

Exemplarisch dafür können Wertsteigerungen einer Immobilie oder die Verbesserung der thermischen Behaglichkeit durch zeitgemäßen Wärmeschutz und moderne Anlagentechnik genannt werden. Bei Lüftungsanlagen wären die positiven Auswirkungen auf die Raumlufthygiene zu benennen. In mehreren Studien wurde auch ein Zusammenhang von guter Raumlufthygiene und hoher Leistungsfähigkeit der Bewohner/Nutzer festgestellt.

Wie eingangs geschrieben, beschäftigt sich die vorliegende Untersuchung ausschließlich mit der Frage, wie die energie- und klimapolitischen Ziele für 2030 bei ausgewählten typischen Wohn- und Nichtwohngebäuden auf einem für 2050 zielkompatiblen Pfad erreicht werden können.

8 Handlungsempfehlungen

Die Berechnungen in der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die energie- und klimapolitischen Ziele im Gebäudebereich grundsätzlich erfüllbar sind. Unter Beibehaltung der gegenwärtigen Modernisierungsraten werden die Ziele jedoch verfehlt. Die Bundesregierung hat deshalb eine Reihe von Maßnahmen beschlossen, die zur Verringerung der Lücke zwischen Ziel und Realität führen, wie beispielsweise eine deutlich attraktivere Förderung energetischer Modernisierungsmaßnahmen im Gebäudebereich.

Die Wirtschaftlichkeit von Modernisierungsmaßnahmen ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht des Gebäudeeigentümers stark abhängig von folgenden Faktoren

- **Investitionskosten:** bedingt durch niedrige Zinsen und hohe Auslastung sind die Preise im Baubereich in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Die Erreichung der Klimaziele erfordert verstärkte Aktivitäten im Bestand, mit einem Absinken der Baupreise kann daher nicht gerechnet werden. Kosteneinsparungen durch Effizienzsteigerungen wie z.B. serielle Sanierung können dem entgegenwirken, bisher sind davon aber kaum positive Effekte in der Baurealität sichtbar.
- **Energiekosten:** steigende Energiekosten verbessern die Wirtschaftlichkeit der Modernisierungsmaßnahmen. Ein durch den Weltmarkt bedingter nachhaltiger Anstieg der Preise für fossile Energieträger ist gegenwärtig (trotz zum Teil anderslautender Prognosen aus der Vergangenheit) nicht in Sicht. **Eine klimapolitisch motivierte CO₂-Bepreisung ist daher unumgänglich.** Wichtig ist bei der Ausgestaltung, dass eine spürbare Verteuerung des Verbrauchs fossiler Energieträger stattfindet und trotzdem eine Überforderung der Gebäudenutzer vermieden wird. **Die aus der CO₂-Bepreisung stammenden finanziellen Mittel sind zwingend dem Gebäudebereich zur Unterstützung von Modernisierungsmaßnahmen zuzuführen.** Nur durch den doppelten Anreiz - höhere Energiekosten und bessere Förderung - können die Modernisierungsraten auf das erforderliche Niveau angehoben werden.
- **Zustand der baulichen und anlagentechnischen Komponenten:**
 - o Wenn Komponenten ohnehin ersetzt werden müssen, dann sind die Mehrkosten für Energie- und THG-Einsparungen i.d.R. betriebswirtschaftlich sinnvoll, die Maßnahmen sind auch bei aktuellen oder moderat ansteigenden Energiekosten wirtschaftlich.
 - o Wenn Komponenten aus technischer Sicht noch weiter genutzt werden können und nur zur Energie- und THG-Einsparung modernisiert werden, dann sind die Maßnahmen bis auf wenige Ausnahmen unwirtschaftlich. **Die Erreichung der Klimaziele erfordert jedoch, dass verstärkt Modernisierungen von Komponenten erfolgen, die technisch noch weiter nutzbar wären.** Daran sind die Maßnahmen auszurichten.

Darüber hinaus können aus der vorliegenden Untersuchung folgende Überlegungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

- Das Hauptziel des Klimaschutzes besteht in der Verringerung der THG-Emissionen. **Die Hauptanforderungen im GEG und der Effizienzhausförderung sind daher von der Primärenergie auf THG-Emissionen umzustellen.** Gleichzeitig sind geeignete Nebenanforderungen einzuführen, z.B. an die bezogene Endenergie, um Nachhaltigkeits- und Kostenaspekte zu adressieren.

- Die klimapolitisch motivierten Ziele sind für die Gebäude technologieoffen vorzugeben, um kostengünstige und für das Einzelgebäude passende individuelle Lösungen zu ermöglichen.
- Eine vollständige energetische Modernisierung führt zur größten Einsparung von THG-Emissionen am jeweiligen Gebäude. Die dafür aufzubringenden Kosten sind jedoch so hoch, dass sie nur von einem geringen Teil der Gebäudeeigentümer und i.d.R. nur im Zusammenhang mit ohnehin anstehenden grundlegenden Modernisierungen vorgenommen werden. **Daher sind Einzelmaßnahmen als Option für Erreichung der Klimaziele 2030 zu kommunizieren und zu fördern, solange sie auf einem mit den 2050er-Zielen kompatiblen Pfad erfolgen.**
- Die Sanierungstiefe der durchgeführten Maßnahmen muss mit den 2050er-Zielen zusammenpassen. Daran sind mindestens die Vorgaben in den Förderprogrammen auszurichten.
- Förderungen müssen weiter vereinfacht und verstetigt werden, um Planungssicherheit für Gebäudeeigentümer und Planer/Berater zu erreichen. **Die Förderhöhe muss sich zunehmend daran orientieren, dass eine Wirtschaftlichkeit auch für die energetische Ertüchtigung von Komponenten erreicht wird, deren Lebensdauer noch nicht abgelaufen ist und deren Ersatz vorgezogen wird.**
- Für Neubauten sind Mindestanforderungen an die THG-Emissionen aufzustellen, die eine Erfüllung der klimapolitischen Ziele mittel- und langfristig ermöglichen.
- Die Entwicklung THG-armer gasförmiger und flüssiger Energieträger ist zu forcieren. Ob ein Einsatz derartiger Brennstoffe im Gebäudesektor perspektivisch sinnvoll und kosteneffizient ist, kann gegenwärtig nicht sicher beurteilt werden. Eine Verfügbarkeit solcher Energieträger kann jedoch weitere Optionen für den Klimaschutz bereitstellen.⁵
- Information und Kommunikation zu den technischen Möglichkeiten, den Förderprogrammen und den erreichbaren Umweltentlastungen sowie sonstigen Vorteilen von Modernisierungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden sind auszubauen.
- Die Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs sind so anzupassen, dass eine gute Übereinstimmung mit mittleren Energieverbrauchskennwerten erreicht wird, um realitätsnahe Prognosen möglicher Energieeinsparungen von Modernisierungsmaßnahmen zu ermöglichen und damit die Akzeptanz zu verbessern. Gleichzeitig ist durch flankierende Maßnahmen, wie z.B. Monitoring, Schulungen und Qualitätskontrollen sicherzustellen, dass die bei fachgerechter Planung und Ausführung erreichbare energetische Qualität auch real erreicht wird.

⁵ Zu dieser Handlungsempfehlung gibt es Vorbehalte von Prognos.

9 Literaturverzeichnis

AGEB 2015: AGEB 2015: Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland: <https://ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf>, letzter Abruf am 06.08.2020).

BDEW (2019): Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2019.

BDEW (2020): Entwicklung ausgewählter Energiepreise. Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-ausgewaehlter-energiepreise/>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

BKI (2020): BKI Baukosten Gebäude Altbau 2020. Statistische Kostenkennwerte. 1. Auflage. Köln: Müller, Rudolf.

BMVBS (2012): Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen bei Nichtwohngebäuden für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012. Unter Mitarbeit von Dieter Thiel und Horst P. Schettler-Köhler. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (BMVBS-Online-Publikation, 2012,8).

BMVBS (2014): EnEV 2014: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, zuletzt geändert durch: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 1. Mai 2014. EnEV 2014, vom 01.05.2014.

BMWi (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin, zuletzt geprüft am 30.07.2020.

BMWi (2020): Entwurf des integrierten nationalen Energie- und Klimaplanes. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

BMWi; BMUB (2015): Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand.

Bründlinger, Thomas; König, Julian Elizalde; Frank, Oliver; Gründing, Dietmar; Jugel, Christoph; Kraft, Partizia et al. (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050.

Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt IWU und Bremer Energie Institut BEI.

DIN 4108 Bbl. 2, 2019: DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt_2: Wärmebrücken_- Planungs- und Ausführungsbeispiele, mit CD-ROM.

DIN V 18599:2011: DIN V 18599:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

DIN V 18599, 2018: DIN V 18599-1:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung_-.

DIN V 18599-2, 2011: DIN V 18599-2:2011-12, Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung_ - Teil_2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.

Edenhofer, O.; Flachsland, C.; Kalkuhl, M.; Knopf, B.; Pahle, M. (2019): Optionen für eine CO₂-Preisreform. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Hg. v. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change. Online verfügbar unter https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC_Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

DIN V 18599:2018, 2018: Energetische Bewertung von Gebäuden_ - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.

EU Commission (2019): Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and social committee and the committee of the regions: The European Green Deal.

Europäischer Rat (2009): RICHTLINIE 2009/125/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. RICHTLINIE 2009/125/EG.

Harthan, Ralph O.; Repenning, Julia; Blanck, Ruth; Böttcher, Hannes; et.al (2020): Treibhausgasminde rungswirkung des Klima-schutzprogramms 2030 (Kurzbericht). Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im Projektionsbericht 2019 („Politikszenerien IX“)“. Hg. v. Umwelt Bundesamt (UBA). Dessau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-03-05_climate-change_12-2020_treibhausgasminde rungswirkungen-klimaschutzprogramm-2030.docx_.pdf, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

IFBS (Hg.) (2011): Kosten im Stahlbau 2011. Basisinformationen zur Kalkulation: ArcelorMittal, CEEC, RICS, Universität Stuttgart bauoek.

Kemmler, Andreas; Auf der Maur, Alex; Ess, Florian; Kreidelmeyer, Sven; Piégsa, Alexander; Spillmann, Thorsten et al. (2020): Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050. Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030. Hg. v. BMWi. Berlin.

Kreidelmeyer, Sven; Dambeck, Hans; Kirchner, Almut; Wünsch, Marco (2020): Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Endbericht zum Projekt „Transformationspfade und regulatorischer Rahmen für synthetische Brennstoffe“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Studien/transformation spfade-fuer-strombasierte-energietraeger.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

Kuhnhenne, Markus (2018): Bauen im Bestand - Lösungen für Dach und Fassade in Stahlleichtbauweise. Achen.

Loga, Tobias (2007): Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand. Techniken, Potenziale, Kosten und Wirtschaftlichkeit ; eine Studie. Darmstadt: IWU.

Projektionsbericht 2019., Mai 2019, Verfügbar unter: https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf.

Online verfügbar unter https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

Schiller, Heiko; Mai, Ronny; Haendel, Claus (2014): Chancen der energetischen Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche. [Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben]. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl. (Forschungsinitiative Zukunft Bau, F 2888).

SIRADOS (2015): Baupreise. Aktuelle Einheitspreise und LV-Langtexte. München, Dachau, Jena: Ed. Aum (SIRADOS).

UBA 2019: THG Faktoren nach Quellenbilanz. Hg. v. Umwelt Bundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen>, zuletzt geprüft am 10.09.2020.

VDI 2067 Blatt 1, 2012: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung.

ZUB (2010): Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit. Endbericht - Oktober 2010. Hg. v. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V.

Prognos (2020): Kosten und Transformationspfade für strombasierte Energieträger. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Hg. v. BMWi. Berlin.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Endenergieverbrauch (EBIL) für unsanierte Gebäude, nach Vollsanierung im Jahr 2020 und Bestandmittel 2050 für Wohngebäude (gewichteter Mittelwert von Ein- und Zweifamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern).....	18
Abbildung 2: Spezifischer Endenergieeinsatz nach EnEV/GEG und EBIL in Wohngebäuden in kWh/m ² WFl./a	19
Abbildung 3: Spezifischer Endenergieeinsatz nach EnEV/GEG und EBIL in Nichtwohngebäuden in kWh/m ² /a.....	20
Abbildung 4: Umwandlungseinsatz zur Fernwärmeerzeugung nach Energieträger und Fernwärmeabsatz im Zielszenario 3 NECP, in PJ.....	26
Abbildung 5: Umwandlungseinsatz zur Stromerzeugung nach Energieträger und Nettostromerzeugung im Zielszenario 3 NECP, in PJ.....	27
Abbildung 7: Endkundenpreise für Haushalte für Erdgas und Heizöl, brutto, in Cent/kWh bezogen auf den Heizwert (H _i)	37
Abbildung 9: Ergebnisinterpretation der CO ₂ -Vermeidungskosten	40
Abbildung 10: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung der Gebäudehülle entsprechend den Anforderungen des Effizienzstandards.	43
Abbildung 12: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des kleinen EFH	45
Abbildung 13: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des kleinen EFH	46
Abbildung 14: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	48
Abbildung 15: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad).....	49
Abbildung 16: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	50
Abbildung 17: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	51
Abbildung 18: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung.....	55
Abbildung 20: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	57

Abbildung 21: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.	58
Abbildung 22: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	60
Abbildung 23: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)	61
Abbildung 24: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	62
Abbildung 25: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030	63
Abbildung 26: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	67
Abbildung 28: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf	69
Abbildung 29: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.	70
Abbildung 30: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	72
Abbildung 31: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)	73
Abbildung 32: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	74
Abbildung 33: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	75
Abbildung 34: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	79
Abbildung 36: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	81
Abbildung 37: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.	82
Abbildung 38: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	84
Abbildung 39: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad)	85

Abbildung 40: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	86
Abbildung 41: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	87
Abbildung 42: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Kompletmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	91
Abbildung 44: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	93
Abbildung 45: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.....	94
Abbildung 46: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	96
Abbildung 47: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad).....	97
Abbildung 48: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	98
Abbildung 49: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	99
Abbildung 50: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Kompletmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	103
Abbildung 52: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	105
Abbildung 53: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.....	106
Abbildung 54: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	108
Abbildung 55: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad).....	109
Abbildung 56: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	110
Abbildung 57: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	111
Abbildung 58: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Kompletmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	115

Abbildung 60: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	117
Abbildung 61: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.	118
Abbildung 62: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	120
Abbildung 63: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad).....	121
Abbildung 64: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	122
Abbildung 65: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	123
Abbildung 66: Veränderung der spezifischen Bauteilverluste vor und nach Komplettmodernisierung. Hier dargestellt ist der Effizienzstandard.....	127
Abbildung 68: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf.	129
Abbildung 69: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten.	130
Abbildung 70: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig.	132
Abbildung 71: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, auf Basis der Energiepreise 2020 und 2030 (unterer Preispfad).....	133
Abbildung 72: verschiedene Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	134
Abbildung 73: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030.	135
Abbildung 76: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Schule	140
Abbildung 77: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Schule.....	141
Abbildung 78: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Schule	143
Abbildung 79: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Schule.....	144

Abbildung 80: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für die Schule auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad).....	144
Abbildung 81: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Schule	145
Abbildung 84: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Sporthalle.....	149
Abbildung 85: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Sporthalle	150
Abbildung 86: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Sporthalle.....	152
Abbildung 87: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Sporthalle.....	152
Abbildung 88: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	153
Abbildung 89: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Sporthalle.....	154
Abbildung 92: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Kindergartens	158
Abbildung 93: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Kindergartens	159
Abbildung 94: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Kindergarten	161
Abbildung 95: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Kindergarten	161
Abbildung 96: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Kindergarten auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)....	162
Abbildung 97: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Kindergarten	163
Abbildung 98: Gebäudedaten Verwaltungsgebäude.....	164
Abbildung 100: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verwaltungsgebäudes.....	167
Abbildung 101: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verwaltungsgebäudes	168

Abbildung 102: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Verwaltungsgebäude	170
Abbildung 103: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Verwaltungsgebäude	170
Abbildung 104: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für das Verwaltungsgebäude auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	171
Abbildung 105: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Verwaltungsgebäude	172
Abbildung 108: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des Verbrauchermarktes	176
Abbildung 109: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des Verbrauchermarktes	177
Abbildung 110: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Verbrauchermarkt	179
Abbildung 111: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Verbrauchermarkt	180
Abbildung 112: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	180
Abbildung 113: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Verbrauchermarkt	181
Abbildung 116: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des großen Hotels	185
Abbildung 117: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Hotels	186
Abbildung 118: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Hotel, groß	188
Abbildung 119: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Hotel, groß	188
Abbildung 120: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für das große Hotel auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	189
Abbildung 121: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Hotel, groß	190
Abbildung 124: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf des großen Bürogebäudes	194

Abbildung 125: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten des großen Bürogebäudes	195
Abbildung 126: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; großes Bürogebäude	197
Abbildung 127: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Bürogebäude groß.....	197
Abbildung 128: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für den Verbrauchermarkt auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad)	198
Abbildung 129: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Bürogebäude groß	199
Abbildung 132: Primärenergiebedarf im Jahr 2030 nach Modernisierung im Vergleich zum Status quo; prozentuale Angaben entsprechen der Minderung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem aktuellen Primärenergiebedarf der Fertigungshalle	203
Abbildung 133: aktuelle THG-Emissionen sowie Prognose für die Jahre 2030 bzw. 2050 im Vergleich zum Status quo. Die prozentuale Angabe entspricht der Minderung der THG-Emissionen gegenüber den aktuellen Kennwerten der Fertigungshalle	204
Abbildung 134: Energiekosten der Modernisierungsvarianten absolut und flächenspezifisch im Vergleich zum unsanierten Zustand; aktuell und zukünftig; Fertigungshalle	206
Abbildung 135: Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand, Vollkosten, Energiekosten in 2020 und 2030 (unterer Preispfad), Fertigungshalle	206
Abbildung 136: Anteile der Jahresgesamtkosten der Modernisierungsvarianten im Vergleich zum unsanierten Zustand für die Fertigungshalle auf Basis der Energiepreise 2030 (unterer Preispfad) .	207
Abbildung 137: CO ₂ -Vermeidungskosten der Modernisierungsvarianten basierend auf Vollkosten und Energiepreisen 2030 (unterer Preispfad), Fertigungshalle	208

11 Anlage 1: Berechnungsergebnisse Wohngebäude

11.1 Kleines Einfamilienhaus

EFH_klein		Status quo	1	2	3	4	5
		Öl-NT, ungeregelte Pumpe, Heizkörper (80/60°C)	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE) + Dämmung Kellerdecke	Option A: 2. Teilmodernisierung: (Außenwand + Fenster)	Option A: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE)	Option B: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE) + mechanische Lüftung	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (L-W Wärmepumpe)
Wärmeerzeuger		Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	WP
Wärmeübergabe		Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe	überdimensioniert / unreguliert	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung		Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher
Beleuchtung		-	-	-	-	-	-
Belüftung		Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster
Kühlung		-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	1,42	1,42	0,20	0,20	0,20
	Außenwand Keller/Sockel	W/m²K	1,42	1,42	0,20	0,20	0,20
	Fenster / Dachfenster	W/m²K	1,9 / -	1,9 / -	0,95 / -	0,95 / -	0,95 / -
	Geneigtes Dach / Flachdach	W/m²K	0,82	0,82	0,82	0,14	0,14
	Oberste Geschossdecke	W/m²K	0,45	0,45	0,45	0,14	0,14
	Kellerboden / Kellerdecke	W/m²K	1,20	0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrückenzuschlag	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,03	0,03
Dichtheitsprüfung		ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	51.229	33.523	20.340	12.745	9.253	6.425
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	17.706	30.890	38.485	41.976	44.804
		relativ	%	-	34,6%	60,3%	75,1%	81,9%	87,5%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	380,8	250,8	154,1	97,0	72,9	77,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	130,0	226,7	283,9	307,9	303,1
		relativ	%	-	34,1%	59,5%	74,5%	80,9%	79,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	378,4	247,4	149,8	93,8	67,8	43,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	131,0	228,6	284,6	310,7	335,2
		relativ	%	-	34,6%	60,4%	75,2%	82,1%	88,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	376,3	244,4	146,1	91,1	63,2	13,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	131,9	230,2	285,2	313,0	363,3
		relativ	%	-	35,1%	61,2%	75,8%	83,2%	96,6%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	382,3	253,0	156,8	98,9	76,1	99,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	129,4	225,6	283,4	306,2	283,0
		relativ	%	-	33,8%	59,0%	74,1%	80,1%	74,0%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	380,5	250,4	153,6	96,6	72,3	73,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	130,1	227,0	284,0	308,3	307,1
		relativ	%	-	34,2%	59,6%	74,6%	81,0%	80,7%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	379,0	248,3	150,9	94,6	69,0	51,8	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	130,8	228,1	284,4	310,0	327,2	
	relativ	%	-	34,5%	60,2%	75,0%	81,8%	86,3%	
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	16,0	8,3	5,1	3,2	2,5	3,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	8	11	13	13	12
		relativ	%	-	48,4%	67,9%	79,7%	84,2%	77,5%
	2030		t/a	15,9	8,1	4,9	3,1	2,3	2,1
	Einsparung	absolut	t/a	-	8	11	13	14	14
		relativ	%	-	49,4%	68,9%	80,4%	85,5%	87,0%
2050		t/a	15,8	7,9	4,7	2,9	2,0	0,2	
Einsparung	absolut	t/a	-	7,8	11,0	12,8	13,7	15,6	
	relativ	%	-	49,8%	70,1%	81,4%	87,2%	98,9%	

Energiekosten	2020		€/a	3.020	2.133	1.395	895	783	1.970
	Einsparung	absolut	€/a	-	887	1.625	2.125	2.238	1.051
		relativ	%	-	29%	54%	70%	74%	35%
	2030 unterer Pfad		€/a	6.374	4.121	2.577	1.630	1.285	1.973
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.253	3.797	4.744	5.090	4.401
		relativ	%	-	35%	60%	74%	80%	69%
	2030 oberer Pfad			7.166	4.505	2.805	1.772	1.381	1.973
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.661	4.361	5.394	5.785	5.193
		relativ	%	-	37%	61%	75%	81%	72%
	2050 unterer Pfad		€/a	7.363	4.800	2.989	1.889	1.473	2.108
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.563	4.374	5.474	5.890	5.255
		relativ	%	-	35%	59%	74%	80%	71%
	2050 oberer Pfad		€/a	8.970	5.583	3.454	2.178	1.670	2.108
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.387	5.516	6.792	7.300	6.862
relativ		%	-	38%	61%	76%	81%	77%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	19.010	19.010	19.010	28.010	21.255
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	6.220	28.940	34.310	34.310	34.310
	Fenster		€	-	0	16.830	16.830	16.830	16.830
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	5.410	5.410	6.820	15.820	9.065
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	6.218	14.132	27.814	27.814	27.814
	Fenster		€	-	0	3.578	3.578	3.578	3.578
Förderung			€		5.046	12.956	14.030	15.830	14.479
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	1.112	2.397	2.554	2.995	2.664
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	280	432	980	1.420	1.089
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	120	280	280	280	580	140
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	310	370	380	380	520	330
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	446	446	446	446	446	446
	Öltankversicherung		€/a	50	0	0	0	0	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	25	25	-
	Summe		€/a	981	1.121	1.131	1.131	1.571	916

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	23	32	26	28	55	
		2030 unterer Pfad	a	-	9	14	12	12	13	
		2030 oberer Pfad	a	-	8	12	10	11	11	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	7	6	11	14	25	
		2030 unterer Pfad	a	-	3	3	5	6	6	
		2030 oberer Pfad	a	-	2	2	4	5	5	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	4.002	4.366	4.924	4.581	5.349	5.550	
		2030 unterer Pfad	€/a	7.356	6.355	6.106	5.316	5.851	5.554	
		2030 oberer Pfad	€/a	8.147	6.738	6.333	5.458	5.947	5.554	
		2050 unterer Pfad	€/a	8.344	7.033	6.518	5.574	6.039	5.688	
		2050 oberer Pfad	€/a	9.951	7.816	6.983	5.864	6.236	5.688	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	4.002	3.535	2.959	3.006	3.774	3.975	
		2030 unterer Pfad	€/a	7.356	5.523	4.141	3.741	4.276	3.979	
		2030 oberer Pfad	€/a	8.147	5.906	4.369	3.883	4.373	3.979	
		2050 unterer Pfad	€/a	8.344	6.202	4.553	4.000	4.464	4.114	
		2050 oberer Pfad	€/a	9.951	6.984	5.018	4.289	4.661	4.114	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	365	922	579	1.347	1.548
	Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-8	-11	-13	-13	-12
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	47	85	45	100	125	
	Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	-1.001	-1.250	-2.040	-1.505	-1.802
	Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-8	-11	-13	-14	-14
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-129	-114	-160	-111	-130	
	Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	-1.409	-1.814	-2.689	-2.200	-2.593
	Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-8	-11	-13	-14	-14
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-181	-166	-210	-162	-188	

CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-467	-1.043	-996	-228	-26
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-11	-13	-13	-12
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-60	-96	-78	-17	-2
energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.833	-3.215	-3.614	-3.080	-3.377
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-11	-13	-14	-14
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-235	-294	-283	-227	-244
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.241	-3.779	-4.264	-3.775	-4.168
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-11	-13	-14	-14
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-288	-345	-334	-278	-302

11.2 Mittleres Einfamilienhaus

EFH_mittel			Status quo	1	2	3	4	5	
			Gas-BW, Heizkörper (70/55°C), geregelte Pumpe	1. Teilmodernisierung: (Außenwand + Fenster)	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Gas-BW mit sol. TWE) + Dämmung Kellerdecke	Option A: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Gas-BW mit sol. TWE) + mechanische Lüftung	Option B: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Wärmepumpe)	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Holzpellet mit sol. TWE) + mechanische Lüftung	
Wärmeerzeuger			Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	WP	Pelletheizung	
Wärmeübergabe			Heizkörper 70/55°C	Heizkörper 70/55°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C	Heizkörper 55/45°C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	
	Pumpe		geregelt	geregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher	Speicher & sol. TWE	
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-	
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	
Kühlung			-	-	-	-	-	-	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,79	0,20	0,79	0,20	0,20	0,20
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,79	0,20	0,79	0,20	0,20	0,20
	Fenster / Dachfenster		W/m²K	2,7 / 2,7	0,95 / 2,7	2,7 / 2,7	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Geneigtes Dach / Flachdach		W/m²K	0,82	0,82	0,82	0,14	0,14	0,14
	Oberste Geschossdecke		W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	0,60	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,03	0,03	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	mit	ohne	mit	mit	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	44.041	30.734	34.673	13.092	8.408	18.225
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	13.306	9.368	30.948	35.633	25.815
		relativ	%	-	30,0%	21,0%	70,0%	81,0%	59,0%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	274,0	192,3	216,7	86,2	85,0	33,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,7	57,3	187,8	189,0	240,9
		relativ	%	-	29,8%	20,9%	68,5%	69,0%	87,9%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	271,8	189,5	213,9	80,1	47,2	26,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	82,3	58,0	191,7	224,6	245,0
		relativ	%	-	30,3%	21,3%	70,5%	82,6%	90,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	269,9	187,1	211,4	74,8	14,2	21,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	82,8	58,6	195,1	255,8	248,7
		relativ	%	-	30,7%	21,7%	72,3%	94,8%	92,1%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	275,3	194,0	218,5	90,0	108,6	131,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,3	56,8	185,3	166,7	143,8
		relativ	%	-	29,5%	20,6%	67,3%	60,5%	52,2%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	273,7	191,9	216,4	85,4	80,3	126,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,8	57,3	188,3	193,4	146,9
		relativ	%	-	29,9%	21,0%	68,8%	70,7%	53,7%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	272,4	190,2	214,6	81,6	56,7	122,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	82,1	57,8	190,7	215,7	149,5
		relativ	%	-	30,2%	21,2%	70,0%	79,2%	54,9%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	10,7	7,6	8,5	3,6	4,7	1,1
	Einsparung	absolut	t/a	-	3	2	7	6	10
		relativ	%	-	29,4%	20,5%	66,7%	56,1%	89,5%
	2030		t/a	10,6	7,4	8,4	3,3	2,7	0,8
	Einsparung	absolut	t/a	-	3	2	7	8	10
		relativ	%	-	30,0%	21,5%	69,3%	74,6%	92,6%
	2050		t/a	10,5	7,2	8,2	2,9	0,2	0,4
	Einsparung	absolut	t/a	-	3,2	2,3	7,6	10,2	10,1
relativ		%	-	30,8%	21,8%	72,7%	97,9%	96,4%	

Energiekosten	2020		€/a	2.713	1.962	2.200	1.106	2.578	982
	Einsparung	absolut	€/a	-	750	513	1.606	135	1.731
		relativ	%	-	28%	19%	59%	5%	64%
	2030 unterer Pfad		€/a	5.346	3.783	4.258	1.817	2.583	1.488
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.563	1.088	3.530	2.764	3.858
		relativ	%	-	29%	20%	66%	52%	72%
	2030 oberer Pfad			5.854	4.135	4.655	1.954	2.583	1.488
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.720	1.200	3.901	3.272	4.366
		relativ	%	-	29%	20%	67%	56%	75%
	2050 unterer Pfad		€/a	6.238	4.406	4.960	2.083	2.759	1.620
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.832	1.278	4.155	3.479	4.617
		relativ	%	-	29%	20%	67%	56%	74%
	2050 oberer Pfad		€/a	7.274	5.122	5.770	2.362	2.759	1.620
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.152	1.505	4.913	4.516	5.654
relativ		%	-	30%	21%	68%	62%	78%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	1.000	15.805	25.805	22.215	32.305
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	38.262	5.206	48.087	48.158	48.158
	Fenster		€	-	25.533	0	63.911	61.923	61.923
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	1.000	7.300	17.300	13.710	24.800
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	12.174	5.206	21.999	22.070	22.070
	Fenster		€	-	5.428	0	17.102	17.102	17.102
Förderung			€		12.959	4.202	27.561	26.459	28.477
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	2.080	926	4.716	4.472	4.965
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	229	405	1.356	1.200	1.755
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	270	110	110	475	150	585
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	240	260	330	480	330	570
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	534	534	534	534	534	534
	Öltankversicherung		€/a	-	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	-	25	25	25	-	110
	Summe		€/a	1.044	929	999	1.514	1.014	1.799

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	69	33	69	785	66
		2030 unterer Pfad	a	-	33	15	31	38	30
		2030 oberer Pfad	a	-	30	14	28	32	26
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	8	16	18	196	21
		2030 unterer Pfad	a	-	4	8	8	10	9
		2030 oberer Pfad	a	-	3	7	7	8	8
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	3.757	4.971	4.125	7.336	8.063	7.746
		2030 unterer Pfad	€/a	6.391	6.793	6.183	8.047	8.068	8.253
		2030 oberer Pfad	€/a	6.899	7.144	6.579	8.184	8.068	8.253
		2050 unterer Pfad	€/a	7.282	7.415	6.884	8.313	8.245	8.385
		2050 oberer Pfad	€/a	8.319	8.132	7.695	8.592	8.245	8.385
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	3.757	3.120	3.604	3.976	4.792	4.536
		2030 unterer Pfad	€/a	6.391	4.941	5.662	4.687	4.797	5.042
		2030 oberer Pfad	€/a	6.899	5.292	6.059	4.824	4.797	5.042
		2050 unterer Pfad	€/a	7.282	5.563	6.364	4.953	4.973	5.174
		2050 oberer Pfad	€/a	8.319	6.280	7.174	5.232	4.973	5.174
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	1.215	368	3.580	4.307	3.989
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-6	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	386	167	501	716	416
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	402	-208	1.656	1.678	1.862
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-8	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	126	-93	225	212	190
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	245	-319	1.285	1.170	1.354
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-8	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	77	-143	175	148	138
Vollkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	245	-319	1.285	1.170	1.354
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-8	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	77	-143	175	148	138

CO₂-Vermeidungskosten energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-637	-152	219	1.035	779
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-6	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-202	-69	31	172	81
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.449	-728	-1.704	-1.594	-1.348
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-8	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-455	-326	-232	-201	-137
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.606	-839	-2.075	-2.102	-1.856
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-3	-2	-7	-8	-10
Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent		2030 oberer Pfad	€/t	-	-505	-375	-282	-266	-189

11.3 Doppelhaushälfte

DHH			Status quo	1	2	3	4	5	
			Gas-NT, Heizkörper (80/60°C), unregelte Pumpe	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE) + Dämmung Kellerdecke	Option A: 2. Teilmodernisierung: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle	Option B: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Holzpellet mit sol. TWE)	Option B: 2. Teilmodernisierung: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle	Option C: Teilmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Wärmepumpe) + mechanische Lüftung	
Wärmeerzeuger			Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	Pelletheizung	Pelletheizung	WP	
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	
	Pumpe		überdimensioniert / unregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher	
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-	
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	
Kühlung			-	-	-	-	-	-	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	1,42	1,42	0,20	1,42	0,15	0,24
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	1,42	1,42	0,20	1,42	0,15	0,24
	Fenster / Dachfenster		W/m²K	1,9 / 1,9	1,9 / 1,9	0,95 / 1,0	1,9 / 1,9	0,8 / 0,85	1,3/1,4
	Geneigtes Dach / Flachdach		W/m²K	0,82	0,82	0,14	0,82	0,11	0,20
	Oberste Geschossdecke		W/m²K	0,45	0,45	0,14	0,45	0,11	0,20
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	1,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,10	0,03	0,10	0,03	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	ohne	mit	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	40.606	23.992	11.963	27.707	13.925	5.589
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	16.614	28.643	12.899	26.681	35.017
		relativ	%	-	40,9%	70,5%	31,8%	65,7%	86,2%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	272,2	161,6	82,0	37,1	19,8	60,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,6	190,2	235,1	252,3	211,4
		relativ	%	-	40,6%	69,9%	86,4%	92,7%	77,7%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	269,7	159,3	79,2	35,3	18,3	33,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,5	190,5	234,5	251,4	236,0
		relativ	%	-	41,0%	70,6%	86,9%	93,2%	87,5%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	267,6	157,3	76,8	33,7	17,0	10,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,3	190,8	233,9	250,6	257,5
		relativ	%	-	41,2%	71,3%	87,4%	93,6%	96,2%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	273,7	163,0	83,7	203,5	103,1	77,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,7	190,0	70,2	170,6	196,0
		relativ	%	-	40,5%	69,4%	25,7%	62,3%	71,6%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	271,9	161,3	81,6	202,1	102,0	57,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,6	190,3	69,7	169,9	214,4
		relativ	%	-	40,7%	70,0%	25,7%	62,5%	78,9%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	270,4	159,8	79,9	201,0	101,0	40,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	110,5	190,5	69,3	169,3	229,8
		relativ	%	-	40,9%	70,4%	25,6%	62,6%	85,0%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	12,7	5,9	3,1	0,8	0,4	3,1
	Einsparung	absolut	t/a	-	7	10	12	12	10
		relativ	%	-	53,5%	76,0%	94,1%	96,5%	75,4%
	2030		t/a	12,6	5,8	2,9	0,7	0,4	1,8
	Einsparung	absolut	t/a	-	7	10	12	12	11
		relativ	%	-	53,9%	76,8%	94,7%	97,0%	85,8%
	2050		t/a	12,4	5,7	2,8	0,6	0,3	0,1
	Einsparung	absolut	t/a	-	6,8	9,7	11,9	12,2	12,3
relativ		%	-	54,5%	77,9%	95,5%	97,7%	98,8%	

Energiekosten	2020		€/a	2.430	1.530	845	1.008	541	1.713
	Einsparung	absolut	€/a	-	900	1.585	1.422	1.889	717
		relativ	%	-	37%	65%	59%	78%	29%
	2030 unterer Pfad		€/a	5.079	2.952	1.534	1.830	950	1.717
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.127	3.545	3.249	4.129	3.363
		relativ	%	-	42%	70%	64%	81%	66%
	2030 oberer Pfad			5.704	3.226	1.667	1.830	950	1.717
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.478	4.037	3.874	4.754	3.988
		relativ	%	-	43%	71%	68%	83%	70%
	2050 unterer Pfad		€/a	5.863	3.438	1.776	2.005	1.040	1.834
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.425	4.086	3.858	4.823	4.029
		relativ	%	-	41%	70%	66%	82%	69%
	2050 oberer Pfad		€/a	7.132	3.998	2.048	2.005	1.040	1.834
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.135	5.085	5.128	6.093	5.299
relativ		%	-	44%	71%	72%	85%	74%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	14.280	15.280	28.480	28.480	29.125
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	5.387	27.965	5.387	31.171	25.968
	Fenster		€	-	0	32.363	0	34.941	27.665
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	4.500	5.500	18.700	27.700	19.345
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	0	-
	Dämmung		€	-	5.387	16.433	5.387	19.639	12.129
	Fenster		€	-	0	8.464	0	11.311	3.766
Förderung			€		3.933	15.122	6.773	18.918	16.552
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	856	2.616	1.551	3.441	3.075
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	258	620	953	2.006	1.108
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	0	40	40	327	327	440
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	230	290	310	510	510	440
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	496	496	496	496	496	496
	Öltankversicherung		€/a	-	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	25	25	25	110	110	0
	Summe		€/a	751	851	871	1.443	1.443	1.376

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	17	38	19	40	92
		2030 unterer Pfad	a	-	7	17	8	18	20
		2030 oberer Pfad	a	-	6	15	7	16	17
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	7	10	12	21	30
		2030 unterer Pfad	a	-	3	4	5	10	6
		2030 oberer Pfad	a	-	2	4	4	8	5
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	3.181	3.237	4.332	4.002	5.425	6.165
		2030 unterer Pfad	€/a	5.830	4.659	5.021	4.824	5.835	6.168
		2030 oberer Pfad	€/a	6.455	4.934	5.154	4.824	5.835	6.168
		2050 unterer Pfad	€/a	6.614	5.145	5.264	4.999	5.924	6.285
		2050 oberer Pfad	€/a	7.883	5.705	5.535	4.999	5.924	6.285
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	3.181	2.639	2.336	3.404	3.990	4.198
		2030 unterer Pfad	€/a	5.830	4.061	3.025	4.226	4.399	4.201
		2030 oberer Pfad	€/a	6.455	4.336	3.158	4.226	4.399	4.201
		2050 unterer Pfad	€/a	6.614	4.547	3.268	4.401	4.489	4.318
		2050 oberer Pfad	€/a	7.883	5.107	3.539	4.401	4.489	4.318
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	56	1.151	821	2.244	2.984
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	8	119	69	183	311
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.171	-809	-1.006	4	338
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-11
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-172	-84	-84	0	31
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.522	-1.301	-1.631	-621	-287
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-11
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-224	-134	-137	-51	-27

CO₂-Vermeidungskosten energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-542	-845	223	808	1.016
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-80	-87	19	66	106
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.769	-2.805	-1.604	-1.431	-1.629
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-11
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-260	-290	-134	-117	-151
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.120	-3.297	-2.229	-2.056	-2.254
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-10	-12	-12	-11
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-312	-341	-187	-168	-209

11.4 Kleines Reihemittelhaus

RMH_klein			Status quo	1	2	3	4	5
			Öl-NT, Heizkörper (80/60°C), unregelmäßige Pumpe	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE) + Dämmung Kellerdecke	Option A: 2. Teilmodernisierung: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle	Option A: 3. Teilmodernisierung: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + mechanische Lüftung	Option B: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Holzpellet mit sol. TWE)	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Wärmepumpe)
Wärmeerzeuger			Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Pelletheizung	WP
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / unregelmäßig	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster	Fenster
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,98	0,98	0,20	0,20	0,20
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,98	0,98	0,20	0,20	0,20
	Fenster		W/m²K	1,9 / 1,9	1,9 / 1,9	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Dachfenster		W/m²K	0,45	0,45	0,14	0,14	0,14
	Dach		W/m²K	0,45	0,45	0,14	0,14	0,14
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	1,20	0,25	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,10	0,03	0,03	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	29.389	19.713	11.932	8.363	15.418	6.011
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	9.676	17.457	21.026	13.971	23.378
		relativ	%	-	32,9%	59,4%	71,5%	47,5%	79,5%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	169,3	114,0	70,1	52,3	20,1	56,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,3	99,2	117,0	149,2	113,2
		relativ	%	-	32,6%	58,6%	69,1%	88,1%	66,9%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	167,2	112,1	67,7	47,0	18,1	31,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,1	99,5	120,2	149,2	136,1
		relativ	%	-	33,0%	59,5%	71,9%	89,2%	81,4%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	165,5	110,4	65,7	42,3	16,2	9,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,0	99,8	123,1	149,2	156,1
		relativ	%	-	33,3%	60,3%	74,4%	90,2%	94,4%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	170,6	115,2	71,5	55,6	98,7	71,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,3	99,0	114,9	71,8	98,9
		relativ	%	-	32,4%	58,1%	67,4%	42,1%	58,0%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	169,0	113,8	69,8	51,7	97,2	53,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,2	99,3	117,4	71,9	116,1
		relativ	%	-	32,7%	58,7%	69,4%	42,5%	68,7%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	167,8	112,6	68,3	48,3	95,9	37,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	55,2	99,5	119,4	71,9	130,4
		relativ	%	-	32,9%	59,3%	71,2%	42,9%	77,7%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	9,2	4,9	3,0	2,4	0,6	3,4
	Einsparung	absolut	t/a	-	4	6	7	9	6
		relativ	%	-	47,2%	67,0%	73,8%	93,7%	63,5%
	2030		t/a	9,1	4,8	2,9	2,1	0,5	1,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	4	6	7	9	7
		relativ	%	-	47,6%	68,1%	76,8%	95,0%	78,8%
	2050		t/a	9,0	4,6	2,7	1,7	0,3	0,2
	Einsparung	absolut	t/a	-	4,3	6,2	7,2	8,7	8,8
relativ		%	-	48,4%	69,4%	80,7%	96,5%	98,3%	

Energiekosten	2020		€/a	1.792	1.276	844	810	642	1.843
	Einsparung	absolut	€/a	-	516	948	981	1.149	-51
		relativ	%	-	29%	53%	55%	64%	-3%
	2030 unterer Pfad		€/a	3.700	2.440	1.531	1.239	1.091	1.846
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.260	2.169	2.461	2.609	1.854
		relativ	%	-	34%	59%	67%	71%	50%
	2030 oberer Pfad			4.151	2.664	1.663	1.322	1.091	1.846
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.486	2.487	2.829	3.060	2.304
		relativ	%	-	36%	60%	68%	74%	56%
	2050 unterer Pfad		€/a	4.268	2.839	1.773	1.409	1.192	1.972
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.429	2.495	2.859	3.075	2.295
		relativ	%	-	33%	58%	67%	72%	54%
	2050 oberer Pfad		€/a	5.182	3.297	2.043	1.578	1.192	1.972
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.885	3.139	3.605	3.990	3.210
relativ		%	-	36%	61%	70%	77%	62%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	17.640	18.640	27.640	28.540	19.715
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	0	18.247	18.247	18.247	18.247
	Fenster		€	-	0	27.147	27.147	27.147	27.147
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	6.400	7.400	16.400	17.300	8.475
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	0	12.487	12.487	12.487	12.487
	Fenster		€	-	0	6.997	6.997	6.997	6.997
Förderung			€		3.528	12.807	14.607	14.787	13.022
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	863	2.335	2.775	2.819	2.387
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	176	607	1.047	1.091	659
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	205	150	150	450	319	150
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	300	340	360	490	430	300
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	579	579	579	579	579	579
	Öltankversicherung		€/a	50	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	25	110	-
	Summe		€/a	1.189	1.094	1.114	1.544	1.438	1.029

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	27	54	60	51	-1.017
		2030 unterer Pfad	a	-	11	24	24	23	28
		2030 oberer Pfad	a	-	9	21	21	19	23
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	6	15	22	19	-292
		2030 unterer Pfad	a	-	2	6	9	8	8
		2030 oberer Pfad	a	-	2	6	8	7	6
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	2.981	3.233	4.292	5.129	4.899	5.259
		2030 unterer Pfad	€/a	4.889	4.397	4.980	5.558	5.348	5.263
		2030 oberer Pfad	€/a	5.340	4.621	5.112	5.641	5.348	5.263
		2050 unterer Pfad	€/a	5.457	4.796	5.221	5.728	5.450	5.389
		2050 oberer Pfad	€/a	6.371	5.254	5.492	5.897	5.450	5.389
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	2.981	2.545	2.564	3.401	3.171	3.531
		2030 unterer Pfad	€/a	4.889	3.709	3.251	3.830	3.620	3.535
		2030 oberer Pfad	€/a	5.340	3.934	3.384	3.913	3.620	3.535
		2050 unterer Pfad	€/a	5.457	4.109	3.493	4.000	3.721	3.660
		2050 oberer Pfad	€/a	6.371	4.567	3.764	4.169	3.721	3.660
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	252	1.312	2.149	1.919	2.279
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-6
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	58	212	315	222	388
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-492	90	669	459	373
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-7
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-113	15	95	53	52
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-718	-228	301	8	-77
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-7
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-165	-37	43	1	-11

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-435	-416	421	191	550
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-6
CO₂-Vermeidungskosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-100	-67	62	22	94
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.180	-1.638	-1.059	-1.269	-1.355
energiebedingte Mehrkosten	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-7
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-271	-264	-151	-147	-188
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.406	-1.956	-1.427	-1.720	-1.805
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-6	-7	-9	-7
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-323	-315	-204	-199	-251

11.5 Großes Reihemittelhaus

RMH_groß			Status quo	1	2	3	4	5
			Öl-NT, Heizkörper (80/60°C), unregelmäßige Pumpe	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Holzpellet mit sol. TWE) & neue Fenster	Option A: 2. Teilmodernisierung: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle	Option B1: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE)	Option B2: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Gas-Brennwert mit sol. TWE) + mechanische Lüftung	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle + neue Heizung (Wärmepumpe)
Wärmeerzeuger			Öl-NT	Pelletheizung	Pelletheizung	Gas-BW	Gas-BW	WP
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / unregelmäßig	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher & sol. TWE	Speicher
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,80	0,80	0,20	0,20	0,20
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,80	0,80	0,20	0,20	0,20
	Fenster		W/m²K	2,7 / 2,7	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0	0,95 / 1,0
	Dachfenster		W/m²K	0,53	0,53	0,14	0,14	0,14
	Dach		W/m²K			0,14	0,14	0,14
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	0,66	0,66	0,25	0,25	0,25
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,05	0,03	0,03	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	mit	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	39.575	27.314	20.488	16.058	10.553	8.067
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	12.260	19.087	23.516	29.022	31.508
		relativ	%	-	31,0%	48,2%	59,4%	73,3%	79,6%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	191,7	26,0	22,5	79,4	55,5	63,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	165,7	169,2	112,3	136,2	128,0
		relativ	%	-	86,4%	88,2%	58,6%	71,0%	66,8%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	190,7	25,0	20,3	77,2	50,2	35,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	165,7	170,5	113,6	140,5	155,4
		relativ	%	-	86,9%	89,4%	59,5%	73,7%	81,5%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	189,9	24,1	18,3	75,2	45,6	10,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	165,8	171,6	114,7	144,3	179,3
		relativ	%	-	87,3%	90,4%	60,4%	76,0%	94,4%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	192,3	145,1	110,9	80,8	58,8	81,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	47,2	81,4	111,5	133,5	111,0
		relativ	%	-	24,5%	42,3%	58,0%	69,4%	57,7%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	191,6	144,3	109,2	79,1	54,9	60,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	47,2	82,4	112,4	136,7	131,5
		relativ	%	-	24,7%	43,0%	58,7%	71,4%	68,6%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	191,0	143,7	107,8	77,7	51,6	42,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	47,3	83,2	113,2	139,4	148,5
		relativ	%	-	24,8%	43,6%	59,3%	73,0%	77,8%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	12,3	0,7	0,8	4,1	3,0	4,5
	Einsparung	absolut	t/a	-	12	12	8	9	8
		relativ	%	-	94,3%	93,8%	67,1%	75,6%	63,4%
	2030		t/a	12,3	0,6	0,6	3,9	2,7	2,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	12	12	8	10	10
		relativ	%	-	94,9%	95,1%	68,2%	78,4%	78,9%
	2050		t/a	12,2	0,5	0,4	3,7	2,2	0,2
	Einsparung	absolut	t/a	-	11,6	11,8	8,5	10,0	12,0
relativ		%	-	95,5%	96,6%	69,5%	81,9%	98,3%	

Energiekosten	2020		€/a	2.316	976	849	1.106	996	2.473
	Einsparung	absolut	€/a	-	1.340	1.467	1.211	1.320	-157
		relativ	%	-	58%	63%	52%	57%	-7%
	2030 unterer Pfad		€/a	4.912	1.788	1.446	2.038	1.543	2.478
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.123	3.465	2.874	3.368	2.434
		relativ	%	-	64%	71%	59%	69%	50%
	2030 oberer Pfad			5.524	1.788	1.446	2.217	1.649	2.478
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.736	4.078	3.307	3.875	3.047
		relativ	%	-	68%	74%	60%	70%	55%
	2050 unterer Pfad		€/a	5.675	1.959	1.581	2.363	1.758	2.647
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.716	4.094	3.312	3.917	3.028
		relativ	%	-	65%	72%	58%	69%	53%
	2050 oberer Pfad		€/a	6.919	1.959	1.581	2.730	1.973	2.647
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.959	5.338	4.189	4.946	4.272
relativ		%	-	72%	77%	61%	71%	62%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	29.070	29.070	17.770	26.770	19.640
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	1.000	16.094	16.094	16.094	16.094
	Fenster		€	-	10.072	22.512	22.512	22.512	22.512
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	20.000	20.000	8.700	17.700	10.570
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	1.000	9.335	9.335	9.335	9.335
	Fenster		€	-	0	5.998	5.998	5.998	5.998
Förderung			€		8.028	13.535	11.275	13.075	11.649
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	1.811	2.617	2.064	2.504	2.155
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	897	1.147	594	1.034	686
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	270	289	289	150	460	150
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	250	530	530	360	490	290
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	684	684	684	684	684	684
	Öltankversicherung		€/a	-	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	-	110	110	25	25	-
	Summe		€/a	1.204	1.613	1.613	1.219	1.659	1.124

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	24	37	37	40	-297
		2030 unterer Pfad	a	-	10	16	16	16	19
		2030 oberer Pfad	a	-	9	13	14	13	15
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	11	15	11	15	-91
		2030 unterer Pfad	a	-	5	6	4	6	6
		2030 oberer Pfad	a	-	4	5	4	5	5
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	3.520	4.400	5.079	4.389	5.159	5.752
		2030 unterer Pfad	€/a	6.116	5.213	5.676	5.321	5.707	5.757
		2030 oberer Pfad	€/a	6.728	5.213	5.676	5.500	5.812	5.757
		2050 unterer Pfad	€/a	6.879	5.384	5.811	5.646	5.921	5.926
		2050 oberer Pfad	€/a	8.123	5.384	5.811	6.013	6.136	5.926
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	3.520	3.486	3.610	2.919	3.690	4.283
		2030 unterer Pfad	€/a	6.116	4.298	4.207	3.851	4.237	4.288
		2030 oberer Pfad	€/a	6.728	4.298	4.207	4.031	4.343	4.288
		2050 unterer Pfad	€/a	6.879	4.469	4.341	4.177	4.452	4.457
		2050 oberer Pfad	€/a	8.123	4.469	4.341	4.543	4.667	4.457
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	880	1.559	868	1.639	2.232
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-9	-8
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	76	135	105	176	285
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-903	-440	-795	-409	-359
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-10	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-78	-38	-95	-43	-37
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.516	-1.052	-1.228	-916	-971
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-10	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-130	-90	-147	-95	-100

CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-35	89	-601	169	762
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-9	-8
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-3	8	-73	18	97
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.817	-1.909	-2.265	-1.879	-1.828
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-10	-10
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-156	-164	-271	-195	-189
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.430	-2.522	-2.698	-2.386	-2.441
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-12	-12	-8	-10	-10
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-209	-216	-322	-248	-252

11.6 Mehrfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten

MFH_6_WE			Status quo	1	2	3	4	5	
			Öl-NT, Heizkörper (80/60°C), unregelmäßige Pumpe	Option A1: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach GEG + neue Heizung (Gas-BW mit sol. TWE)	Option A2: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach Effizienzhausstandard + neue Heizung (Gas-BW mit sol. TWE) + mechanische Lüftung	Option B1: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach GEG + neue Heizung (Wärmepumpe) + mechanische Lüftung	Option B2: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach Effizienzhausstandard + neue Heizung (Wärmepumpe) + mechanische Lüftung	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach Hocheffizienzhausstandard + neue Heizung (Fernwärme) + mechanische Lüftung	
Wärmeerzeuger			Öl-NT	Gas-BW	Gas-BW	WP	WP	Nah-/Fernwärme	
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C	Heizkörper 50/40°C	Heizkörper 55/45°C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	
	Pumpe		überdimensioniert / unregelmäßig	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher	Speicher & sol. TWE	Speicher	Speicher	Speicher	
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-	
Belüftung			Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	zentrale LA mit 80% WRG	zentrale LA mit 80% WRG	zentrale LA mit 80% WRG	
Kühlung			-	-	-	-	-	-	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,98	0,28	0,20	0,28	0,20	0,15
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,98	0,28	0,20	0,28	0,20	0,15
	Fenster		W/m²K	1,9 / -	1,30 / -	0,95 / -	1,30 / -	0,95 / -	0,80
	Dachfenster		W/m²K	0,60	0,20	0,14	0,20	0,14	0,11
	Dach		W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	0,95	0,35	0,25	0,35	0,25	0,20
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	mit	mit	mit	mit	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	87.198	36.755	14.430	12.172	10.016	20.539
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	50.443	72.768	75.026	77.181	66.659
		relativ	%	-	57,8%	83,5%	86,0%	88,5%	76,4%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	203,4	86,0	37,7	46,3	38,1	31,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	117,4	165,6	157,1	165,3	171,7
		relativ	%	-	57,7%	81,4%	77,3%	81,3%	84,4%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	202,4	85,3	32,9	25,7	21,1	24,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	117,1	169,5	176,7	181,3	178,4
		relativ	%	-	57,9%	83,7%	87,3%	89,6%	88,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	201,6	84,6	28,7	7,7	6,3	9,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	116,9	172,9	193,8	195,2	192,4
		relativ	%	-	58,0%	85,8%	96,2%	96,9%	95,5%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	204,0	86,5	40,8	59,1	48,6	37,9
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	117,5	163,2	144,9	155,3	166,1
		relativ	%	-	57,6%	80,0%	71,0%	76,2%	81,4%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	203,3	85,9	37,1	43,7	36,0	35,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	117,3	166,1	159,6	167,3	168,2
		relativ	%	-	57,7%	81,7%	78,5%	82,3%	82,7%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	202,7	85,5	34,1	30,8	25,4	28,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	117,2	168,5	171,8	177,3	173,8
		relativ	%	-	57,8%	83,2%	84,8%	87,5%	85,8%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	27,2	9,0	4,4	6,8	5,6	4,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	18	23	20	22	22
		relativ	%	-	67,0%	83,9%	74,9%	79,4%	81,9%
	2030		t/a	27,0	8,9	3,7	3,9	3,2	3,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	18	23	23	24	23
		relativ	%	-	67,1%	86,3%	85,5%	88,1%	86,7%
	2050		t/a	26,9	8,7	2,9	0,3	0,3	0,8
	Einsparung	absolut	t/a	-	18,1	24,0	26,6	26,6	26,1
relativ		%	-	67,5%	89,4%	98,8%	99,0%	97,2%	

Energiekosten	2020		€/a	5.094	2.274	1.558	3.731	3.070	2.318
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.819	3.536	1.363	2.023	2.776
		relativ	%	-	55%	69%	27%	40%	54%
	2030 unterer Pfad		€/a	10.815	4.470	2.259	3.739	3.076	2.884
	Einsparung	absolut	€/a	-	6.345	8.556	7.077	7.739	7.932
		relativ	%	-	59%	79%	65%	72%	73%
	2030 oberer Pfad			12.165	4.893	2.394	3.739	3.076	2.884
	Einsparung	absolut	€/a	-	7.272	9.771	8.427	9.089	9.282
		relativ	%	-	60%	80%	69%	75%	76%
	2050 unterer Pfad		€/a	12.497	5.214	2.553	3.993	3.286	3.377
	Einsparung	absolut	€/a	-	7.283	9.944	8.504	9.211	9.120
		relativ	%	-	58%	80%	68%	74%	73%
	2050 oberer Pfad		€/a	15.239	6.078	2.829	3.993	3.286	3.377
	Einsparung	absolut	€/a	-	9.161	12.410	11.245	11.953	11.862
relativ		%	-	60%	81%	74%	78%	78%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	27.540	81.810	94.570	91.970	66.500
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	41.970	48.520	41.970	48.520	54.890
	Fenster		€	-	99.130	117.520	99.130	117.520	127.840
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	6.700	61.272	74.032	71.432	45.962
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	21.400	27.950	21.400	27.950	34.320
	Fenster		€	-	8.140	26.530	8.140	26.530	36.850
Förderung		€			33.728	49.570	47.134	51.602	49.846
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	5.785	9.253	9.064	9.751	9.033
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	472	3.530	3.770	4.027	3.310
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	185	175	815	790	740	725
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	470	610	1.430	1.420	1.380	1.200
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	1.421	1.421	1.421	1.421	1.421	1.421
	Öltankversicherung		€/a	50	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	-	-	-
	Summe		€/a	2.181	2.231	3.691	3.631	3.541	3.346

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	48	56	138	102	72
		2030 unterer Pfad	a	-	21	23	27	27	25
		2030 oberer Pfad	a	-	19	20	22	23	21
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	4	19	48	37	24
		2030 unterer Pfad	a	-	2	8	9	10	8
		2030 oberer Pfad	a	-	2	7	8	8	7
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	7.275	10.290	14.502	16.427	16.362	14.697
		2030 unterer Pfad	€/a	12.996	12.486	15.203	16.434	16.368	15.262
		2030 oberer Pfad	€/a	14.346	12.909	15.338	16.434	16.368	15.262
		2050 unterer Pfad	€/a	14.678	13.230	15.497	16.689	16.578	15.756
		2050 oberer Pfad	€/a	17.420	14.094	15.773	16.689	16.578	15.756
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	7.275	4.978	8.779	11.132	10.639	8.974
		2030 unterer Pfad	€/a	12.996	7.173	9.480	11.140	10.645	9.539
		2030 oberer Pfad	€/a	14.346	7.597	9.615	11.140	10.645	9.539
		2050 unterer Pfad	€/a	14.678	7.917	9.774	11.395	10.854	10.033
		2050 oberer Pfad	€/a	17.420	8.781	10.050	11.395	10.854	10.033
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	3.016	7.228	9.152	9.087	7.422
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-20	-22	-22
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	166	317	450	421	333
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-510	2.208	3.438	3.372	2.266
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-23	-24	-23
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-28	95	149	142	97
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.437	992	2.088	2.022	916
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-23	-24	-23
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-79	43	90	85	39
Vollkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.437	992	2.088	2.022	916
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-23	-24	-23
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-79	43	90	85	39

CO₂-Vermeidungskosten energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.297	1.504	3.858	3.364	1.699
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-20	-22	-22
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-126	66	189	156	76
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-5.823	-3.516	-1.856	-2.351	-3.457
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-23	-24	-23
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-320	-151	-80	-99	-147
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-6.749	-4.731	-3.206	-3.702	-4.807
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-23	-23	-24	-23
Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent		2030 oberer Pfad	€/t	-	-371	-203	-139	-155	-205

11.7 Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten

MFH_8_WE			Status quo	1	2	3	4	5	
			Status quo Gas-NT	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Gas-BW) + Dämmung Kellerdecke	Option A: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (Effizienzstandard)	Option B: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (GEG) + neue Heizung (Wärmepumpe) + mechanische Lüftung	Option C: 1. Teilmodernisierung: neue Heizung (Fernwärme) + Dämmung Kellerdecke	Option C: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (Effizienzstandard) + mechanische Lüftung	
Wärmeerzeuger			Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	WP	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 50/40°C	Heizkörper 50/40°C	Heizkörper 50/40°C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	
			-	-	-	-	-	-	
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-	
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	
Kühlung			-	-	-	-	-	-	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	1,50	1,50	0,20	0,28	1,50	0,20
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	1,50	1,50	0,20	0,28	1,50	0,20
	Fenster		W/m²K	1,9 / 1,9	1,9 / 1,9	0,95 / 1,0	1,30 / 1,4	1,9 / 1,9	0,95 / -
	Dachfenster		W/m²K	0,65	0,65	0,14	0,20	0,65	0,14
	Dach		W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	1,19	0,25	0,25	0,35	0,25	0,25
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,10	0,03	0,05	0,10	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	mit	mit	mit	mit	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	122.120	86.841	34.199	16.407	90.104	24.014
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	35.279	87.921	105.713	32.016	98.106
		relativ	%	-	28,9%	72,0%	86,6%	26,2%	80,3%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	283,8	202,5	80,3	62,2	115,0	36,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,3	203,5	221,6	168,8	247,5
		relativ	%	-	28,6%	71,7%	78,1%	59,5%	87,2%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	282,7	201,0	79,1	34,5	95,3	27,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,8	203,7	248,2	187,4	255,0
		relativ	%	-	28,9%	72,0%	87,8%	66,3%	90,2%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	281,8	199,6	77,9	10,4	38,0	10,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	82,2	203,9	271,4	243,8	271,2
		relativ	%	-	29,2%	72,3%	96,3%	86,5%	96,2%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	284,4	203,5	81,1	79,5	134,3	43,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,0	203,3	205,0	150,1	241,1
		relativ	%	-	28,5%	71,5%	72,1%	52,8%	84,8%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	283,7	202,3	80,2	58,7	133,8	40,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,3	203,5	224,9	149,9	243,3
		relativ	%	-	28,7%	71,7%	79,3%	52,8%	85,8%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	283,0	201,3	79,4	41,5	114,4	33,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	81,7	203,6	241,5	168,6	249,7
		relativ	%	-	28,9%	72,0%	85,4%	59,6%	88,2%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	29,5	21,1	8,4	9,2	18,2	5,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	8	21	20	11	24
		relativ	%	-	28,4%	71,4%	68,9%	38,4%	80,9%
	2030		t/a	29,4	20,9	8,3	5,3	14,2	4,2
	Einsparung	absolut	t/a	-	8	21	24	15	25
		relativ	%	-	28,8%	72,0%	82,1%	51,6%	85,8%
	2050		t/a	29,2	20,6	8,0	0,4	3,4	0,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	8,5	21,1	28,7	25,8	28,3
relativ		%	-	29,2%	72,4%	98,5%	88,3%	97,0%	

Energiekosten	2020		€/a	7.348	5.344	2.201	5.029	8.140	2.653
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.004	5.147	2.319	-792	4.695
		relativ	%	-	27%	70%	32%	-11%	64%
	2030 unterer Pfad		€/a	14.693	10.538	4.224	5.039	10.903	3.322
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.155	10.470	9.654	3.790	11.371
		relativ	%	-	28%	71%	66%	26%	77%
	2030 oberer Pfad			16.110	11.540	4.614	5.039	10.903	3.322
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.570	11.496	11.071	5.207	12.788
		relativ	%	-	28%	71%	69%	32%	79%
	2050 unterer Pfad		€/a	17.164	12.296	4.916	5.383	13.100	3.900
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.868	12.248	11.781	4.064	13.264
		relativ	%	-	28%	71%	69%	24%	77%
	2050 oberer Pfad		€/a	20.056	14.341	5.712	5.383	13.100	3.900
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.715	14.344	14.673	6.956	16.156
relativ		%	-	28%	72%	73%	35%	81%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	27.330	27.330	107.934	26.654	82.654
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	9.500	84.130	72.540	9.500	84.130
	Fenster		€	-	0	107.360	86.900	0	107.360
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	8.200	17.140	88.804	7.524	63.524
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	9.500	38.630	27.040	9.500	38.630
	Fenster		€	-	0	27.840	12.080	0	27.840
Förderung			€		7.366	43.764	53.475	7.231	54.829
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	1.615	7.294	10.225	1.582	10.001
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	445	1.749	4.693	412	3.909
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	170	175	175	990	125	925
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	430	630	630	1.620	620	1.460
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425	1.425
	Öltankversicherung		€/a	50	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	-	-	-
	Summe		€/a	2.130	2.255	2.255	4.035	2.170	3.810

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	15	34	92	-37	47
		2030 unterer Pfad	a	-	7	17	22	8	19
		2030 oberer Pfad	a	-	6	15	19	6	17
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	5	8	36	-12	16
		2030 unterer Pfad	a	-	2	4	9	3	7
		2030 oberer Pfad	a	-	2	3	8	2	6
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	9.478	9.213	11.751	19.289	11.892	16.464
		2030 unterer Pfad	€/a	16.823	14.408	13.773	19.299	14.655	17.133
		2030 oberer Pfad	€/a	18.240	15.410	14.163	19.299	14.655	17.133
		2050 unterer Pfad	€/a	19.294	16.165	14.465	19.642	16.851	17.711
		2050 oberer Pfad	€/a	22.185	18.210	15.261	19.642	16.851	17.711
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	9.478	8.044	6.206	13.757	10.722	10.372
		2030 unterer Pfad	€/a	16.823	13.238	8.228	13.767	13.485	11.041
		2030 oberer Pfad	€/a	18.240	14.240	8.618	13.767	13.485	11.041
		2050 unterer Pfad	€/a	19.294	14.995	8.920	14.110	15.682	11.619
		2050 oberer Pfad	€/a	22.185	17.040	9.716	14.110	15.682	11.619
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-264	2.273	9.811	2.414	6.986
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-20	-11	-24
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-32	108	483	213	293
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.415	-3.050	2.476	-2.168	310
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-24	-15	-25
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-286	-145	103	-143	12
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.830	-4.077	1.059	-3.585	-1.107
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-24	-15	-25
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-335	-193	44	-237	-44

CO₂-Vermeidungskosten energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.434	-3.272	4.279	1.244	894
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-20	-11	-24
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-171	-155	211	110	37
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.585	-8.595	-3.056	-3.338	-5.782
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-24	-15	-25
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-425	-408	-127	-220	-229
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.000	-9.622	-4.473	-4.755	-7.199
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-21	-24	-15	-25
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-474	-456	-186	-314	-286

11.8 Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten

MFH_22_WE			Status quo:	1	2	3	4	5	
			Status quo Fernwärme	Option A: 1. Teilmodernisierung: neue Übergabestation + Dämmung Kellerdecke + Dämmung Flachdach	Option A1: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (Effizienzstandard)	Option A2: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (Effizienzstandard) + mechanische Lüftung	Status quo NT-Gas	Option B: Komplettmodernisierung der Gebäudehülle (Effizienzstandard) + neue Heizung (Fernwärme) + mechanische Lüftung	
Wärmeerzeuger			Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	NT-Gas	Nah-/Fernwärme	
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	ohne	vorhanden	
	Pumpe		überdimensioniert / ungerregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	überdimensioniert / ungerregelt	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	vor 1995	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	
			-	-	-	-	-	-	
Beleuchtung			-	-	-	-	-	-	
Belüftung			Fenster	Fenster	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	Fenster	zentrale LA mit 80% WRG	
Kühlung			-	-	-	-	-	-	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,85	0,85	0,20	0,20	0,85	0,20
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,85	0,85	0,20	0,20	0,85	0,20
	Fenster		W/m²K	1,90	1,90	0,95 / -	0,95 / -	1,90	0,95 / -
	Dachfenster		W/m²K	-	0,14	0,14	0,14	-	0,14
	Dach		W/m²K	0,40	-	-	-	0,40	-
	Kellerboden / Kellerdecke		W/m²K	0,60	0,25	0,25	0,25	0,60	0,25
	Wärmebrückenzuschlag		W/m²K	0,10	0,10	0,03	0,03	0,10	0,03
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	ohne	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	233.752	199.752	98.045	46.770	243.000	46.770
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	34.001	135.707	186.982	-	196.229
		relativ	%	-	14,5%	58,1%	80,0%	-	80,8%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	92,4	78,7	38,9	18,9	174,7	18,9
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	13,7	53,5	73,5	0,0	155,8
		relativ	%	-	14,9%	57,9%	79,5%	0,0%	89,2%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	76,7	65,4	32,2	15,5	174,7	15,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	11,3	44,5	61,2	0,0	159,2
		relativ	%	-	14,7%	58,0%	79,8%	0,0%	91,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	30,6	26,1	12,9	6,2	174,7	6,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	4,5	17,8	24,5	0,0	168,6
		relativ	%	97,2%	84,4%	31,1%	31,1%	97,2%	31,1%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	107,9	91,9	45,5	22,2	174,7	22,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	16,1	62,4	85,8	0,0	152,5
		relativ	%	-	14,9%	57,8%	79,5%	0,0%	87,3%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	107,6	91,7	45,3	21,9	174,7	21,9
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	15,9	62,3	85,7	0,0	152,8
		relativ	%	-	14,8%	57,9%	79,7%	0,0%	87,5%
	PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	92,0	78,5	38,7	18,6	174,7	18,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	13,5	53,4	73,4	0,0	156,1
		relativ	%	-	14,7%	58,0%	79,8%	0,0%	89,3%
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	47,1	40,1	19,8	9,6	58,3	9,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	7	27	37	0	49
		relativ	%	-	14,8%	57,9%	79,6%	0,0%	83,5%
	2030		t/a	36,9	31,4	15,5	7,5	58,3	7,5
	Einsparung	absolut	t/a	-	5	21	29	0	51
		relativ	%	-	14,7%	58,0%	79,7%	0,0%	87,2%
	2050		t/a	8,9	7,6	3,7	1,8	58,3	1,8
	Einsparung	absolut	t/a	-	1,3	5,2	7,1	0,0	56,6
relativ		%	-	14,5%	58,1%	80,1%	0,0%	97,0%	

Energiekosten	2020		€/a	21.068	17.925	8.885	4.335	14.314	4.335
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.142	12.183	16.733	0	9.979
		relativ	%	-	15%	58%	79%	0%	70%
	2030 unterer Pfad		€/a	28.244	24.068	11.888	5.754	29.004	5.754
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.175	16.356	22.490	0	23.250
		relativ	%	-	15%	58%	80%	0%	80%
	2030 oberer Pfad			28.244	24.068	11.888	5.754	31.838	5.754
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.175	16.356	22.490	0	26.084
		relativ	%	-	15%	58%	80%	0%	82%
	2050 unterer Pfad		€/a	33.943	28.940	14.277	6.892	33.920	6.892
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.003	19.665	27.051	0	27.027
		relativ	%	-	15%	58%	80%	0%	80%
	2050 oberer Pfad		€/a	33.943	28.940	14.277	6.892	39.703	6.892
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.003	19.665	27.051	0	32.811
relativ		%	-	15%	58%	80%	0%	83%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	33.340	38.840	192.840	0	196.240
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	22.710	216.170	216.170	0	216.170
	Fenster		€	-	90.140	127.100	127.100	0	127.100
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	0	5.500	159.500	0	153.450
	Beleuchtung		€	-	-	-	-	-	-
	Dämmung		€	-	22.710	95.190	95.190	0	95.190
	Fenster		€	-	0	58.590	58.590	0	58.590
Förderung			€		29.238	76.422	107.222	0	107.902
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	4.931	12.178	19.713	0	19.879
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	5	3.351	10.747	0	10.335
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	160	160	160	990	170	990
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	1.050	1.160	1.240	3.550	1.050	3.600
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	4.590	4.590	4.590	4.590	4.590	4.590
	Öltankversicherung		€/a	-	-	-	-	-	-
	Schornsteinfegerkosten		€/a	-	-	-	-	55	-
	Summe		€/a	5.800	5.910	5.990	9.130	5.865	9.180

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	37	25	26	-	43
		2030 unterer Pfad	a	-	28	19	19	-	19
		2030 oberer Pfad	a	-	28	19	19	-	17
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	0	7	12	-	20
		2030 unterer Pfad	a	-	0	5	9	-	9
		2030 oberer Pfad	a	-	0	5	9	-	8
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	26.868	28.767	27.053	33.177	20.179	33.394
		2030 unterer Pfad	€/a	34.043	34.910	30.056	34.596	34.868	34.813
		2030 oberer Pfad	€/a	34.043	34.910	30.056	34.596	37.702	34.813
		2050 unterer Pfad	€/a	39.743	39.781	32.446	35.735	39.784	35.951
		2050 oberer Pfad	€/a	39.743	39.781	32.446	35.735	45.568	35.951
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	26.868	23.840	18.225	24.211	20.179	23.850
		2030 unterer Pfad	€/a	34.043	29.983	21.229	25.630	34.868	25.269
		2030 oberer Pfad	€/a	34.043	29.983	21.229	25.630	37.702	25.269
		2050 unterer Pfad	€/a	39.743	34.855	23.618	26.769	39.784	26.407
		2050 oberer Pfad	€/a	39.743	34.855	23.618	26.769	45.568	26.407
CO₂-Vermeidungskosten Vollkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	1.899	185	6.310	-	13.215
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-27	-37	-	-49
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	272	7	168	-	271
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	866	-3.988	553	-	-56
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-21	-29	-	-51
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	160	-187	19	-	-1
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	866	-3.988	553	-	-2.890
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-21	-29	-	-51
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	160	-187	19	-	-57

CO₂-Vermeidungskosten energiebedingte Mehrkosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.027	-8.642	-2.656	-	3.671
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-7	-27	-37	-	-49
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-434	-317	-71	-	75
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.060	-12.815	-8.413	-	-9.600
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-21	-29	-	-51
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-749	-600	-286	-	-189
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.060	-12.815	-8.413	-	-12.433
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-21	-29	-	-51
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-749	-600	-286	-	-244

12 Anlage 2: Berechnungsergebnisse Nichtwohngebäude

12.1 Schule

Schule			Status quo	1	2	3	4	5
			Fernwärme, alte Übergabestation, baulicher Wärmeschutz etwa WSchV84	Übergabestation + Heizkörperaustausch + geringinvestive Maßnahmen + LED-Beleuchtung	raumweise RLT + Fenstertausch	geringinvestive Maßnahmen + raumweise RLT + Fenstertausch	Übergabestation + Heizkörperaustausch + geringinvestive Maßnahmen + LED-Beleuchtung + raumweise RLT + Fenstertausch	Komplettmodernisierung: Anlagentechnik + Bauhülle
Wärmeerzeuger			Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme
Wärmeübergabe			Radiatoren 80/60°C	Radiatoren 55/45°C	Radiatoren 80/60°C	Radiatoren 70/55°C	Radiatoren 55/45°C	Radiatoren 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE	Speicher / E-DLE
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			-	-	raumweise Zu-Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-Abluftanlage mit WRG	raumweise Zu-Abluftanlage mit WRG
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16
	Außenwand Keller/Sockel	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Dach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,12
	Kellerboden / Kellerdecke	W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Wärmebrückenzuschlag	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	830.481	731.912	602.194	568.147	533.003	343.493
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	98.569	228.287	262.334	297.478	486.988
		relativ	%	-	11,9%	27,5%	31,6%	35,8%	58,6%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	160,9	140,1	126,2	119,7	110,5	78,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	20,8	34,7	41,2	50,4	82,1
		relativ	%	-	12,9%	21,5%	25,6%	31,3%	51,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	124,7	109,2	94,4	89,3	83,0	56,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	15,5	30,3	35,4	41,7	68,0
		relativ	%	-	12,4%	24,3%	28,4%	33,4%	54,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	48,0	42,2	35,6	33,6	31,4	20,9
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	5,8	12,4	14,4	16,6	27,1
		relativ	%	-	12,2%	25,8%	29,9%	34,6%	56,5%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	191,4	166,5	151,5	143,8	132,5	95,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	25,0	39,9	47,7	59,0	96,0
		relativ	%	-	13,0%	20,8%	24,9%	30,8%	50,1%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	180,2	157,4	138,6	131,3	121,7	84,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	22,8	41,6	48,9	58,5	95,5
		relativ	%	-	12,6%	23,1%	27,1%	32,5%	53,0%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	149,6	131,0	113,3	107,2	99,6	68,0	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	18,6	36,4	42,5	50,0	81,6	
	relativ	%	-	12,4%	24,3%	28,4%	33,4%	54,6%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	190,3	165,9	148,3	140,6	129,9	91,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	24	42	50	60	98
		relativ	%	-	12,8%	22,1%	26,1%	31,7%	51,7%
	2030		t/a	141,4	123,8	107,3	101,5	94,3	64,5
	Einsparung	absolut	t/a	-	4	34	40	47	77
		relativ	%	-	2,5%	24,2%	28,2%	33,3%	54,4%
	2050		t/a	30,8	27,2	22,0	20,7	19,5	12,3
Einsparung	absolut	t/a	-	3,6	8,8	10,1	11,3	18,5	
	relativ	%	-	11,7%	28,6%	32,7%	36,7%	60,1%	

Energiekosten	2020		€/a	84.651	74.443	67.681	64.259	59.346	43.267
	Einsparung	absolut	€/a	-	10.208	16.969	20.392	25.305	41.384
		relativ	%	-	12%	20%	24%	30%	49%
	2030 unterer Pfad		€/a	107.167	94.432	83.390	79.027	73.359	51.763
	Einsparung	absolut	€/a	-	12.736	23.777	28.140	33.808	55.404
		relativ	%	-	12%	22%	26%	32%	52%
	2030 oberer Pfad			107.167	94.432	83.390	79.027	73.359	51.763
	Einsparung	absolut	€/a	-	12.736	23.777	28.140	33.808	55.404
		relativ	%	-	12%	22%	26%	32%	52%
	2050 unterer Pfad		€/a	126.368	111.365	97.410	92.250	85.778	59.808
	Einsparung	absolut	€/a	-	15.003	28.957	34.118	40.589	66.560
		relativ	%	-	12%	23%	27%	32%	53%
	2050 oberer Pfad		€/a	126.368	111.365	97.410	92.250	85.778	59.808
	Einsparung	absolut	€/a	-	15.003	28.957	34.118	40.589	66.560
relativ		%	-	12%	23%	27%	32%	53%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	402.400	294.100	338.300	634.700	562.400
	Beleuchtung		€	-	137.300	0	0	137.300	137.300
	Dämmung		€	-	0	0	0	0	1.019.200
	Fenster		€	-	0	1.198.000	1.198.000	1.198.000	1.198.000
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	127.000	1.100	23.700	105.400	79.000
	Beleuchtung		€	-	27.500	0	0	27.500	27.500
	Dämmung		€	-	0	0	0	0	391.200
	Fenster		€	-	0	342.300	342.300	342.300	342.300
Förderung			€		107.940	298.420	307.260	394.000	583.380
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	26.405	57.181	59.344	80.563	106.832
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	2.847	4.586	4.586	4.588	11.437
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	270	270	5.550	5.550	5.550	5.510
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	8.220	8.100	12.630	12.510	11.580	10.500
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	10.800	10.800	10.800	10.800	10.800	10.800
	Schornsteinfegerkosten		€/a	-	-	-	-	-	-
	Summe		€/a	19.290	19.170	28.980	28.860	27.930	26.810

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	42	70	60	62	56	
		2030 unterer Pfad	a	-	34	50	44	47	42	
		2030 oberer Pfad	a	-	34	50	44	47	42	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	5	6	5	4	7	
		2030 unterer Pfad	a	-	4	4	4	3	5	
		2030 oberer Pfad	a	-	4	4	4	3	5	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	103.941	120.018	153.843	152.462	167.839	176.908	
		2030 unterer Pfad	€/a	126.457	140.007	169.552	167.231	181.852	185.405	
		2030 oberer Pfad	€/a	126.457	140.007	169.552	167.231	181.852	185.405	
		2050 unterer Pfad	€/a	145.658	156.940	183.572	180.454	194.271	193.450	
		2050 oberer Pfad	€/a	145.658	156.940	183.572	180.454	194.271	193.450	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	103.941	96.460	101.247	97.704	91.864	81.514	
		2030 unterer Pfad	€/a	126.457	116.449	116.956	112.473	105.877	90.010	
		2030 oberer Pfad	€/a	126.457	116.449	116.956	112.473	105.877	90.010	
		2050 unterer Pfad	€/a	145.658	133.383	130.976	125.696	118.296	98.055	
		2050 oberer Pfad	€/a	145.658	133.383	130.976	125.696	118.296	98.055	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	16.077	49.902	48.522	63.898	72.968	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-24	-42	-50	-60	-98	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	659	1.188	975	1.058	741	
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	13.549	43.094	40.774	55.395	58.948	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-34	-40	-47	-77	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	769	1.261	1.021	1.176	766
		Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	13.549	43.094	40.774	55.395	58.948
		Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-34	-40	-47	-77
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	769	1.261	1.021	1.176	766	

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-7.481	-2.694	-6.237	-12.077	-22.427
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-24	-42	-50	-60	-98
CO₂-Vermeidungskosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-307	-64	-125	-200	-228
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-10.008	-9.501	-13.984	-20.580	-36.447
energiebedingte Mehrkosten	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-34	-40	-47	-77
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-568	-278	-350	-437	-474
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-10.008	-9.501	-13.984	-20.580	-36.447
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-34	-40	-47	-77
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-568	-278	-350	-437	-474

12.2 Einfeld-Sporthalle

Sporthalle			Status quo	1	2	3	4	5
			Fernwärme, alte Übergabestation, baulicher Wärmeschutz etwa WSchV84	Übergabestation + geringinvestive Maßnahmen	Übergabestation + geringinvestive Maßnahmen + Fenstertausch	Übergabestation + geringinvestive Maßnahmen + LED-Lampen + Fenstertausch	Übergabestation + Heizkörper neu + geringinvestive Maßnahmen + LED-Lampen + Dämmung AW + Fenstertausch	Übergabestation + Heizkörper neu + geringinvestive Maßnahmen + LED-Lampen + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch
Wärmeerzeuger			Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme	Nah-/Fernwärme
Wärmeübergabe			FBH 55/40°C / Heizkörper 80/60°C	FBH 55/40°C / Heizkörper 80/60°C	Absenkung 50/40 °C / 70/55 °C	Absenkung 50/40 °C / 70/55 °C	Absenkung 50/40 °C / Heizkörper neu 55/45 °C	Absenkung 50/40 °C / Heizkörper neu 55/45 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / unregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher	Speicher
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			Abluftanlage, Sanitär-räume	Abluftanlage, Sanitär-räume	Abluftanlage, Sanitär-räume	Abluftanlage, Sanitär-räume	Abluftanlage, Sanitär-räume	Abluftanlage, Sanitär-räume
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16	0,16
	Tür	W/m²K	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Flachdach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,12
	Bodenplatte	W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Wärmebrücken	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	471.860	450.409	360.367	355.229	266.111	216.726
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	21.452	111.493	116.632	205.749	255.134
		relativ	%	-	4,5%	23,6%	24,7%	43,6%	54,1%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	189,3	180,8	149,3	134,6	103,4	86,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	8,5	40,0	54,7	85,9	103,2
		relativ	%	-	4,5%	21,1%	28,9%	45,4%	54,5%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	147,7	141,0	114,7	107,9	81,9	67,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	6,7	32,9	39,8	65,8	80,2
		relativ	%	-	4,5%	22,3%	26,9%	44,5%	54,3%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	57,0	54,5	44,0	42,3	31,9	26,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	2,6	13,1	14,8	25,2	30,9
		relativ	%	-	4,5%	22,9%	25,9%	44,1%	54,2%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	224,9	214,8	178,1	158,8	122,4	102,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	10,1	46,8	66,1	102,5	122,7
		relativ	%	-	4,5%	20,8%	29,4%	45,6%	54,6%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	212,8	203,2	166,4	153,6	117,2	97,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	9,6	46,3	59,2	95,6	115,8
		relativ	%	-	4,5%	21,8%	27,8%	44,9%	54,4%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	177,2	169,2	137,7	129,5	98,3	81,0	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	8,0	39,5	47,7	78,9	96,2	
	relativ	%	-	4,5%	22,3%	26,9%	44,5%	54,3%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	106,8	102,0	84,0	76,4	58,5	48,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	5	23	30	48	58
		relativ	%	-	4,5%	21,4%	28,5%	45,2%	54,5%
	2030		t/a	79,8	76,2	62,0	58,2	44,2	36,4
	Einsparung	absolut	t/a	-	1	18	22	36	43
		relativ	%	-	1,0%	22,2%	27,0%	44,6%	54,3%
	2050		t/a	17,5	16,7	13,3	13,3	9,9	8,1
Einsparung	absolut	t/a	-	0,8	4,2	4,2	7,6	9,5	
	relativ	%	-	4,6%	24,1%	23,9%	43,3%	54,0%	

Energiekosten	2020		€/a	47.903	45.749	38.455	33.967	26.251	22.236
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.153	9.448	13.936	21.651	25.666
		relativ	%	-	4%	20%	29%	45%	54%
	2030 unterer Pfad		€/a	60.801	58.058	48.241	44.137	33.763	28.370
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.743	12.560	16.664	27.038	32.431
		relativ	%	-	5%	21%	27%	44%	53%
	2030 oberer Pfad			60.801	58.058	48.241	44.137	33.763	28.370
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.743	12.560	16.664	27.038	32.431
		relativ	%	-	5%	21%	27%	44%	53%
	2050 unterer Pfad		€/a	71.719	68.480	56.667	52.490	40.011	33.525
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.239	15.053	19.229	31.708	38.194
		relativ	%	-	5%	21%	27%	44%	53%
	2050 oberer Pfad		€/a	71.719	68.480	56.667	52.490	40.011	33.525
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.239	15.053	19.229	31.708	38.194
relativ		%	-	5%	21%	27%	44%	53%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	45.800	45.600	45.600	54.500	52.000
	Beleuchtung		€	-	0	0	42.800	42.800	42.800
	Dämmung		€	-	0	0	0	287.300	839.700
	Fenster		€	-	0	296.400	296.400	296.400	296.400
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	18.000	19.100	19.100	24.600	24.100
	Beleuchtung		€	-	0	0	8.600	8.600	8.600
	Dämmung		€	-	0	0	0	140.500	292.300
	Fenster		€	-	0	84.700	84.700	84.700	84.700
Förderung			€		9.160	68.400	76.960	136.200	246.180
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	2.241	12.818	14.912	23.750	39.782
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	541	1.745	1.748	5.011	6.521
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	200	200	190	190	170	160
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	1.590	1.580	1.570	1.530	1.460	1.420
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	5.145	5.145	5.145	5.145	5.145	5.145
	Schornsteinfegerkosten		€/a	-	-	-	-	-	-
	Summe		€/a	6.935	6.925	6.905	6.865	6.775	6.725
	Vollkosten	2020	a	-	17	29	22	25	38

Amortisationszeit		2030 unterer Pfad	a	-	13	22	18	20	30
		2030 oberer Pfad	a	-	13	22	18	20	30
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	4	4	3	6	6
		2030 unterer Pfad	a	-	3	3	2	5	5
		2030 oberer Pfad	a	-	3	3	2	5	5
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	54.838	54.915	58.179	55.744	56.776	68.744
		2030 unterer Pfad	€/a	67.736	67.224	67.965	65.914	64.288	74.877
		2030 oberer Pfad	€/a	67.736	67.224	67.965	65.914	64.288	74.877
		2050 unterer Pfad	€/a	78.654	77.646	76.390	74.268	70.536	80.032
		2050 oberer Pfad	€/a	78.654	77.646	76.390	74.268	70.536	80.032
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	54.838	53.215	47.106	42.579	38.037	35.483
		2030 unterer Pfad	€/a	67.736	65.524	56.892	52.750	45.549	41.616
		2030 oberer Pfad	€/a	67.736	65.524	56.892	52.750	45.549	41.616
		2050 unterer Pfad	€/a	78.654	75.945	65.317	61.103	51.797	46.771
		2050 oberer Pfad	€/a	78.654	75.945	65.317	61.103	51.797	46.771
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	77	3.341	906	1.939	13.906
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-23	-30	-48	-58
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	16	146	30	40	239
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-512	228	-1.822	-3.448	7.141
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-18	-22	-36	-43
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-142	13	-85	-97	165
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-512	228	-1.822	-3.448	7.141
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-18	-22	-36	-43
Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-142	13	-85	-97	165

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.623	-7.732	-12.258	-16.800	-19.355
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-5	-23	-30	-48	-58
CO₂-Vermeidungskosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-337	-339	-403	-348	-333
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.212	-10.845	-14.986	-22.187	-26.120
energiebedingte Mehrkosten	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-18	-22	-36	-43
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-613	-611	-695	-624	-603
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.212	-10.845	-14.986	-22.187	-26.120
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-4	-18	-22	-36	-43
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-613	-611	-695	-624	-603

12.3 Kindergarten

Kindergarten			Status quo	1	2	3	4	5
			Öl-NT-Kessel baulicher Wärme- schutz etwa WSchV84	Öl-BW-Kessel + solare TWE + geringinvestive Maßnahmen	Öl-BW-Kessel + solare TWE + geringinvestive Maßnahmen + raumweise RLT + Fenstertausch	Pelletkessel + Speicher + Heizkörpertausch + raumweise RLT + Fenstertausch	Pelletkessel + Heizkörpertausch + raumweise RLT + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch	Luft-Wasser-EWP + Heizkörpertausch + raumweise RLT + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch
Wärmeerzeuger			Öl-Niedertemperatur- kessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Pelletkessel	Pelletkessel	Luft-Wasser-Wärme- pumpe
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Absenkung 70/55°C	Absenkung 70/55°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			Speicher	solare TWE	solare TWE	Speicher	Speicher	Speicher
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			-	-	raumweise Zu-Abluft- anlage mit WRG	raumweise Zu-Abluft- anlage mit WRG	raumweise Zu-Abluft- anlage mit WRG	raumweise Zu-Abluft- anlage mit WRG
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16	0,16
	Außenwand Keller/Sockel	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Dach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,12	0,12
	Bodenplatte	W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Wärmebrückenzuschlag	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	272.935	221.292	176.003	207.971	124.655	56.527
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	51.643	96.932	64.964	148.281	216.408
		relativ	%	-	18,9%	35,5%	23,8%	54,3%	79,3%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	245,9	199,9	160,2	51,6	32,1	81,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	46,0	85,7	194,3	213,7	164,8
		relativ	%	-	18,7%	34,8%	79,0%	86,9%	67,0%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	238,5	193,3	153,6	42,4	26,0	45,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	45,2	84,9	196,1	212,5	193,4
		relativ	%	-	19,0%	35,6%	82,2%	89,1%	81,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	232,0	187,5	147,7	34,3	20,6	13,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	44,5	84,3	197,7	211,4	218,5
		relativ	%	-	19,2%	36,3%	85,2%	91,1%	94,2%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	250,5	204,1	164,4	211,7	127,7	103,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	46,5	86,1	38,8	122,8	146,8
		relativ	%	-	18,5%	34,4%	15,5%	49,0%	58,6%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	245,0	199,1	159,4	204,8	123,1	76,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	45,9	85,6	40,2	121,8	168,3
		relativ	%	-	18,7%	34,9%	16,4%	49,7%	68,7%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	240,3	194,9	155,2	199,0	119,3	54,1	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	45,4	85,1	41,3	121,1	186,2	
	relativ	%	-	18,9%	35,4%	17,2%	50,4%	77,5%	
CO ₂ -Äquivalent	2020		t/a	87,5	71,2	57,2	12,0	7,7	31,7
	Einsparung	absolut	t/a	-	16	30	76	80	56
		relativ	%	-	18,6%	34,7%	86,3%	91,2%	63,8%
	2030		t/a	84,7	68,7	54,7	8,5	5,4	18,1
	Einsparung	absolut	t/a	-	16	30	76	79	67
		relativ	%	-	18,5%	35,5%	90,0%	93,6%	78,6%
2050		t/a	81,3	65,7	51,6	4,2	2,6	1,5	
Einsparung	absolut	t/a	-	15,7	29,7	77,1	78,8	79,8	
	relativ	%	-	19,3%	36,5%	94,8%	96,9%	98,2%	

Energiekosten	2020		€/a	16.763	13.894	11.645	10.015	6.294	16.568
	Einsparung	absolut	€/a	-	2.869	5.119	6.748	10.469	196
		relativ	%	-	17%	31%	40%	62%	1%
	2030 unterer Pfad		€/a	32.841	26.909	21.890	15.147	9.373	16.601
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.932	10.952	17.694	23.468	16.240
		relativ	%	-	18%	33%	54%	71%	49%
	2030 oberer Pfad			36.915	30.197	24.471	15.147	9.373	16.601
	Einsparung	absolut	€/a	-	6.718	12.444	21.768	27.542	20.314
		relativ	%	-	18%	34%	59%	75%	55%
	2050 unterer Pfad		€/a	37.644	30.822	25.020	16.490	10.198	17.785
	Einsparung	absolut	€/a	-	6.822	12.624	21.154	27.446	19.859
		relativ	%	-	18%	34%	56%	73%	53%
	2050 oberer Pfad		€/a	45.916	37.498	30.261	16.490	10.198	17.785
	Einsparung	absolut	€/a	-	8.418	15.655	29.426	35.718	28.131
relativ		%	-	18%	34%	64%	78%	61%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	77.300	232.200	267.700	253.700	266.900
	Beleuchtung		€	-	0	0	0	69.800	69.800
	Dämmung		€	-	0	0	0	390.200	390.200
	Fenster		€	-	0	221.800	221.800	221.800	221.800
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	49.500	50.200	64.900	56.400	69.600
	Beleuchtung		€	-	0	0	0	14.000	14.000
	Dämmung		€	-	0	0	0	138.800	138.800
	Fenster		€	-	0	63.400	63.400	63.400	63.400
Förderung			€		15.460	90.800	97.900	187.100	189.740
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	3.782	19.283	21.020	35.161	35.807
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	2.082	1.080	1.545	3.420	4.066
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	190	190	3.030	3.210	3.210	3.000
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	2.680	2.790	5.110	5.140	4.860	5.050
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	3.762	3.762	3.762	3.762	3.762	3.762
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	35	35	110	110	0
	Summe		€/a	6.687	6.777	11.937	12.222	11.942	11.812

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	22	71	58	71	3.874	
		2030 unterer Pfad	a	-	10	33	22	32	47	
		2030 oberer Pfad	a	-	9	29	18	27	37	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	12	4	5	8	490	
		2030 unterer Pfad	a	-	6	2	2	4	6	
		2030 oberer Pfad	a	-	5	2	1	3	5	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	23.450	24.453	42.865	43.257	53.397	64.187	
		2030 unterer Pfad	€/a	39.528	37.468	53.110	48.389	56.476	64.220	
		2030 oberer Pfad	€/a	43.602	40.756	55.691	48.389	56.476	64.220	
		2050 unterer Pfad	€/a	44.331	41.381	56.240	49.732	57.301	65.404	
		2050 oberer Pfad	€/a	52.603	48.057	61.481	49.732	57.301	65.404	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	23.450	22.753	24.662	23.782	21.656	32.445	
		2030 unterer Pfad	€/a	39.528	35.768	34.907	28.914	24.735	32.479	
		2030 oberer Pfad	€/a	43.602	39.056	37.488	28.914	24.735	32.479	
		2050 unterer Pfad	€/a	44.331	39.680	38.037	30.257	25.560	33.663	
		2050 oberer Pfad	€/a	52.603	46.356	43.278	30.257	25.560	33.663	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	1.003	19.414	19.807	29.947	40.736	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-80	-56	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	61	640	262	375	729	
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.060	13.582	8.861	16.948	24.692	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-79	-67	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-129	452	116	214	371
		Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-2.847	12.089	4.787	12.874	20.618
		Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-79	-67
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-178	402	63	162	310	

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-697	1.211	331	-1.795	8.995
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-80	-56
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-43	40	4	-22	161
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.761	-4.622	-10.614	-14.794	-7.050
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-79	-67
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-235	-154	-139	-186	-106
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.547	-6.114	-14.688	-18.867	-11.123
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-16	-30	-76	-79	-67
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-284	-203	-193	-238	-167

12.4 Verwaltungsgebäude

Verwaltung			Status quo	1	2	3	4	5
			Gas-NT-Kessel, Elektro-Kleinspeicher, baulicher Wärmeschutz etwa WSchV 84	Gas-BW + DLE + geringinvestive Maßnahmen	Gas-BW + DLE + geringinvestive Maßnahmen + Fenstertausch	Gas-BW + DLE + Heizkörpertausch + Fenstertausch + Dämmung Außenwand / Dach + LED-Beleuchtung	Gas-WP + DLE + Heizkörpertausch + Fenstertausch + Dämmung Außenwand / Dach + LED-Beleuchtung	Elektro-WP + DLE + Heizkörpertausch + Fenstertausch + Dämmung Außenwand / Dach + LED-Beleuchtung
Wärmeerzeuger			Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-WP	Elektro-WP
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 70/55°C	Heizkörper 70/55°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			dezentral, Klein-Speicher	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			Abluftanlage, Sanitärräume	Abluftanlage, Sanitärräume	Abluftanlage, Sanitärräume	Abluftanlage, Sanitärräume	Abluftanlage, Sanitärräume	Abluftanlage, Sanitärräume
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,16	0,16	0,16
	Außenwand Keller/Sockel	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Flachdach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,12	0,12	0,12
	Bodenplatte	W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Wärmebrücken	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	mit	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	397.232	321.938	234.725	147.520	109.086	70.951
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	75.294	162.508	249.713	288.147	326.282
		relativ	%	-	19,0%	40,9%	62,9%	72,5%	82,1%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	277,4	226,9	169,8	106,0	81,0	76,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	50,4	107,6	171,4	196,3	201,2
		relativ	%	-	18,2%	38,8%	61,8%	70,8%	72,5%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	258,3	209,0	151,8	95,5	70,2	42,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	49,3	106,5	162,8	188,1	216,0
		relativ	%	-	19,1%	41,2%	63,0%	72,8%	83,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	241,6	193,4	136,0	86,3	60,8	12,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	48,3	105,6	155,3	180,8	228,9
		relativ	%	-	20,0%	43,7%	64,3%	74,8%	94,7%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	289,3	238,1	181,0	112,6	87,8	97,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,2	108,2	176,7	201,5	191,9
		relativ	%	-	17,7%	37,4%	61,1%	69,7%	66,3%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	275,0	224,7	167,5	104,7	79,7	72,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	50,3	107,4	170,3	195,3	203,0
		relativ	%	-	18,3%	39,1%	61,9%	71,0%	73,8%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	263,1	213,5	156,3	98,1	72,9	50,8	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	49,6	106,8	164,9	190,1	212,3	
	relativ	%	-	18,8%	40,6%	62,7%	72,3%	80,7%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	108,1	89,3	68,4	42,5	33,4	39,7
	Einsparung	absolut	t/a	-	19	40	66	75	68
		relativ	%	-	17,4%	36,7%	60,7%	69,1%	63,3%
	2030		t/a	98,6	80,3	59,4	37,2	28,0	22,8
	Einsparung	absolut	t/a	-	18	39	61	71	76
		relativ	%	-	17,8%	39,7%	62,3%	71,6%	76,9%
	2050		t/a	86,8	69,2	48,3	30,7	21,3	1,8
Einsparung	absolut	t/a	-	17,5	38,5	56,1	65,5	84,9	
	relativ	%	-	20,2%	44,4%	64,6%	75,4%	97,9%	

Energiekosten	2020		€/a	30.754	26.342	21.936	13.408	11.540	20.551
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.411	8.818	17.346	19.214	10.202
		relativ	%	-	14%	29%	56%	62%	33%
	2030 unterer Pfad		€/a	50.529	42.167	32.969	20.469	16.422	20.594
	Einsparung	absolut	€/a	-	8.362	17.560	30.061	34.107	29.936
		relativ	%	-	17%	35%	59%	68%	59%
	2030 oberer Pfad			54.696	45.484	35.266	21.932	17.430	20.594
	Einsparung	absolut	€/a	-	9.212	19.430	32.764	37.266	34.102
		relativ	%	-	17%	36%	60%	68%	62%
	2050 unterer Pfad		€/a	57.774	48.089	37.346	23.230	18.486	22.080
	Einsparung	absolut	€/a	-	9.685	20.429	34.544	39.288	35.695
		relativ	%	-	17%	35%	60%	68%	62%
	2050 oberer Pfad		€/a	66.278	54.859	42.034	26.216	20.544	22.080
	Einsparung	absolut	€/a	-	11.419	24.243	40.061	45.734	44.198
relativ		%	-	17%	37%	60%	69%	67%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	59.800	58.000	80.600	168.500	125.900
	Beleuchtung		€	-	0	0	360.000	360.000	360.000
	Dämmung		€	-	0	0	407.200	407.200	407.200
	Fenster		€	-	0	485.200	485.200	485.200	485.200
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	24.300	25.000	26.800	114.700	72.100
	Beleuchtung		€	-	0	0	72.000	72.000	72.000
	Dämmung		€	-	0	0	152.500	152.500	152.500
	Fenster		€	-	0	138.600	138.600	138.600	138.600
Förderung			€		11.960	108.640	266.600	284.180	275.660
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	2.926	20.169	50.796	55.097	53.013
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	755	2.675	5.106	9.407	7.323
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	190	190	170	160	300	140
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	7.360	7.360	7.330	6.610	7.930	7.290
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	5.029	5.029	5.029	5.029	5.029	5.029
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	25	40	-
	Summe		€/a	12.634	12.604	12.554	11.824	13.299	12.459

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	11	49	61	59	108	
		2030 unterer Pfad	a	-	6	25	35	33	37	
		2030 oberer Pfad	a	-	5	22	33	31	32	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	3	6	7	10	16	
		2030 unterer Pfad	a	-	1	3	4	6	5	
		2030 oberer Pfad	a	-	1	3	4	5	5	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	43.387	41.872	54.658	76.027	79.936	86.023	
		2030 unterer Pfad	€/a	63.163	57.696	65.691	83.088	84.817	86.065	
		2030 oberer Pfad	€/a	67.329	61.013	67.989	84.552	85.825	86.065	
		2050 unterer Pfad	€/a	70.408	63.619	70.068	85.850	86.881	87.551	
		2050 oberer Pfad	€/a	78.911	70.388	74.757	88.836	88.939	87.551	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	43.387	39.700	37.164	30.338	34.246	40.333	
		2030 unterer Pfad	€/a	63.163	55.525	48.197	37.399	39.127	40.375	
		2030 oberer Pfad	€/a	67.329	58.842	50.495	38.862	40.136	40.375	
		2050 unterer Pfad	€/a	70.408	61.448	52.574	40.160	41.192	41.861	
		2050 oberer Pfad	€/a	78.911	68.217	57.263	43.146	43.249	41.861	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-1.516	11.271	32.640	36.548	42.635	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-19	-40	-66	-75	-68	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-80	284	497	489	623	
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-5.466	2.529	19.926	21.654	22.902	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-39	-61	-71	-76	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-299	65	325	307	302
		Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-6.316	659	17.222	18.496	18.735
		Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-39	-61	-71	-76
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-346	17	281	262	247	

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.687	-6.223	-13.050	-9.142	-3.055
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-19	-40	-66	-75	-68
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-196	-157	-199	-122	-45
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-7.637	-14.965	-25.764	-24.035	-22.788
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-39	-61	-71	-76
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-418	-382	-420	-341	-301
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-8.487	-16.835	-28.467	-27.194	-26.954
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-18	-39	-61	-71	-76
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-465	-430	-464	-385	-356

12.5 Verbrauchermarkt

Verbrauchermarkt			Status quo	1	2	3	4	5
			Öl-NT-Kessel baulicher Wärmeschutz etwa WSchV84	Öl-BW-Kessel + Deckenstrahlplatten + geringinvestive Maßnahmen	Öl-BW-Kessel + Deckenstrahlplatten + geringinvestive Maßnahmen + Zu-/Abluft WRG	Öl-BW-Kessel + Deckenstrahlplatten + geringinvestive Maßnahmen + Zu-/Abluft WRG + Fenstertausch	Öl-BW-Kessel + Deckenstrahlplatten + geringinvestive Maßnahmen + Zu-/Abluft WRG + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch	Pelletkessel + Deckenstrahlplatten + geringinvestive Maßnahmen + Zu-/Abluft WRG + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch
Wärmeerzeuger			Öl-Niedertemperaturkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Öl-Brennwertkessel	Pelletkessel
Wärmeübergabe			Deckenstrahlplatten, P-Regler 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 80/60 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 60/50 °C	Deckenstrahlplatten, verbessert, Außenwandabstand 60/50 °C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienz- pumpe	Hocheffizienz- pumpe	Hocheffizienz- pumpe	Hocheffizienz- pumpe	Hocheffizienz- pumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			Zu-/Abluft, WRG 50%	Zu-/Abluft, WRG 50%	Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%	Zu-/Abluft, WRG 73%
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,20	0,20
	Tür	W/m²K	3,00	3,00	3,00	3,00	1,50	1,50
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	1,90	1,00	1,00	1,00
	Lichtband/Lichtkuppel	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Trapezblechdach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,18	0,18
	Bodenplatte auf Erdreich	W/m²K	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Wärmebrücken	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit

Endenergiebe- darf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	1.237.409	1.003.606	910.075	710.372	399.303	432.132
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	233.803	327.334	527.037	838.106	805.277
		relativ	%	-	18,9%	26,5%	42,6%	67,7%	65,1%
Primärenergie- bedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	310,9	256,9	223,3	177,9	107,3	56,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	54,0	87,7	133,0	203,6	254,5
		relativ	%	-	17,4%	28,2%	42,8%	65,5%	81,8%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	276,3	223,4	204,0	158,7	88,2	37,1
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	52,9	72,3	117,6	188,2	239,2
		relativ	%	-	19,1%	26,2%	42,6%	68,1%	86,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	246,1	194,2	187,2	141,9	71,4	20,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,9	58,9	104,2	174,6	225,8
		relativ	%	-	21,1%	23,9%	42,3%	71,0%	91,8%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	332,5	277,8	235,3	189,9	119,3	133,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	54,7	97,2	142,6	213,3	199,1
		relativ	%	-	16,5%	29,2%	42,9%	64,1%	59,9%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	306,6	252,7	220,8	175,5	104,9	119,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	53,9	85,7	131,1	201,7	187,6
		relativ	%	-	17,6%	28,0%	42,8%	65,8%	61,2%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	285,0	231,8	208,8	163,5	93,0	106,9	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	53,2	76,2	121,5	192,0	178,1	
	relativ	%	-	18,7%	26,7%	42,6%	67,4%	62,5%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	436,0	361,8	311,3	249,3	152,8	71,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	74	125	187	283	364
		relativ	%	-	17,0%	28,6%	42,8%	65,0%	83,5%
	2030		t/a	385,9	313,3	283,4	221,5	125,1	43,9
	Einsparung	absolut	t/a	-	73	102	164	261	342
		relativ	%	-	18,8%	26,6%	42,6%	67,6%	88,6%
	2050		t/a	324,0	253,5	249,0	187,1	90,8	9,3
Einsparung	absolut	t/a	-	70,5	75,1	136,9	233,2	314,7	
	relativ	%	-	21,8%	23,2%	42,2%	72,0%	97,1%	

Energiekosten	2020		€/a	101.864	90.730	70.545	61.509	46.654	41.585
	Einsparung	absolut	€/a	-	11.134	31.319	40.355	55.210	60.279
		relativ	%	-	11%	31%	40%	54%	59%
	2030 unterer Pfad		€/a	162.349	138.534	117.881	97.390	64.119	49.882
	Einsparung	absolut	€/a	-	23.815	44.468	64.959	98.229	112.467
		relativ	%	-	15%	27%	40%	61%	69%
	2030 oberer Pfad			178.370	151.016	130.249	106.649	68.535	49.882
	Einsparung	absolut	€/a	-	27.353	48.121	71.721	109.835	128.488
		relativ	%	-	15%	27%	40%	62%	72%
	2050 unterer Pfad		€/a	183.528	156.126	133.554	109.905	71.483	54.003
	Einsparung	absolut	€/a	-	27.401	49.973	73.623	112.045	129.525
		relativ	%	-	15%	27%	40%	61%	71%
	2050 oberer Pfad		€/a	216.058	181.472	158.667	128.704	80.449	54.003
	Einsparung	absolut	€/a	-	34.586	57.391	87.354	135.610	162.056
relativ		%	-	16%	27%	40%	63%	75%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	323.400	421.100	386.700	349.600	418.800
	Beleuchtung		€	-	0	70.900	70.900	70.900	70.900
	Dämmung		€	-	0	0	0	1.602.200	1.602.200
	Fenster		€	-	0	0	154.300	154.300	154.300
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	29.100	29.100	31.400	31.400	100.600
	Beleuchtung		€	-	0	14.200	14.200	14.200	14.200
	Dämmung		€	-	0	0	0	1.179.300	1.179.300
	Fenster		€	-	0	0	32.800	32.800	32.800
Förderung		€		64.680	98.400	122.380	435.400	449.240	
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	15.822	24.071	27.900	72.940	76.326
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	0	1	88	31.484	32.514
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	1.710	1.710	1.680	1.640	1.560	1.650
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	9.760	8.150	7.460	6.940	6.380	7.420
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	14.550	14.550	14.550	14.550	14.550	14.550
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	35	35	35	35	110
	Summe		€/a	26.075	24.445	23.725	23.165	22.525	23.730

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	23	13	12	32	30
		2030 unterer Pfad	a	-	11	9	8	18	16
		2030 oberer Pfad	a	-	9	8	7	16	14
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	0	0	0	16	15
		2030 unterer Pfad	a	-	0	0	0	9	8
		2030 oberer Pfad	a	-	0	0	0	8	7
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	127.939	130.997	118.341	112.574	142.119	141.641
		2030 unterer Pfad	€/a	188.424	178.802	165.677	148.455	159.585	149.938
		2030 oberer Pfad	€/a	204.445	191.284	178.045	157.714	164.000	149.938
		2050 unterer Pfad	€/a	209.603	196.394	181.351	160.969	166.948	154.059
		2050 oberer Pfad	€/a	242.133	221.739	206.464	179.769	175.914	154.059
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	127.939	115.175	94.271	84.762	100.663	97.829
		2030 unterer Pfad	€/a	188.424	162.979	141.607	120.643	118.129	106.126
		2030 oberer Pfad	€/a	204.445	175.461	153.975	129.902	122.544	106.126
		2050 unterer Pfad	€/a	209.603	180.571	157.281	133.157	125.492	110.247
		2050 oberer Pfad	€/a	242.133	205.917	182.393	151.957	134.458	110.247
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	3.058	-9.598	-15.365	14.180	13.702
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-74	-125	-187	-283	-364
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	41	-77	-82	50	38
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-9.622	-22.746	-39.969	-28.839	-38.486
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-73	-102	-164	-261	-342
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-133	-222	-243	-111	-113
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-13.161	-26.400	-46.731	-40.444	-54.507
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-73	-102	-164	-261	-342
Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-181	-258	-284	-155	-159	

CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten	€/a	-	-12.764	-33.668	-43.177	-27.276	-30.110
	Differenz CO ₂ -Äquivalent	t/a	-	-74	-125	-187	-283	-364
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020 €/t	-	-172	-270	-231	-96	-83
	Differenz Jahresgesamtkosten	€/a	-	-25.445	-46.817	-67.781	-70.295	-82.298
	Differenz CO ₂ -Äquivalent	t/a	-	-73	-102	-164	-261	-342
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad €/t	-	-351	-457	-412	-269	-241
	Differenz Jahresgesamtkosten	€/a	-	-28.983	-50.470	-74.543	-81.901	-98.319
	Differenz CO ₂ -Äquivalent	t/a	-	-73	-102	-164	-261	-342
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad €/t	-	-399	-492	-453	-314	-287

12.6 Großes Hotel

Hotel			Status quo	1	2	3	4	5	
			Gas-NT-Kessel + Speicher baulicher Wärme- schutz etwa WSchV 84	Gas-BW-Kessel + solare TWE + geringinvestive Maßnahmen	Gas-BW-Kessel + solare TWE + Kältemaschine + geringinvestive Maßnahmen	Gas-BW-Kessel + solare TWE + Kältemaschine + geringinvestive Maßnahmen + Fenstertausch	Gas-BW-Kessel + solare TWE + Kältemaschine + geringinvestive Maßnahmen + Dämmung komplett	Elektro-WP + Speicher + Kältemaschine + RLT-Gerät + geringinvestive Maßnahmen + Dämmung komplett	
Wärmeerzeuger			Gas-NT-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	L/W-EWP	
Wärmeübergabe			Gebläsekonvektoren 80/60°C/14/18 °C	Gebläsekonvektoren Absenkung 70/55°C/14/18 °C	Gebläsekonvektoren Absenkung 70/55°C/14/18 °C	Gebläsekonvektoren Absenkung 70/55°C/14/18 °C	Gebläsekonvektoren Absenkung 55/45°C/14/18 °C	Gebläsekonvektoren Absenkung 55/45°C/14/18 °C	
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	
	Pumpe		überdimensioniert / ungeregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	
Trinkwassererwärmung			Speicher	Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie	Solarthermie	Speicher	
			-	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	Gas-BW-Kessel	-	
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	
Belüftung			Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	Fenster / RLT in WC, Küche, Restaurant, Parkhaus	
Kühlung			Kompressionskälte- maschine	Kompressionskälte- maschine	Kompressionskälte- maschine	Kompressionskälte- maschine	Kompressionskälte- maschine	Kompressionskälte- maschine	
U-Wert	Außenwand		W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16	0,16
	Außenwand Keller/Sockel		W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,16	0,16
	Fenster		W/m²K	1,90	1,90	1,90	0,80	0,80	0,80
	Dachfenster		W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Flachdach		W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,12	0,12
	Kellerdecke		W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,22	0,22
	Wärmebrücken		W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit	

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	1.927.340	1.521.486	1.456.088	1.230.489	960.645	577.811
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	405.853	471.252	696.850	966.694	1.349.529
		relativ	%	-	21,1%	24,5%	36,2%	50,2%	70,0%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	268,1	216,8	201,4	172,6	138,9	120,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,3	66,7	95,5	129,2	147,8
		relativ	%	-	19,1%	24,9%	35,6%	48,2%	55,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	241,9	190,2	183,1	154,4	119,9	66,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,8	58,9	87,6	122,1	175,1
		relativ	%	-	21,4%	24,3%	36,2%	50,4%	72,4%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	219,1	167,0	167,1	138,4	103,3	20,0
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	52,1	52,0	80,7	115,8	199,1
		relativ	%	-	23,8%	23,7%	36,8%	52,9%	90,9%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	284,4	233,3	212,8	183,9	150,8	153,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,0	71,6	100,4	133,6	130,7
		relativ	%	-	17,9%	25,2%	35,3%	47,0%	46,0%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	264,8	213,4	199,1	170,3	136,5	113,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,4	65,7	94,5	128,3	151,2
		relativ	%	-	19,4%	24,8%	35,7%	48,4%	57,1%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	248,5	196,8	187,7	158,9	124,6	80,2	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	51,6	60,8	89,6	123,8	168,3	
	relativ	%	-	20,8%	24,5%	36,0%	49,8%	67,7%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	553,5	457,6	412,8	358,4	296,4	323,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	96	141	195	257	230
		relativ	%	-	17,3%	25,4%	35,2%	46,4%	41,5%
	2030		t/a	485,6	388,6	365,5	311,3	247,2	185,5
	Einsparung	absolut	t/a	-	98	120	174	238	300
		relativ	%	-	20,3%	24,7%	35,9%	49,1%	61,8%
	2050		t/a	401,8	303,3	307,1	253,1	186,5	15,0
	Einsparung	absolut	t/a	-	98,4	94,7	148,7	215,3	386,8
relativ		%	-	24,5%	23,6%	37,0%	53,6%	96,3%	

Energiekosten	2020		€/a	141.925	126.892	110.592	101.069	90.551	97.664
	Einsparung	absolut	€/a	-	15.033	31.334	40.856	51.374	44.261
		relativ	%	-	11%	22%	29%	36%	31%
	2030 unterer Pfad		€/a	224.894	191.098	175.947	155.648	131.256	98.008
	Einsparung	absolut	€/a	-	33.796	48.947	69.246	93.637	126.885
		relativ	%	-	15%	22%	31%	42%	56%
	2030 oberer Pfad			244.058	205.472	190.619	167.697	140.058	98.008
	Einsparung	absolut	€/a	-	38.586	53.438	76.360	104.000	146.050
		relativ	%	-	16%	22%	31%	43%	60%
	2050 unterer Pfad		€/a	256.747	217.433	200.744	177.131	148.599	110.110
	Einsparung	absolut	€/a	-	39.313	56.002	79.615	108.147	146.637
		relativ	%	-	15%	22%	31%	42%	57%
	2050 oberer Pfad		€/a	295.857	246.769	230.688	201.723	166.562	110.110
	Einsparung	absolut	€/a	-	49.088	65.169	94.134	129.295	185.747
relativ		%	-	17%	22%	32%	44%	63%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	508.400	635.900	605.800	658.400	499.600
	Beleuchtung		€	-	0	681.800	681.800	681.800	681.800
	Dämmung		€	-	0	0	0	1.334.300	1.334.300
	Fenster		€	-	0	0	1.382.900	1.382.900	1.382.900
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	403.100	433.400	411.000	404.600	245.800
	Beleuchtung		€	-	0	136.400	136.400	136.400	136.400
	Dämmung		€	-	0	0	0	585.400	585.400
	Fenster		€	-	0	0	395.100	395.100	395.100
Förderung			€		101.680	263.540	534.100	811.480	779.720
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	24.874	64.469	112.393	153.988	146.219
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	18.434	18.730	23.020	33.630	25.860
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	3.000	3.000	3.000	2.650	2.510	2.810
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	8.520	13.840	22.970	22.520	21.900	19.510
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	25.908	25.908	25.908	25.908	25.908	25.908
	Schornsteinfegerkosten		€/a	0	25	25	25	25	-
	Summe		€/a	37.428	42.773	51.903	51.103	50.343	48.228

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	27	34	52	63	70		
		2030 unterer Pfad	a	-	12	22	31	35	25		
		2030 oberer Pfad	a	-	11	20	28	31	21		
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	20	10	10	14	13		
		2030 unterer Pfad	a	-	9	6	6	8	5		
		2030 oberer Pfad	a	-	8	6	5	7	4		
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	179.353	194.539	226.964	264.565	294.882	292.111		
		2030 unterer Pfad	€/a	262.322	258.744	292.319	319.144	335.587	292.455		
		2030 oberer Pfad	€/a	281.486	273.119	306.991	331.194	344.389	292.455		
		2050 unterer Pfad	€/a	294.175	285.080	317.116	340.628	352.930	304.557		
		2050 oberer Pfad	€/a	333.285	314.416	347.060	365.219	370.893	304.557		
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	179.353	188.099	181.225	175.192	174.524	171.753		
		2030 unterer Pfad	€/a	262.322	252.304	246.580	229.771	215.229	172.097		
		2030 oberer Pfad	€/a	281.486	266.679	261.252	241.820	224.031	172.097		
		2050 unterer Pfad	€/a	294.175	278.640	271.377	251.254	232.572	184.198		
		2050 oberer Pfad	€/a	333.285	307.976	301.321	275.846	250.535	184.198		
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	15.185	47.610	85.212	115.529	112.758	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-96	-141	-195	-257	-230	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	158	339	437	450	490		
	Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	-3.577	29.997	56.822	73.266	30.133	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-97	-120	-174	-238	-300	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-37	250	326	307	100	
		Differenz Jahresgesamtkosten			€/a	-	-8.367	25.506	49.708	62.903	10.969
		Differenz CO ₂ -Äquivalent			t/a	-	-97	-120	-174	-238	-300
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-86	212	285	264	37		

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	8.746	1.871	-4.161	-4.829	-7.601
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-96	-141	-195	-257	-230
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	91	13	-21	-19	-33
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-10.017	-15.742	-32.551	-47.093	-90.225
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-97	-120	-174	-238	-300
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-103	-131	-187	-198	-301
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-14.807	-20.233	-39.665	-57.455	-109.389
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-97	-120	-174	-238	-300
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-153	-169	-228	-241	-365

12.7 Bürogebäude

Büro			Status quo	1	2	3	4	5
			Gas-NT-Kessel, baulicher Wärmeschutz etwa WSchV 84	Gas-BW + Heizkörpertausch	Gas-BW + Heizkörpertausch + RLT-Gerät / Kältemaschine	Gas-BW + Heizkörpertausch + RLT-Gerät / Kältemaschine + Fenstertausch	Gas-BW + Heizkörpertausch + RLT-Gerät / Kältemaschine + LED-Lampen + Fenstertausch	Gas-BW + Heizkörpertausch + RLT-Gerät / Kältemaschine + LED-Lampen + Dämmung AW / Dach + Fenstertausch
Wärmeerzeuger			Gas-NT	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW	Gas-BW
Wärmeübergabe			Heizkörper 80/60°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C	Heizkörper 55/45°C
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		ohne	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden	vorhanden
	Pumpe		überdimensioniert / ungerregelt	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe	Hocheffizienzpumpe
	Dämmung Rohrleitungen		vor 1995	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL	Dämmung VL
Trinkwassererwärmung			E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			Zu-/Abluftanlage mit WRG 50%	Zu-/Abluftanlage mit WRG 50%	Zu-/Abluftanlage mit WRG 73%	Zu-/Abluftanlage mit WRG 73%	Zu-/Abluftanlage mit WRG 73%	Zu-/Abluftanlage mit WRG 73%
Kühlung			Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine	Kompressionskältemaschine
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,20
	-	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	1,90	1,00	1,00	1,00
	Dachfenster	W/m²K	-	-	-	-	-	-
	Flachdach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,18
	Bodenplatte	W/m²K	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Wärmebrücken	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	852.922	749.124	681.710	542.994	511.523	355.952
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	103.798	171.213	309.928	341.399	496.970
		relativ	%	-	12,2%	20,1%	36,3%	40,0%	58,3%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	237,1	212,1	195,7	163,0	147,5	110,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	25,0	41,4	74,1	89,6	126,5
		relativ	%	-	10,5%	17,4%	31,2%	37,8%	53,3%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	196,4	171,9	156,1	123,3	117,0	80,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	24,4	40,3	73,1	79,4	116,1
		relativ	%	-	12,4%	20,5%	37,2%	40,4%	59,1%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	160,7	136,8	121,3	88,5	90,4	53,7
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	24,0	39,4	72,2	70,4	107,0
		relativ	%	-	14,9%	24,5%	44,9%	43,8%	66,6%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	262,6	237,2	220,5	187,9	166,5	129,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	25,3	42,0	74,7	96,0	132,9
		relativ	%	-	9,7%	16,0%	28,4%	36,6%	50,6%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	232,0	207,1	190,8	158,1	143,7	106,8
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	24,9	41,2	73,9	88,3	125,2
		relativ	%	-	10,7%	17,8%	31,9%	38,1%	53,9%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	206,5	182,0	166,0	133,2	124,6	87,9	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	24,6	40,6	73,3	81,9	118,7	
	relativ	%	-	11,9%	19,6%	35,5%	39,7%	57,5%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	280,6	254,6	237,5	204,4	179,5	142,0
	Einsparung	absolut	t/a	-	26	43	76	101	139
		relativ	%	-	9,2%	15,3%	27,2%	36,0%	49,4%
	2030		t/a	223,9	198,7	182,3	149,1	137,1	99,7
	Einsparung	absolut	t/a	-	24	42	75	87	124
		relativ	%	-	10,8%	18,6%	33,4%	38,8%	55,5%
	2050		t/a	154,0	129,7	114,2	80,8	84,8	47,6
Einsparung	absolut	t/a	-	24,2	39,8	73,2	69,1	106,4	
	relativ	%	-	15,7%	25,8%	47,5%	44,9%	69,1%	

Energiekosten	2020		€/a	90.371	84.941	81.233	74.405	64.231	56.196
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.430	9.138	15.966	26.140	34.174
		relativ	%	-	6%	10%	18%	29%	38%
	2030 unterer Pfad		€/a	123.949	113.254	106.128	91.823	82.840	66.330
	Einsparung	absolut	€/a	-	10.695	17.821	32.126	41.109	57.619
		relativ	%	-	9%	14%	26%	33%	46%
	2030 oberer Pfad			131.130	119.262	111.385	95.457	86.737	68.420
	Einsparung	absolut	€/a	-	11.868	19.746	35.674	44.394	62.711
		relativ	%	-	9%	15%	27%	34%	48%
	2050 unterer Pfad		€/a	139.692	127.256	118.979	102.282	92.561	73.300
	Einsparung	absolut	€/a	-	12.435	20.712	37.409	47.130	66.392
		relativ	%	-	9%	15%	27%	34%	48%
2050 oberer Pfad		€/a	154.347	139.519	129.707	109.698	100.514	77.565	
Einsparung	absolut	€/a	-	14.829	24.641	44.649	53.833	76.783	
	relativ	%	-	10%	16%	29%	35%	50%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	162.600	302.000	283.800	283.800	265.300
	Beleuchtung		€	-	0	0	0	248.600	248.600
	Dämmung		€	-	0	0	0	0	722.800
	Fenster		€	-	0	0	1.079.400	1.079.400	1.079.400
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	27.900	147.500	144.300	144.300	139.800
	Beleuchtung		€	-	0	0	0	49.700	49.700
	Dämmung		€	-	0	0	0	0	244.900
	Fenster		€	-	0	0	229.500	229.500	229.500
Förderung			€		32.520	60.400	272.640	322.360	463.220
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	7.955	14.775	52.441	64.604	84.837
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	0	5.327	5.962	5.962	9.581
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	2.230	2.230	2.140	2.100	2.100	2.060
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	10.270	9.590	8.750	8.480	8.230	7.950
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	13.972	13.972	13.972	13.972	13.972	13.972
	Schornsteinfegerkosten		€/a	55	25	25	25	25	25
	Summe		€/a	26.527	25.817	24.887	24.577	24.327	24.007

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	24	26	68	49	54	
		2030 unterer Pfad	a	-	12	14	34	31	32	
		2030 oberer Pfad	a	-	11	12	31	29	30	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	0	10	6	4	6	
		2030 unterer Pfad	a	-	0	5	3	2	3	
		2030 oberer Pfad	a	-	0	4	3	2	3	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	116.897	118.713	120.895	151.423	153.162	165.040	
		2030 unterer Pfad	€/a	150.476	147.026	145.790	168.841	171.770	175.173	
		2030 oberer Pfad	€/a	157.657	153.034	151.047	172.475	175.667	177.263	
		2050 unterer Pfad	€/a	166.218	161.028	158.641	179.300	181.492	182.143	
		2050 oberer Pfad	€/a	180.874	173.291	169.369	186.716	189.445	186.408	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	116.897	110.757	111.446	104.944	94.519	89.784	
		2030 unterer Pfad	€/a	150.476	139.070	136.342	122.361	113.128	99.917	
		2030 oberer Pfad	€/a	157.657	145.079	141.598	125.995	117.025	102.007	
		2050 unterer Pfad	€/a	166.218	153.073	149.193	132.821	122.850	106.887	
		2050 oberer Pfad	€/a	180.874	165.335	159.920	140.237	130.803	111.152	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	1.815	3.997	34.526	36.264	48.143	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-26	-43	-76	-101	-139	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	70	93	453	359	347	
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.450	-4.685	18.365	21.295	24.698	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-25	-42	-75	-87	-124	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-137	-113	245	245	199
		Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.623	-6.610	14.817	18.010	19.606
		Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-25	-42	-75	-87	-124
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-184	-159	198	208	158	

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-6.140	-5.451	-11.954	-22.378	-27.113
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-26	-43	-76	-101	-139
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-237	-127	-157	-221	-196
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-11.405	-14.134	-28.114	-37.347	-50.558
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-25	-42	-75	-87	-124
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-453	-340	-376	-430	-407
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-12.578	-16.059	-31.662	-40.632	-55.650
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-25	-42	-75	-87	-124
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-500	-386	-423	-468	-448

12.8 Fertigungshalle

Fertigungshalle			Status quo	1	2	3	4	5
			Wärmelufferzeuger (Erdgas) alt, baulicher Wärmeschutz etwa WSchV84	Wärmelufferzeuger, nicht kondensierend + LED-Beleuchtung	Wärmelufferzeuger, kondensierend + LED-Beleuchtung	Wärmelufferzeuger, kondensierend + LED-Beleuchtung + Fenster / Lichtband	Wärmelufferzeuger, kondensierend + LED-Beleuchtung + Komplettmodernisierung (1)	Wärmelufferzeuger, kondensierend + LED-Beleuchtung + Komplettmodernisierung (2)
Wärmeerzeuger			Wärmelufferzeuger, Erdgas; nicht kondensierend; Leistungsregelung 1	Wärmelufferzeuger, Erdgas; nicht kondensierend; Leistungsregelung 2	Wärmelufferzeuger, Erdgas; kondensierend; Leistungsregelung 2	Wärmelufferzeuger, Erdgas; kondensierend; Leistungsregelung 2	Wärmelufferzeuger, Erdgas; kondensierend; Leistungsregelung 2	Wärmelufferzeuger, Erdgas; kondensierend; Leistungsregelung 2
Wärmeübergabe			Luftauslass seitlich; Radialventilator; P-Regler	Geringe Ausblasttemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblasttemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblasttemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblasttemperatur; Radialventilator; PI-Regler	Geringe Ausblasttemperatur; Radialventilator; PI-Regler
Wärmeverteilung	hydraulischer Abgleich		-	-	-	-	-	-
	Pumpe		-	-	-	-	-	-
	Dämmung Rohrleitungen		-	-	-	-	-	-
Trinkwassererwärmung			E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE	E-DLE
			-	-	-	-	-	-
Beleuchtung			Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen	LED-Lampen
Belüftung			-	-	-	-	-	-
Kühlung			-	-	-	-	-	-
U-Wert	Außenwand	W/m²K	0,85	0,85	0,85	0,85	0,34	0,28
	Tor	W/m²K	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00
	Fenster	W/m²K	1,90	1,90	1,90	1,30	1,30	1,30
	Lichtband	W/m²K	3,10	3,10	3,10	2,00	2,00	2,00
	Flachdach	W/m²K	0,40	0,40	0,40	0,40	0,28	0,24
	Bodenplatte	W/m²K	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Wärmebrücken	W/m²K	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05
Dichtheitsprüfung			ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit

Endenergiebedarf	Wärme + Hilfsenergie		kWh/a	288.352	260.209	238.129	186.065	133.528	124.027
	Einsparung	absolut	kWh/a	-	28.143	50.223	102.288	154.824	164.325
		relativ	%	-	9,8%	17,4%	35,5%	53,7%	57,0%
Primärenergiebedarf	PE-Faktor nicht erneuerbar	2020	kWh/m²a	157,0	140,1	129,5	104,7	79,3	73,5
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	16,9	27,4	52,3	77,7	83,5
		relativ	%	-	10,8%	17,5%	33,3%	49,5%	53,2%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2030	kWh/m²a	135,2	122,2	111,7	86,7	61,7	57,3
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	13,0	23,5	48,4	73,5	77,9
		relativ	%	-	9,6%	17,4%	35,8%	54,4%	57,6%
	PE-Faktor nicht erneuerbar	2050	kWh/m²a	116,1	106,6	96,0	71,1	46,3	43,2
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	9,5	20,1	45,0	69,8	72,9
		relativ	%	-	8,2%	17,3%	38,8%	60,2%	62,8%
	PE-Faktor gesamt	2020	kWh/m²a	170,6	151,3	140,7	115,9	90,3	83,6
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	19,3	29,9	54,7	80,3	87,1
		relativ	%	-	11,3%	17,5%	32,1%	47,1%	51,0%
	PE-Faktor gesamt	2030	kWh/m²a	154,3	137,9	127,3	102,4	77,1	71,4
	Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	16,4	27,0	51,8	77,2	82,8
		relativ	%	-	10,6%	17,5%	33,6%	50,0%	53,7%
PE-Faktor gesamt	2050	kWh/m²a	140,6	126,7	116,1	91,2	66,1	61,3	
Einsparung	absolut	kWh/m²a	-	13,9	24,5	49,4	74,6	79,3	
	relativ	%	-	9,9%	17,4%	35,1%	53,0%	56,4%	
CO₂-Äquivalent	2020		t/a	89,3	78,9	73,6	61,1	48,2	44,6
	Einsparung	absolut	t/a	-	10	16	28	41	45
		relativ	%	-	11,6%	17,5%	31,5%	46,0%	50,0%
	2030		t/a	74,3	66,6	61,3	48,8	36,1	33,5
	Einsparung	absolut	t/a	-	8	13	25	38	41
		relativ	%	-	10,3%	17,5%	34,3%	51,3%	54,9%
2050		t/a	55,8	51,4	46,1	33,6	21,2	19,8	
Einsparung	absolut	t/a	-	4,3	9,6	22,2	34,6	36,0	
	relativ	%	-	7,8%	17,3%	39,7%	62,0%	64,5%	

Energiekosten	2020		€/a	30.128	26.746	25.607	22.924	19.933	18.376
	Einsparung	absolut	€/a	-	3.382	4.521	7.204	10.195	11.752
		relativ	%	-	11%	15%	24%	34%	39%
	2030 unterer Pfad		€/a	42.754	38.436	36.079	30.506	24.633	22.774
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.317	6.674	12.248	18.121	19.980
		relativ	%	-	10%	16%	29%	42%	47%
	2030 oberer Pfad			45.385	40.871	38.256	32.075	25.600	23.678
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.514	7.129	13.310	19.785	21.707
		relativ	%	-	10%	16%	29%	44%	48%
	2050 unterer Pfad		€/a	48.164	43.311	40.559	34.049	27.219	25.175
	Einsparung	absolut	€/a	-	4.854	7.605	14.115	20.946	22.989
		relativ	%	-	10%	16%	29%	43%	48%
	2050 oberer Pfad		€/a	53.535	48.279	45.002	37.251	29.192	27.021
	Einsparung	absolut	€/a	-	5.256	8.533	16.284	24.343	26.514
relativ		%	-	10%	16%	30%	45%	50%	
Investitionen (Vollkosten)	Anlagentechnik		€	-	34.700	38.200	31.800	24.200	24.200
	Beleuchtung		€	-	51.800	51.800	51.800	51.800	51.800
	Dämmung		€	-	0	0	0	515.100	534.400
	Fenster		€	-	0	0	473.200	473.200	473.200
Investitionskosten energiebedingte Mehrkosten	Anlagentechnik		€	-	2.200	5.700	5.600	4.300	4.300
	Beleuchtung		€	-	10.400	10.400	10.400	10.400	10.400
	Dämmung		€	-	0	0	0	381.400	400.800
	Fenster		€	-	0	0	74.900	74.900	74.900
Förderung		€		17.300	18.000	111.360	212.860	216.720	
Kapitalgebundene Kosten	Vollkosten		€/a	-	4.232	4.403	20.993	35.685	36.249
	energiebedingte Mehrkosten		€/a	-	2	2	2	10.179	10.747
Betriebsbedingte Kosten	Wartung		€/a	400	400	400	400	400	400
	Instandsetzungskosten Anlagentechnik		€/a	1.560	1.390	1.440	1.350	1.230	1.230
	Instandsetzungskosten Gebäudehülle		€/a	6.900	6.900	6.900	6.900	6.900	6.900
	Schornsteinfegerkosten		€/a	150	150	150	120	90	90
	Summe		€/a	9.010	8.840	8.890	8.770	8.620	8.620

Amortisationszeit	Vollkosten	2020	a	-	20	16	62	84	74	
		2030 unterer Pfad	a	-	16	11	36	47	43	
		2030 oberer Pfad	a	-	15	10	33	43	40	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	a	-	0	0	0	27	25	
		2030 unterer Pfad	a	-	0	0	0	15	15	
		2030 oberer Pfad	a	-	0	0	0	14	14	
Jahresgesamtkosten	Vollkosten	2020	€/a	39.138	39.818	38.900	52.687	64.238	63.245	
		2030 unterer Pfad	€/a	51.764	51.508	49.373	60.269	68.938	67.643	
		2030 oberer Pfad	€/a	54.395	53.943	51.550	61.838	69.905	68.548	
		2050 unterer Pfad	€/a	57.174	56.383	53.852	63.812	71.523	70.044	
		2050 oberer Pfad	€/a	62.545	61.351	58.295	67.013	73.496	71.890	
	energiebedingte Mehrkosten	2020	€/a	39.138	35.589	34.499	31.696	38.732	37.743	
		2030 unterer Pfad	€/a	51.764	47.279	44.972	39.278	43.432	42.141	
		2030 oberer Pfad	€/a	54.395	49.713	47.149	40.847	44.398	43.045	
		2050 unterer Pfad	€/a	57.174	52.153	49.452	42.821	46.017	44.542	
		2050 oberer Pfad	€/a	62.545	57.122	53.895	46.023	47.990	46.388	
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	680	-238	13.549	25.100	24.107	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-10	-16	-28	-41	-45	
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	66	-15	482	612	540	
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-255	-2.391	8.505	17.174	15.880	
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-13	-25	-38	-41	
	Vollkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-33	-184	334	450	390
		Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-452	-2.845	7.442	15.509	14.153
		Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-13	-25	-38	-41
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-59	-219	292	407	347	

	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-3.549	-4.639	-7.442	-406	-1.395
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-10	-16	-28	-41	-45
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2020	€/t	-	-343	-296	-265	-10	-31
CO₂-Vermeidungskosten	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.485	-6.792	-12.485	-8.332	-9.623
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-13	-25	-38	-41
energiebedingte Mehrkosten	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 unterer Pfad	€/t	-	-585	-524	-491	-218	-236
	Differenz Jahresgesamtkosten		€/a	-	-4.682	-7.246	-13.548	-9.997	-11.350
	Differenz CO ₂ -Äquivalent		t/a	-	-8	-13	-25	-38	-41
	Energiekosten / CO ₂ -Äquivalent	2030 oberer Pfad	€/t	-	-611	-559	-532	-262	-279

13 Anlage 3: Steckbriefe der berechneten Wohn- und Nichtwohngebäude

Im Rahmen des Projektes wurden Steckbriefe für jedes der betrachteten 8 Wohn- und 8 Nichtwohngebäude im Umfang von 3 Seiten erstellt. Diese beinhalten eine Kurzbeschreibung des Gebäudes, des jeweiligen Ausgangszustandes und der betrachteten Modernisierungsoptionen. Die Auswirkungen auf den Endenergiebedarf und damit auf das mögliche Einsparpotenzial an THG-Emissionen sowie wirtschaftliche Aspekte (Energiekosten, Investitionen und Jahresgesamtkosten) werden graphisch dargestellt.

Einfamilienhaus klein

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	149 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	465 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	369 m ²



Ausgangszustand

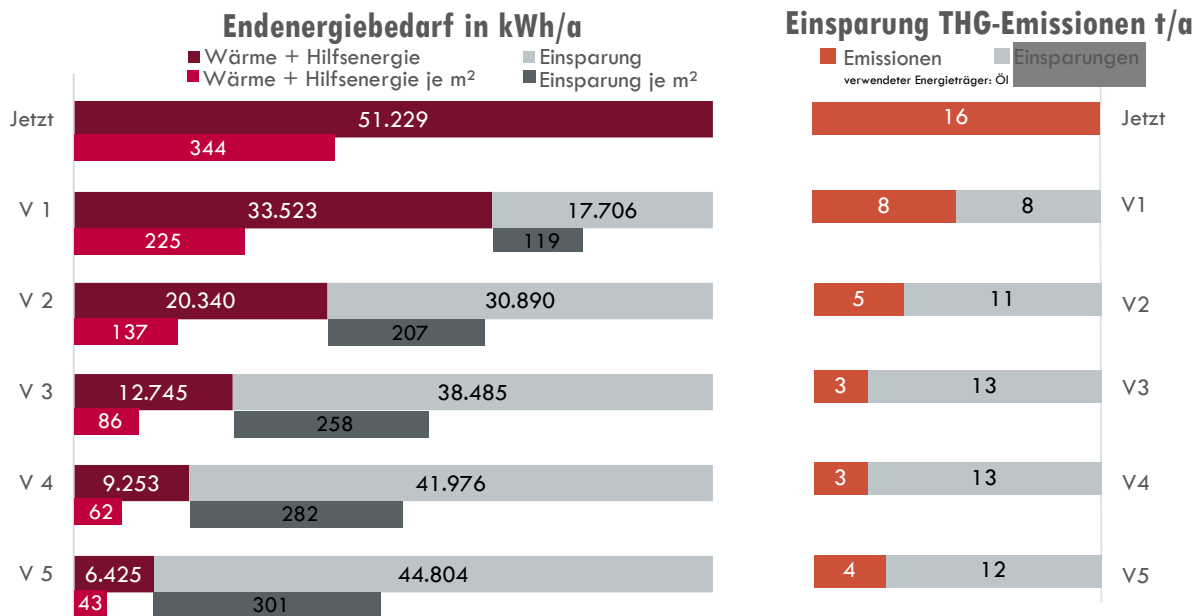
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Öl
Heizung	Öl-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelte Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Dass aus den 1960er-Jahren stammende, frei stehende kleine Einfamilienhaus besitzt zwei Geschosse. Als Besonderheit bestehen die Außenwände aus zweischaligem Mauerwerk. Erste energetische Modernisierungsmaßnahmen wurden um das Jahr 1995 an der Heizung (neue Öl-Niedertemperaturanlage), an den Fenstern und am oberen Gebäudeabschluss entsprechend der damals geltenden Wärmeschutzverordnung durchgeführt.

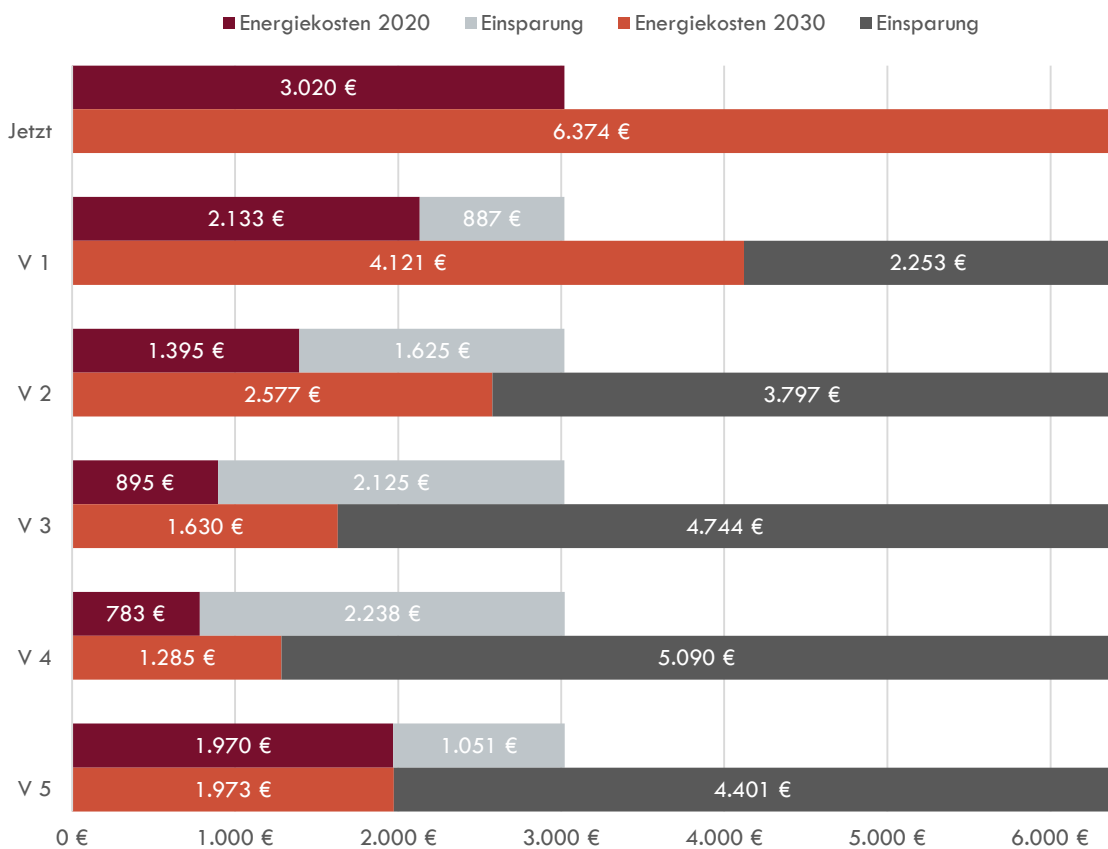
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm)
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm), Außenwände (140 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach 240 mm, OGD 200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1 + Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3

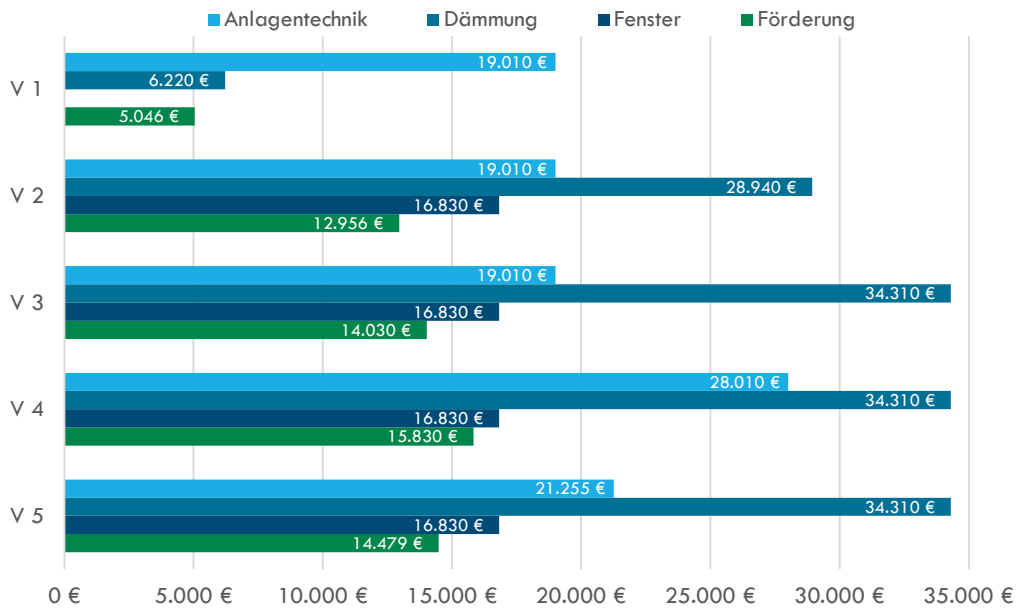
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

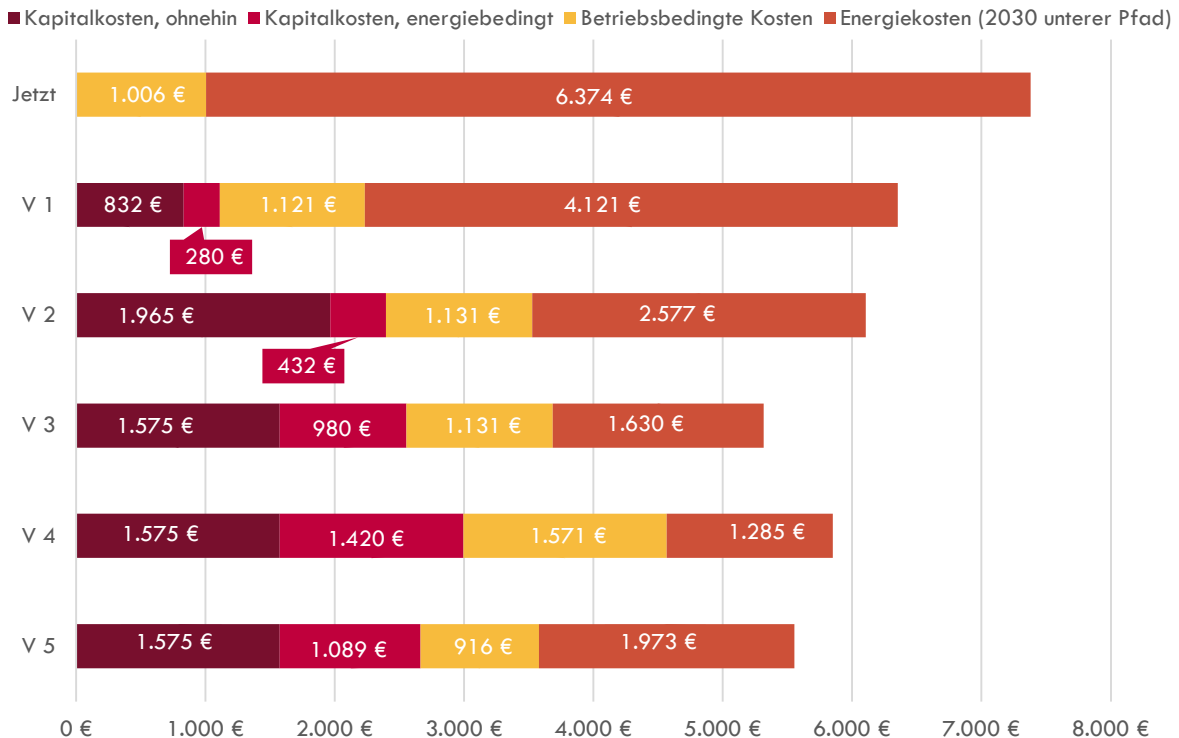


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Die betrachteten Teilmodernisierungsmaßnahmen (neue Heizung bzw. Dämmung der Außenwände und neue Fenster) am kleinen Einfamilienhaus sind noch nicht 2050 zielkonform. Um "2050-ready" zu sein, muss eine Komplettmodernisierung der Gebäudehülle durchgeführt und der ursprünglich vorhandene Öl-Niedertemperaturkessel durch einen modernen Gas-Brennwertkessel mit solar unterstützter Trinkwarmwassererwärmung oder einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden. In allen drei Komplettmodernisierungsoptionen kommt es zu einer deutlichen Senkung des Endenergiebedarfs um 75 %, 82 % und 87 % (Varianten 3, 4 und 5) sowie der CO₂-Emissionen um 82 %, 87 % und 99 %.



Einfamilienhaus mittel

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	178 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	423 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	462 m ²



Ausgangszustand

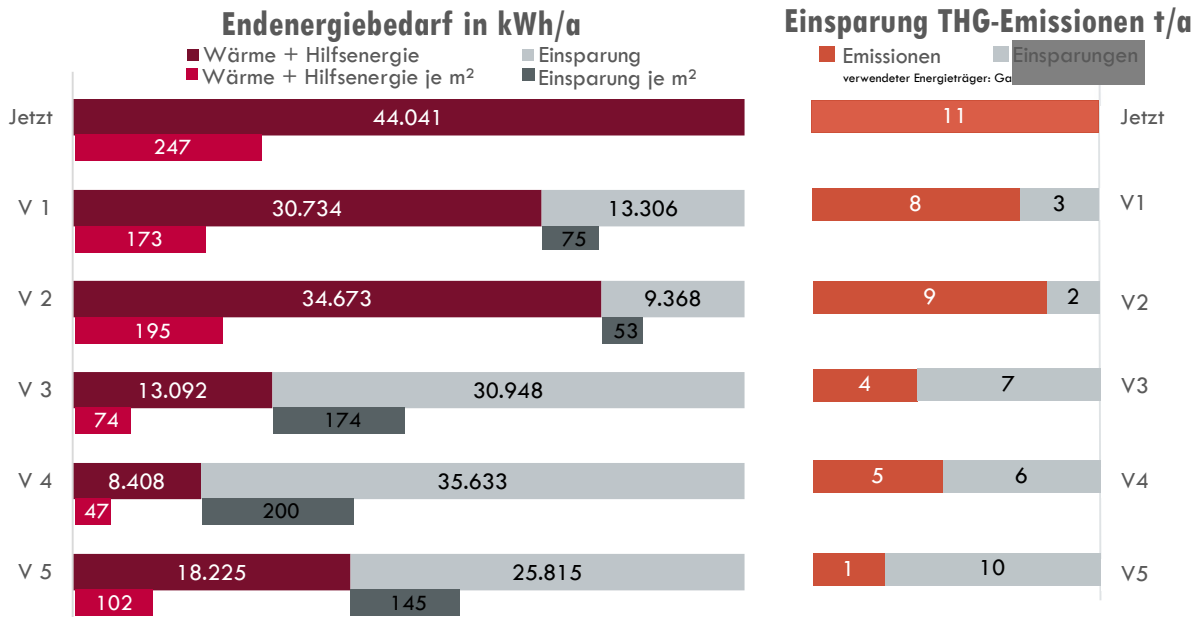
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Gas
Heizung	Gas-Brennwertanlage, etwa 25 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, geregelte Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Das mittelgroße freistehende Einfamilienhaus stammt aus den 1980er-Jahren und besitzt zwei Geschosse. Das Gebäude wird mit einer Gas-Brennwertanlage beheizt, welche um das Jahr 1995 eingebaut wurde. Die Bauteile der Gebäudehülle sind noch im Originalzustand und entsprechen der damals geltenden WSchV.

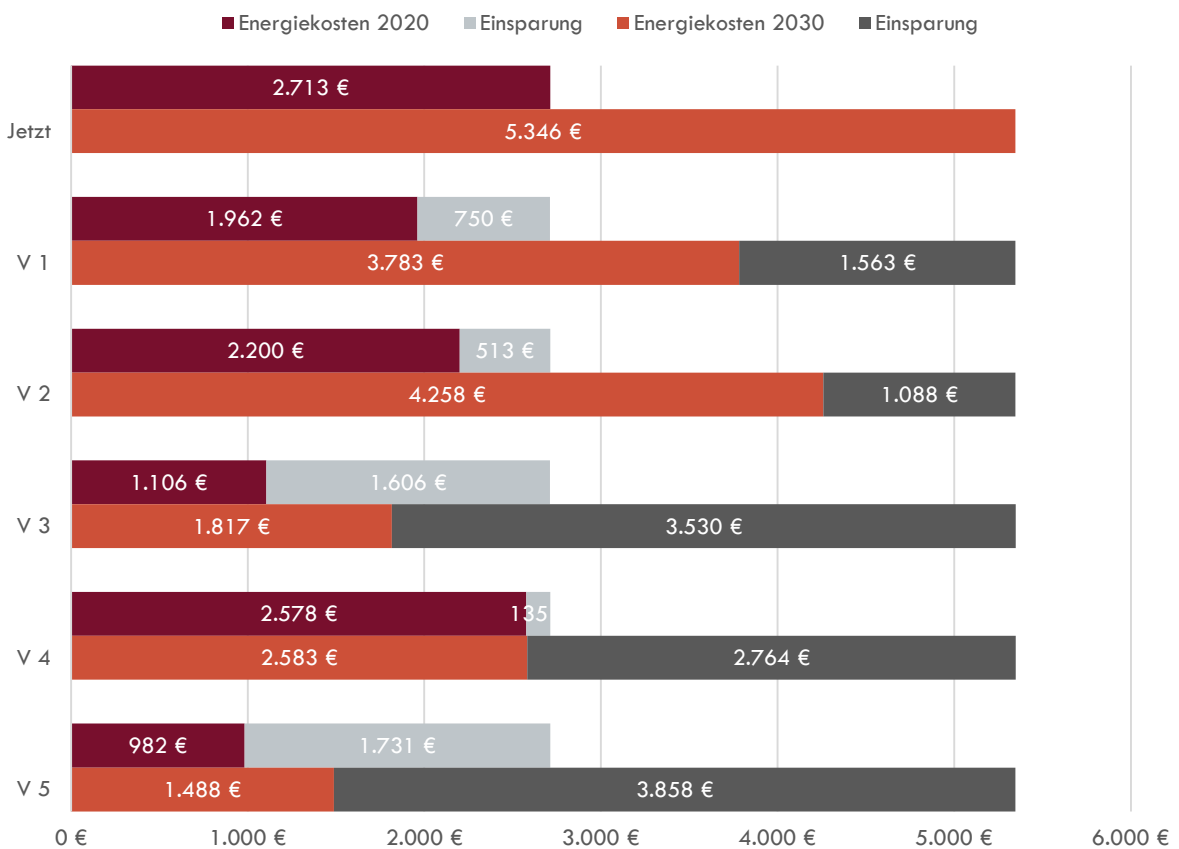
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	-	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm), Außenwände (140 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm)
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), geneigtes Dach (240 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • neue Pelletheizungsanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen • Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3

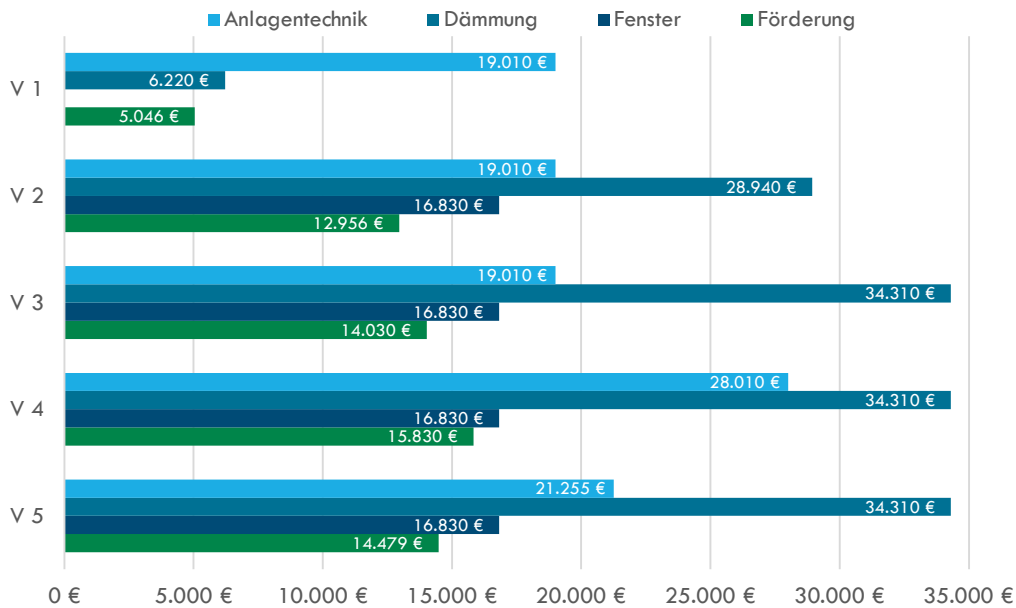
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

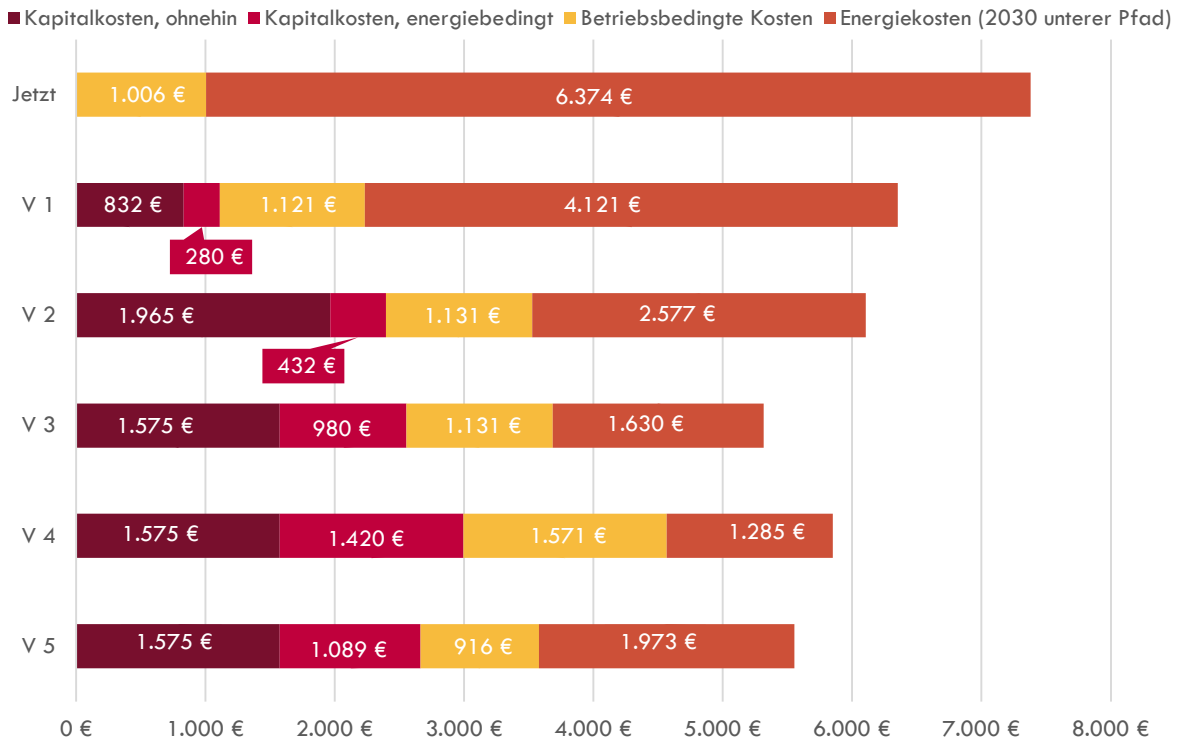


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Die betrachteten Teilmodernisierungsmaßnahmen (neue Heizung bzw. Dämmung der Außenwände und neue Fenster) am kleinen Einfamilienhaus sind noch nicht 2050 zielkonform. Um "2050-ready" zu sein, muss eine Komplettmodernisierung der Gebäudehülle durchgeführt und der ursprünglich vorhandene Öl-Niedertemperaturkessel durch einen modernen Gas-Brennwertkessel mit solar unterstützter Trinkwarmwassererwärmung oder einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden. In allen drei Komplettmodernisierungsoptionen kommt es zu einer deutlichen Senkung des Endenergiebedarfs um 75 %, 82 % und 87 % (Option A, B, C) sowie der CO₂-Emissionen um 82 %, 87 % und 99 %.

Doppelhaushälfte

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	165 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	393 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	306 m ²



Ausgangszustand

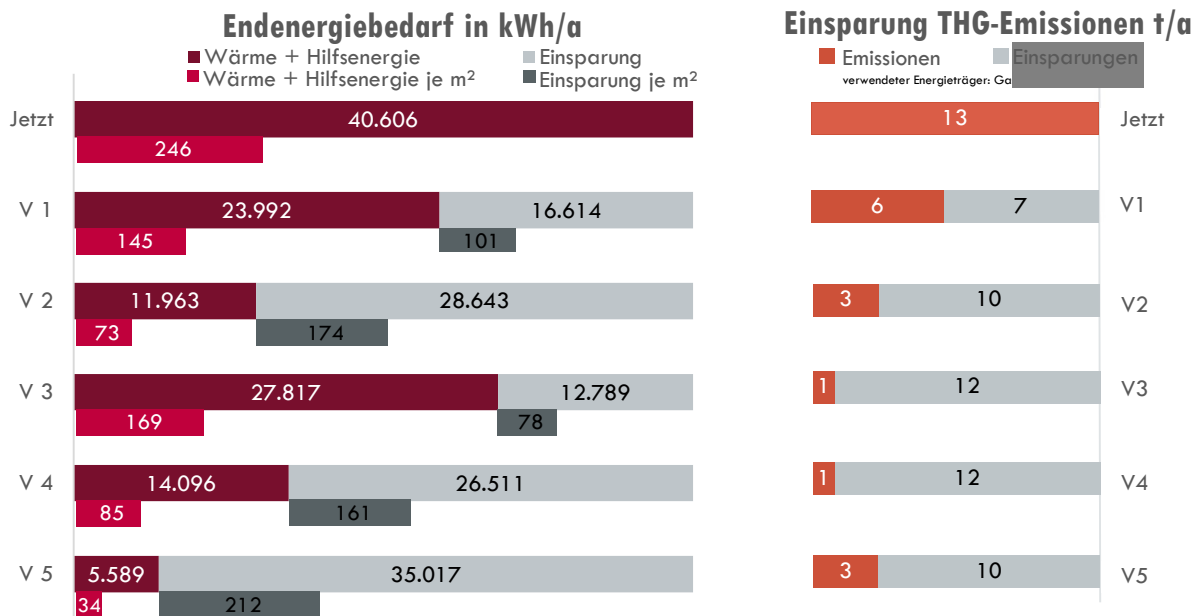
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Gas
Heizung	Gas-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelte Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Die einseitig angebunden und nach Osten orientierte Doppelhaushälfte besitzt zwei Geschosse und erhielt um das Jahr 1995 ihre letzte energetische Modernisierung, welche die Dämmung des oberen Gebäudeabschlusses, einen Austausch der Fenster und eine Erneuerung der Gas-Niedertemperaturanlage beinhaltete.

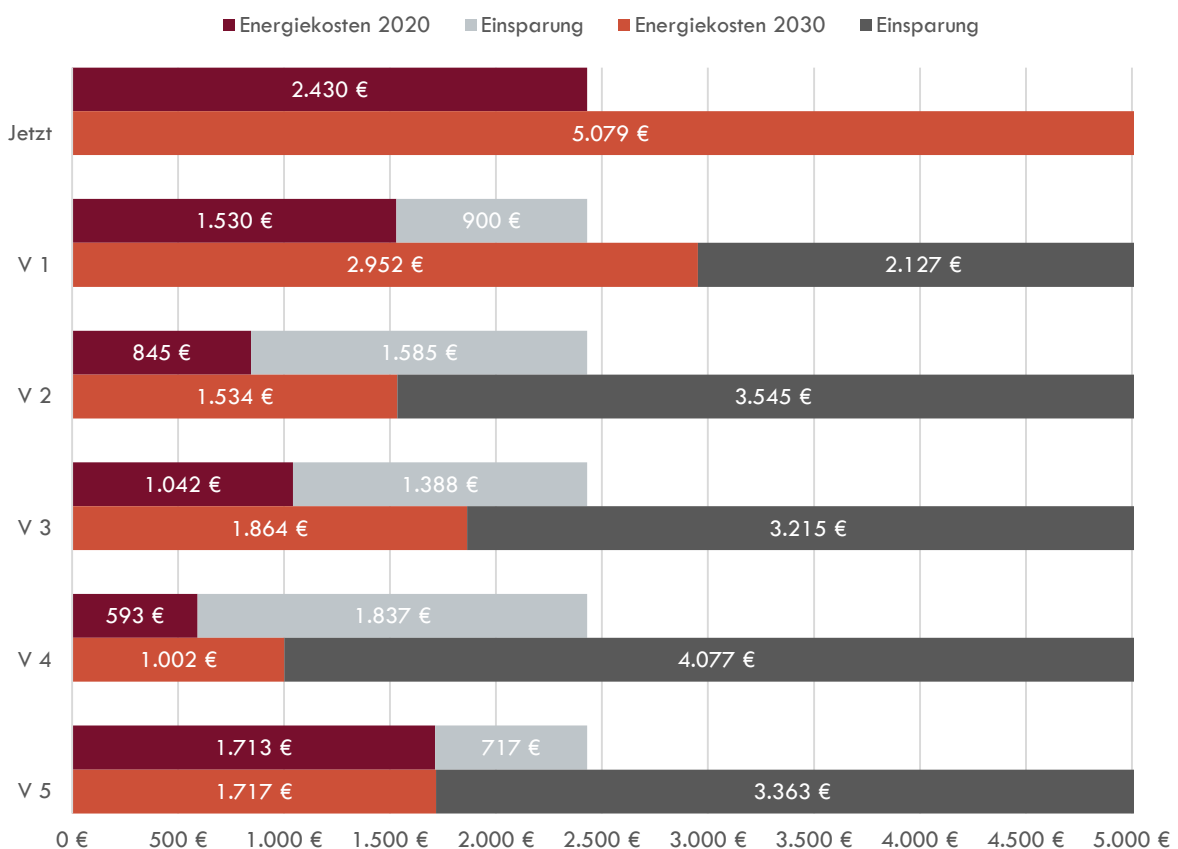
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm)
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach 240 mm, OGD 200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • neue Pelletheizungsanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (200 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach und OGD 300 mm), Kellerdeckenunterseite (140 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen • Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (80 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach und OGD 120 mm), Kellerdeckenunterseite (60 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Verglasung

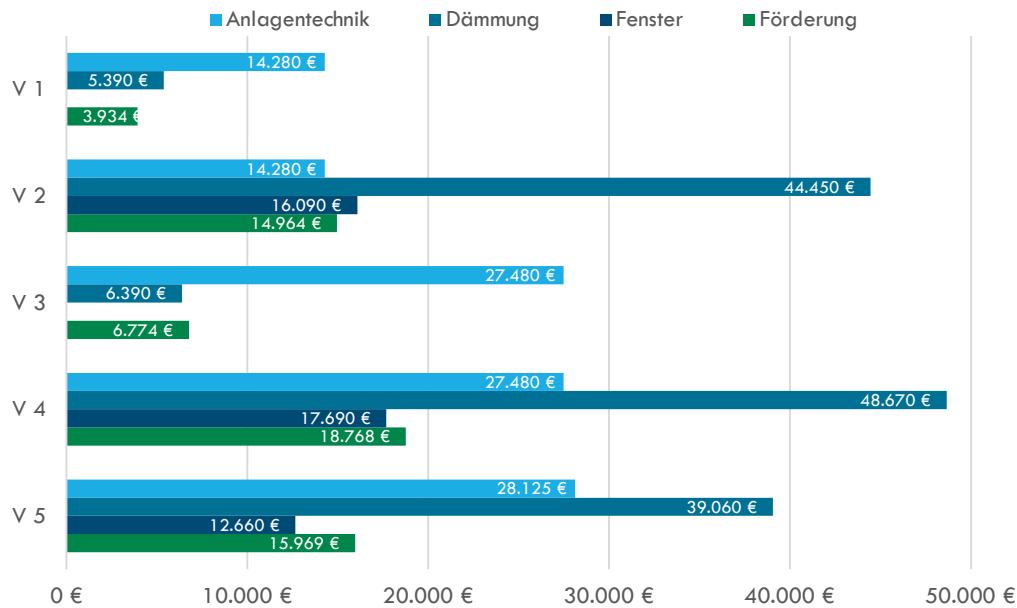
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

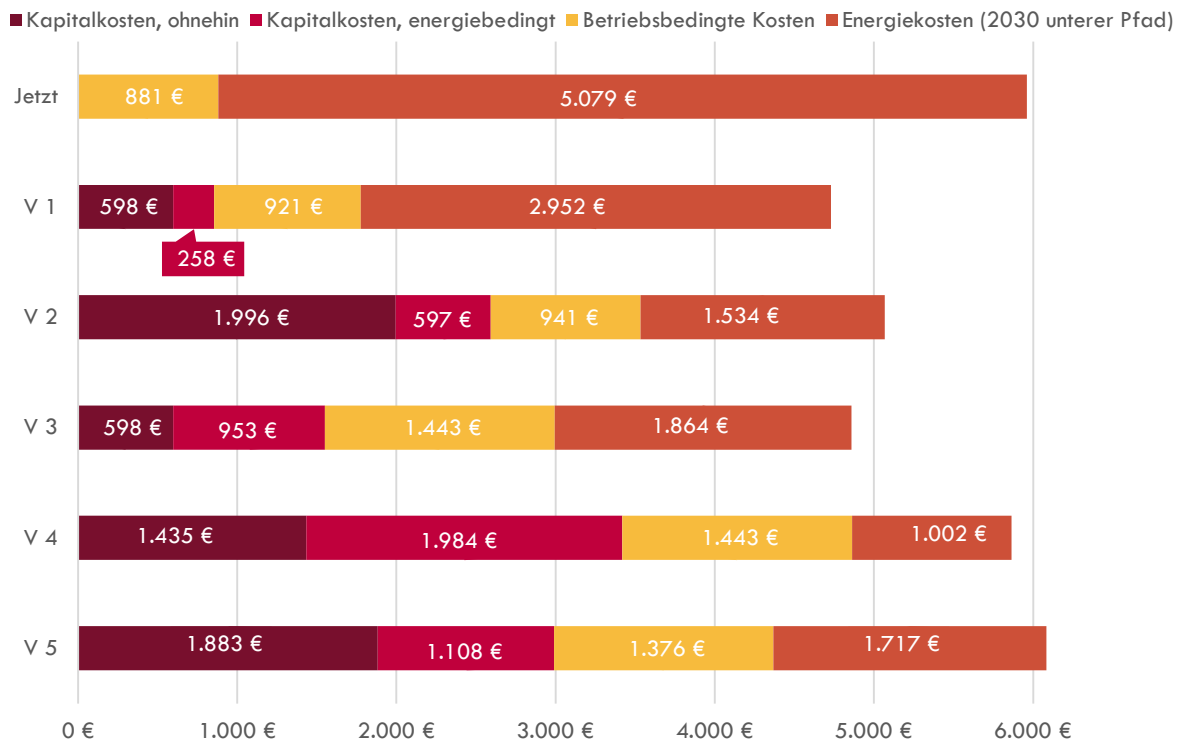


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Je nach Option kann der Endenergiebedarf zwischen 31 % und 86 % gegenüber dem aktuellen Ausgangszustand reduziert werden. Das Erreichen des 2050 Ziels ist allerdings nur mit der hocheffizienten Gebäudehülle möglich (Variante 2, 3 und 4). Für die aus dem energieträgerabhängigen Endenergiebedarf berechneten THG-Emissionen sind, je nach Modernisierungsschritt und eingesetzter Beheizungstechnologie, große Reduzierungen realisierbar. Schon der Einsatz einer Gas-Brennwertanlage in Kombination mit einer zusätzlich gedämmten Kellerdecke führen zu einer Einsparung von 56 % der THG. Für die Teilmodernisierung mit Pelletkessel sind es bereits 96 % im Jahr 2050. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, sinken die THG-Einsparungen bei der Variante 2 auf 78 % und für die Pellet-Option in den Varianten 3 und 4 sogar auf 98 %.



Reihenmittelhaus klein

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	193 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	458 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	236 m ²



Ausgangszustand

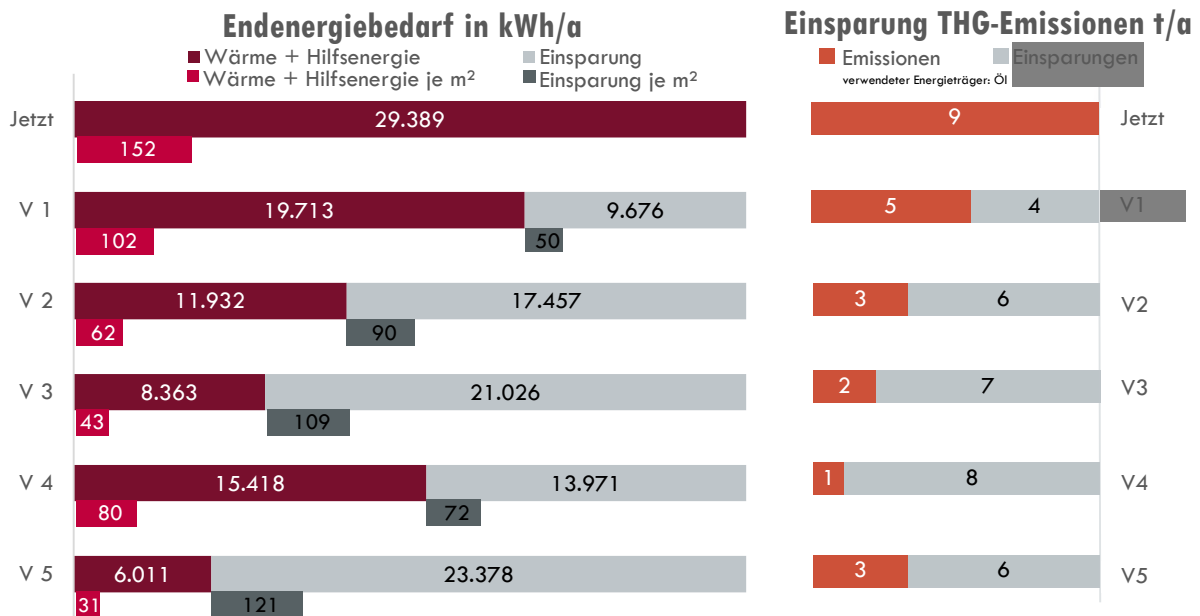
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Öl
Heizung	Öl-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelte Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

An dem in den 1960er-Jahren errichteten, beidseitig angebundenen kleinen Reihenmittelhaus (zwei Geschosse) wurden in den 1990er-Jahren neue Fenster eingesetzt und die oberste Geschossdecke bzw. das Steildach gedämmt. Zusätzlich wurde die alte Öl-Niedertemperaturanlage durch eine modernere ausgetauscht. Die verbleibenden Bauteile der Gebäudehülle sind noch im Zustand wie bei der Errichtung.

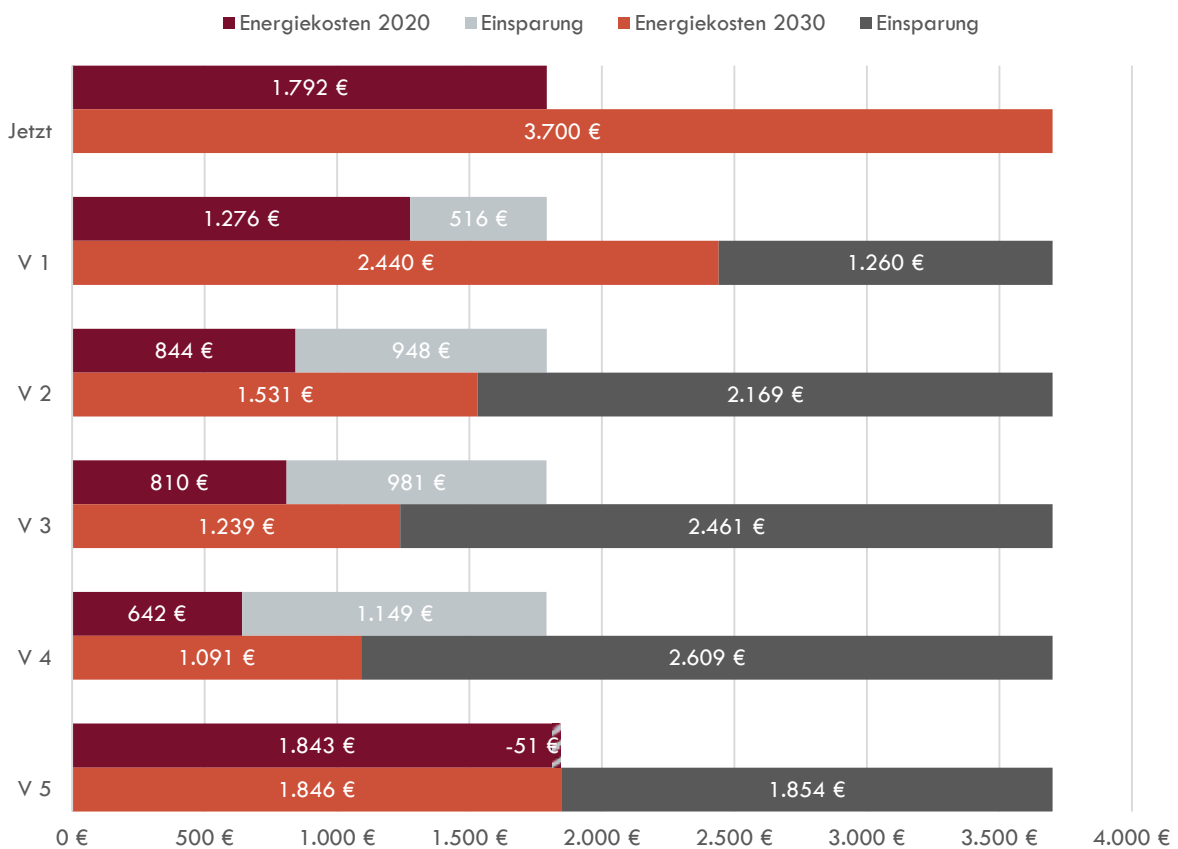
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm)
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach 240 mm, OGD 200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • neue Pelletheizungsanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2

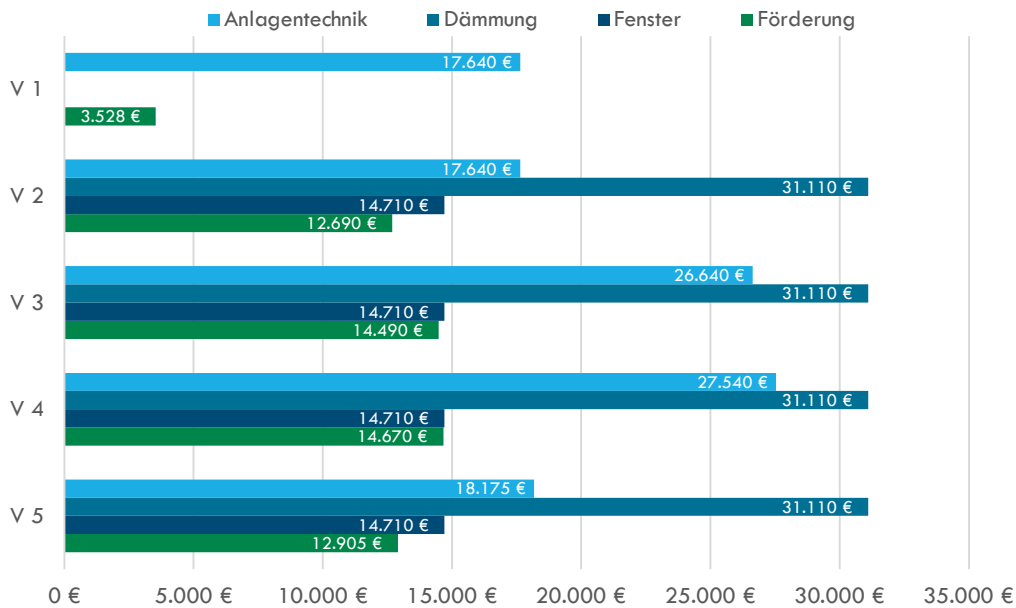
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

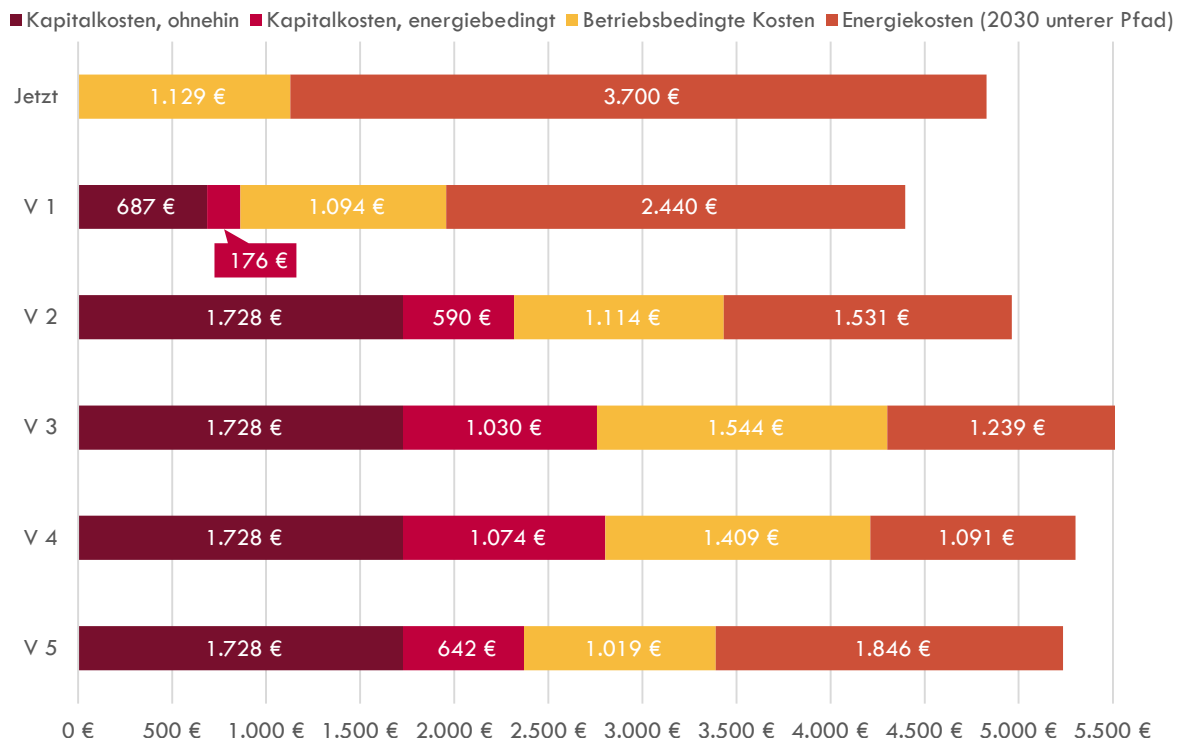


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Bei einer geringfügigen Modernisierung des Gebäudes mit einer neuen Gas-Brennwertanlage und der Dämmung der Kellerdecke lassen sich 50 % der Treibhausgase des Ausgangsfalls einsparen. Werden dann die Komplettmodernisierungen umgesetzt, erhöhen sich die THG-Einsparungen bei der Variante 2 auf 70 % und bei Variante 3 sogar auf 81 % wenn auch noch eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut wird. Eine Einsparung des Endenergiebedarfs ist hierbei um 72 % möglich. Für die Pellet-Option in Variante 4 sinken die Emissionen sogar um 97 %, der Endenergiebedarf jedoch nur um 48 %. Variante 5 weist durch den Einsatz einer Wärmepumpe in Kombination mit einer Komplettmodernisierung eine Einsparung des Endenergiebedarfs um 80 % und der THG um 64 % auf. Durch die Dekarbonisierung der Stromerzeugung bis 2050 wird bei den THG Emissionen 2050 mit dieser Variante allerdings eine Einsparung von 98 % erreicht.



Reihenmittelhaus groß

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	228 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	541 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	213 m ²



Ausgangszustand

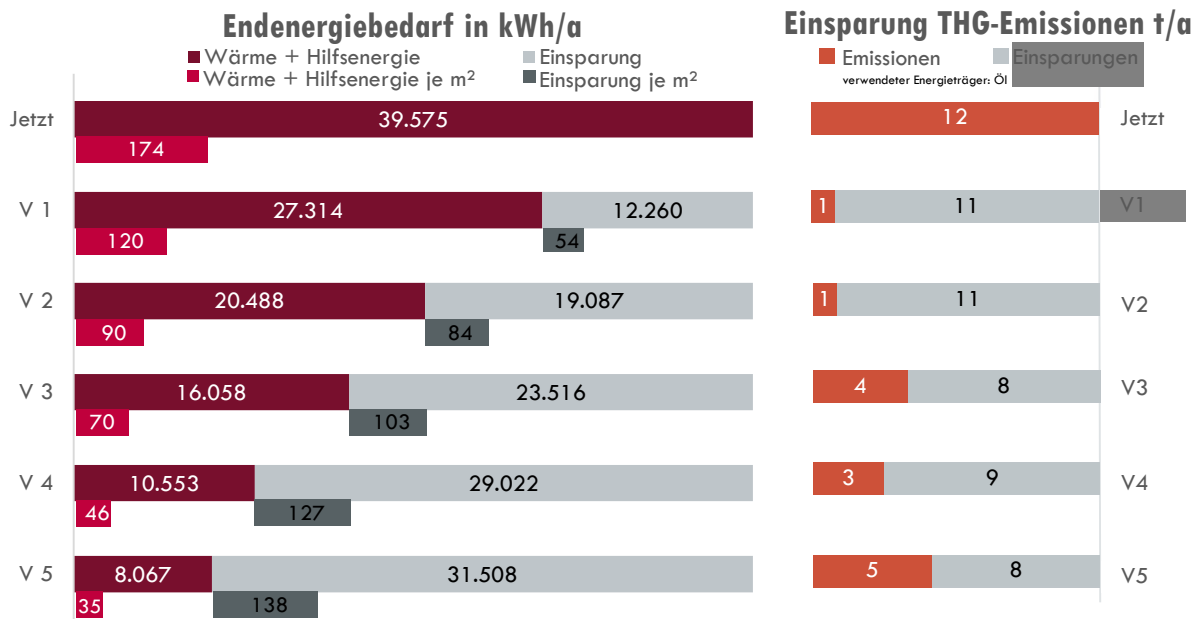
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Öl
Heizung	Öl-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Das beidseitig angebundene, große Reihenmittelhaus (zwei Geschosse) ist ein in den 1980er Jahren errichtetes Gebäude, dessen Fenster und Außenwand noch im Originalzustand der Errichtung sind. Dach und Kellerdecke wurden in den 1990er Jahren bei Modernisierungsarbeiten bereits dünn gedämmt, weisen aber für die Zeit nur moderate U-Werte auf. Im Zuge dieser Maßnahmen wurde ebenfalls die alte Heizungsanlage durch eine neue Öl-Niedertemperaturanlage ausgetauscht.

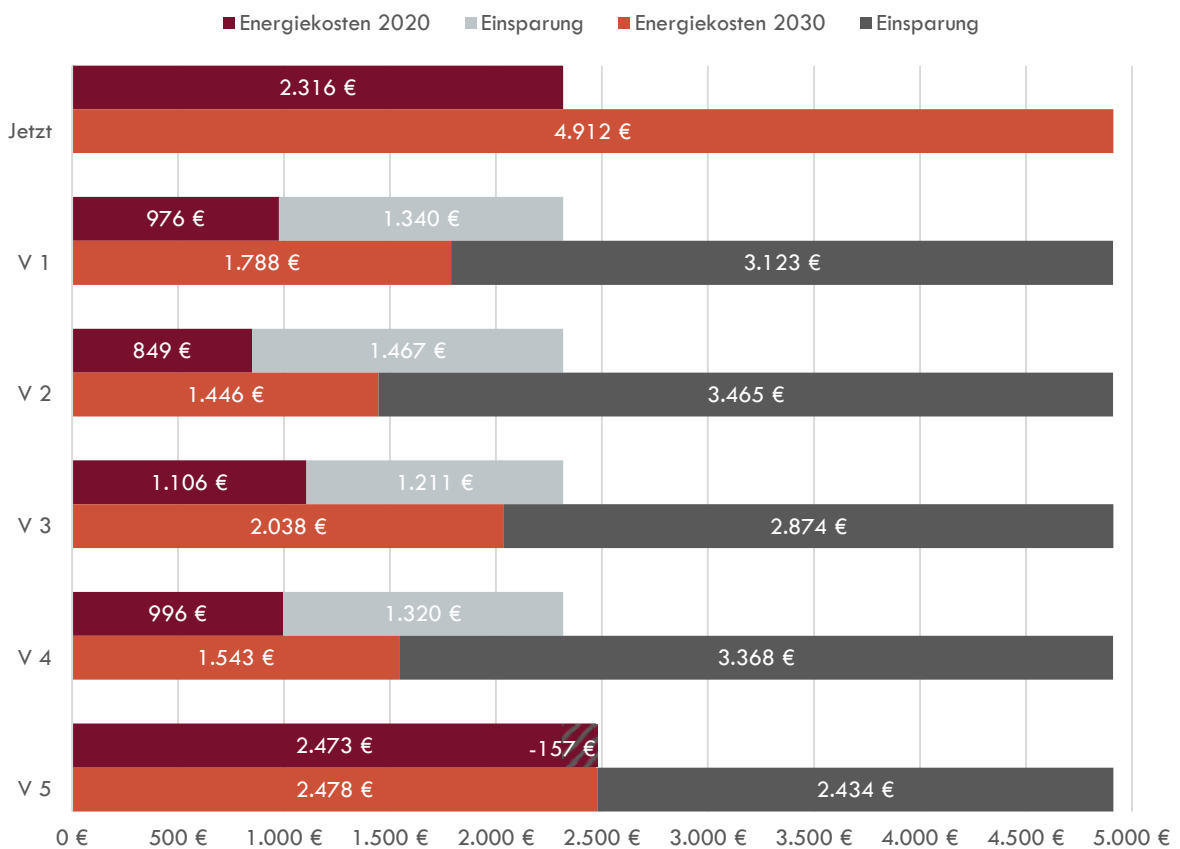
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Pelletheizungsanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), oberer Gebäudeabschluss (Dach 240 mm, OGD 200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Einbau zentrale Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2

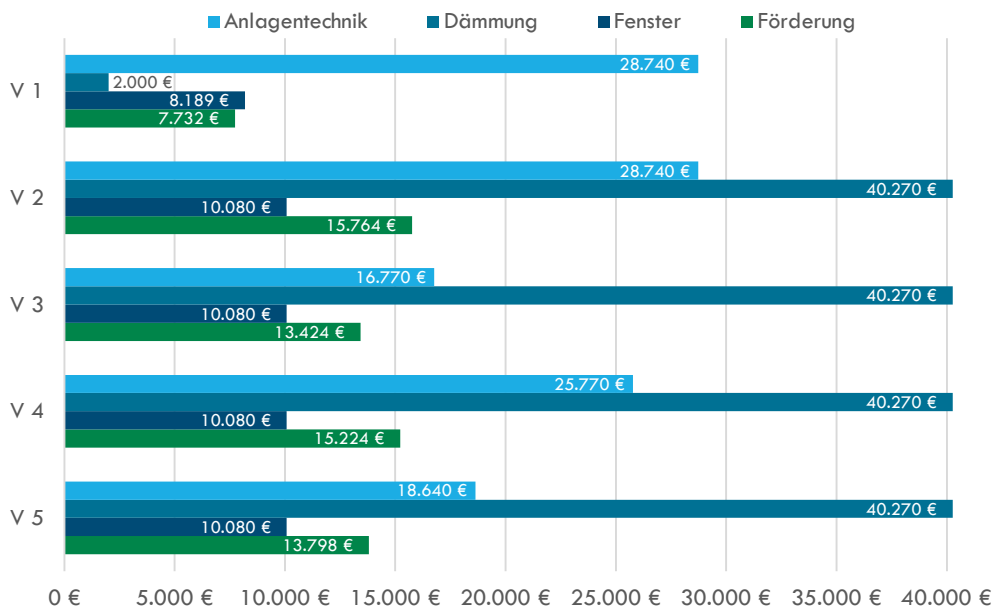
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

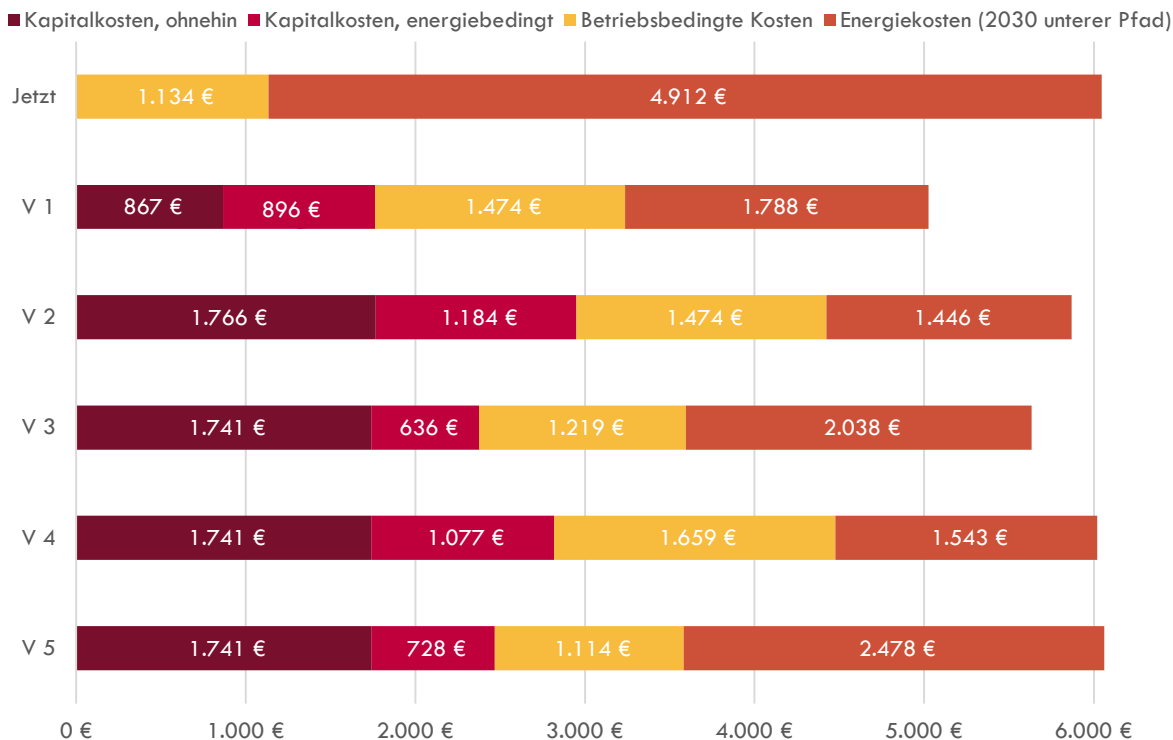


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Bei einer Komplettmodernisierung mit einer Holzpelletanlage kann der Energiebedarf um 48 % gesenkt werden. Bei der Variante mit Gasbrennwertkessel um 59 % bzw. sogar um 73 %, wenn eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut wird. Die Variante mit einer Luft-Wasserwärmepumpe reduziert den Endenergiebedarf um 80 % gegenüber dem Ausgangsfall. Die Variante 1 (Holzpellet) wie auch die Variante 5 (Wärmepumpe) sind 2050 nahezu klimaneutral. Bei der Variante 3 und 4 (Gas-Brennwertanlage) erfolgt eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Größenordnung von 70 % bzw. 82 % mit mechanischer Lüftung.

Mehrfamilienhaus klein

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	474 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	1.125 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	647 m ²



Ausgangszustand

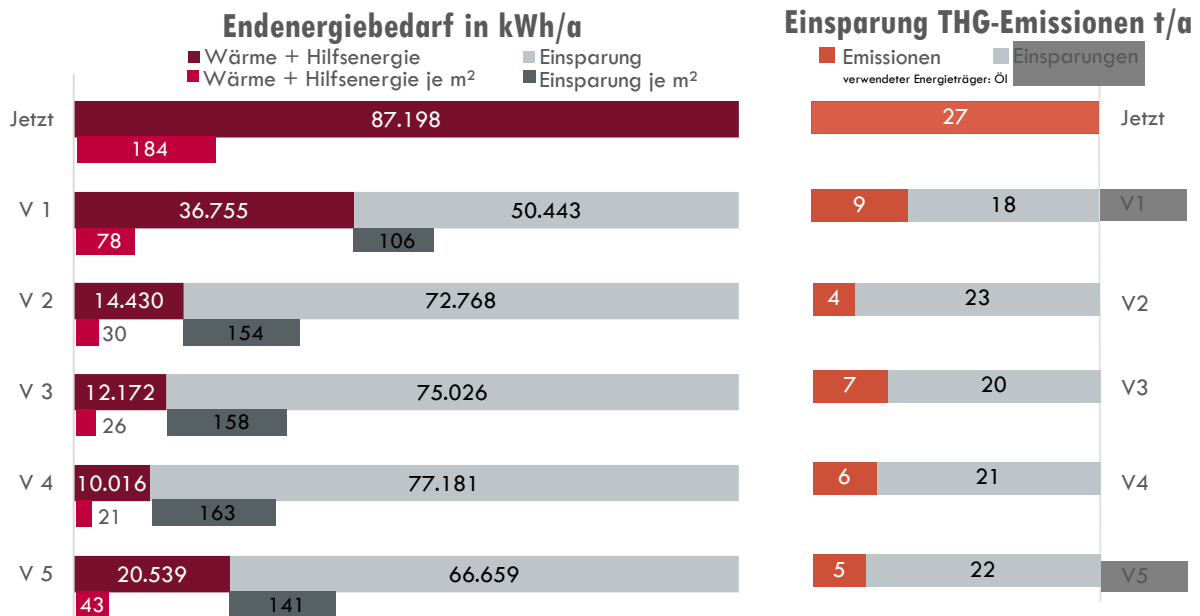
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Öl
Heizung	Öl-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Das kleine Mehrfamilienhaus ist beidseitig angebunden, besitzt drei Geschosse mit insgesamt sechs Wohneinheiten und gehört zur Baualterklasse der 1960er-Jahre. Flachdach und Kellerdecke sind bereits in den 1990er Jahren moderat gedämmt worden und die Fenster wurden einmalig erneuert. Ebenfalls wurde die alte Öl-Niedertemperaturanlage durch eine modernere ersetzt.

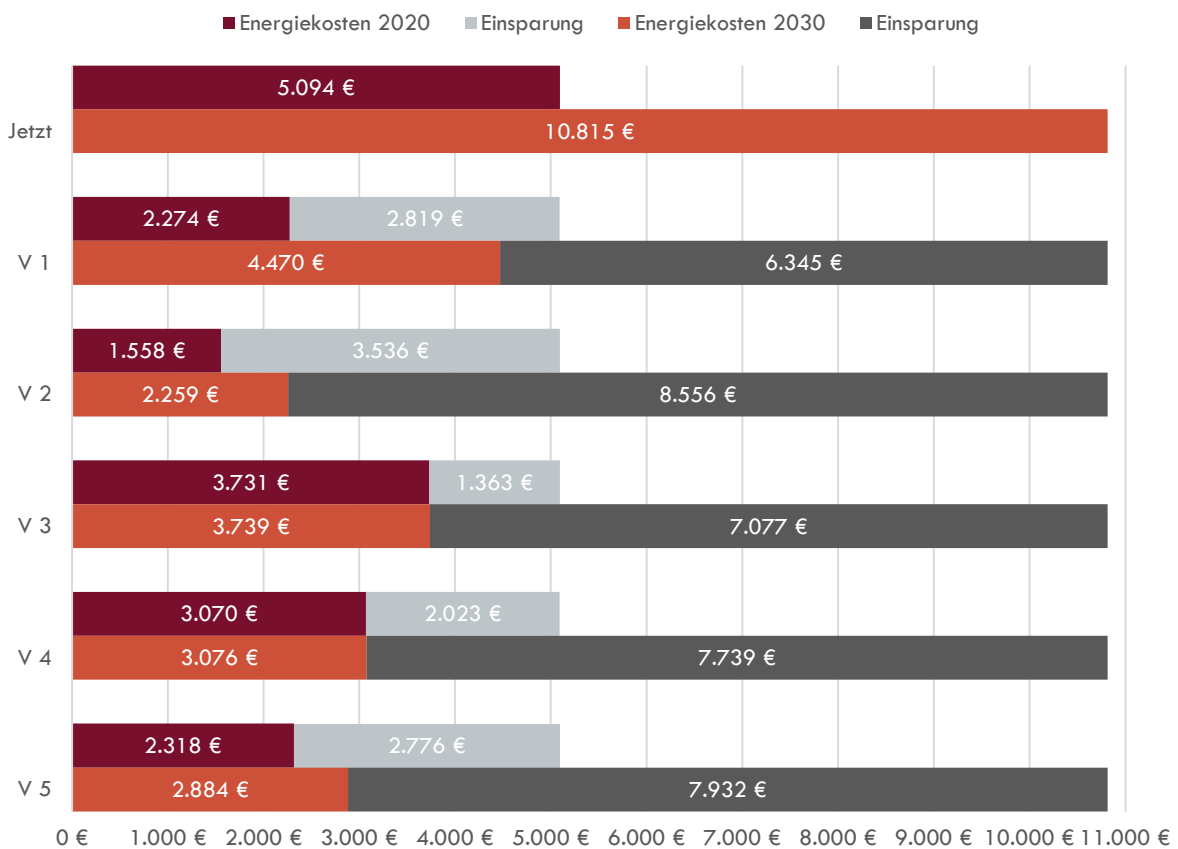
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (80 mm), Flachdach (120 mm), Kellerdeckenunterseite (60 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Verglasung
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Einbau zentrale Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), Flachdach (200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen • Einbau zentrale Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • Anschluss ans Fernwärmenetz • Einbau Übergabestation • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen • Einbau zentrale Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (200 mm), Flachdach (260 mm), Kellerdeckenunterseite (140 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Verglasung

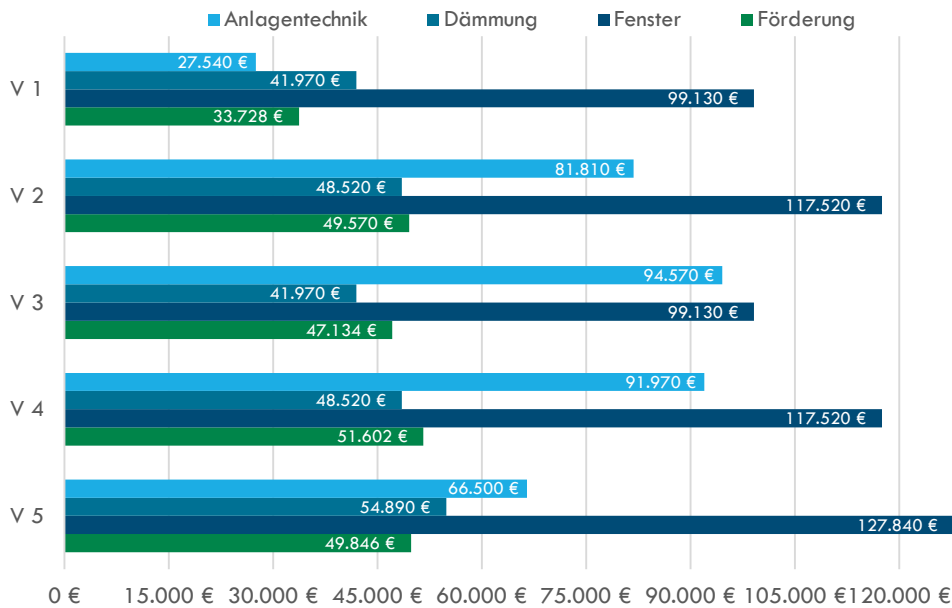
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

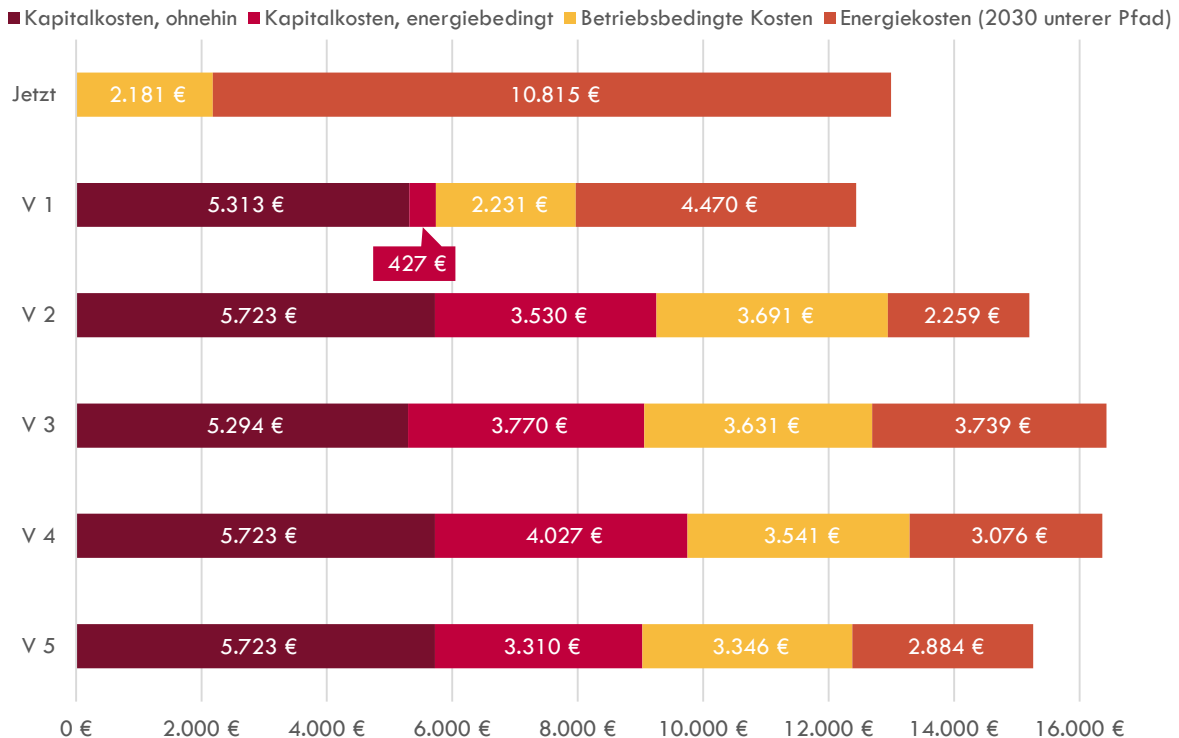


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Für das kleine Mehrfamilienhaus sind bei allen Varianten Vollmodernisierungen vorgesehen, jedoch mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern und Dämmstandards für die Gebäudehülle. Variante 1 sieht den Einsatz eines Gas-Brennwertkessels vor und erzielt in Kombination mit einer Gebäudehülle nach Referenzgebäudestandard eine Einsparung des Endenergiebedarfs um 58 % und der THG um 68 %. Erhöht man hierbei den Dämmstandard und ergänzt eine mechanische Lüftung (Variante 2) steigen die Einsparungen auf 83 % (EEB) und 90 % (THG). Mit dem Einbau einer L-W-Wärmepumpe werden energetische Einsparungen von 86 % (V 3) und 89 % (V 4) erreicht. Beide Varianten sind im Jahr 2050 fast vollständig emissionsfrei. Dies trifft auch für Variante 5 zu, welche eine Einsparung des Endenergiebedarfs um 76 % erreicht.

Mehrfamilienhaus mittel

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	475 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	1.128 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	790 m ²



Ausgangszustand

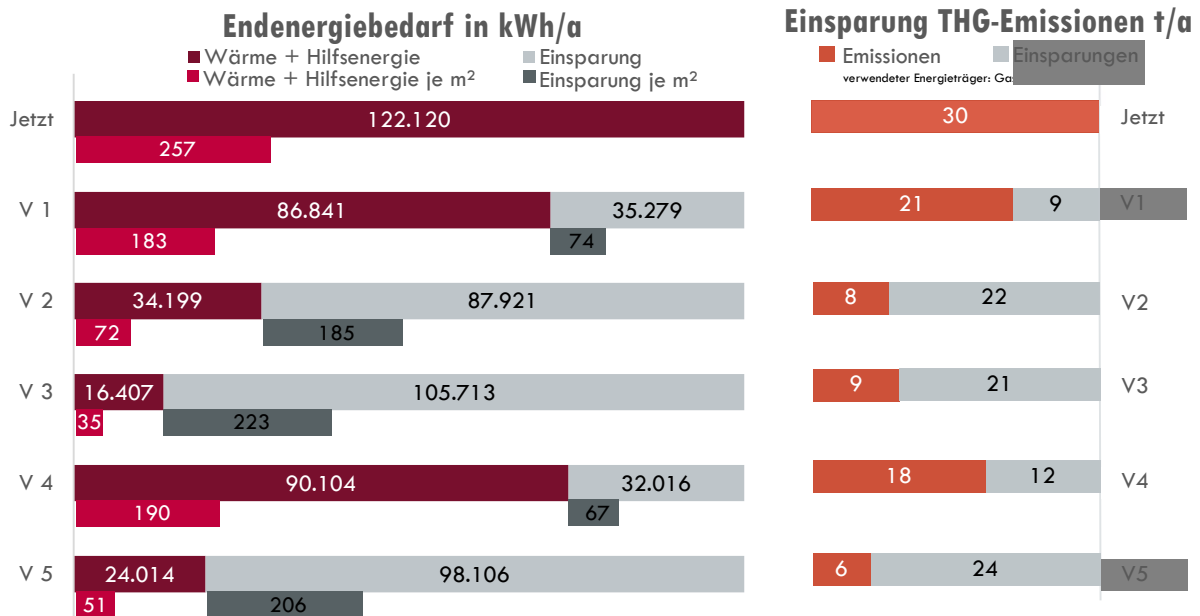
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Gas
Heizung	Gas-Niedertemperaturanlage, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelte Pumpe
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher

Das mittelgroße Mehrfamilienhaus ist ein freistehendes Gebäude aus den 1960er-Jahren mit drei Geschossen und insgesamt acht Wohneinheiten. Es hat ein moderat gedämmtes Dach und bei Modernisierungsmaßnahmen um das Jahr 1995 wurden die Fenster und die Heizungsanlage (Gas-Niedertemperaturkessel) erneuert.

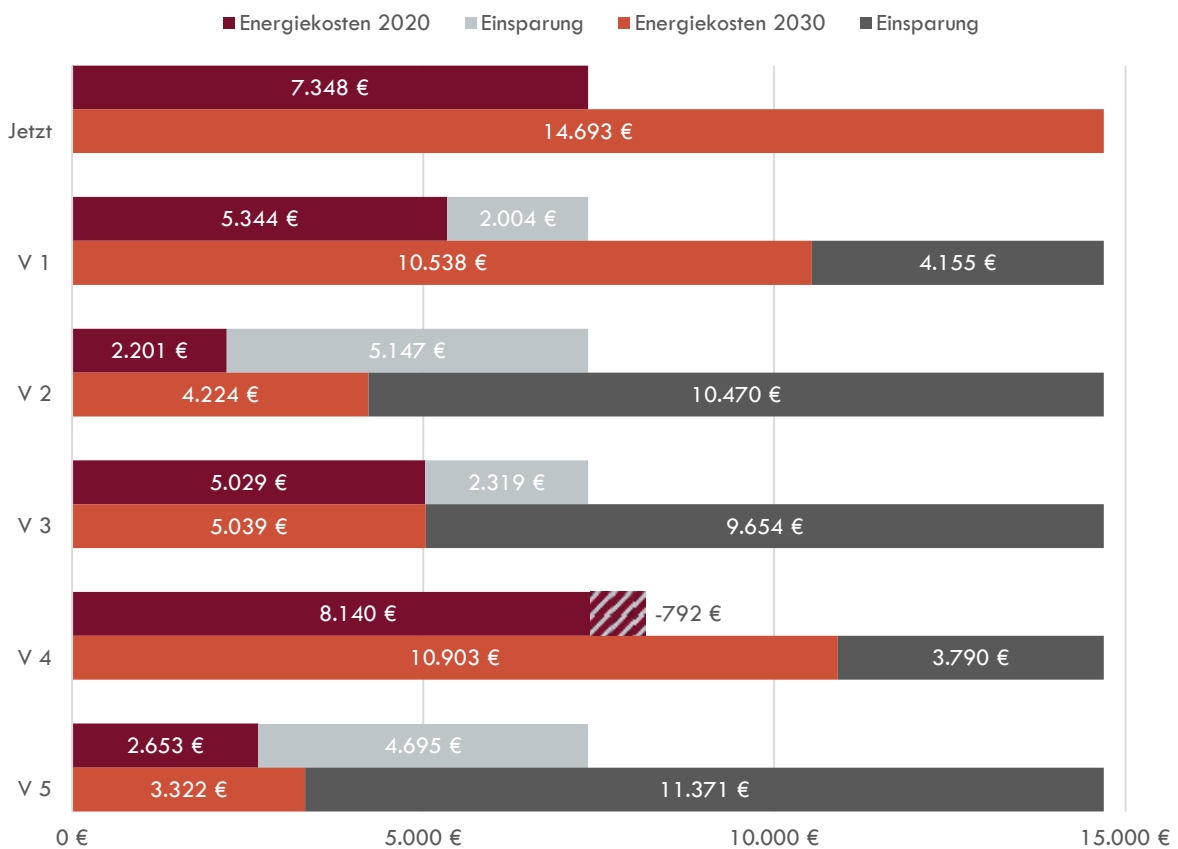
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Gas-Brennwertanlage mit solarer Trinkwassererwärmung • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Kellerdecke (100 mm)
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), geneigtes Dach (240 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmepumpenanlage • Austausch Radiatoren (Vorlauf 50°C / Rücklauf 40°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen • Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (80 mm), geneigtes Dach (120 mm), Kellerdeckenunterseite (60 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Verglasung
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Anschluss ans Fernwärmenetz • Einbau Übergabestation • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4 + Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2

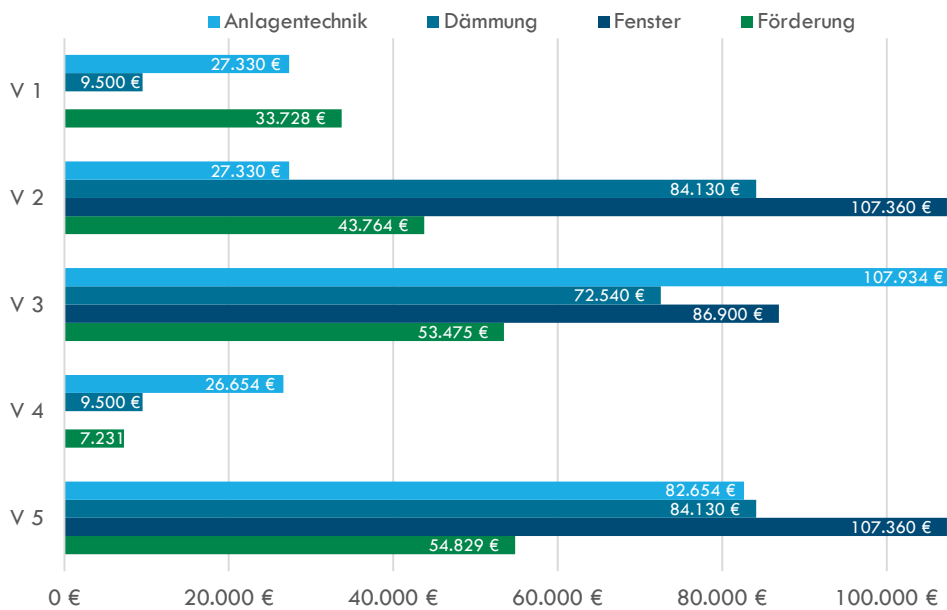
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

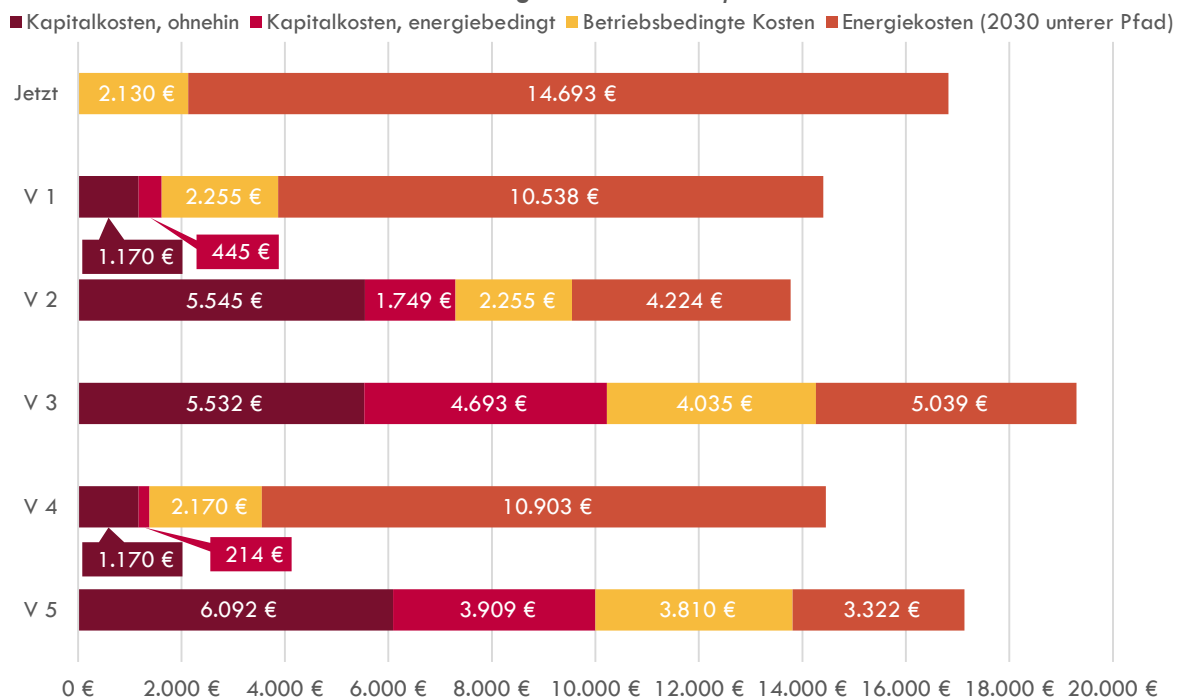


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Für das betrachtete Gebäude kann durch die alleinige Erneuerung des Heizungssystems (Variante 1) der Endenergiebedarf und die THG-Emissionen um knapp 30 % gesenkt werden. Durch eine Komplettmodernisierung der Gebäudehülle nach dem Effizienzstandard (Variante 2) können der Endenergiebedarf und die CO₂-Emissionen um ca. 70 % reduziert werden. Die höchste Einsparung an Endenergie (87 %) und THG-Emissionen (99 %) erreicht man mit einer kompletten Modernisierung der Gebäudehülle nach den aktuellen geltenden Regeln (GEG) und dem Einsatz einer Wärmepumpe in Kombination mit einer mechanischen Lüftungsanlage (Variante 3). Dafür müssen aber auch die höchsten Kosten aufgewendet werden. Der Anschluss an das Wärmenetz führt in der Teilmodernisierungsoption (Variante 4) zu Einsparungswerten von 26 % (EEB) und kann durch eine Komplettmodernisierung (Variante 5) zu einer Endenergieeinsparung von 80 % und (nach Dekarbonisierung der Fernwärme) fast kompletten Emissionsfreiheit gesteigert werden.

Mehrfamilienhaus groß

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Nutzfläche	1.530 m ²
Keller	unbeheizt
beheiztes Volumen	3.825 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	2.003 m ²



Ausgangszustand

1

2 (Variante 4)

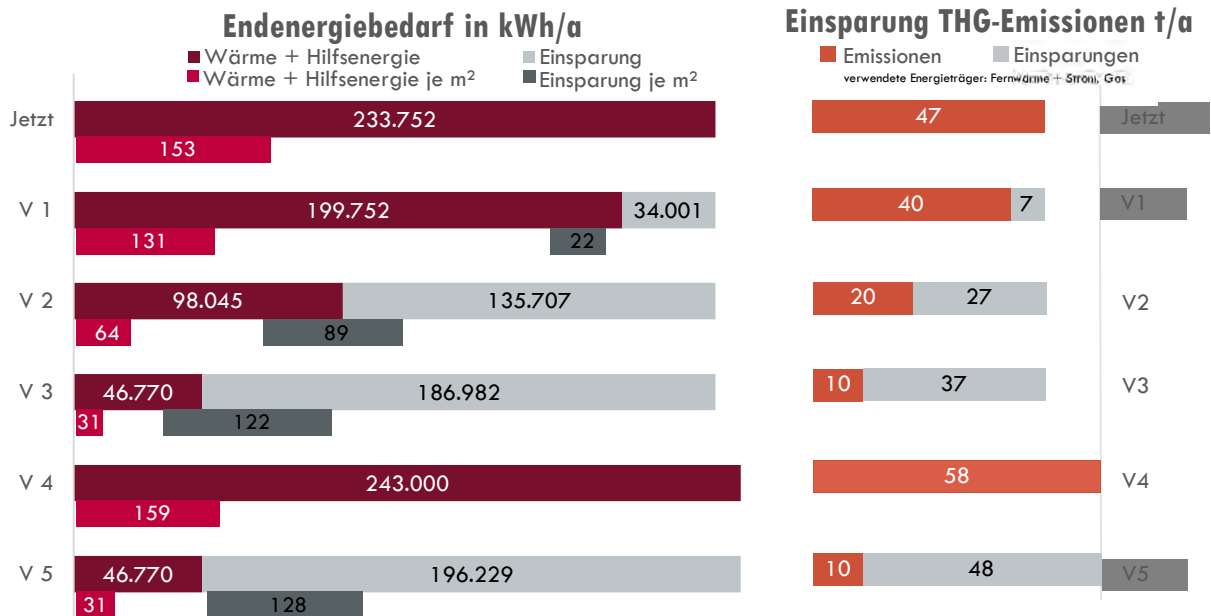
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84	
Energieträger	Nah-/ Fernwärme	Gas
Heizung	Wärmeübergabestation	Gas-Niedertemperaturanlage
	etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe	
Trinkwassererwärmung	über Wärmeerzeuger indirekt beheizter Speicher	

Das große Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten ist ein frei stehendes Gebäude aus den 1980er-Jahren mit fünf Geschossen. Das Gebäude wird in zwei Ausgangszuständen berechnet, die sich in der Wärmequelle unterscheiden. Der erste Ausgangszustand wird mit Nah-/Fernwärme gerechnet und der zweite Ausgangszustand hat als Anlage eine Niedertemperatur-Gasheizung. Die Gebäudehülle ist in beiden Ausgangszuständen gleich und deren Dämmeigenschaften entsprechend den baualterstypischen Werten.

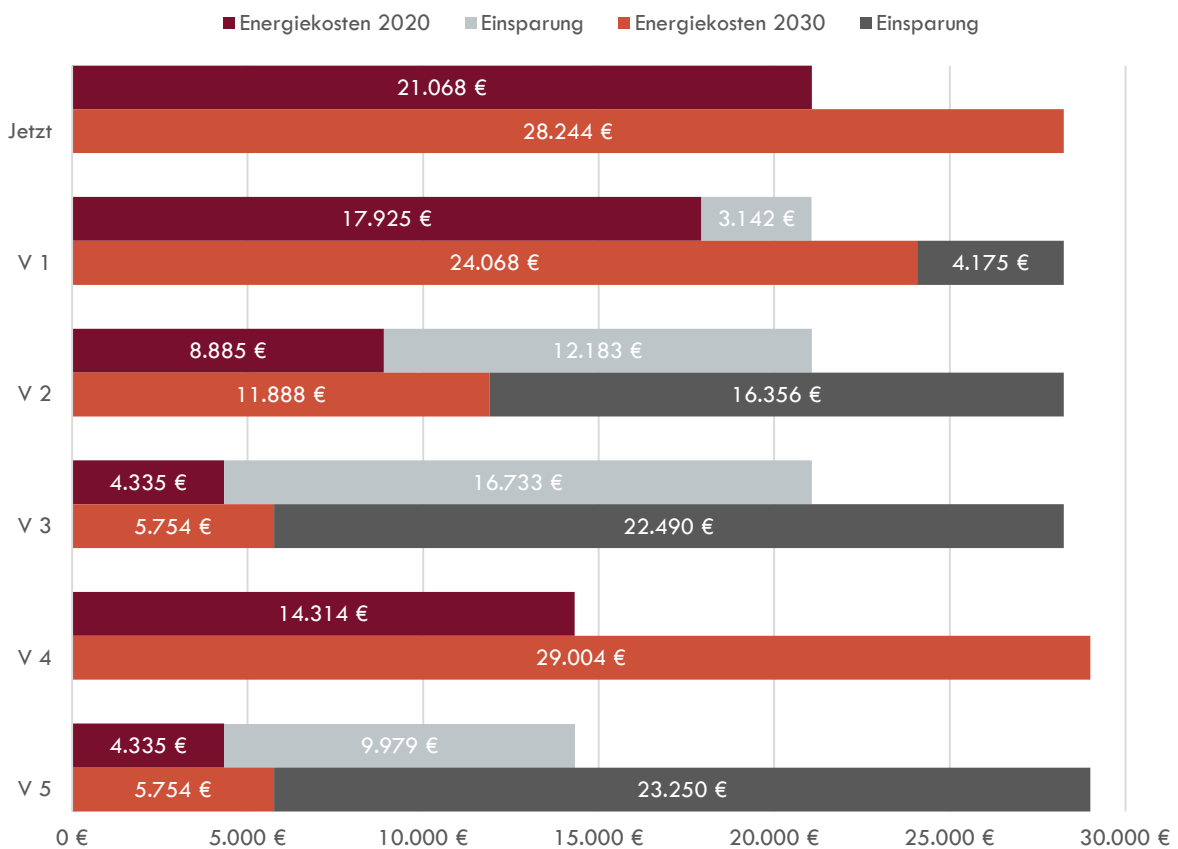
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Gebäudehülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Übergabestation • Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe • Dämmung Verteilleitungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Flachdach (240 mm), Kellerdecke (100 mm)
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmung Außenwände (140 mm), Flachdach (200 mm), Kellerdeckenunterseite (100 mm) • Austausch Fenster mit 3 Scheiben Wärmeschutzverglasung
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Einbau zentraler Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgangszustand 2: alte Gas-Niedertemperaturanlage 	-
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4 + Anschluss ans Fernwärmenetz + Einbau Übergabestation + Austausch Radiatoren (Vorlauf 55°C / Rücklauf 45°C) und Pumpe + Dämmung Verteilleitungen + Einbau zentrale Lüftungsanlage mit 80 % WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2

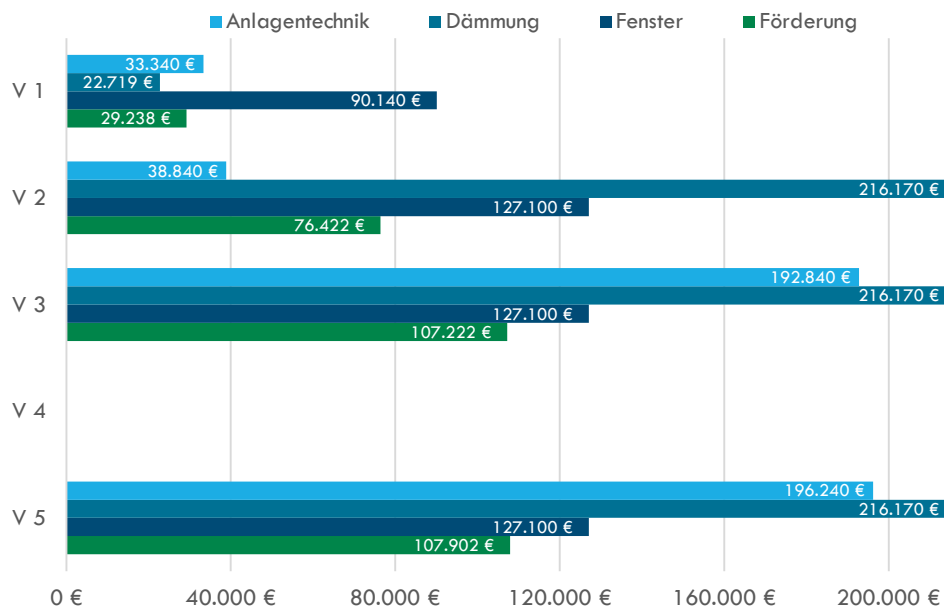
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

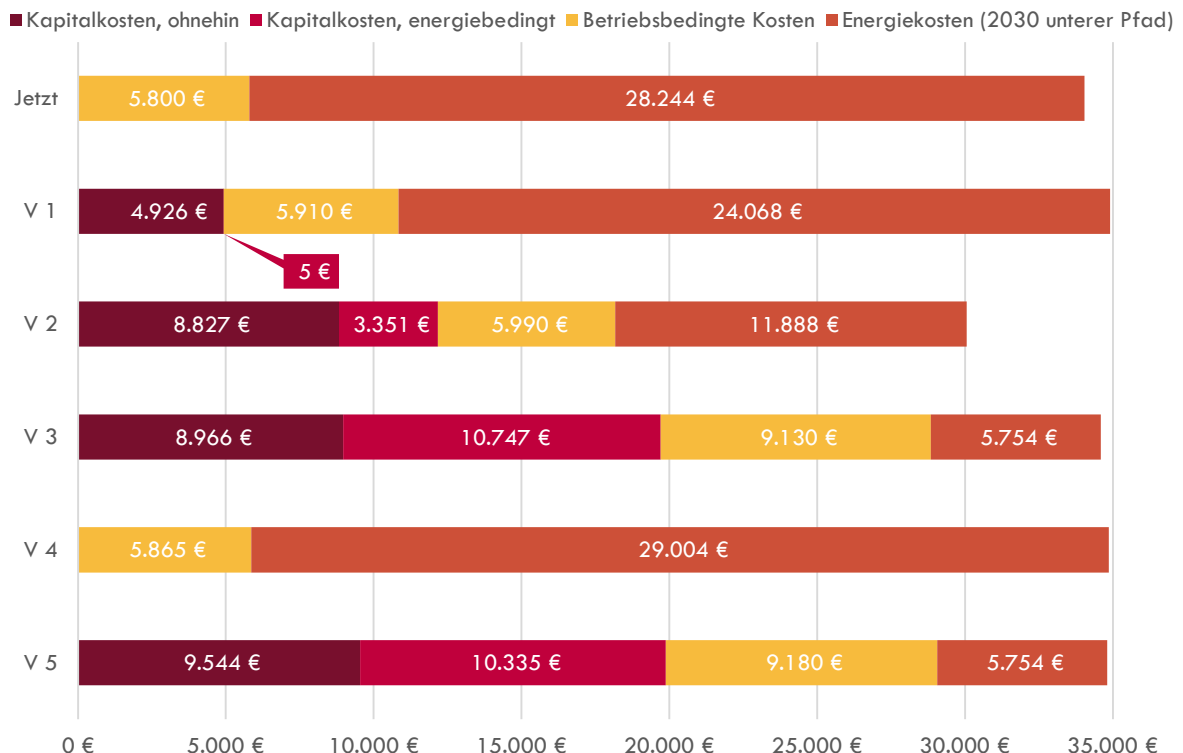


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



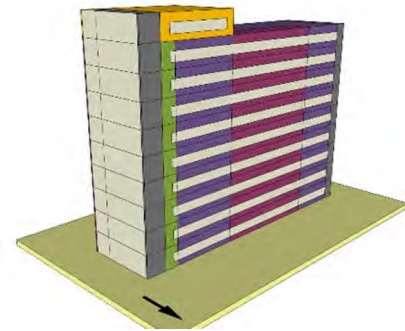
Zusammenfassung

Für das betrachtete Gebäude kann bei einer Komplettmodernisierung der Gebäudehülle in Kombination mit einer Erneuerung der Übergabestation (Variante 2) oder eines Neuanschlusses an das Nah-/ Fernwärmenetz (Variante 5) der Endenergiebedarf um knapp 60 %, bei Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage sogar um knapp 80 % reduziert werden. Zusätzlich führen die Varianten der Komplettmodernisierung zu einer Einsparung der THG um rund 95 %.

Bürogebäude

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	4.657 m ²
Geschosse	9 + Technikgeschoss
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	14.234 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	5.297 m ²



Ausgangszustand

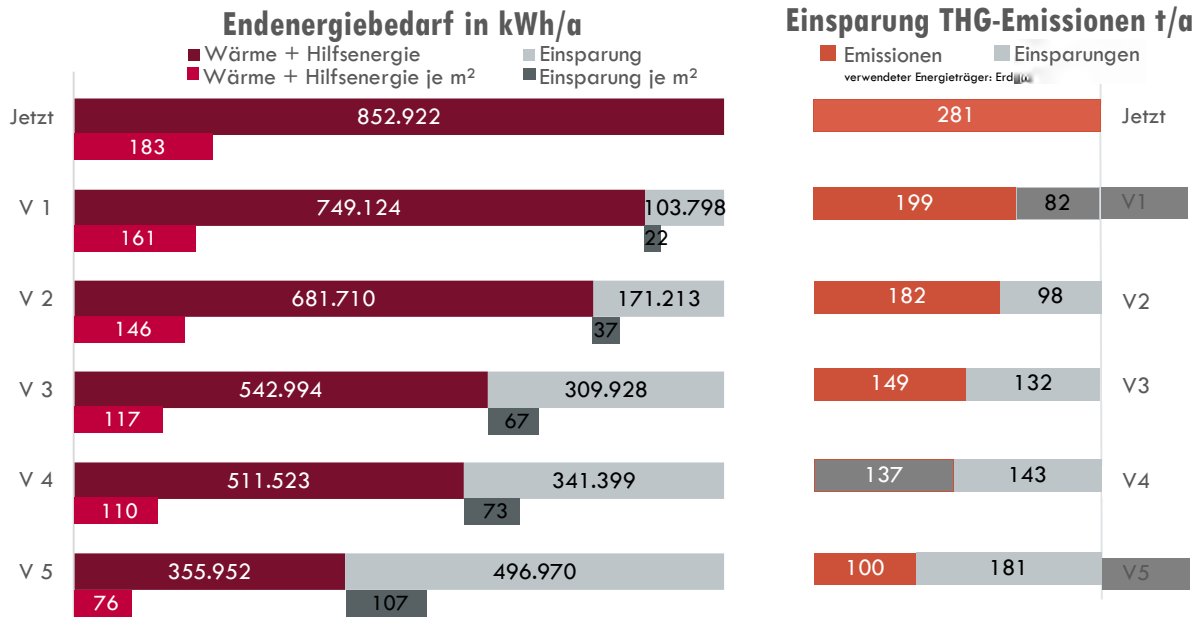
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Erdgas
Heizung	Niedertemperaturkessel, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	Dezentral, elektrisch
Lüftung	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Das Bürogebäude verfügt über neun Geschosse und ein Technikgeschoss, die Nettogrundfläche beträgt 4.657 m². Die Wärmeversorgung erfolgt über einen Gas-Niedertemperaturkessel in Verbindung mit Heizkörpern. Zusätzlich ist das große Bürogebäude mit einer Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion ausgestattet.

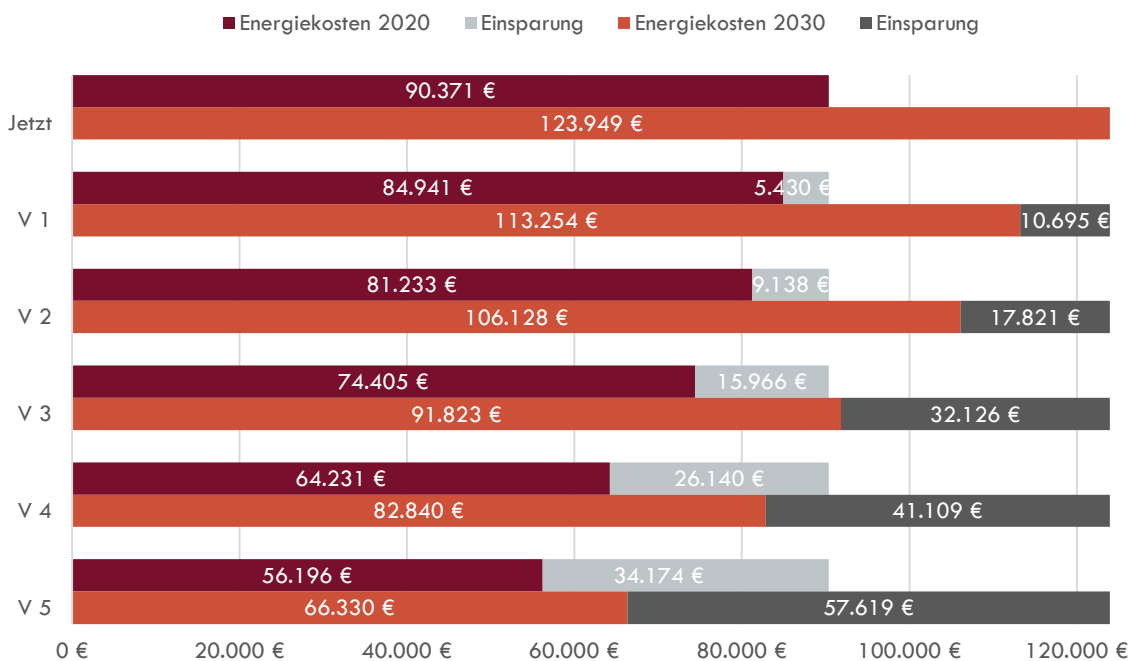
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> Gas-Brennwertkessel Austausch Heizkörper (55/45 °C) geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 1 + Erneuerung Lüftungszentrale und Kältemaschine 	-
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> Fenstertausch U-Wert = 1,00 W/(m²K)
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 2 + LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 3
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 4 	<ul style="list-style-type: none"> wie Variante 3 + Dämmung Außenwand (14 cm, WLG 035) + Dämmung Dach (14 cm, WLG 035)

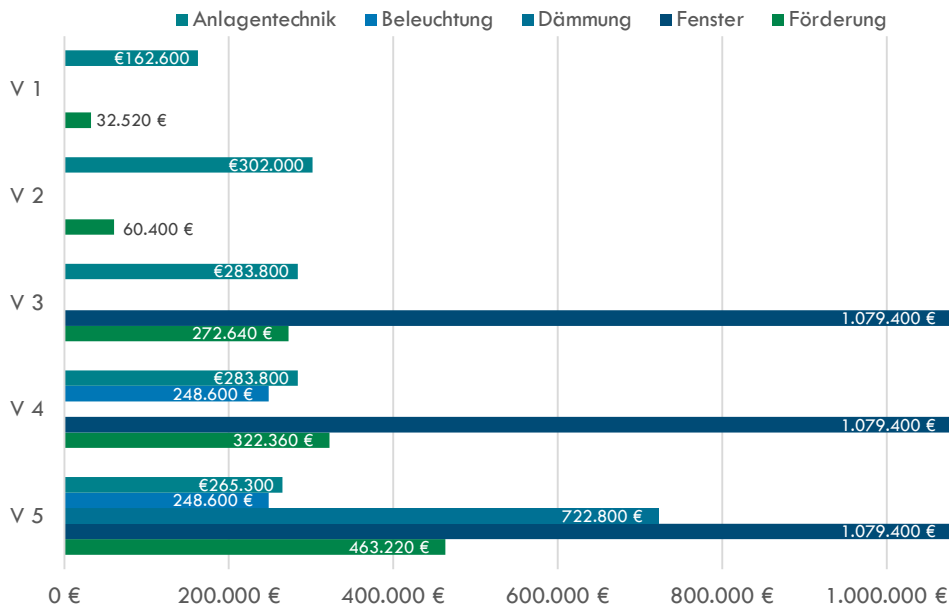
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

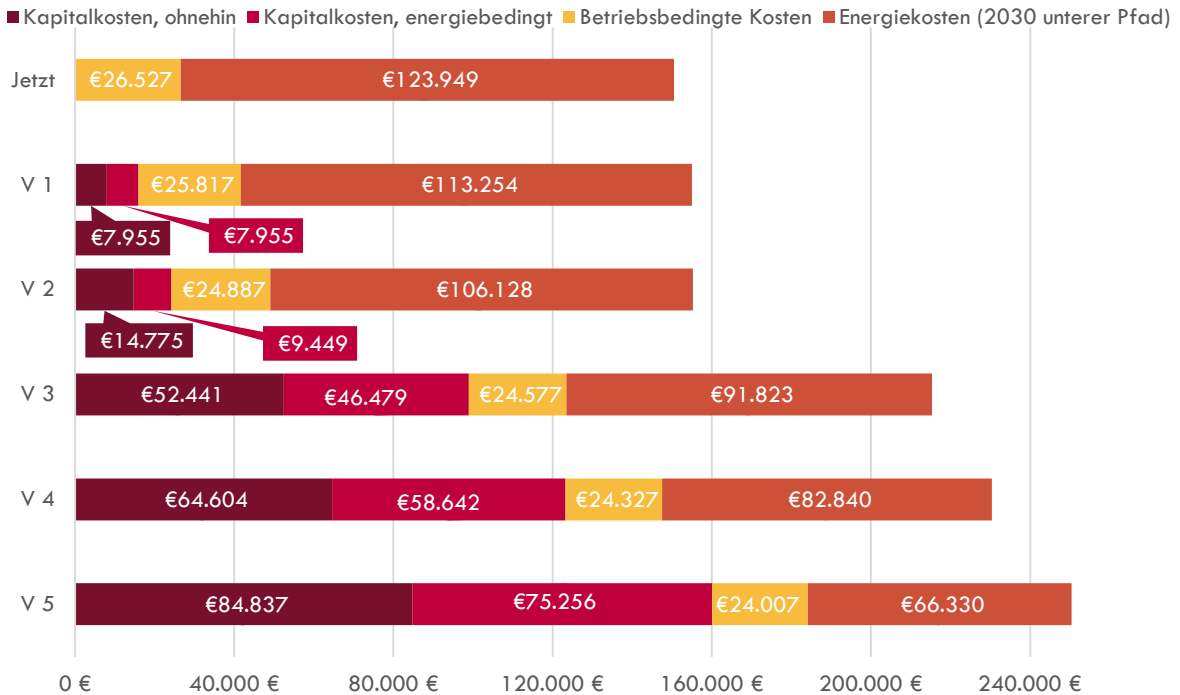


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



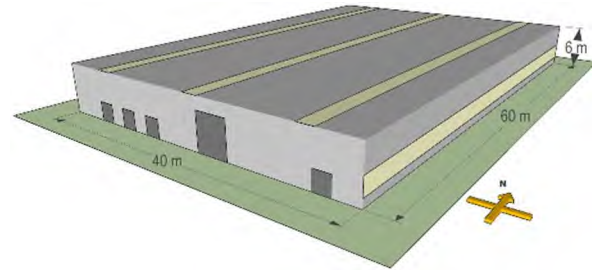
Zusammenfassung

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 12 % bzw. 40 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 51 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Kompletmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 58 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von 83 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 unterstellten THG-Emissionsfaktoren möglich.

Fertigungshalle

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	2.300 m ²
Länge/ Breite/ Hallenhöhe	60/ 40/ 6 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	12.650 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	6.000 m ²



Ausgangszustand

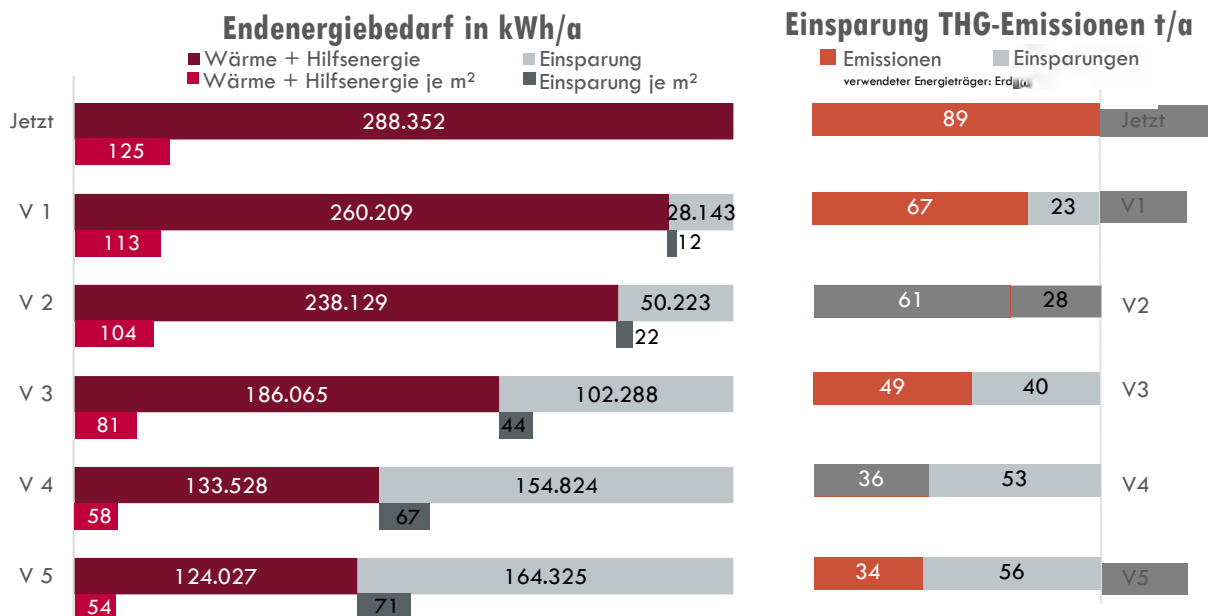
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Erdgas
Heizung	dezentrale Warmluftzeuger, nicht kondensierend, etwa 25 bis 30 Jahre alt
Trinkwassererwärmung	Dezentral, elektrisch
Lüftung	-
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Bei der betrachteten Fertigungshalle mit einer Netto-Grundfläche von rund 2.300 m² handelt es sich um ein freistehendes Gebäude, das nicht unterkellert ist. Die Wärmeversorgung erfolgt über erdgasbetriebene dezentrale Warmluftzeuger. Im Trapezblechdach sind Lichtbänder integriert.

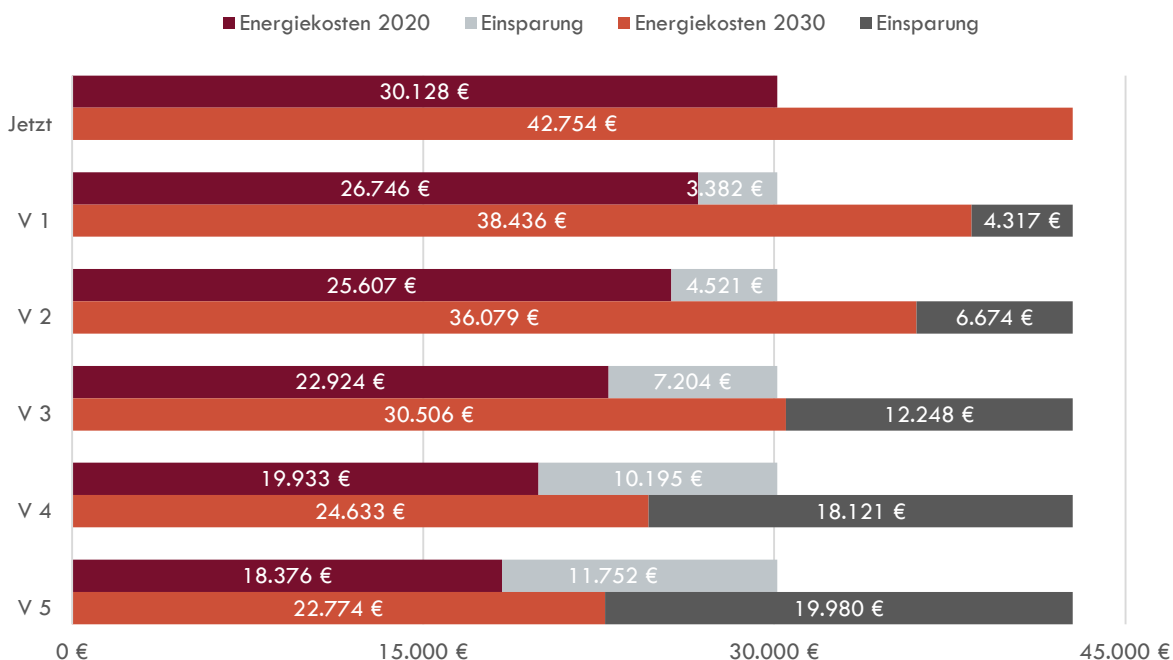
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • Warmluftzeuger neu, nicht kondensierend, mehrstufig/modulierend • geringe Ausblastemperatur, PI-Regler • LED-Lampen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • Warmluftzeuger neu, kondensierend, mehrstufig/modulierend • geringe Ausblastemperatur, PI-Regler • LED-Lampen 	-
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Austausch Fenster/ Lichtbänder U-Wert = 1,30 W/(m²K) / 2,00 W/(m²K)
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Dämmung Außenwand (6 cm, WLK 035) + Dämmung Dach (8 cm, WLK 035)
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Dämmung Außenwand (8 cm, WLK 035) + Dämmung Dach (10 cm, WLK 035)

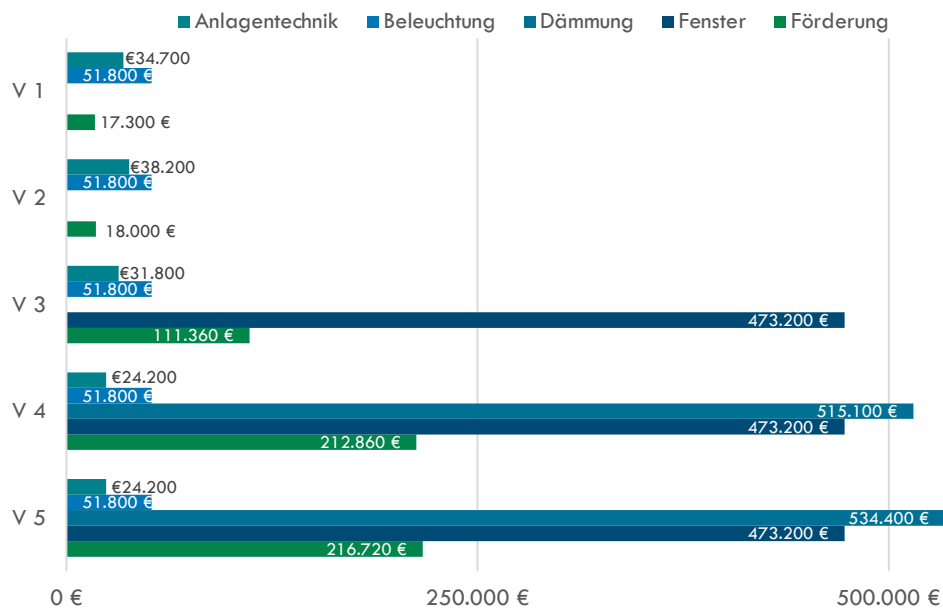
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

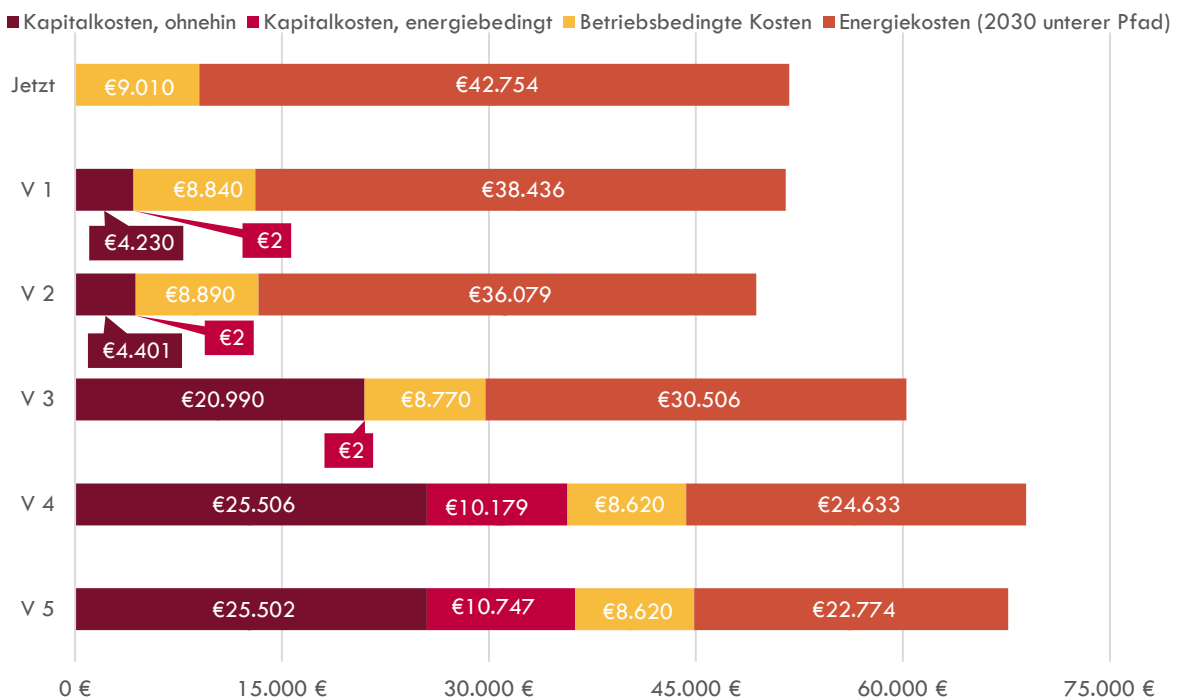


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

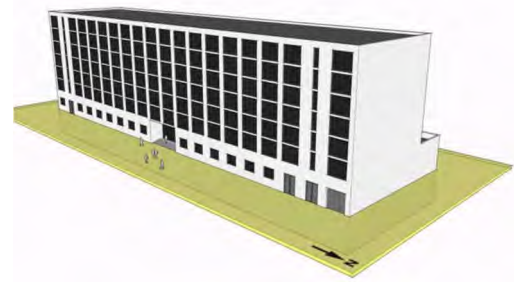
Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 19 % und 36 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 21 % bis 90 % (Pellets) erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs um 54 % bzw. 79 % möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 98 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich.



Hotel groß

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	8.636 m ² + Parkhaus
Anzahl Hotelzimmer	230
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	25.968 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	8.037 m ²



Ausgangszustand

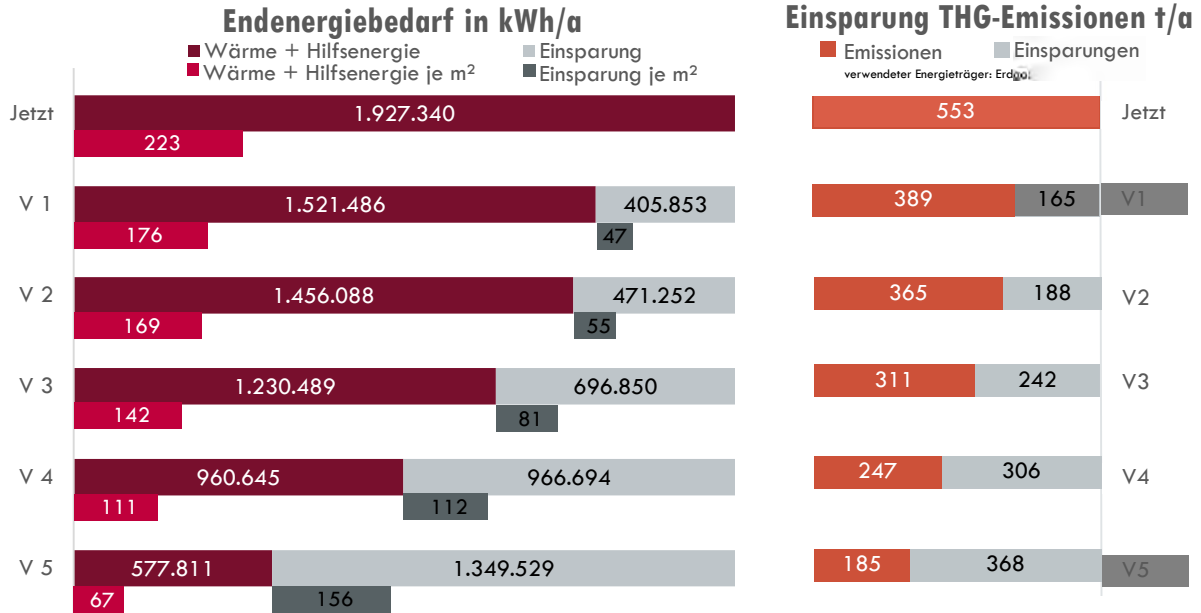
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Erdgas
Heizung	Niedertemperaturkessel, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe, Gebläsekonvektoren
Trinkwassererwärmung	Speicher, alt
Lüftung	Fenster / Abluftanlage / Lüftungsanlage mit WRG
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Das große Hotelgebäude verfügt über 230 Hotelzimmer, ein Restaurant mit Küche, Büro- und Sitzungsräume. Die zentrale Wärmeerzeugung übernimmt ein Gas-Niedertemperaturkessel, die Kälteerzeugung eine zentrale Kompressionskältemaschine. Die Wärme- bzw. Kälteübergabe in den Zimmern erfolgt mittels Gebläsekonvektoren und einem Regler mit Heiz- und Kühlfunktion. Die Lüftung der Zimmer wird über Fensterlüftung realisiert, das Restaurant verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Küchen- und Sanitärbereiche über Abluftanlagen.

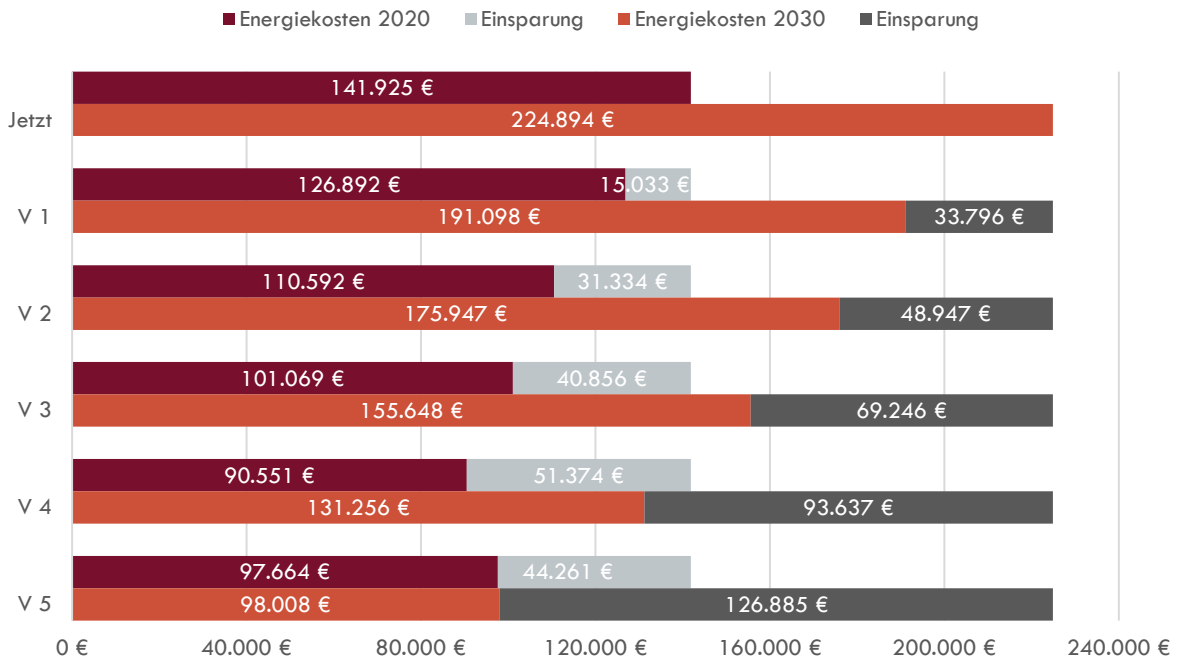
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • Gas-Brennwertkessel • solare Trinkwassererwärmung • Absenkung Systemtemperaturen • geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + LED-Lampen + Kältemaschine 	-
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 0,80 W/(m²K)
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Absenkung Systemtemperaturen (55/ 45 °C) + Erneuerung Lüftungsanlage mit WRG 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Dämmung Außenwand (18 cm, WLG 035) + Dämmung Dach (24 cm, WLG 035) + Dämmung Kellerdecke (12 cm, WLG 035)
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • Elektro-Wärmepumpe • solare Trinkwassererwärmung • Absenkung Systemtemperaturen (55/45 °C) • geringinvestive Maßnahmen • LED-Lampen • Kältemaschine 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4

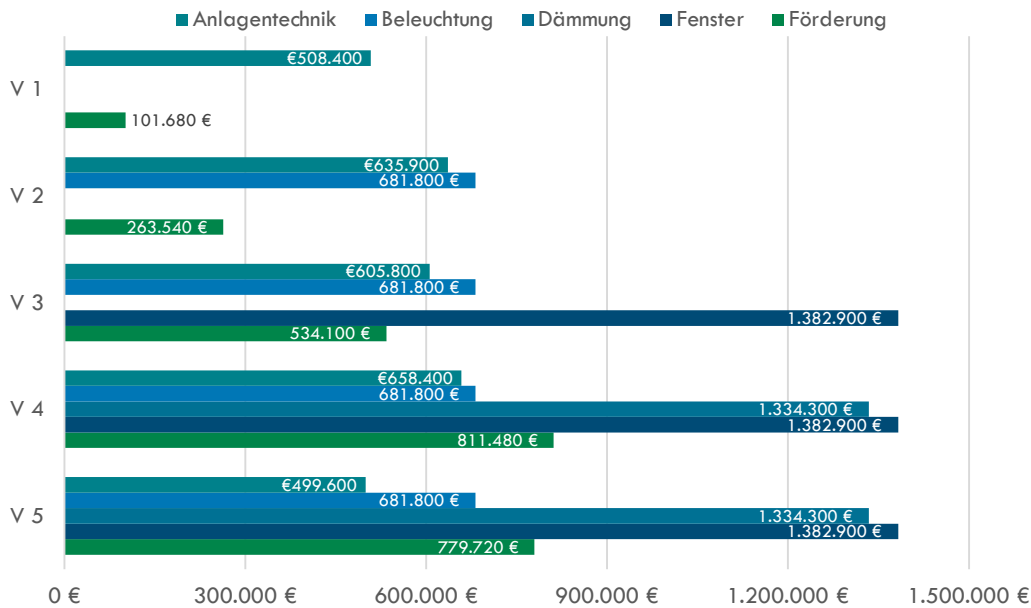
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

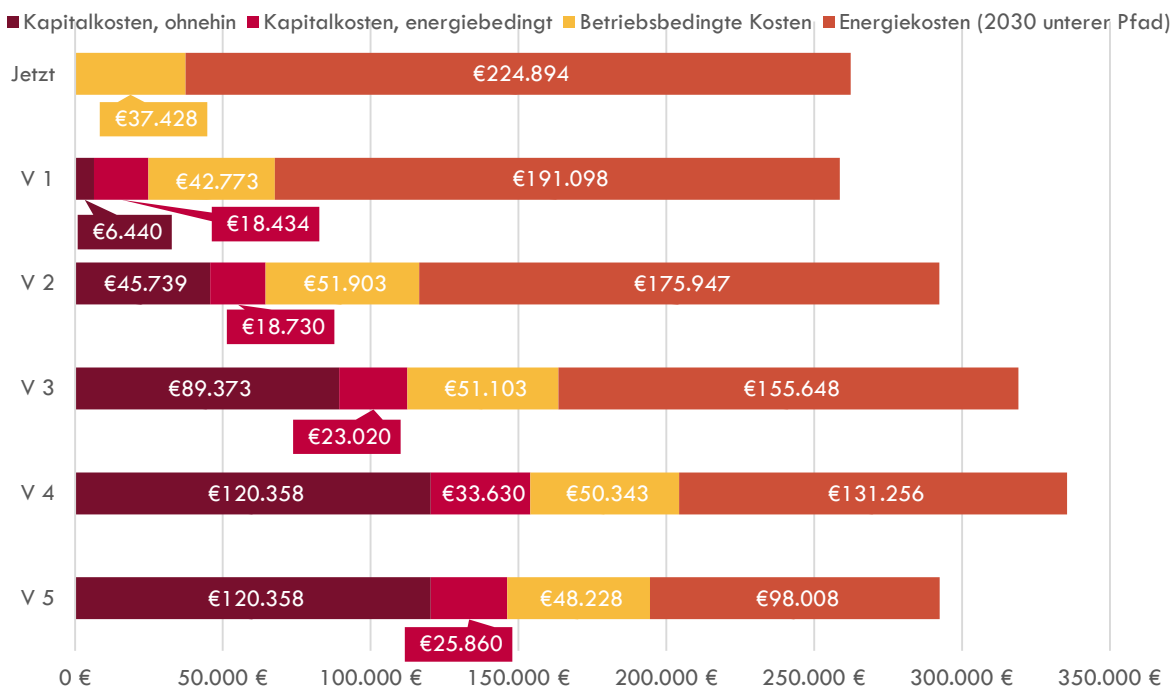


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

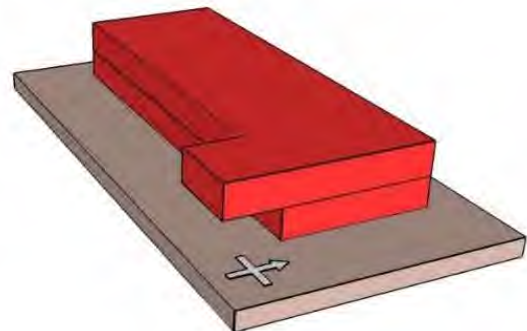
Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung 21 % und 36 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 28 % bis 49 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 50 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und 70 % bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von ca. 66 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels mit solarer Trinkwassererwärmung und 97 % bei einer Elektro-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich.



Kindergarten

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.254 m ²
Anzahl Gruppen-, Ruhe- & Vielzweckräume	15
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	3.152 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	2.489 m ²



Ausgangszustand

Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Heizöl
Heizung	Niedertemperaturkessel, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	Speicher, alt
Lüftung	-
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

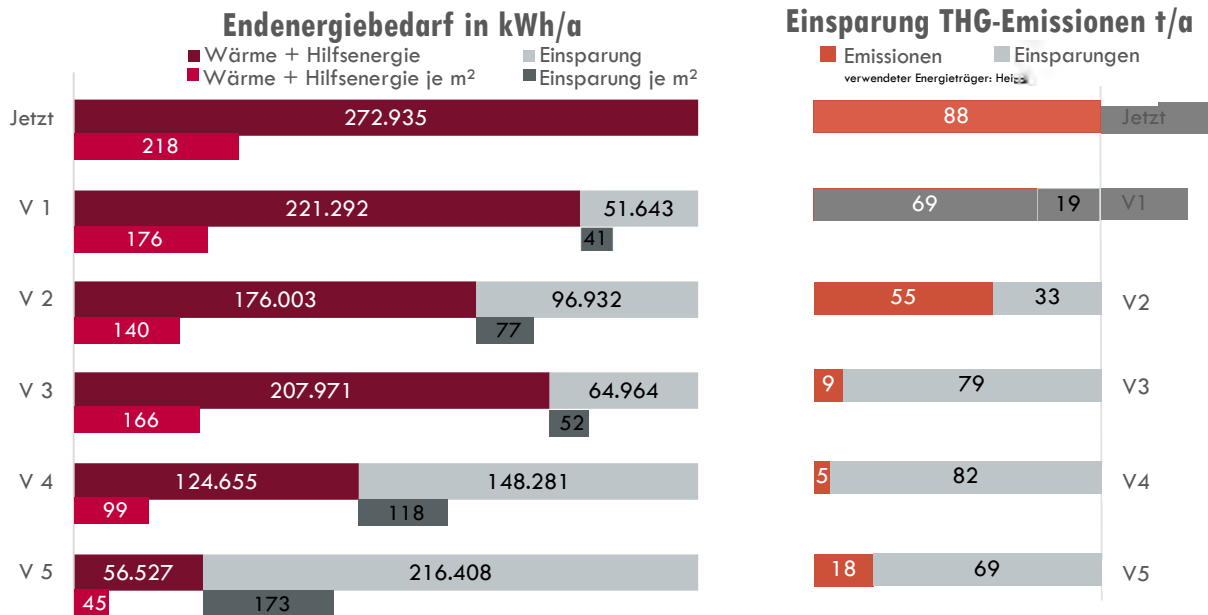
Bei dem betrachteten Kindergarten mit 15 Gruppen-, Ruhe- und Vielzweckräumen handelt es sich um ein 2-geschossiges Gebäude ohne Keller. Der Kindergarten verfügt im Ausgangszustand über einen Öl-Niedertemperaturkessel. Bei der Modernisierung wird davon ausgegangen, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe verfügbar ist (z. B. ländlicher Raum). Im Ausgangszustand ist keine Lüftungsanlage in den Gruppenräumen vorhanden. Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der Modernisierung der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt.

Modernisierungsvarianten

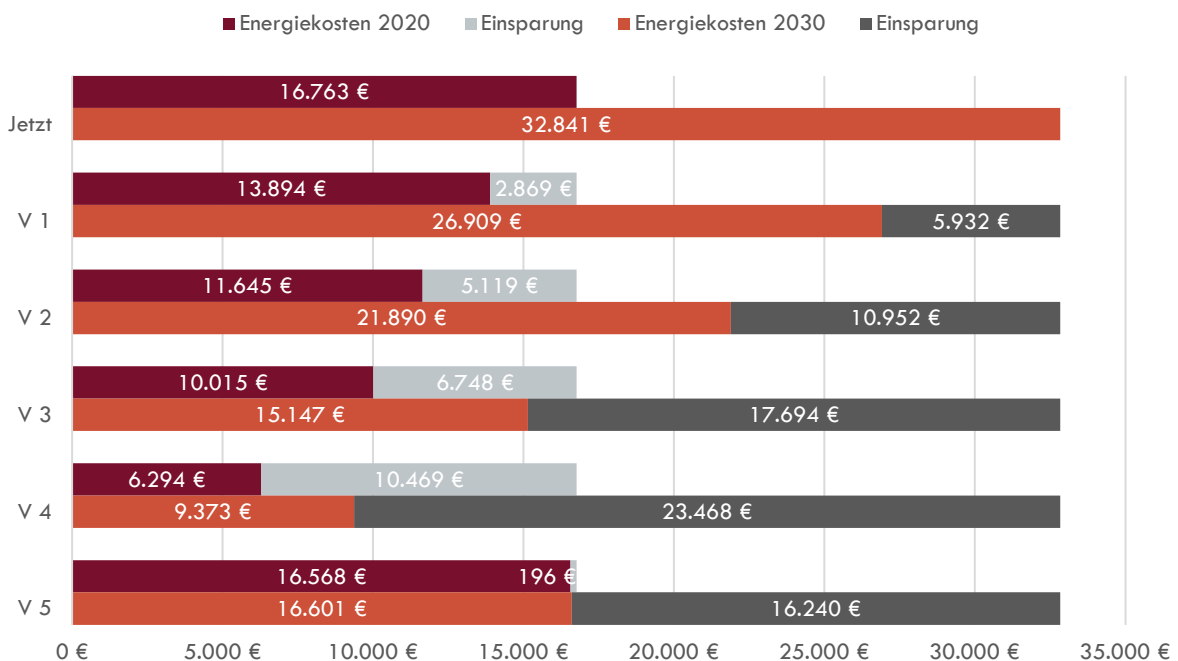
	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • Öl-Brennwertkessel • solare Trinkwassererwärmung • Absenkung Systemtemperaturen • geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Einbau raumweiser Zu-/Abluftanlagen mit WRG (Hybrid-Lüftung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 0,80 W/(m²K)
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • Pelletkessel • Speicher neu • Absenkung Systemtemperaturen • geringinvestive Maßnahmen • Einbau raumweiser Zu-/Abluftanlagen mit WRG (Hybrid-Lüftung) 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Austausch Heizkörper (55/45°C) + LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Dämmung Außenwand (18 cm, WLK 035) + Dämmung Dach (24 cm, WLK 035)

- Variante 5**
- Elektro-Wärmepumpe
 - Speicher neu
 - Austausch Heizkörper (55/45°C)
 - geringinvestive Maßnahmen
 - Einbau raumweiser Zu-/Abluftanlagen mit WRG (Hybrid-Lüftung)
 - LED-Lampen
- wie Variante 4

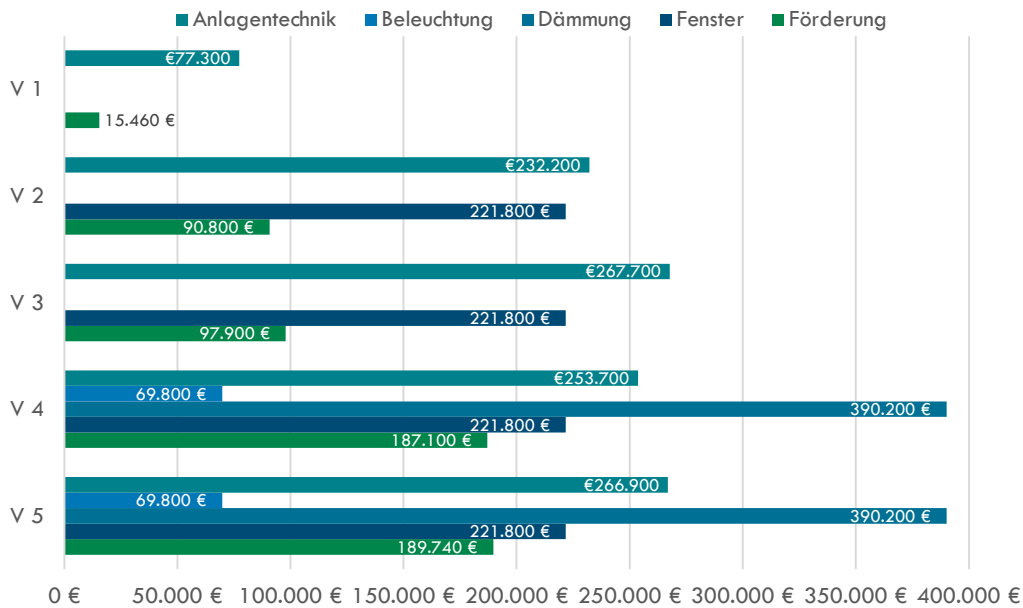
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

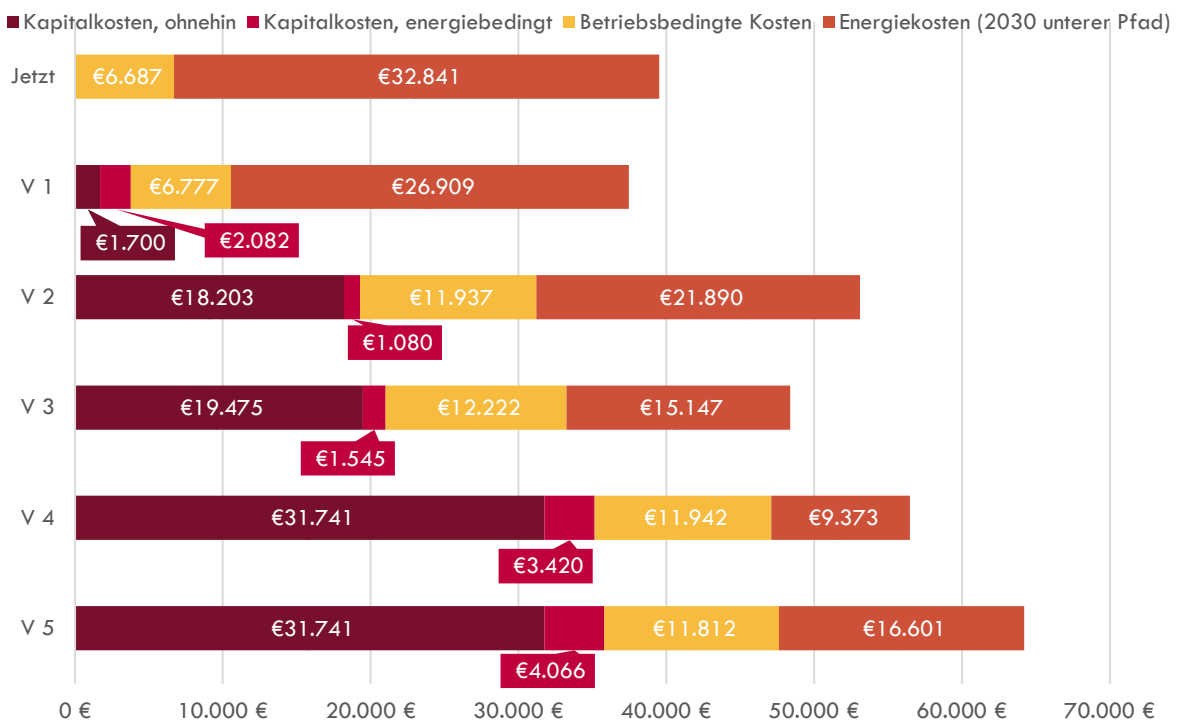


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



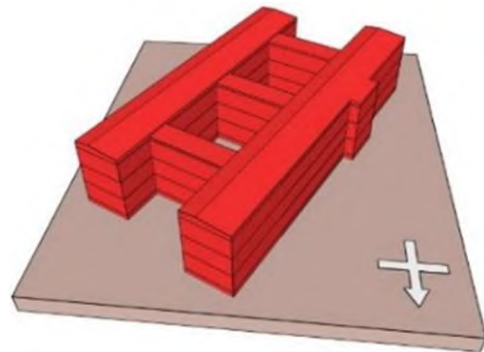
Zusammenfassung

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 19 % und 36 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 21 % bis 90 % (Pellets) erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs um 54 % bzw. 79 % möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 98 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich.

Schule

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	3.600 m ²
Anzahl Klassenräume	28
Keller	beheizt
beheiztes Volumen	12.000 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	6.632 m ²



Ausgangszustand

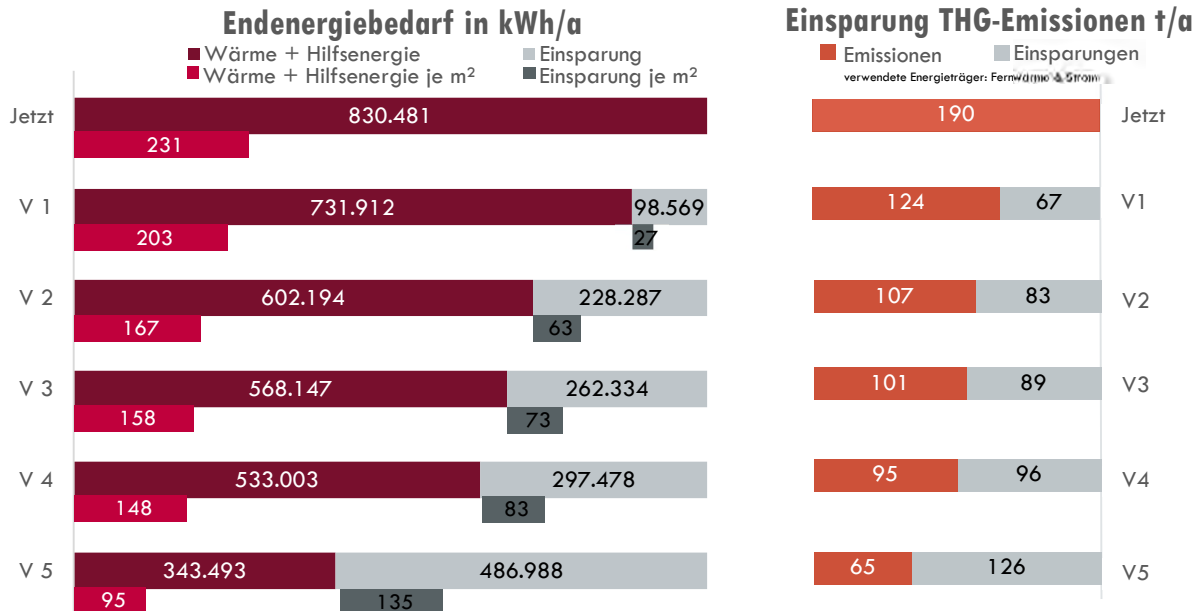
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Nah-/Fernwärme
Heizung	Wärmeübergabestation, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	überwiegend dezentral elektrisch
Lüftung	ohne Lüftungsanlage in Klassenräumen
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Bei der betrachteten Schule mit 28 Klassenzimmern und einer Netto-Grundfläche von 3.600 m² handelt es sich um ein 4-geschossiges Gebäude, das in einen Ost- und einen Westflügel unterteilt ist. Beide Gebäudeflügel sind durch drei Zwischenbauten, welche Gänge und Treppenhäuser enthalten, miteinander verbunden. Das Kellergeschoss liegt innerhalb der thermischen Hülle. Im Ausgangszustand ist keine Lüftungsanlage in Klassen- bzw. Lehrerzimmern vorhanden. Zur Einhaltung raumlufthygienischer Anforderungen wird bei der Modernisierung der Einbau raumweiser hybrider Lüftungsanlagen unterstellt.

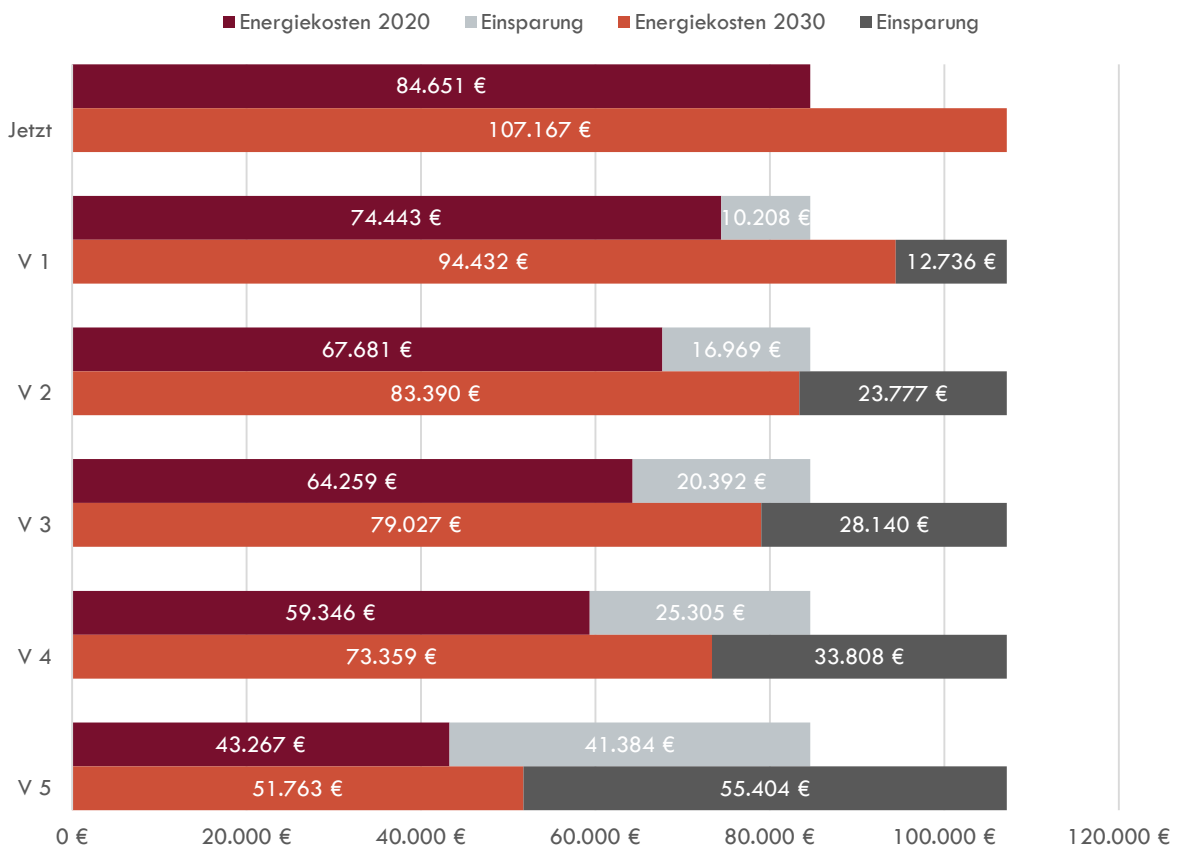
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmeübergabestation • neue E-DLE / Speicher • Austausch Radiatoren (55/45°C) • geringinvestive Maßnahmen • LED-Lampen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau raumweiser Zu-/Abluftanlagen mit WRG (Hybrid-Lüftung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 0,80 W/(m²K)
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + geringinvestive Maßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Variante 1 + Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Dämmung Außenwand (18 cm, WLG 035) + Dämmung Dach (24 cm, WLG 035)

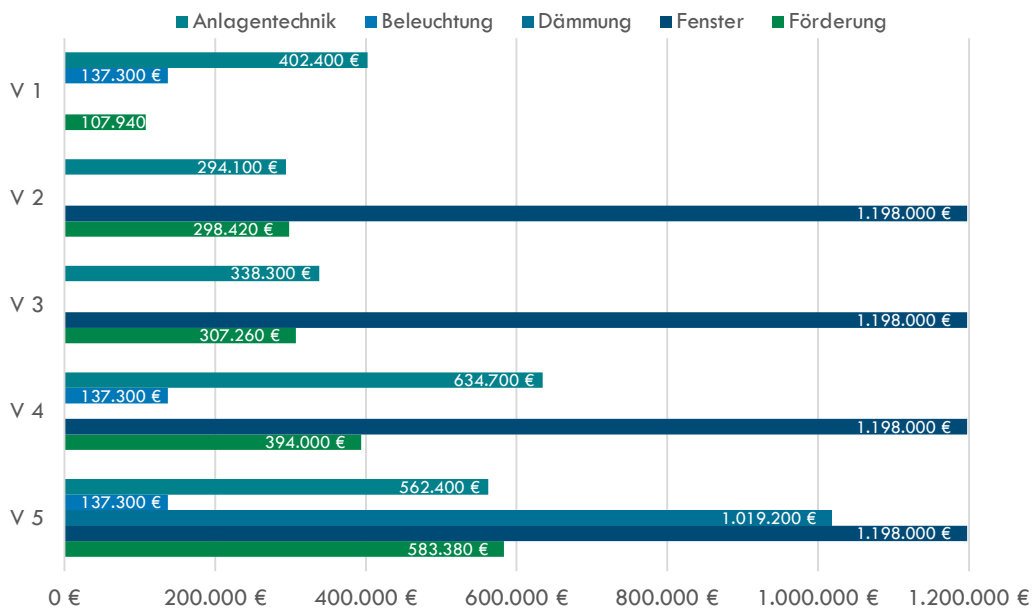
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

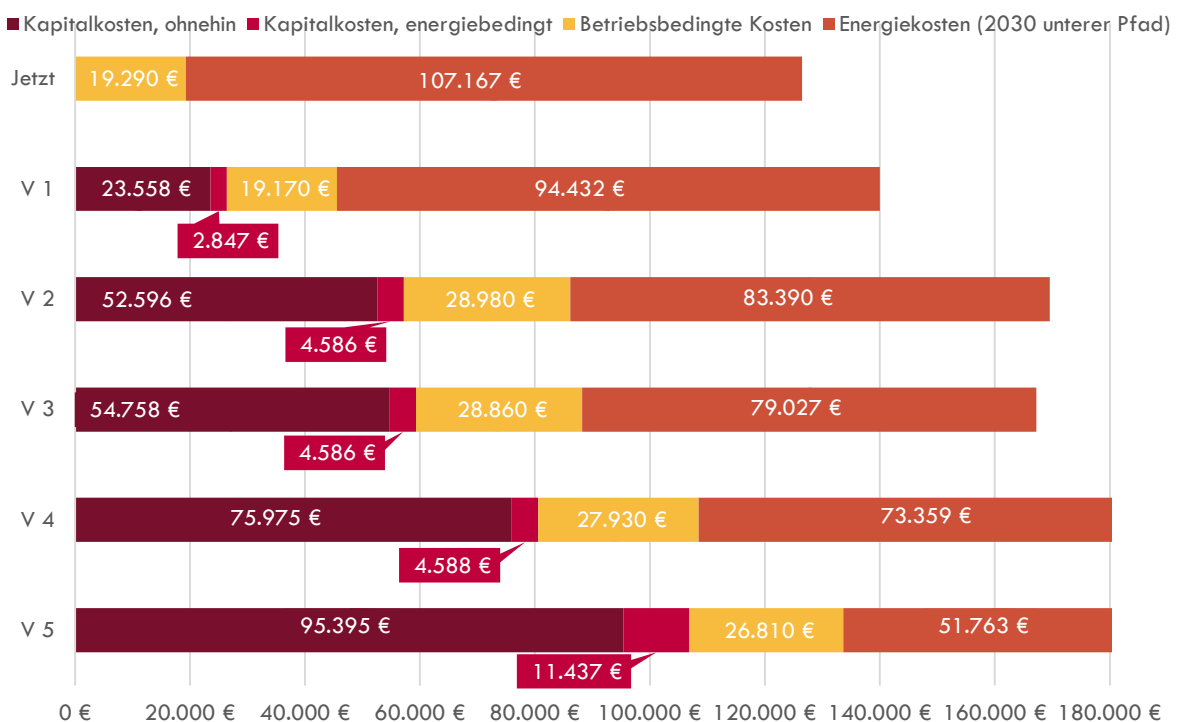


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

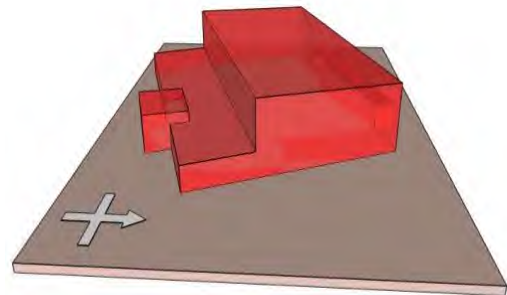
Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 12 % und 36 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 35 % bis ca. 66 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs um ca. 59 % möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 94 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 entsprechenden Randbedingungen angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich. Allerdings sind die möglichen THG-Einsparungen mit Nah-/Fernwärme insbesondere für das Zieljahr 2050 stark von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängig. Dies gilt analog für das mögliche Einsparpotenzial an Primärenergie.



Sporthalle

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.715 m ²
Länge / Breite / Hallenhöhe	45/ 38/ 9 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	11.779 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	5.213 m ²



Ausgangszustand

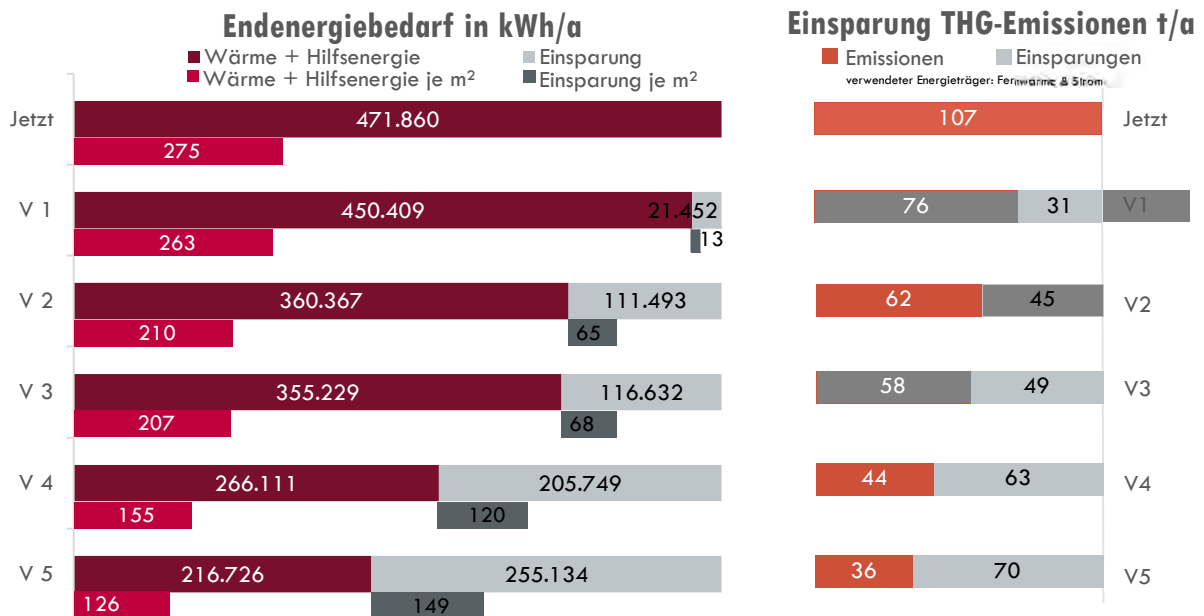
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Nah-/Fernwärme
Heizung	Wärmeübergabestation, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe, FBH und Heizkörper
Trinkwassererwärmung	Speicher alt
Lüftung	Abluftanlagen in Sanitärräumen
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Bei der Sporthalle handelt es sich um eine Einfeld-Sporthalle mit einer Netto-Grundfläche von 1.715 m². Die Sporthalle wird über Fernwärme zur Heizung und Trinkwassererwärmung versorgt. Die Sporthalle selbst verfügt über eine Fußbodenheizung, die Sanitäranlagen sind mit Heizkörpern und einer Abluftanlage ausgestattet.

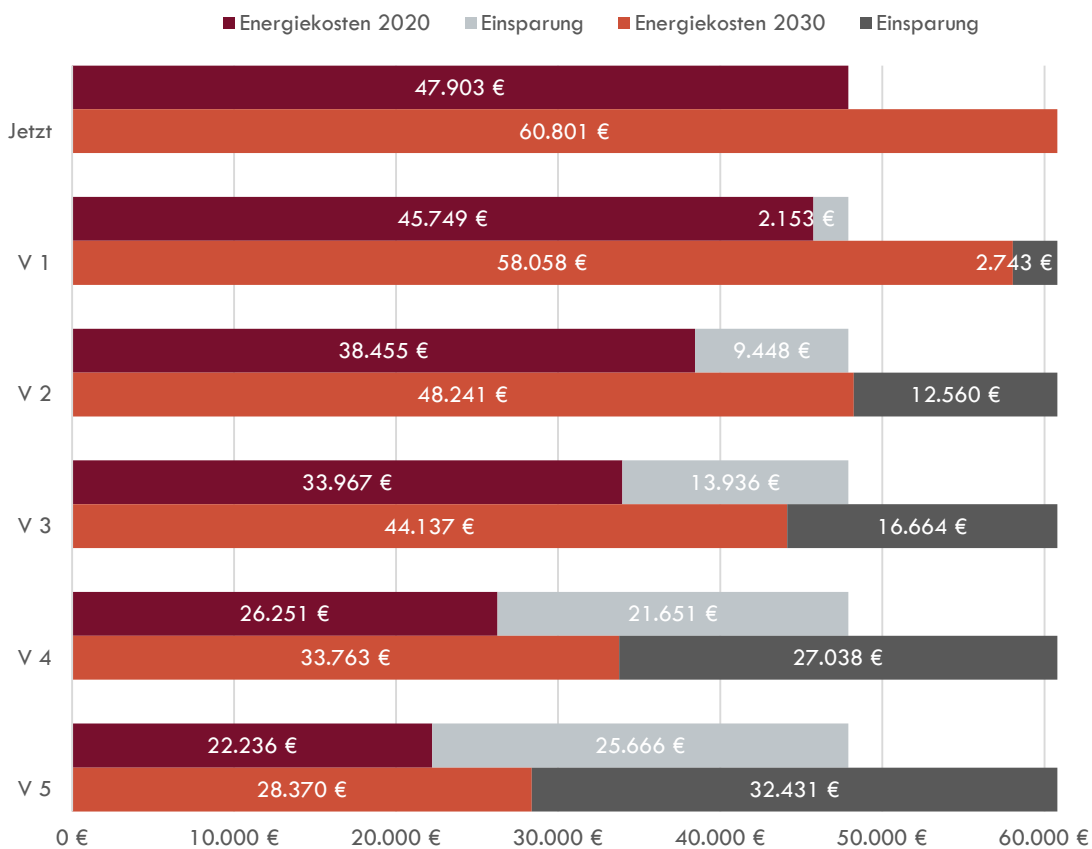
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • neue Wärmeübergabestation • neuer Warmwasserspeicher • geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Absenkung Systemtemperaturen FBH/ Heizkörper 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 0,80 W/(m²K)
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Austausch Heizkörper (55/45 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Dämmung Außenwand (18 cm, WLK 035)
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4 + Dämmung Dach (24 cm, WLK 035)

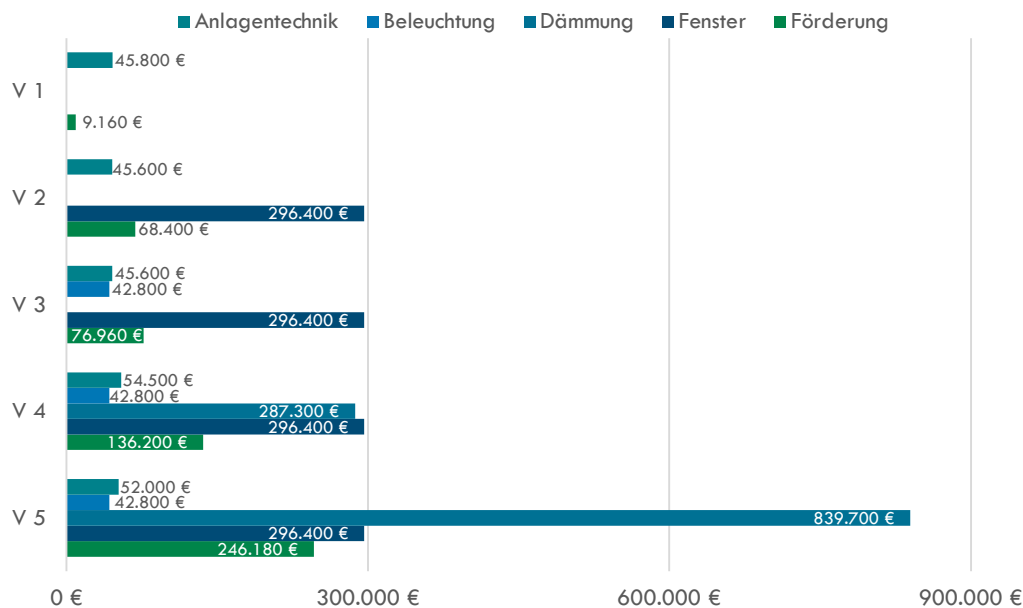
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

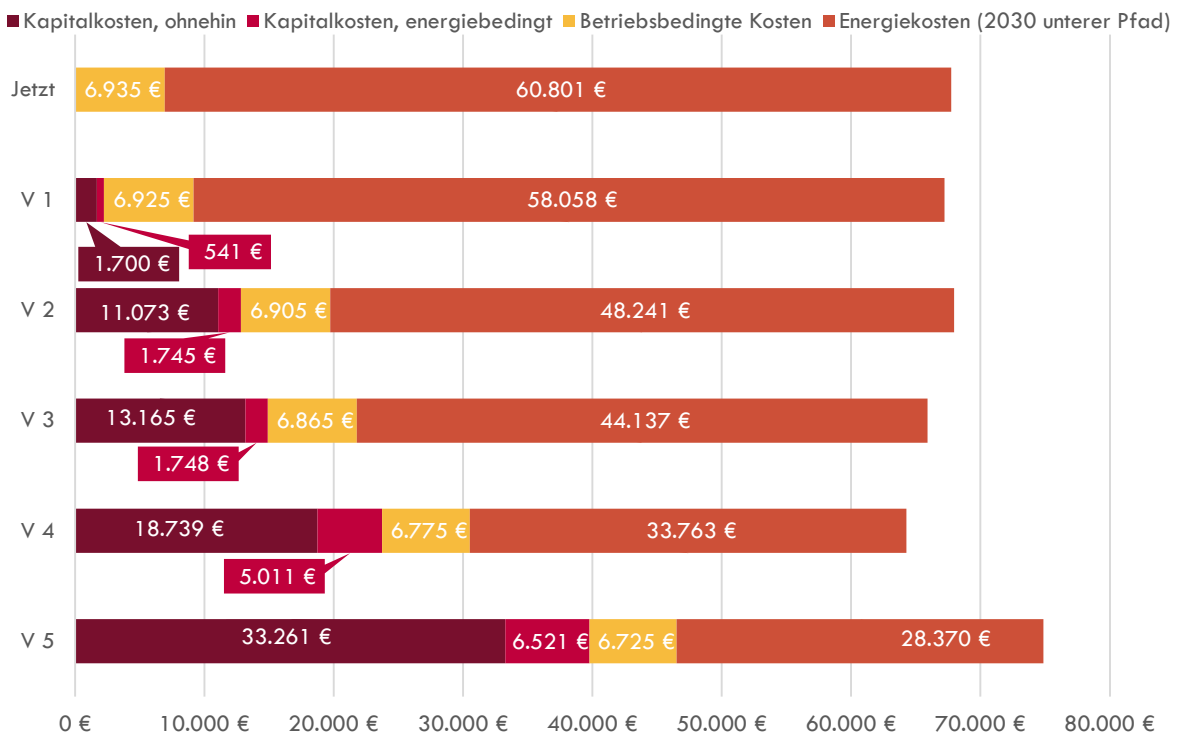


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung, die zwischen 5 % und 25 % liegt. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 29 % bis 46 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Wird eine umfassende Modernisierung der Anlagentechnik und der Bauhülle umgesetzt, ist eine Minderung des Endenergiebedarfs von 44 % (ohne Dämmung Flachdach) und 54 % incl. Dämmung Flachdach möglich. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen um bis zu 92 % unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 angenommenen THG-Emissionsfaktoren möglich. Allerdings sind die möglichen THG-Einsparungen mit Nah-/Fernwärme insbesondere für das Zieljahr 2050 stark von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten abhängig. Dies gilt analog für das mögliche Einsparpotenzial an Primärenergie.

Verbrauchermarkt

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	2.850 m ²
Länge / Breite / Hallenhöhe	100/ 50/ 11 m
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	48.500 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	13.300 m ²



Ausgangszustand

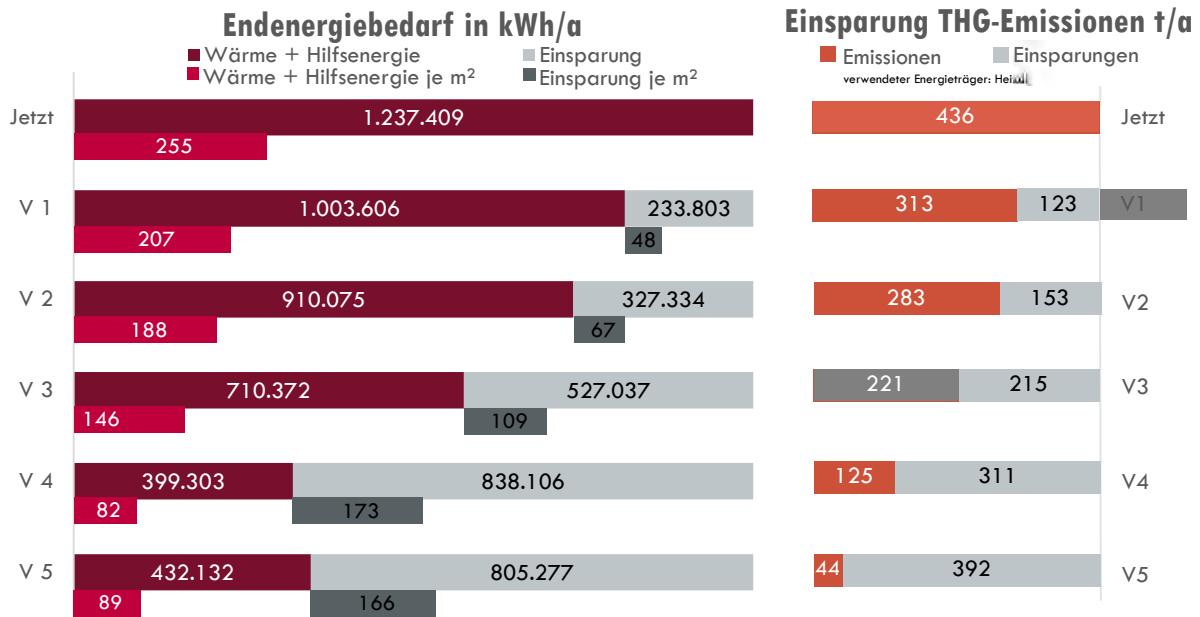
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Heizöl
Heizung	Niedertemperaturkessel, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	elektrisch, dezentral
Lüftung	Zu-/Abluftanlage mit WRG 50 %
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Für die Betrachtungen wird ein größerer Verbrauchermarkt mit einer Nettogrundfläche von 4.850 m² herangezogen. Der Verbrauchermarkt verfügt im Ausgangszustand über einen Öl-Niedertemperaturkessel in Verbindung mit Deckenstrahlplatten. Bei der Modernisierung wird davon ausgegangen, dass Erdgas nicht in unmittelbarer Nähe zur Verfügung steht (z. B. Ortsrandlage). Die Lüftung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

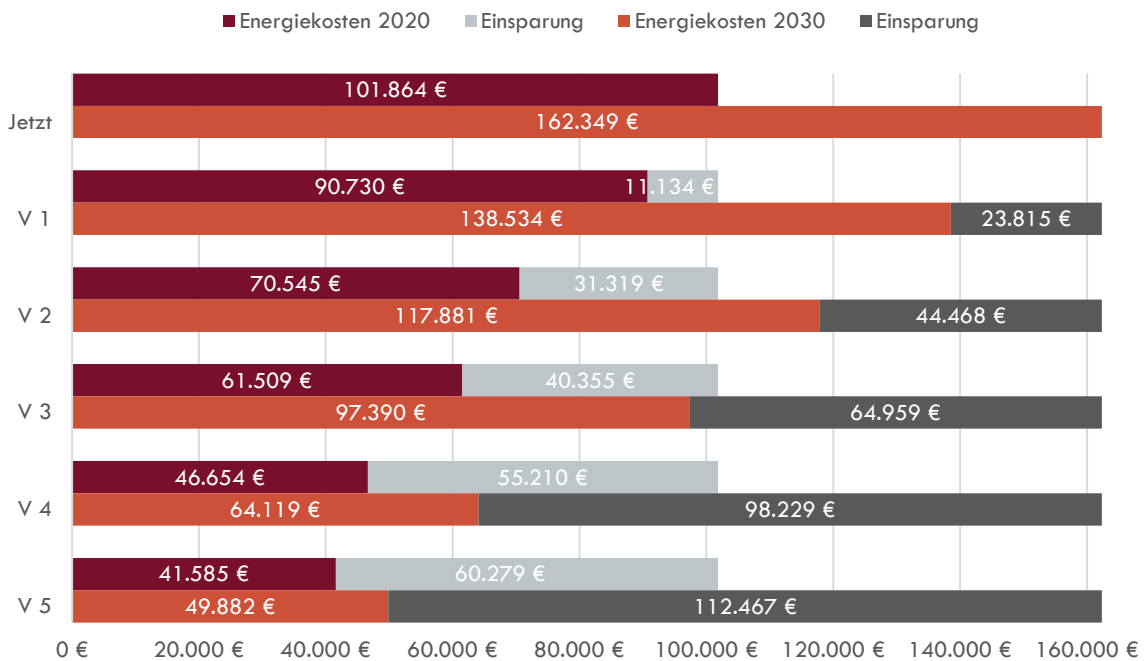
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • Öl-Brennwertkessel • neue Deckenstrahlplatten, verbessert • geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + LED-Lampen + Zu-/Abluftanlage mit WRG 73 % 	-
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 1,00 W/(m²K)
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3 + Absenkung Systemtemperaturen (60/50 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Dämmung Außenwand (14 cm, WLG 035) + Dämmung Dach (14 cm, WLG 035)
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • Pelletkessel • neue Deckenstrahlplatten, verbessert • geringinvestive Maßnahmen • LED-Lampen • Zu-/Abluftanlage mit WRG 73 % • Absenkung Systemtemperaturen (60/50 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 4

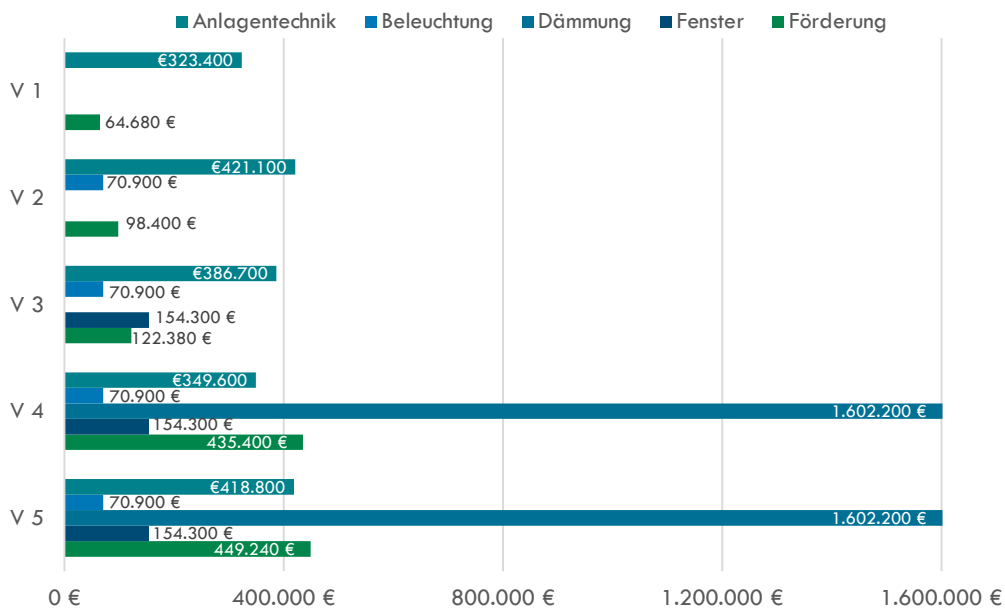
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

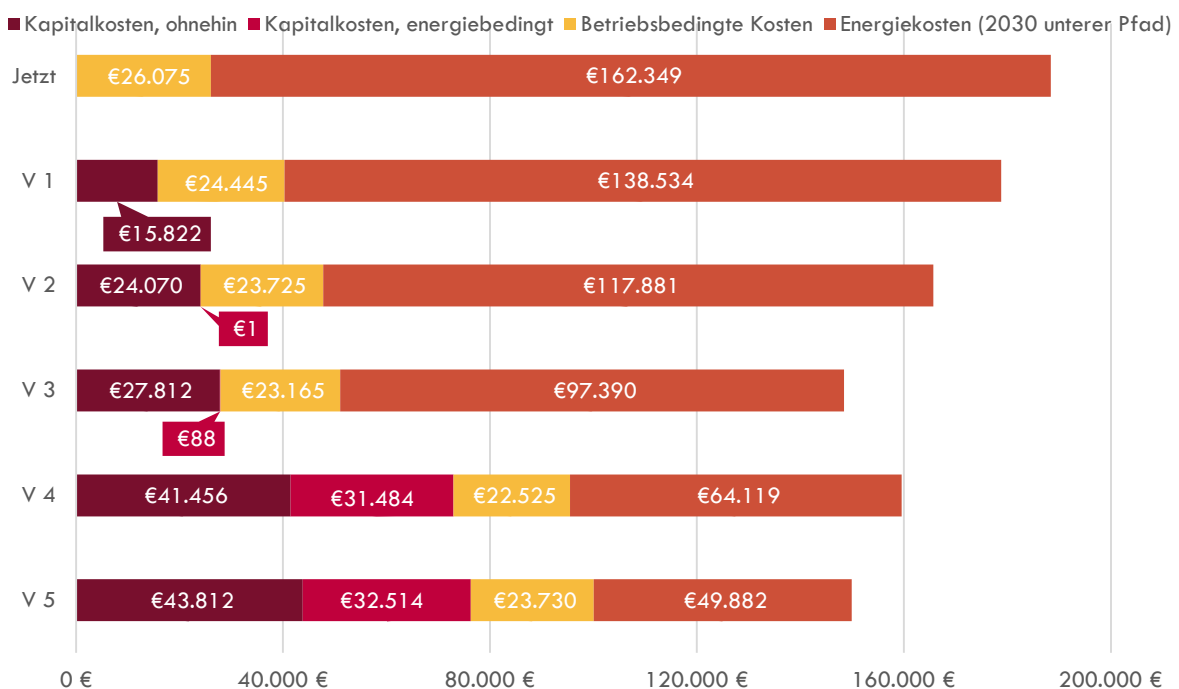


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

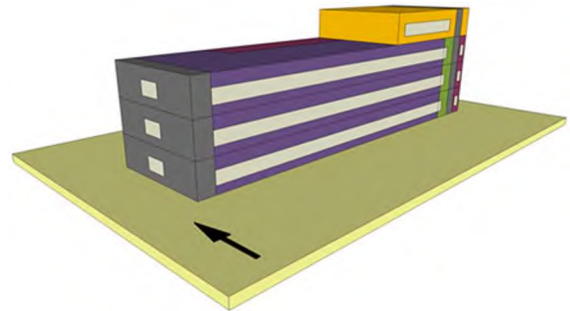
Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 43 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 28 % bzw. 49 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 68 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und von 65 % bei Einsatz eines Pelletkessels verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von 79 % beim Einsatz eines Öl-Brennwertkessels und 98 % bei Einsatz eines Pelletkessels unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 unterstellten THG-Emissionsfaktoren möglich.



Verwaltung

Gebäudedaten

Baualter bzw. letzte Modernisierung	ca. 1995
Netto-Grundfläche	1.676 m ²
Netto-Grundfläche Büroräume	1.267 m ²
Keller	Bodenplatte
beheiztes Volumen	5.979 m ³
wärmeübertragende Hüllfläche	2.750 m ²



Ausgangszustand

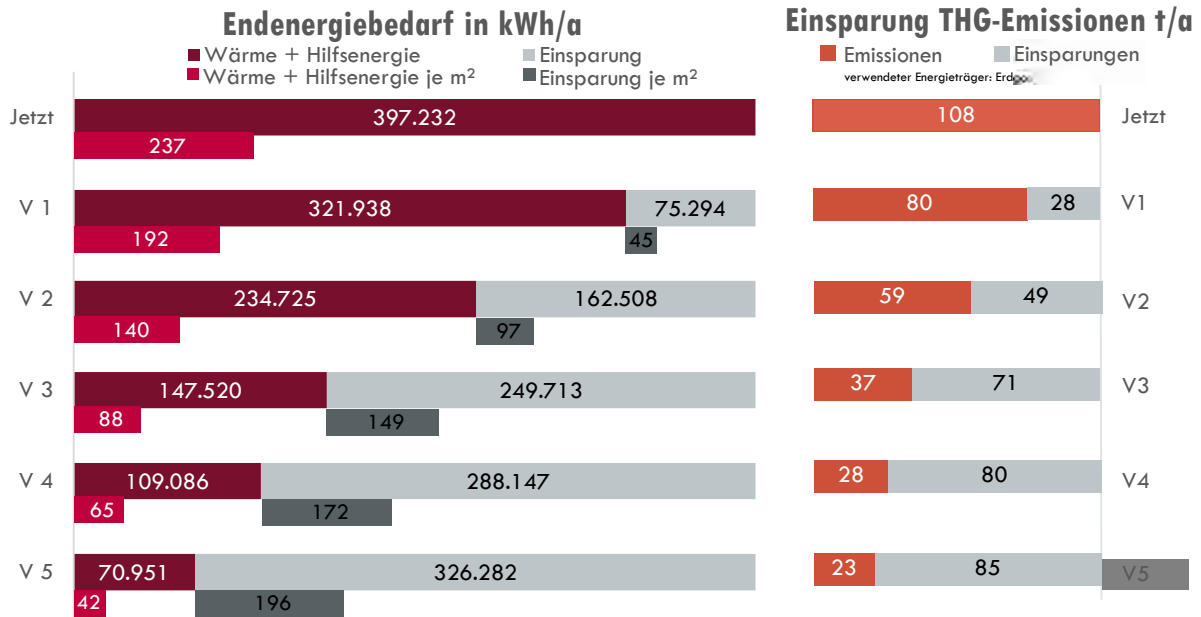
Ø baulicher Wärmeschutz	etwa WSchV84
Energieträger	Erdgas
Heizung	Niedertemperaturkessel, etwa 25 bis 30 Jahre alt, kein hydraulischer Abgleich, unregelmäßige Pumpe
Trinkwassererwärmung	Elektro-Kleinspeicher
Lüftung	Abluftanlagen in Sanitärräumen
Beleuchtung	Leuchtstofflampen stabförmig mit VVG

Bei dem betrachteten Verwaltungsgebäude mit einer Netto-Grundfläche von rund 1.700 m² handelt es sich um ein kleines freistehendes Bürogebäude, das nicht unterkellert ist. Im Ausgangszustand erfolgt die Wärmeversorgung über einen Gas-Niedertemperaturkessel. Eine zentrale Lüftungsanlage ist nicht vorhanden, die Sanitärräume sind mit einer Abluftanlage ausgestattet.

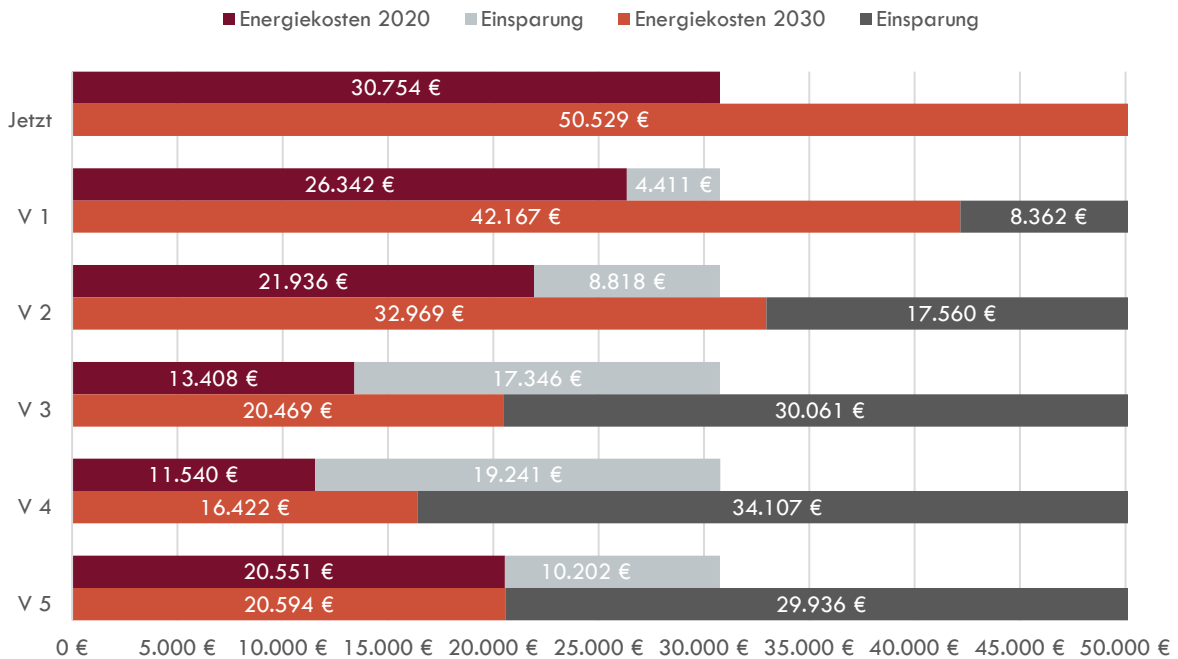
Modernisierungsvarianten

	Anlagentechnik	Bauhülle
Variante 1	<ul style="list-style-type: none"> • Gas-Brennwertkessel • neue E-DLE • Absenkung Systemtemperaturen • geringinvestive Maßnahmen 	-
Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Fenstertausch U-Wert = 0,80 W/(m²K)
Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 1 + Austausch Heizkörper (55/45 °C) + LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 2 + Dämmung Außenwand (18 cm, WLG 035) + Dämmung Dach (24 cm, WLG 035)
Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Gas-Wärmepumpe • neue E-DLE • Austausch Heizkörper (55/45 °C) • geringinvestive Maßnahmen • LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3
Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • Elektro-Wärmepumpe • neue E-DLE • Austausch Heizkörper (55/45 °C) • geringinvestive Maßnahmen • LED-Lampen 	<ul style="list-style-type: none"> • wie Variante 3

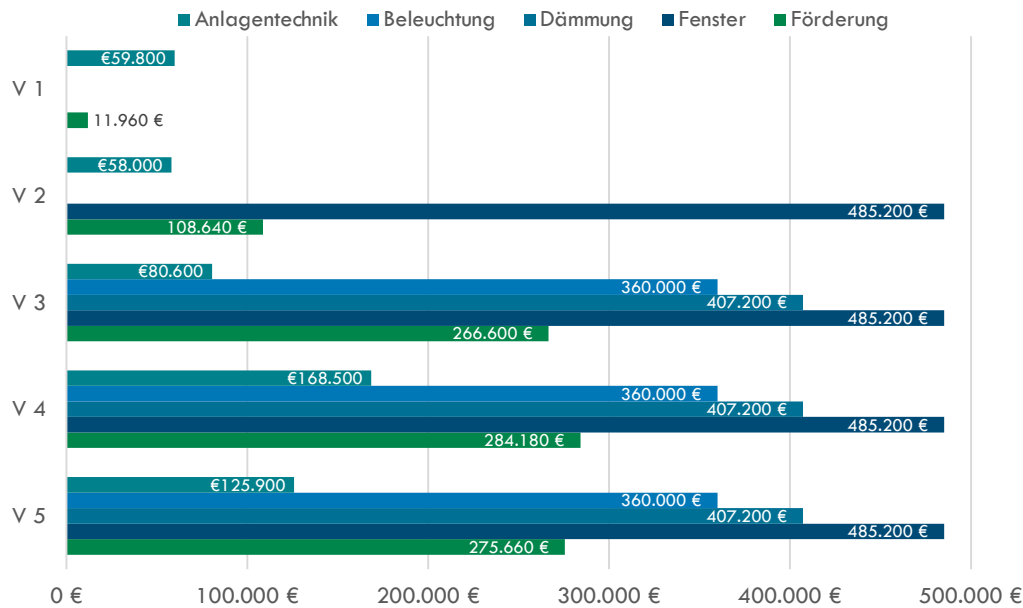
Ergebnisse



Energiekosten und Einsparung der Modernisierungsvarianten i. Vgl. zum Ausgangszustand

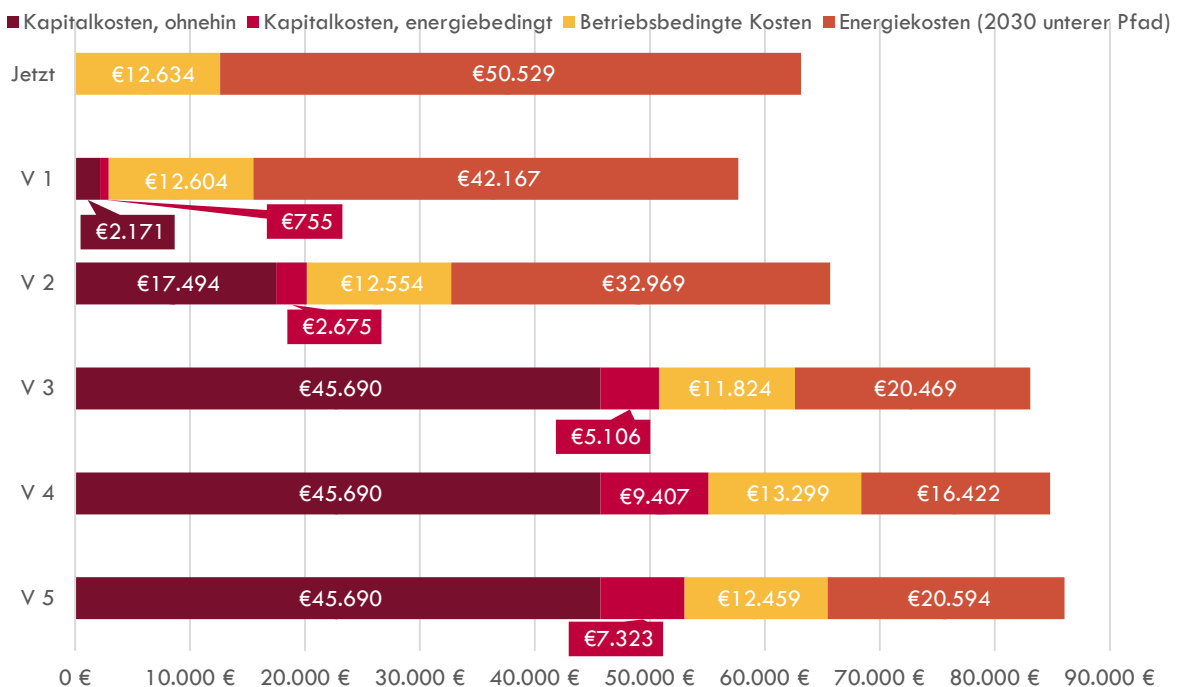


Investitionskosten



In den Berechnungen werden staatliche Subventionen bzw. Förderungen für die notwendigen Investitionen berücksichtigt. Diese beziehen sich auf energetische Modernisierungen und erneuerbare Energietechnologien. Im Rahmen dieses Vorhabens wird ein pauschaler mittlerer Fördersatz von 20 % angesetzt. Der Fördersatz bewegt sich dabei für das angestrebte energetische Niveau am unteren Rand der Möglichkeiten.

Jahresgesamtkosten €/a



Zusammenfassung

Die betrachteten (Teil-)Modernisierungsvarianten führen zu einer Endenergieminderung von 19 % bzw. 41 %. Die unterstellten Varianten würden eine THG-Minderung im Jahr 2030 gegenüber dem Status quo in Höhe von 26 % bzw. 45 % erreichen und wären somit zielerfüllend. Eine Komplettmodernisierung wäre mit einer Endenergieminderung von 63 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 73 % bei einer Gas-Wärmepumpe und 82 % bei einer Elektro-Wärmepumpe verbunden. Damit wäre eine Senkung der THG-Emissionen gegenüber dem Status quo von ca. 72 % beim Einsatz eines Gas-Brennwertkessels, von 80 % bei einer Gas-Wärmepumpe und 98 % bei einer Elektro-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der für das Jahr 2050 entsprechend den Randbedingungen angesetzten THG-Emissionsfaktoren möglich.