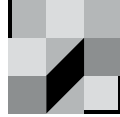




Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

BBR-Online-Publikation, Nr. 18/2008

Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Bearbeitung

Passivhaus Institut, Darmstadt (Auftragnehmer)
Oliver Kah (Leitung), Dr. Wolfgang Feist, Dr. Rainer Pfluger, Jürgen Schnieders,
Dr. Berthold Kaufmann, Tanja Schulz, Zeno Bastian
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn
Andrea Vilz (Leitung)

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

BMVBS / BBR (Hrsg.): Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender
Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung, BBR-Online-Publikation 18/2008.
urn:nbn:de:0093-ON1808R222

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist
nicht unbedingt mit der der Herausgeber identisch.

ISSN 1863-8732
urn:nbn:de:0093-ON1808R222

© BMVBS / BBR Dezember 2008

Ein Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract: Evaluation of Requirements on Energy Conservation for the “EnEV” and for “KfW” Funding in light of Rising Energy Prices	5
2	Energieeffizienz lohnt – Ergebnisse im Überblick	7
2.1	Teil 1: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV	8
2.2	Teil 2: Überprüfung und Ergänzung von Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf. Basis sind die Rechenregeln	11
3	Einleitung	14
	Teil 1: Überprüfung der Wirtschaftlichkeit von energiebezogenen Anforderungen bei Sanierungen im Gebäudebestand sowie energetischen Standards im Neubau	16
4	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse	16
4.1	Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen: Immer als Alternative zum Energiebezug zu betrachten	17
4.2	Rechenmethodik	18
4.2.1	Investitionskosten	20
4.2.2	Restwert der Investition nach Ablauf der Kalkulationsdauer	21
4.2.3	Zinsen, Realzins	22
4.2.4	Energiekosten	23
4.2.5	Einschätzung zum Energiepreisverlauf	23
4.3	Kosten der eingesparten Kilowattstunde	28
5	Wirtschaftliche Energiesparmaßnahmen: Untersuchung von Einzelmaßnahmen	30
5.1	Wärmeerzeuger	30
5.1.1	Wärmeerzeuger mit Energieträger Erdgas	31
5.1.2	Wärmeerzeuger mit Energieträger Heizöl EL	35
5.1.3	Wärmeerzeuger auf der Basis von Biomassekesseln	37
5.1.4	Wärmeerzeuger auf Basis von Strom: Wärmepumpen	41
5.1.5	Wärmeerzeuger auf der Basis von Gas: Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)	44
5.1.6	Fazit zu Wärmeerzeugungsvarianten	50
5.1.7	Heizungspumpen	51
5.1.8	Wärmedämmung von Versorgungsleitungen	53
5.2	Thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung	59
5.3	Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	65
5.3.1	Untersuchte Varianten und Parameter	65
5.3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse	70
5.3.3	Fazit: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	70

5.4	Wärmedämm-Maßnahmen an der Gebäudehülle	72
5.4.1	Wärmedämm-Maßnahmen an der Außenwand	72
5.4.2	Wärmedämm-Maßnahmen am geneigten Dach	89
5.4.3	Wärmedämm-Maßnahmen am Flachdach	98
5.4.4	Wärmedämmung der obersten Geschossdecke	104
5.4.5	Wärmedämm-Maßnahmen im Keller	110
5.5	Fenster 119	
5.5.1	Einführung zur Untersuchung zur Einzelwirtschaftlichkeit von Fenstern mit verbessertem Wärmeschutz	119
5.5.2	Untersuchte Varianten und Parameter	119
5.5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	121
5.5.4	Thermisch getrennter Randverbund	123
5.5.5	Einsatz neuer Fenster als ungekoppelte Maßnahme	125
5.6	Vermeidung von Wärmebrücken	126
5.7	Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle	131
5.8	Beleuchtungsanlagen	133
5.8.1	Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) anstatt verlustarmer Vorschaltgeräte (VVG)	133
5.8.2	Optimierung des Beleuchtungssystems durch einen Fachplaner und Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)	136
5.8.3	Verwendung eines tageslichtabhängigen Kontrollsystems und elektronische Vorschaltgeräte (EVG) anstatt verlustarmer Vorschaltgeräte (VVG) ohne Kontrollsystem	139
5.9	Effizienzmaßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz	141
5.9.1	Das Beispielobjekt: Büroneubau lu-teco in Ludwigshafen	142
5.9.2	Prüfung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2	142
5.9.3	Reduzierung der internen Gewinne durch effiziente Arbeitshilfen	144
5.9.4	Vergleich konventionelle Klimaanlage mit einem System aus BKT und Erdsonden	151
5.10	Nachrüstpflichten im Gebäudebestand	156
5.11	Anforderung bei Änderung oder Erneuerung von Gebäudekomponenten von Bestandsgebäuden / wirtschaftlich gebotener Mindeststandard	159
6	Energetische Anforderungen bei bestehenden Gebäuden	174
7	Primärenergie-Anforderung im Neubau / Nachweis der Wirtschaftlichkeit	175
7.1	Beschreibung der Modellgebäude	176
7.2	Primärenergie-Anforderungen für Wohngebäude	192
7.2.1	Vorschlag für neues Primärenergie-Anforderungsniveau	192
7.2.2	Nachweis der Wirtschaftlichkeit anhand von Ausführungsvarianten	194
7.2.3	Vergleich der Rechenverfahren nach DIN V 18599 und DIN 4107-10 / DIN 4108-6	207
7.3	Primärenergie-Anforderungen für Nichtwohngebäude	210
7.3.1	Beschreibung und Begründung der Referenzausführung	214
7.3.2	Nachweis der Wirtschaftlichkeit anhand von Ausführungsvarianten	231
8	Nebenanforderung an den Wärmeschutz	242
8.1	Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau an den Wärmeschutz	246

9	Kriterien für eine KfW-Förderung im Neubau	250
10	Kriterien für eine KfW-Förderung im Altbau	252
11	Randbedingungen	253
Teil 2: Überprüfung und Ergänzung von Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf. Basis sind die Rechenregeln		256
12	Vergleich mit bereits durchgeführten Feldmessungen	256
12.1	Validierung an Hand von Messergebnissen aus gebauten Passivhaus-Siedlungen als Feldversuche	256
12.2	Überprüfung durch Feldmessungen	257
12.2.1	Separation der systematischen von den zufälligen Einflüssen	257
12.3	Vergleichsgesamtheit I: Belgiersiedlung in Kassel	259
12.4	Vergleichsgesamtheit II: Niedrigenergiehaussiedlung "Distelweg" in Niedernhausen	260
12.5	Passivhaussiedlung "Lummerlund" in Wiesbaden/Dotzheim	262
12.6	Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg	264
12.7	Passivhaussiedlung Stuttgart Feuerbach	267
12.8	Übersicht zu den Verbrauchsstatistiken: BESTAND, NEH und PASSIVHÄUSER im Vergleich	269
12.9	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	271
12.10	Vergleich der Messdaten von vier Passivhausprojekten mit den Ergebnissen der DIN V 18599	274
13	Parameterstudie anhand eines validierten Simulationsmodells	279
13.1	Beispielgebäude	279
13.2	Rechenmodelle	281
13.3	Varianten	282
13.3.1	Referenzfall	282
13.3.2	Opake Außenbauteile – Dach	284
13.3.3	Opake Außenbauteile – Wand	287
13.3.4	Opake Außenbauteile – Bodenplatte	290
13.3.5	Fenster	293
13.3.6	Lüftung	297
13.3.7	Luftdichtheit	299
13.3.8	Interne Wärmegewinne	300
13.3.9	Verluste der Wärmeübergabe im Raum	302
14	Überprüfung von zusätzlichen Berechnungsergebnissen der DIN 18599	303
14.1	Fenster: Standard-Annahme des Verglasungsanteils	303
14.2	Standardlänge der Wärmeverteilungen	303
14.3	Beleuchtung	303

14.3.1	Bestimmung der spezifischen installierten Leistung der Leuchten (bzw. spezifischen elektrischen Bewertungsleistung) für die empfohlene Referenzausführung	304
14.3.2	Bestimmung der spezifischen installierten Leistung mit dem Wirkungsgradverfahren	305
14.3.3	Bestimmung der Betriebsstunden der Beleuchtung	306
15	Ergänzungs- und Änderungsvorschläge zum Rechenverfahren gemäß DIN 18599	310
16	Anhang	313
16.1	Anhang: Wärmebrückenwirkung bei Innendämmung	313
16.2	Anhang zum Abschnitt 5.9: Möglichkeiten und Grenzen der Nachtlüftung und der adiabaten Kühlung	316
16.2.1	Passive und hybride Kühlsysteme	316
16.2.2	Freie Kühlung als hybrides Kühlsystem	317
16.2.3	Geregelter Wärmeübertrager	319
16.2.4	Simulationsergebnisse zur freien Kühlung	320
16.2.5	Adiabatische Kühlung	321
16.2.6	Reversibler Betrieb von Wärmepumpen	322
16.2.7	Zusammenfassung	323
16.3	Anhang zum Abschnitt 5.2 Thermische Solaranlagen: Tabellen zur Erläuterung verschiedener Konfigurationen	325
16.4	Anhang zum Abschnitt 5.3: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	332
16.5	Anhang zum Abschnitt 5.3: Positionspapier zur Bestimmung der Referenzvarianten zur Wohnungslüftung im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	336
16.6	Anhang: Wärmedämm-Maßnahmen der Außenwand bei ungenügendem Dachüberstand	343
16.7	Anhang: Wärmedämm-Maßnahmen der Außenwand ohne gleichzeitige Fenstererneuerung	347
16.8	Anhang zum Abschnitt 5.5 Fenster: Berechnungstabellen weiterer Maßnahmen und Varianten	353
16.9	Anhang: Rückspiegelung des Vorschlags für ein neues Primärenergie-Anforderungsniveau auf die Verfahren gemäß DIN 4108-6 und DIN 4701-10 für den Wohnbau (Neubau)	359
16.10	Anhang zu den Modellgebäuden	361
16.10.1	Kostenansätze	361
16.10.2	Bauteilaufbauten	365
16.10.3	Beleuchtung	368
16.10.4	Randbedingungen des Rechenverfahrens	368
16.10.5	Dokumentation zum Mehrzonen-Schulmodellgebäude	369
16.11	Detaillierte Beschreibung der Ausführungsvarianten.	371
16.12	Anhang zum Abschnitt 14.3 Beleuchtung	411
17	Literatur	412

1 Abstract: Evaluation of Requirements on Energy Conservation for the “EnEV” and for “KfW” Funding in light of Rising Energy Prices

Much of the total energy consumed in Germany is used for space heating, therefore a decrease in this energy demand is an essential prerequisite for meeting national CO₂ emissions reduction goals. Reducing space heating demand therefore represents an important contribution towards climate protection. In order to realise these potential energy savings, the cost-effectiveness of the required measures is just as important as knowledge of the available potential.

This study includes recommendations for new efficiency requirements in residential and non-residential buildings, as well as retrofits of existing buildings based on the [EnEG], taking recent changes in the economical boundary conditions into account. The results are to be used as a basis for decision-making for an updated version of the Energieeinsparverordnung.

The results of the study show that energy efficiency is one of today's most economically rewarding energy “sources”. The energy saving measures that have been analysed here frequently incur considerably lower initial costs than the purchase of conventional fuels. Moreover, the creation of value using these measures occurs almost exclusively in medium-sized, domestic manufacturing businesses. These enterprises have a very high labour content, so the consistent mobilisation of the economic potentials described here has a considerable impact on national employment.

The renewal and renovation of building components takes place over relatively large time intervals (every 20 to 50 years), therefore these occasions should be used as comprehensively as possible for improving overall building efficiency. Saving one kilowatt hour of heat energy by investing in an energy saving measure is frequently significantly cheaper than the alternative of purchasing energy (this study has been based on a future purchase price for natural gas/oil of 6,6 Eurocents/kWh). The economically required heat transmission coefficients which have been identified for exterior building components are between 0,16 and 0,19 W/(m²K). The cost for saving one kilowatt hour with these components is between 1 and 4,6 Cent/kWh.

Against the background of these changed economic boundary conditions a new standard for residential buildings is determined. The calculations for this are based on the [DIN V 18599]. The proposed, new primary energy demand is 35% lower than in prior regulations. It must be pointed out that these tightened requirements will have a greater impact on buildings with a disadvantageous A/Ve ratio. For the verification of cost-effectiveness, which is required by existing German legislation, packages of measures have been defined which achieve the proposed new required standard, and at the same time cause a lower combined financial burden for the investor and

the user. In addition to the primary energy savings, the annual overall burden (made up of capital, operational and energy costs) for the documented execution examples drops by an average of 1 €/m² living area). The necessary extra expenditures of the execution variants are at an average of 52 €/m² living area).

For non-residential buildings, the required primary energy demand is specified with the help of a reference building execution, and for this a new reference execution has been developed. For three model buildings (two office buildings and one school) the primary energy savings and the cost-effectiveness of the required standard which can be expected have been analysed. For buildings with supply/extract air ventilation systems, an average of 47% of primary energy can be saved compared to the [EnEV 2007]. The overall lower annual burden has been proven, using case study examples. The average, annual return compared to an execution according to [EnEV 2007] is 2,30 €/m² net floor area). In this case the additional investment for the execution examples is at an average of 64 €/m² net floor area).

In the second part of the study, the calculation rules for the evaluation of buildings with a particularly low energy demand are examined. Using four projects which have previously been subject to measurements, the question of whether the measured space heat demand can be reproduced with sufficient accuracy with the calculations according to DIN V 18599 has been analysed. For this analysis, the space heat demand, calculated according to DIN V 18599, is compared to the results of the measurements.

Moreover an additional parametric study regarding the energy demand with different insulation standards, buildings sizes, mechanical systems and boundary conditions has been carried out, using a model building. With the help of previously validated dynamic simulation software, a building model has been created which allows for a differentiated analysis of the different energy efficiency measures, as well as of the effects of the studied parameters. The results have been systematically evaluated and compared to the results of the DIN V 18599 calculation methods.

The DIN V 18599 calculation method leads to realistic results when calculating the energy demand of buildings. With a detailed data input, energy efficient buildings can be represented with sufficient accuracy as well. A list of proposed complements and modifications has been developed.

2 Energieeffizienz lohnt – Ergebnisse im Überblick

Ein bedeutender Anteil des Energieeinsatzes in Deutschland wird in Gebäuden zu Heizzwecken verwendet. Die Reduzierung dieses Energiebedarfs ist eine wesentliche Voraussetzung, die gesteckten Ziele zur Verringerung des CO₂ Ausstoßes zu erreichen und stellt somit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz dar. Um das vorhandene Energieeinsparpotential erschließen zu können ist die Kenntnis des verfügbaren Potentials ebenso wichtig, wie die Wirtschaftlichkeit der geforderten Maßnahmen.

Vor dem Hintergrund der Innovationen, die im letzten Jahrzehnt auf dem Gebiet der Energieeffizienz bei Gebäuden und Bauprodukten stattgefunden haben sowie der gegenüber der Verankerung der [EnEV 2002] deutlich gestiegenen Energiepreise ist es angezeigt, die Wirtschaftlichkeit der Effizienzanforderungen zu überprüfen und neu zu bewerten.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden, unter Berücksichtigung der geänderten ökonomischen Randbedingungen, Empfehlungen für neue Effizienzanforderungen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie bei Änderungen im Bestand auf Basis des [EnEG] erarbeitet. Die Ergebnisse sollen als Entscheidungsgrundlage für eine Fortschreibung der Energieeinsparverordnung dienen.

Energieeffizienz ist, wie die Ergebnisse der Studie zeigen, heute eine der rentabelsten „Energiequellen“ überhaupt, die untersuchten Energiespar-Maßnahmen sind regelmäßig deutlich günstiger in den Gestehungskosten als der Einkauf herkömmlicher Brennstoffe. Die Wertschöpfung dieser Maßnahmen erfolgt zudem fast ausschließlich im Inland, und dort wieder im mittelständischen Handwerk; die hier angesiedelten Betriebe haben eine sehr hohe Arbeitsplatzintensität, so dass eine konsequente Mobilisierung der hier dargestellten wirtschaftlichen Potentiale eine bedeutende Beschäftigungswirkung hat.

Die vorliegende Studie gliedert sich in zwei Hauptteile. Im ersten Teil wird das energetische Anforderungsniveau, das im Rahmen der EnEV an Gebäude gestellt wird, im Zusammenhang mit den steigenden Energiepreisen neu bewertet und Änderungsvorschläge erarbeitet. Im zweiten Teil werden die Rechenregeln der DIN V18599 mit Hinblick auf die Bilanzierung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf untersucht.

2.1 Teil 1: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV

Einzelanforderungen

Der Gebäudebestand unterliegt ständigen Veränderungen – zu denen die ohnehin erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen und die Modernisierung nicht mehr zeitgemäßer Gebäude gehören. Jede dieser Maßnahmen im Bestand bietet die Möglichkeit, den wärmetechnisch unzureichenden Zustand an die Erfordernisse der Zukunft anzupassen.

Es wurden energetische Mindeststandards der Gebäudehülle und der Anlagentechnik im Rahmen von Änderungen an Bestandsgebäuden untersucht und geeignete Anforderungen abgeleitet. Aus Sicht des Investors muss der geforderte Effizienzstandard einen einzelwirtschaftlichen Vorteil darstellen. Die vorgeschlagenen Grenzwerte werden jeweils so gesetzt, dass der Effizienzstandard zugleich das wirtschaftliche Optimum darstellt.

Daneben wurden weitere schärfere Anforderungen definiert, die als Richtwerte für eine Förderung gelten können. Auch diese Grenzwerte sind mit geringen Einbußen aus Sicht des Investors nahezu wirtschaftlich erreichbar.

Die Erneuerung und Sanierung von Bauteilen erfolgt nur in relativ großen Zeitabständen (alle 20 bis 50 Jahre). Wie sich zeigt, sollten diese Anlässe möglichst umfassend genutzt werden, um gleichzeitig die Effizienz zu verbessern. Die ermittelten Kosten der eingesparten Energie liegen teilweise deutlich unter den angesetzten Energiebezugspreisen von 6,6 Cent/kWh. Zum Beispiel führt eine zusätzliche Wärmedämmung der Außenwand, sofern der Außenputz ohnehin erneuert werden muss, zu Kosten der eingesparten kWh von 2,5 Cent/kWh. Aufgrund der gestiegenen Energiepreise können z.T. geringste Anlässe zur gleichzeitigen Verbesserung des Energiestandards genutzt werden. Bei der Außenwand kann z.B. der Neuanstrich als Kopplungsmaßnahme genutzt werden, um zusätzlich eine Fassadendämmung durchzuführen. Die Kosten der kWh (3,2 Cent) sind immer noch deutlich günstiger als die angesetzten Energiepreise. Selbst widrige Umstände, wie z.B. ein ungenügender Dachüberstand, beeinflussen die hohe Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme kaum (Kosten der kWh 3,9 Cent bei der Ohnehin-Maßnahme Neuanstrich). Die ermittelten wirtschaftlich gebotenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile liegen zwischen 0,16 und 0,19 W/(m²K).

Die Rentabilität einer Effizienz-Maßnahme nimmt ab, wenn der Ausgangszustand des alten Bauteils oder der alten Komponente besser ist. Folglich sollte bei Instandsetzungsmaßnahmen eine möglichst hohe Effizienz der neuen Komponente erreicht werden, da spätere Verbesserungen von z.B. mäßig gedämmten Bauteilen nicht mehr wirtschaftlich sind.

Primärenergie-Anforderung Wohnbau

Im Rahmen dieser Studie sollte auch die Rechenmethodik gemäß [EnEV 2007] bezüglich der Anwendung bei hocheffizienten Gebäuden untersucht werden. Es zeigte sich (vgl. weiter unten), dass die Verfahren der [DIN V 18599] Ergebnisse aus Messungen und aus systematischen Simulationsrechnungen realistisch reproduzieren. Wir empfehlen daher die Verwendung der [DIN V 18599] auch bei der primärenergetischen Bilanzierung von Wohngebäuden. Das Berechnungsverfahren sollte allerdings noch vor einer breiten Anwendung geeignet vereinfacht werden.

Vor dem Hintergrund der veränderten ökonomischen Randbedingungen wird für den Wohnbau ein neues Anforderungsniveau ermittelt. Dabei werden die Berechnungen auf Basis der [DIN V 18599] durchgeführt. Das vorgeschlagene neue Jahres-Primärenergie-Anforderungsniveau für Wohnbauten führt zu einer durchschnittlichen Verschärfung der Primärenergiebedarfsanforderungen von 35%. Dabei ist zu beachten, dass sich für Gebäude mit ungünstigem A/V_e Verhältnis die Verschärfung der Grenzwerte deutlicher auswirkt als für Gebäude mit günstigem A/V_e Verhältnis.

Zum Nachweis des Wirtschaftlichkeitsgebots wurden Maßnahmenpakete definiert, welche das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau, bei einer insgesamt geringeren jährlichen Belastung der Gemeinschaft aus Investor und Nutzer, erfüllen. Zur Bewertung werden die jährlichen Gesamtkosten aus Kapitaldienst für Investitionen, Betriebskosten und Energiekosten herangezogen. Der durchschnittliche jährliche Gewinn der Ausführungsbeispiele liegt bei 1 €/m²Wohnfläche). Dabei ist der Gewinn die Differenz der jährlichen Gesamtkosten zu einer Ausführung gemäß [EnEV 2007].

Bei der Zusammenstellung der Maßnahmenpakete werden möglichst unterschiedliche Kombinationen der Anlagentechnik und des Wärmeschutzes gewählt. Es zeigt sich, dass bei dem vorgeschlagenen Anforderungsniveau die Vielfalt der Lösungsansätze erhalten bleibt. Privatwirtschaftlich rentable Maßnahmenpakete auf Basis von Niedertemperatur-Kesseln, Brennwert-Kesseln oder Wärmepumpen sowie zentrale als auch dezentrale Trinkwarmwasserversorgungsvarianten sind möglich. Durch Synergie-Effekte werden in der Kombination auch Maßnahmen wirtschaftlich, die isoliert betrachtet nicht wirtschaftlich sind! So werden z. B. auch Ausführungskombinationen mit thermischen Solarkollektoren im Paket wirtschaftlich.

Die erforderlichen Mehrinvestitionen der Ausführungsvarianten liegen im Durchschnitt um 52 €/m²Wohnfläche). Dabei sind Mehrinvestitionen beim Einfamilienhaus (durchschnittlich 64 €/m²Wohnfläche)) aufgrund des höheren Anteils an Außenbauteilen, wie zu erwarten, höher als im Geschosswohnbau (im Mittel im 34 €/m²Wohnfläche)).

Zur Beurteilung unterschiedlicher Energiepreis-Annahmen wird zu den Energiespar-Varianten der Äquivalentpreis der eingesparten Kilowattstunde Endenergie bestimmt. Die Studie zeigt, dass die Maßnahmenpakete überwiegend bereits zu heutigen Endenergiepreisen für Gas/Öl wirtschaftlich sind. Der mittlere Äquivalentpreis der eingesparten Kilowattstunde der Ausführungsbeispiele liegt bei 4,7 Cent.

Primärenergie-Anforderung Nicht-Wohnbau

Für den Nicht-Wohnbau wird ein Vorschlag für eine neue Referenzgebäudeausführung ausgearbeitet. Diese Referenzausführung trägt dem technischen Fortschritt und den deutlich gestiegenen Energiepreisen Rechnung. Energie-Einsparpotentiale gegenüber der [EnEV 2007] ergeben sich insbesondere durch einen guten Wärmeschutz, im Bereich der künstlichen Beleuchtung und durch den Einsatz einer effizienten Lüftungsanlage. Anhand von drei Modellgebäuden (zwei Bürogebäude und eine Schule) werden Ausführungsvarianten vorgestellt, welche das neue, mit der Referenzausführung festgelegte Primärenergieniveau erfüllen und gegenüber der [EnEV 2007] zu einer insgesamt geringeren jährlichen Belastung der Gemeinschaft aus Investor und Nutzer führen. Es wird empfohlen, die wärmetechnische Qualität der Gebäudehülle, abweichend vom derzeitigen Verfahren über Bauteileinzelanforderungen zu definieren.

Die vorgeschlagene neue Referenzausführung für Nichtwohngebäude führt bei den untersuchten Modellgebäuden zu einer deutlichen Verschärfung der Primärenergiebedarfsanforderungen. Bei einer Ausführung der Gebäude mit Zu- und Abluftanlage beträgt die durchschnittliche Primärenergieeinsparung gegenüber der [EnEV 2007] 47%. Anhand von Ausführungsbeispielen wurde die insgesamt geringere jährliche Belastung nachgewiesen. Der durchschnittliche jährliche Gewinn gegenüber einer Ausführung gemäß [EnEV 2007] liegt bei 2,30 €/m²NGF). Die durchschnittliche Mehrinvestition der Ausführungsbeispiele liegt in diesem Fall bei 64 €/m²NGF).

Alle Maßnahmen sind bereits zu heutigen Energiepreisen wirtschaftlich. Bei einigen Ausführungsbeispielen kompensieren bereits die geringeren Betriebskosten und die verringerten Stromkosten den höheren Kapitaldienst aufgrund der Mehrinvestition. Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Öl/Gas sind in diesen Fällen Null. Werden diese extrem günstigen Beispiele vernachlässigt, beträgt der durchschnittliche Preis der eingesparten Kilowattstunde 2,4 Cent.

Beim Gebäudereferenzverfahren folgen die primärenergetischen Anforderungen dem tatsächlichen Entwurf und der geplanten Nutzung. Dies kann dazu führen, dass für Gebäude gleicher Nutzung und nahezu gleichen Raumangebots deutlich unterschiedliche Primärenergieanforderungen gelten. In diesem Fall bekommt ein „energetisch kritischer Entwurf“ einen primärenergetischen Bonus. Ferner ist die Ableitung des Anforderungswerts für Planer nicht transparent. Vor diesem Hintergrund wäre ggf. eine erneute Überprüfung der Anforderungsmethodik wertvoll.

Es wird empfohlen in Abhängigkeit der Nutzungsbereiche einen Primärenergie-Anforderungswert festzuschreiben. Dieses Verfahren wurde bereits in Rahmen eines Gutachtens untersucht (vgl. „Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EU-Richtlinie“ [IEMB 2005]), aber aufgrund der damals noch unvollständigen Rechenmethodik wieder verworfen.

Im Wohnbau sollte von einer Einführung eines dem Nichtwohnbau vergleichbaren Gebäudereferenzverfahrens abgesehen werden. Durch das Gebäudereferenzverfahren werden im Wohnbau gebräuchliche architektonische Mittel zur möglichst

wirtschaftlichen Verringerung des Primärenergieeinsatzes praktisch ausgenommen. Es wird somit eine im Durchschnitt über alle Neubauten deutlich geringere Primärenergieeinsparung erreicht als es mit den wirtschaftlich gebotenen Techniken möglich wäre.

2.2 Teil 2: Überprüfung und Ergänzung von Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf. Basis sind die Rechenregeln

Die überzeugendste Überprüfung von Ansätzen zur Energieeffizienzverbesserung ist der Vergleich mit sorgfältig ermittelten Verbrauchswerten in hinreichend großen Stichproben. Bei Feldmessungen in einer ausreichend großen Anzahl von identischen Gebäuden wird die Abhängigkeit des mittleren Verbrauchswerts von zufälligen Einflüssen (z.B. von einem speziellen Nutzungsverhalten, etc.) nahezu vernachlässigbar. Die energetische Qualität des Gebäudes bestimmt dann den durchschnittlichen Verbrauch.

Anhand vier messtechnisch begleiteter Projekte wird untersucht, ob sich der gemessene Heizwärmebedarf mit den Berechnungen nach [DIN V 18599] mit hinreichender Genauigkeit abbilden lässt. Hierzu wird der nach [DIN V 18599] berechnete Heizwärmebedarf mit den Ergebnissen der Messungen verglichen. Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse ist, dass in beiden Fällen identische Randbedingungen angenommen werden. Dies gilt zum einen für die Bilanzgrenze zum anderen aber auch für die Klimarandbedingungen.

Weiterhin wurden anhand eines Modellgebäudes zusätzlich eine Parameterstudie zum Energiebedarf bei unterschiedlichen Dämmstandards, zu verschiedenen Gebäudegrößen, zu unterschiedlichen Anlagenausstattungen und unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt. Mit Hilfe eines zuvor validierten dynamischen Simulationsprogramms wurde ein Gebäudemodell erstellt, welches eine differenzierte Analyse der unterschiedlichen Effizienzmaßnahmen sowie der Auswirkungen der betrachteten Parameter ermöglichte. Die Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet und mit den Ergebnissen der Rechenverfahren der [DIN V 18599] verglichen.

Das Rechenverfahren der [DIN V 18599] führt zu realistischen Ergebnissen bei der Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden. Bei detaillierter Eingabe können auch energieeffiziente Gebäude hinreichend genau abgebildet werden. Durch den Vergleich mit Messwerten und dynamischer Gebäudesimulation konnten folgende wesentliche Ergänzungs- und Änderungsempfehlungen erarbeitet werden:

Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung

Die [DIN V 18599] berücksichtigt die Wärmerückgewinnung bei der Berechnung des Ausnutzungsgrades der freien Wärme nicht. Dieses Vorgehen entspricht nicht demjenigen der [DIN EN ISO 13790]. Die Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung führt zu einer deutlich besseren Übereinstimmung mit Simulationsergebnissen, sodass hier das Vorgehen analog zur europäischen Norm [DIN EN ISO 13790] empfohlen wird.

Innentemperatur im Kühlfall

Entgegen der [DIN EN ISO 13790] wird die Innentemperatur gegenüber dem Sollwert um 2 K reduziert. Auch hier wird das Verfahren nach der europäischen Norm [DIN EN ISO 13790] empfohlen, welches keine Reduzierung vorsieht.

Standard-Annahme Abminderung Fensterrahmen F_F und Verschattung F_S

Mit einem Standardwert sollte eine realistische Annahme getroffen werden, welche ggf. durch eine auch mögliche genauere Berechnung verbessert wird. Es wird empfohlen die Abminderung Fensterrahmen F_F gemäß typischer Fensterformate und Rahmenbreiten zu überarbeiten. Als neue Standard-Annahme werden 62% empfohlen. Die zur Zeit verwendeten Standardwerte F_F von 70% und F_S nach Tabellen A.1 bis A.3 der [DIN V 18599-2] führen zu einer Überschätzung der solaren Gewinne. Auch für F_S (Verschattung) wird ein geringerer Standardwert empfohlen, welcher typische Verschattungssituationen berücksichtigt.

Bei besonders energieeffizienten Gebäuden sollten Fenster einschließlich der Einbau-Wärmebrücken nach [DIN EN ISO 10077] berechnet werden. Eine pauschale Annahme des Rahmenanteils reicht für die korrekte Berechnung von Gebäuden mit hohem solarem Deckungsanteil am Heizwärmebedarf nicht aus.

Fensterluftwechsel bei Lüftungsanlagenbetrieb

Der Ansatz eines Fensterluftwechsels auch bei Einsatz einer maschinellen Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung gemäß [DIN V 18599] erhöht den Heizwärmebedarf drastisch. Eine derartige pauschale Erhöhung steht im Widerspruch zu den ausgewerteten Messprojekten. Für Gebäude mit Lüftungsanlage sollte der zusätzliche Fensterluftwechsel höchstens $0,01 \text{ h}^{-1}$ betragen.

Interne Wärmegewinne

Die für Mehrfamilienwohnhäuser in Ansatz zu bringenden internen Wärmegewinne von $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ führen zu einem zu geringen Energiebedarf. Die sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung mit internen Wärmegewinnen von $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ weist auf eine realistische Größenordnung dieser Wärmegewinne hin. Wir schlagen daher einheitliche interne Wärmegewinne für Wohnnutzung vor.

Ungeregelte Wärmeeinträge

Die Berechnung der Erzeugernutzwärmeabgabe nach [DIN V 18599] erfolgt unter Berücksichtigung un geregelter Wärmeeinträge durch das Warmwasser- und Heizungsverteilsystem. Der Vergleich mit den Messergebnissen zeigt aber, dass je nach Versorgungskonzept diese Wärmeeinträge zu einer weitgehenden Unterschätzung des erforderlichen Heizwärmebedarfes führen können. Hier wird ein weiterer Untersuchungsbedarf gesehen.

Wärmeübergabeverluste

Die Wärmeübergabeverluste sind – wenn sie überhaupt existieren – von untergeordneter Bedeutung, die Ermittlungsgrundlagen sind intransparent. Wir schlagen daher einen Verzicht auf die Berücksichtigung von Wärmeübergabeverlusten in der Norm vor.

Standardlängen der Wärmeverteilung

Die Algorithmen gemäß [DIN V 18599-5] überschätzen z.T. deutlich die tatsächlichen Rohrleitungslängen. Dies kann zu unrealistisch hohen Wärmeverlusten in der Referenzausführung führen. Es wird empfohlen dieses Verfahren zu überarbeiten.

3 Einleitung

Ziel dieser Studie ist die Ermittlung einer Entscheidungsgrundlage für eine Fortschreibung der Energieeinsparverordnung. Auf der Grundlage der veränderten ökonomischen Randbedingungen, insbesondere der gestiegenen Energiepreise und aktualisierter Baukosten sollen die Effizienz-Anforderungen an Gebäude auf Basis des [EnEG] überprüft werden. Dabei werden Innovationen bei Gebäuden und Bauprodukten, die im letzten Jahrzehnt stattgefunden haben, insbesondere in Bezug auf hohe Energieeffizienz in Neu- und Altbau, in angemessener Weise berücksichtigt.

Ein zweiter Teil befasst sich mit den Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf. Die Überprüfung umfasst die Qualität des Rechenverfahrens in Bezug auf Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Diese Studie umfasst zwei Hauptteile:

1. Überprüfung der Wirtschaftlichkeit von energiebezogenen Anforderungen bei Sanierungen im Gebäudebestand sowie energetischen Standards im Neubau (ab Abschnitt 4).
2. Überprüfung und Ergänzung von Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf (ab Abschnitt 12). Basis sind die Rechenregeln:
 - Der ENEV und der ihr zugrundeliegenden Normen [DIN 4108-6] und [DIN 4701-10]
 - Der neuen [DIN V 18599].

Im ersten Teil werden Energiesparmaßnahmen mittels einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung bewertet. Als Grundlage für diese Studie wird die dynamische Annuitätenmethode verwendet (vgl. Abschnitt 4). Dabei wird der Kapitalwert aller Kosten, die während des Lebenszyklus der Gebäude bzw. Gebäudeelemente (Baukonstruktion, Anlagensysteme) anfallen, gebildet. Berücksichtigt werden die Investitions-, Instandhaltungs-, Betriebs- und Energiekosten. Dabei wird neben einem energiebezogenen Gesamtkostenvergleich, mit der Berechnung eines „Preises für die eingesparte Energie“ ein energiepreisunabhängiger Vergleichsmaßstab verwendet. Das Konzept des „Preises der eingesparten Energie“ wurde vom Autor bereits in den Studien zum Gebäudebestand im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau 1997 sowie für das Bundesministerium für Wirtschaft 1997/98 angewendet (vgl. [Feist 1997], [Feist 1998]). Die Vergleichbarkeit mit den früheren Untersuchungen in Bezug auf die Anforderungen im Gebäudebestand in der EnEV 2002 ist damit gegeben.

Die wesentlichen Ergebnisse zu Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand werden in 5.10 zusammengefasst. Ein neues Primärenergie-Anforderungsniveau im Neubau für Wohngebäude wird in Abschnitt 7.2 vorgestellt. Dabei wird anhand von fünf Wohngebäudetypen die Wirtschaftlichkeit des vorgeschlagen neuen

Baustandards im Vergleich zu einer Ausführung gemäß [EnEV 2007] belegt. Die Ergebnisse im Wohnbau werden auf Basis der Rechenverfahren der [DIN V 18599] ermittelt.

Ein Vorschlag für eine neue Referenzgebäudeausführung wird in Abschnitt 7.3 beschrieben. Neben einem guten Wärmeschutz, bietet die künstliche Beleuchtung und der Einsatz einer effizienten Lüftungsanlage ein deutliches Einsparpotential. Anhand von drei Modellgebäuden (zwei Bürogebäuden und einer Schule) werden Ausführungsvarianten vorgestellt, welche das neue, mit der Referenzausführung festgelegte, Primärenergieniveau erfüllen und gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] zu einer insgesamt geringeren jährlichen Belastung der Gemeinschaft aus Investor und Nutzer führen.

Die überzeugendste Überprüfung von Ansätzen zur Energieeffizienzverbesserung ist der Vergleich mit sorgfältig ermittelten Verbrauchswerten in hinreichend großen Stichproben. Bei Feldmessungen in einer ausreichend großen Anzahl von identischen Gebäuden wird die Abhängigkeit des mittleren Verbrauchswerts von zufälligen Einflüssen (z.B. von einem speziellen Nutzungsverhalten, etc.) nahezu vernachlässigbar. Die energetische Qualität des Gebäudes bestimmt dann den durchschnittlichen Verbrauch (vgl. [CEPHEUS 2002]). Die Berechnungsergebnisse gemäß [DIN V 18599] werden anhand von tatsächlich gemessenen Heizwärmeverbrauchswerten in Abschnitt 12 bewertet. Eine weitergehende systematische Untersuchung wird mit Hilfe von dynamischen Simulationsrechnungen durchgeführt, wobei einzelne Einflüsse der Gebäudeparameter auf den Energieverbrauch untersucht werden (vgl. Abschnitt 1. Die Ergebnisse dieser Parameterstudien werden in Abschnitt 1 zusammengefasst.

Teil 1: Überprüfung der Wirtschaftlichkeit von energiebezogenen Anforderungen bei Sanierungen im Gebäudebestand sowie energetischen Standards im Neubau

4 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse

In dieser Studie wird die Bewertung von Investitionen in effiziente Energienutzung ausschließlich unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet. Es werden nur die Kosten- und Nutzenarten einbezogen, die monetarisierbar sind und deren monetäre Einstufung unstrittig ist. Dieses Vorgehen ist der Rechtsgrundlage der Energie-Einspar-Verordnung, d. h. dem Energieeinspargesetz von 22.07.1976 geschuldet.

Die ausschließlich einzelwirtschaftliche Bewertung ist Gegenstand der Kritik, die auch in Teilen berechtigt ist:

- Wirtschaftlichkeitsrechnungen sind mit Unsicherheiten behaftet, die auf der unvollständigen Kenntnis künftiger Entwicklungen (z. B. Energiepreise) beruhen. Es ist nicht von vornherein klar, auf welcher Seite der Annahmen die „sichere Seite“ liegt. Konsequenz: Wir haben versucht, möglichst realistische Annahmen für die künftige Entwicklung zu treffen und die Ergebnisse zugleich in einer Form darzustellen (Preis der eingesparten kWh), die möglichst wenig von solchen Annahmen abhängig ist.
- Für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit gibt es verschiedene Methoden. Insbesondere entstehen durch unterschiedliche Nutzungsdauern der Investitionsalternativen Bewertungsdifferenzen verschiedener Methoden. Konsequenz: Wir diskutieren die Methoden, begründen die Entscheidung für das methodische Vorgehen und stellen die von uns ausgewählte Vorgehensweise transparent dar.
- In vielen Fällen liegen die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Rechnung für verschiedene Alternativen so nah beieinander, dass das Einzelwirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt. Insbesondere ist dies bei der Bestimmung der "optimalen Dämmstoffdicke" der Fall. Es ergeben sich meist nur flach ausgebildete Kostenoptima – oft gibt es einen ganzen Bereich "wirtschaftlich sinnvoller" Maßnahmen. *Konsequenz: Wir stellen das Vorliegen einer solchen Situation transparent dar und geben in diesem Fall sowohl das Niveau des flachen Optimums („wirtschaftlich geboten“) als auch die noch vertretbaren „zukunftsweisenden Niveaus“ an. Wer auf der sicheren Seite investiert, wird die besseren Standards wählen, da sie bei fast gleichen Kosten zu einem geringeren Risiko führen.*

- In der Praxis werden Investitionsentscheidungen häufig nach Finanzierbarkeit, ästhetischen Gesichtspunkten, tradierten Verhaltensmustern oder Komfort- oder Repräsentationswünschen gefällt. Diese Gesichtspunkte werden im Allgemeinen nicht monetarisiert – auch nicht in dieser Studie.
- Es gibt neben der Wirtschaftlichkeit andere wichtige objektive Kriterien:
 - Komforterhöhungen (z. B. angenehmeres Raumklima, bequemere Bedienung).
 - Sicherheitsgesichtspunkte (z. B. höhere Versorgungssicherheit durch höhere eigene Reserven an Energieträgern).
 - Umweltkriterien (z. B. geringere Emissionen und damit Schutz der menschlichen Gesundheit und der betroffenen Ökosysteme).
 - Wertsteigerungen (z. B. Erhalt und Konservierung von Bausubstanz, künstlerische Gestaltung).
 - Soziale Auswirkungen (z. B. Schaffung von Kommunikationsbereichen, Verbesserung des Wohnumfeldes).

Diese Gesichtspunkte sind einer ökonomischen Betrachtung nur schwer zugänglich. In den folgenden Untersuchungen wurde eine solche Monetarisierung **nicht** vorgenommen.

- Volkswirtschaftliche Kriterien stehen nicht automatisch im Einklang mit der betriebswirtschaftlichen Rechnung. Eine Einbeziehung könnte auf der Basis von „externen Kosten“ erfolgen. Da dies bisher nur in bescheidenem Rahmen erfolgt und die so entstehenden zusätzlichen Kosten ohnehin in den Endenergiepreis eingehen, ist dies für diese Studie nicht von Bedeutung. Eine weitergehende Berücksichtigung erfolgt daher nicht.

4.1 Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen: Immer als Alternative zum Energiebezug zu betrachten

Von manchen Investoren wird erwartet, dass Investitionen in Effizienzmaßnahmen vergleichbare Renditen erbringen wie Investitionen in Produktionsanlagen oder andere gewinnträchtige Anlageformen. Dies wird damit begründet, dass verfügbares Kapital besser in höher rentierlichen Anlageformen angelegt werden sollte.

Diese Auffassung ist nicht stichhaltig. Verfügbares Kapital kann, wenn das Risiko nicht gescheut wird, selbstverständlich in Anlagen mit hohen Renditen angelegt werden. Solange aber ein Kreditvolumen verfügbar ist – und bei bestehenden Gebäuden ist das als Hypothekenkredit in aller Regel der Fall – stehen Investitionsmittel zum Hypothekenzinsfuß bereit. Ist es möglich, diese Mittel betriebswirtschaftlich kostendeckend in Energieeffizienzmaßnahmen am Gebäude anzulegen, so werden Kosten, die sonst ohnehin Jahr für Jahr als Betriebskosten anfallen, durch Kapitalkosten für Zins und Tilgung substituiert – ein evtl. damit verbundener Wertzuwachs bleibt sogar zusätzlich beim Gebäude.

**Investitionen in Energieeffizienz
sind immer und ausschließlich
Alternativen zum Energiebezug.**

Eine Energieeffizienzmaßnahme muss sich daher an den sonst anfallenden Energiekosten (ohne Maßnahme) messen.

Rentabel ist eine Effizienzmaßnahme genau dann, wenn die gewünschte Energiedienstleistung durch sie nicht teurer erbracht wird als durch den alternativen Energiebezug.

Das wirtschaftliche Optimum ist die Maßnahmenkombination, welche die Energiedienstleistung im Vergleich zu anderen Alternativen mit den insgesamt geringsten Kosten erbringt.

Dies gilt selbst dann, wenn Investitionen in ganz anderen Bereichen eine höhere Verzinsung bringen; in diesem Fall ist für die Kapitalkosten mit Fremdfinanzierung - D. h. einem Hypothekenkredit zu rechnen. Im Falle fehlender Liquidität gibt es allenfalls ein Finanzierungsproblem; dies hat aber keinen Einfluss auf die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit.

4.2 Rechenmethodik

Geeignete Methoden zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit beruhen auf den Gesamtkosten, die während der Nutzungsdauer der betrachteten Gebäude oder Anlagen anfallen (Lifecycle-Cost-Analysis LCA). Vor allem bei langen Nutzungsdauern ist es entscheidend, dass Kosten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, ökonomisch nicht gleich zu bewerten sind. Dynamische Methoden beziehen das zeitliche Auseinanderfallen von Einnahmen und Ausgaben in die Berechnung der Vorteilhaftigkeit einer Investition ein. Grundlage ist dabei immer die Kapitalwertmethode.

Ein heute häufig verwendetes Vergleichskriterium ist die Amortisationszeit. Ermittelt wird hier, innerhalb welchen Zeitraums sich eine Investition zurückzahlt. Bei der statischen Amortisationszeit (oder Kosten/Nutzen-Verhältnis) werden nicht einmal die Zinsen berücksichtigt. Da für spätere Ausgaben die dafür notwendigen Mittel angelegt werden können (bzw. ein Kredit vermieden werden kann), sind gleich hohe, aber später anfallende Ausgaben weniger Wert als frühere. Die statische Amortisationszeit als Bewertungskriterium überschätzt daher – wie alle statischen Methoden - den Wert einer Investition.

Im Unterschied zu den vorausgehenden Studien wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, dass in dieser Studie weitestgehend auf die Angabe von statischen Kosten/Nutzen-Verhältnissen verzichtet wird, da diese irreführend sind. Weil auch die Vorgängerstudie bereits annuitätische Kosten auf Lebenszyklus-Basis verwendet hat, ist ein direkter Vergleich ohne weiteres möglich (Übersichtstabellen sind mit Amortisationszeiten ergänzt; vgl. Abschnitten 5.11, 7.2.2 und 7.3.2).

Die weitverbreitete Verwendung der „Amortisationszeit“ als Kriterium für Investitionen wurde als ein wichtiges Hemmnis bei der Einführung nachhaltiger Entscheidungsfindungen erkannt. Mit dieser Studie wird damit auch ein Beitrag dazu geleistet, dieses irreführende Kriterium zu überwinden.

Auch „dynamische Amortisationszeiten“ sind als Kriterium bei Baumaßnahmen schlecht geeignet:

- Eine Investition mit kurzer Amortisationszeit schneidet hier grundsätzlich am besten ab – unabhängig von der zu erwartenden Nutzungsdauer der Maßnahme. Über den Gewinn – das eigentliche ökonomische Vergleichskriterium, macht die Amortisationszeit keine Aussage.
- Die Amortisationszeit ist oft höher als die Nutzungsdauer: Dann ist die Investition nicht wirtschaftlich und das eingesetzte Kapital kann nicht zurückgezahlt werden, denn der Ersatzbedarf steht schon vorher an. Über die Höhe des Verlustes gibt es aber dann wieder keine Aussage.
- Beim Vergleich der Amortisationszeiten von Alternativen mit unterschiedlichen Nutzungsdauern kommt es zu irreführenden Ergebnissen: In einem konkreten Beispiel führte die Nachrüstung einer Verglasung mit einer zusätzlich auf den Rahmen aufgeklebten Folie zu einer Amortisationszeit von unter drei Jahren, das alternative Auswechseln der Verglasung aber zu 9 Jahren. Hat der "Sieger" (die Folie) aber nur eine Nutzungsdauer von zwei Jahren, so entsteht in Wirklichkeit ein Verlust, bei der Alternative jedoch ein Gewinn. Amortisationszeiten eignen sich daher grundsätzlich nicht zur Bewertung alternativer Investitionsentscheidungen.

Bei der grundlegendsten dynamischen Methode, der **Kapitalwertmethode**, ist das Kriterium der *Kapitalwert* einer Investition. Um den Kapitalwert zu bestimmen, wird jede Zahlung oder Einnahme innerhalb des Lebenszyklus mit dem Kapitalzinssatz zurückgezinst auf den Bezugszeitpunkt. Auf diese Weise wird der Gesamtgewinn bzw. Gesamtverlust ermittelt.

Äquivalent zur Kapitalwertmethode ist die **dynamische Annuitätenmethode**. Dabei wird der Kapitalwert so auf jährliche Kapitalkosten umgelegt, dass die Einzelbeträge über den Lebenszyklus der Maßnahme konstant sind. Praktisch ist dieses Vorgehen, wenn bei gleichbleibenden Betriebskosten nur die Annuität der Investition ermittelt werden muss, die dann zu den Betriebskosten addiert wird. Die Annuitäten entsprechen dann den jährlichen Raten, die für Zins und Tilgung an die Bank gezahlt werden.

Dieses Verfahren ist in Deutschland schon seit Jahrzehnten als adäquate Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei baulichen und heizungstechnischen Maßnahmen eingeführt. Das Verfahren ist z. B. in [VDI 2067] beschrieben.

Die **jährlichen Kapitalkosten** K_i (Zins und Tilgung) für eine Investition I ergeben sich - bei über die Nutzungsdauer der Maßnahme konstanten Raten - als das Produkt aus dem **Annuitätsfaktor** a und der Investition I :

$$K_i = a \cdot I$$

$$a = \frac{p}{1 - (1+p)^{-n}}$$

Dabei sind:

p = Zinssatz

n = Nutzungsdauer

Den Kosten für die Energiesparmaßnahme (Kapitalkosten sowie gegebenenfalls Zusatzkosten, z. B. Wartungskosten oder Hilfsenergie) stehen die eingesparten Energiekosten gegenüber. Die **Maßnahme ist wirtschaftlich**, wenn die eingesparten Energiekosten höher sind (vgl. Abschnitt „Kosten für eingesparte Energie“).

In dieser Studie wurde durchweg ein effektiver Realzins von $p = 3,27 \text{ %/a}$ angenommen.

Die Lebenszykluszeiten wurden für diese Studie neu bestimmt, da sich alle relevanten Maßnahmen an Gebäuden als deutlich langlebiger heraus gestellt haben, als dies bisher angenommen wurde.

4.2.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten umfassen die Planung, Anschaffung, Installation, Inbetriebnahme der zur Diskussion stehenden Maßnahme – soweit diese der Energieeffizienzverbesserung zuzurechnen sind. Die angesetzten Kostendaten basieren, sofern bei den Einzeluntersuchungen nicht näher ausgeführt, auf abgerechneten Kosten von realen Baumaßnahmen (vgl. Abschnitt 1).

Beim Vergleich unterschiedlicher Alternativen ist streng auf gleiche Randbedingungen zu achten. Bei der Bewertung einer Energiesparmaßnahme ist zu berücksichtigen, dass nicht nur bei dieser Investitionen auftreten, sondern auch bei der Alternative.

Beispiel: An einem Bauteil, das gedämmt werden soll, sind auch ohne Ausführung einer Dämmung Arbeiten vorzunehmen, (z. B. Neuverputz), die ebenfalls Kosten verursachen. Diese Kosten würden entweder sofort oder später anfallen. Im ersten Fall müssen jeweils die gesamten Investitions- und Betriebskosten angesetzt werden. Einfacher und überschaubarer ist es, die in jedem Fall entstehenden „Ohnehin“ – Investitionskosten gar nicht erst einzubeziehen; bei der Energiesparmaßnahme müssen sie dann dementsprechend abgezogen werden.

Das Vorgehen, eine Energiesparmaßnahme dann auszuführen, wenn sie ohnehin ansteht, ist besonders vorteilhaft, da dann die zuzurechnenden Investitionskosten am geringsten sind (Kopplungsprinzip). Viele Maßnahmen können nur unter diesen Umständen wirtschaftlich realisiert werden. Gerechtfertigt wird diesem Ansatz die Einführung von „bedingten Anforderungen“, wie sie schon in den Wärmeschutzverordnungen und in der gültigen Energieeinsparverordnung vorgenommen wurden.

Wird eine Energiesparmaßnahme ausgeführt, bevor aus anderen Gründen eine Modernisierung erfolgen würde, so erhöht sich die anzusetzende Investition um einen

Restwert. Wenn die gesamte Investition sich zusammensetzt aus den Sanierungskosten I_S und den (Mehr-) Kosten I_E für die Energiesparmaßnahme

$$I_{\text{gesamt}} = I_S + I_E$$

so sind die in der Wirtschaftlichkeitsrechnung anzusetzenden Investitionskosten für die Effizienzmaßnahme

$$I = I_E + I_S \cdot r_{p,N,T}$$

mit dem Restwertfaktor $r_{p,N,T}$; bei der (Null-) Alternative ohne Energieeinsparung sind die Investitionskosten dann 0.

Der Restwert $I_S \cdot r_{p,N,T}$ ist der Kapitalwert aller Annuitäten, die bis zum Zeitpunkt (nach T Jahren) der ohnehin fälligen Sanierung anfallen. Äquivalent hierzu: Die Differenz der Kapitalwerte für alle jetzt und zukünftig anfallenden Ersatzinvestitionen.

$$r_{p,N,T} = a_{p,N} \cdot (1+p)^{-1} + \dots + a_{p,N} \cdot (1+p)^{-T} = (1 - (1+p)^{-T}) / (1 - (1+p)^{-N})$$

4.2.2 Restwert der Investition nach Ablauf der Kalkulationsdauer

Mit zunehmenden Betrachtungszeiträumen werden Aussagen über die Entwicklung der Energiepreise und Zinssätze immer unsicherer. Übliche Laufzeiten von Hypothekendarlehen betragen 20 Jahre, wohingegen die Lebensdauern einzelner Bauteile und Komponenten deutlich länger sein können. In den folgenden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Energiesparmaßnahmen wurde daher generell mit einer **Kalkulationsdauer von 20 Jahren** gerechnet. Für diese Zeiträume besteht eine gewisse Sicherheit, um Aussagen zu Energiepreisen und Zinsentwicklung machen zu können. Wird das Bauteil noch über diesen Zeitraum weiter genutzt, so besitzt die Investition nach Ablauf der Kalkulationsdauer n_0 noch einen Restwert R. Dieser kann mit finanzmathematischen Methoden bestimmt werden und ermöglicht eine Bewertung der Investition unter Berücksichtigung der Zeitspanne zwischen dem Ende des Kalkulationszeitraums und der Lebensdauer eines Bauteils. 50 Jahre Nutzung einer Investition I entsprechen jährlich konstant wiederkehrenden Kosten von

$$K_I = a(50) \cdot I,$$

also dem Produkt aus dem Annuitätsfaktor a und der Investition. Mit dem Barwertfaktor B können diese jährlich konstanten Kosten auf einen Anfangszeitpunkt

Der **Barwertfaktor B** berücksichtigt die Abzinsung der jährlichen konstanten Kosten auf einen Anfangszeitpunkt.

$$B = (1 - (1+p)^{-n_0}) / p$$

mit: p = Zinssatz

n_0 = Betrachtungs-
zeitraum

rückgezinst werden. Zur Berechnung des Barwerts, der während der Kalkulationsdauer n_0 anfällt, werden die jährlich konstanten Kosten mit dem Barwertfaktor multipliziert. Der Restwert der Investition nach Ablauf des Betrachtungszeitraums n_0 von 20 Jahren ergibt sich dann als Differenz aus dem Barwert der Gesamtinvestition und dem Barwert der Investition über den Zeitraum der ersten 20 Jahre.

Der Restwert R der Investition beträgt damit

$$R = I * (1 - B(p, 20a) * a(p, 50a)) = 41\% * I$$

bei einem Zinssatz p von 3,3% und einer Lebensdauer der Investition von beispielsweise 50 Jahren.

Tabelle 1: Restwert einer Investition nach der Kalkulationsdauer von 20 Jahren. Dargestellt ist für verschiedene Zinssätze und Lebensdauern der Restwert der Investition I nach Ablauf der Kalkulationsdauer von 20 Jahren.

Lebensdauer Realzins	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre
3,0%	24%	36%	42%
3,3%	23%	34%	41%
4,0%	21%	31%	37%

4.2.3 Zinsen, Realzins

Zweckmäßig ist es, von den Schwankungen der allgemeinen Inflation abzu-
sehen. Zu diesem Zweck empfiehlt es
sich, mit realen Preisen zu rechnen. Wie
nominale Zinsen und Preise umgerechnet
werden, geht aus der Infobox hervor.
Wenn Inflationsrate und Zinsen gering
sind, ist in erster Näherung der reale
Zinssatz die Differenz aus nominalem
Zinssatz und der Inflationsrate.

Nominale und reale Zinsen

Für Wirtschaftlichkeitsvergleiche ist es
sinnvoll, die unsichere Inflationsrate i zu
eliminieren und mit realen (statt mit
nominalen) Preissteigerungen und
Zinsen zu rechnen. Ist p_{nominal} der
nominale Zinssatz, so ergibt sich der
reale Zinssatz p_{real} zu

$$p_{\text{real}} = \frac{1 + p_{\text{nominal}}}{1 + i} - 1$$

Die entsprechende Beziehung gilt für
Preissteigerungsraten.

Annahme dieser Studie:

Effektivzins für Hypothekendarlehen	p	5,03 %
Inflationsrate	i	1,70 %
Realzins = $(1 + p_{\text{nominal}}) / (1 + i) - 1$	p_{real}	3,27 %

Ökonomischen Randbedingungen sind in Abschnitt 1 zusammengefasst. Gegenüber
der Studie von [Feist 1997] hat sich der Realzins weiter verringert. Dies allein führt
bereits zu einer attraktiveren Beurteilung von investiven Alternativen, da Kapital
günstiger zu erhalten ist als 1997 (4 % Realzins).

4.2.4 Energiekosten

Die Ermittlung der Energieeinsparung

Die Einsparung muss nach einem anerkannten Verfahren berechnet werden. Im vorliegenden Fall wird hierfür die auf der [ISO 13790] beruhende deutsche Norm [DIN V 18599] verwendet. Die Validität dieses Verfahrens wurde an anderer Stelle in diesem Gutachten untersucht (vgl. Abschnitt 12 und 1).

Wie bei den anderen Kostenarten muss auch hier darauf geachtet werden, dass nur die anrechenbaren Einsparungen angesetzt werden. Entscheidend für die Kosten sind die Endenergieeinsparungen (bezahlte Energie).

Mittlere Energiekosteneinsparung über den Nutzungszeitraum

4.2.5 Einschätzung zum Energiepreisverlauf

Abbildung 1 zeigt den Verlauf des Rohölpreises von 1970 bis 2006. Die Entwicklung ist vor allem gezeichnet durch starke Schwankungen – dem überlagert ist jedoch ein klarer „up“-Trend. Dieser Trend wird durch die eingezeichnete Ausgleichskurve wiedergegeben. Hohe Energiepreise sind nicht gerade ein Anreiz für die Konjunktur – es gab daher in der Vergangenheit eine Tendenz, künftige Energiepreissteigerung eher als unbedeutend einzuschätzen.

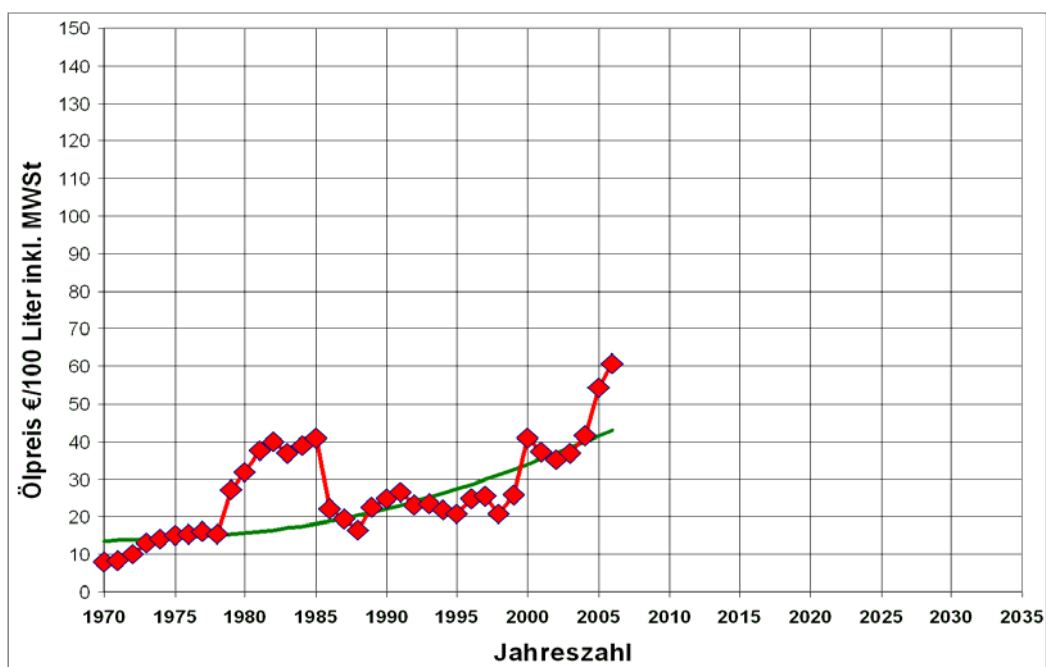


Abbildung 1: Entwicklung des Ölpreises in der Vergangenheit mit Ausgleichskurve

Der Ölpreis bestimmt noch lange Zeit das Preisniveau

Erdöl ist auch heute noch die wichtigste Energiequelle für den weltweiten Energiehunger. Und Erdöl wird noch auf lange Zeit dominant sein und den Preis für Energie bestimmen. Das geht u.a. aus den Arbeiten der Internationalen Energie Agentur [IEA 2001] hervor. Es folgt aber auch aus der überhaupt möglichen Geschwindigkeit, mit der Umstellungen bei der Energieträgerstruktur möglich sind.

Bestimmende Faktoren für den Ölpreis

Die Ölpreise könnten aber auch schon nächstes Jahr einbrechen. Es ist eine der Eigenschaften dieser von Spekulationen regierten Märkte, unberechenbar zu sein. Stellt man nicht die kurzfristige Prognose, sondern den mittleren längerfristigen Verlauf in den Mittelpunkt, so können wir die Entwicklung an Hand der Relevanz der Gründe, die für die starken **Preissteigerungen der letzten Jahre** aufgeführt wurden, diskutieren:

- Die Förderkapazitäten in Europa und Nordamerika gehen zurück.
Analyse: dieser Trend wird sich künftig noch verstärken.
- Instabilitäten in Russland; Sabotagen und Anschläge im Irak
Die Erfahrung der letzten Jahrzehnte macht wenig Hoffnung, dass es sich dabei nur um vorübergehende „aktuelle Probleme“ handelt. Aussagen zur künftigen Sicherheitslage sind sehr schwierig.
- Steigender Bedarf in China
Der heute sichtbare Wirtschaftsboom in China ist erst der Anfang einer umfassenden Nachfragekonkurrenz; nicht nur der Bedarf von China steigt, auch Indien und andere asiatische Länder mit großen Bevölkerungszahlen werden zu bedeutenden Energienachfragern werden. Dies ist die mittel- und langfristige Haupttriebfeder.
- Im Jahr 2004: 4 Hurricanes binnen 6 Wochen
Zunächst schien es sich nur um ein aktuelles Problem zu handeln. 2005 gab es dann mehr als 25 Hurricanes, 2006 sind die meisten Stürme vor dem Erreichen des amerikanischen Kontinentes nach Norden abgedriftet. Durch die künftig zunehmende Problematik des Klimawandels, wird die Gefahr von Extremwetterereignissen nachweislich erhöht. Das gefährdet vor allem Ölförderstandorte am Golf von Mexiko.
- Kapazitätsgrenze der OPEC
Diese wäre eigentlich mittelfristig zu beheben; langfristig gibt es jedoch Kapazitätsgrenzen überall.

Werden die Energiepreise daher in Zukunft weiter so steigen, wie wir es über die letzten Jahrzehnte beobachtet haben? Wir sind uns ziemlich sicher, dass dies zumindest für die mittleren Preise **nicht** gilt. Es gibt nämlich preisstabilisierende Faktoren, die oberhalb von 60 bis 80 \$/Barrel eingreifen werden: Die Substituierbarkeit von Erdöl durch synthetische Produkte, die aus kostengünstiger Steinkohle hergestellt werden (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 2: Entwicklung des Ölpreises in der Zukunft? – So sicher nicht!

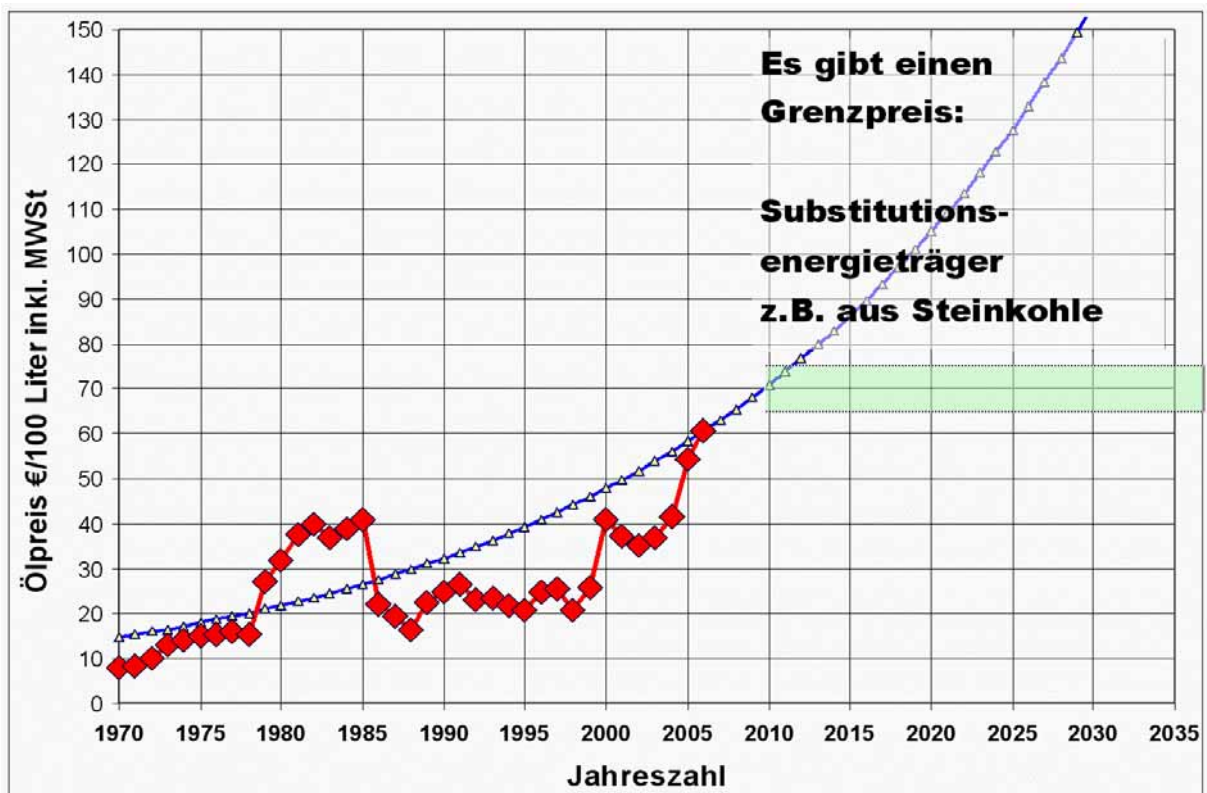


Abbildung 3: Entwicklung des Ölpreises in der Zukunft? – Grenzpreis

Schlussfolgerungen für das künftige Energiepreinsniveau

Das Passivhaus Institut dokumentiert hier eine eigene Fortschreibung der mittleren Energiepreistrends; es handelt sich dabei nicht um eine Prognose, aber um eine begründete Extrapolation auf der Basis der zuvor gegebenen Analyse. Ein exponentielles Wachstum des Energiepreises ist auszuschließen – die genannten Substitutionspotentiale greifen zuvor; aber die mittleren Energiepreise in den relevanten Zeiträumen, in denen ein Neubau oder ein modernisiertes Gebäude Heizenergie benötigen wird, werden nicht niedriger sein als die heutigen Tagespreise. Darüber gibt es unter Wirtschaftsfachleuten weitgehende Einigkeit. Allerdings sind die Gründe dafür nicht neu. Dass der Preisanstieg irgendwann kommen musste, war auch schon in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts bekannt – nur wann genau er kommen würde, das war nicht leicht vorauszusehen. Und er wurde überwiegend von den Experten eher auf die Zeit nach 2010 verlegt. Der gegenwärtig deutlich über dem Trend liegende Preis kann durchaus sogar noch einmal zurückgehen – die Trendlinie berücksichtigt das, sie liegt unter den aktuellen Preisen.

Mit welchen Energiepreisen kann gerechnet werden? Aus dem Szenario ergibt sich ein mittlerer realer Ölpreis von 0,066 €/kWh als Verbraucher-Endpreis inkl. aller Steuern und Abgaben.

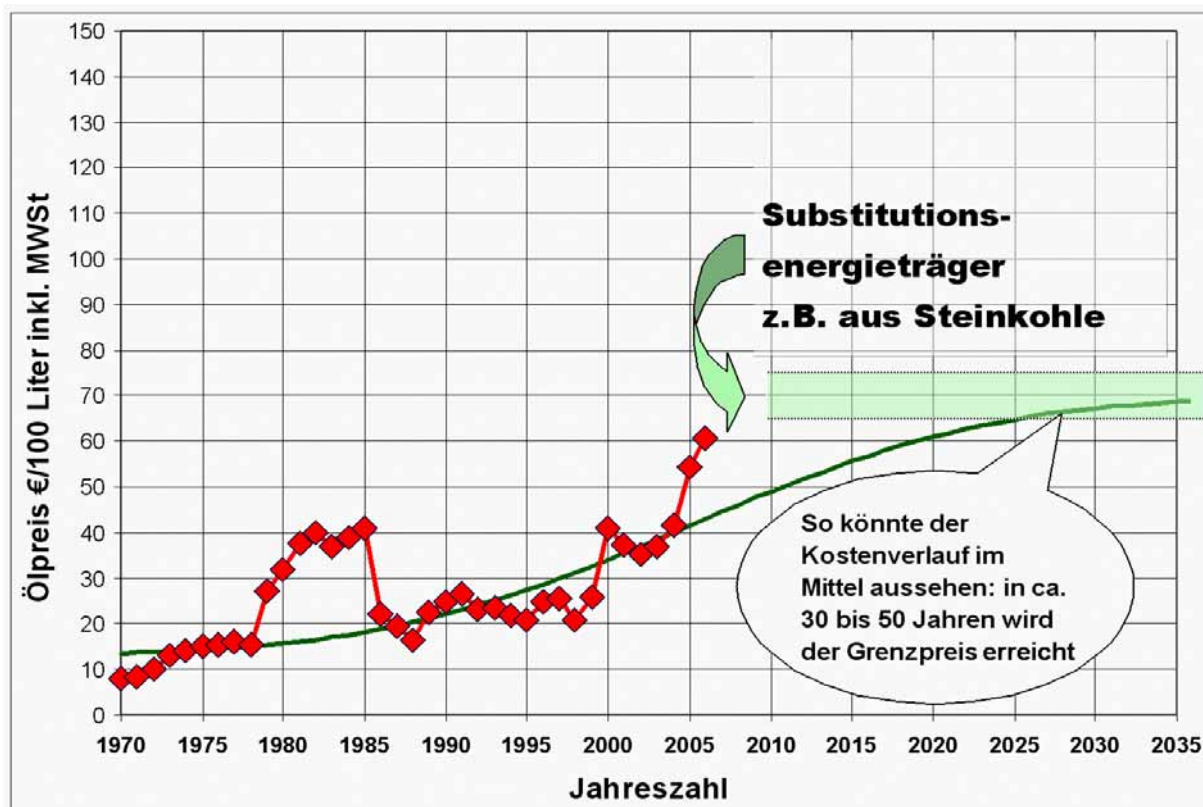


Abbildung 4: Entwicklung des Ölpreises in der Zukunft? Ein möglicher Pfad

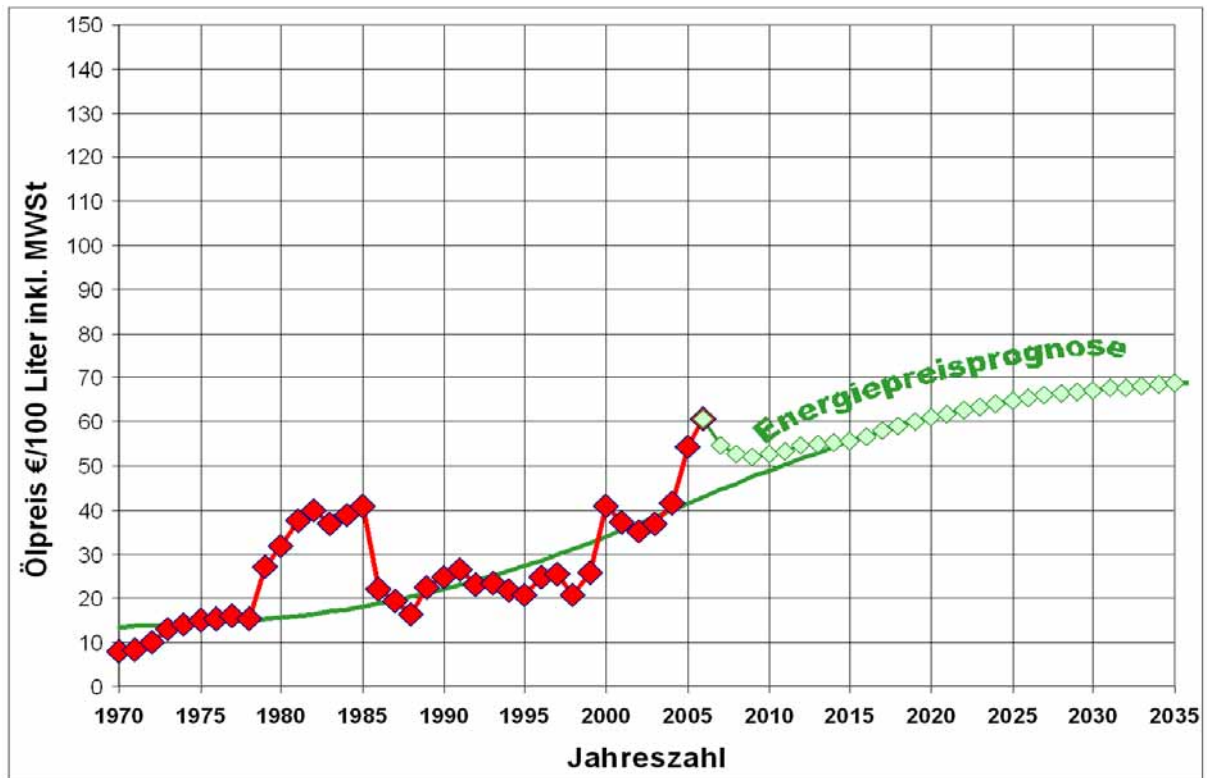


Abbildung 5: Entwicklung des Ölpreises in der Zukunft? Prognose des PHI für die Entwicklung des mittleren Endenergiepreises, mittleres Szenario

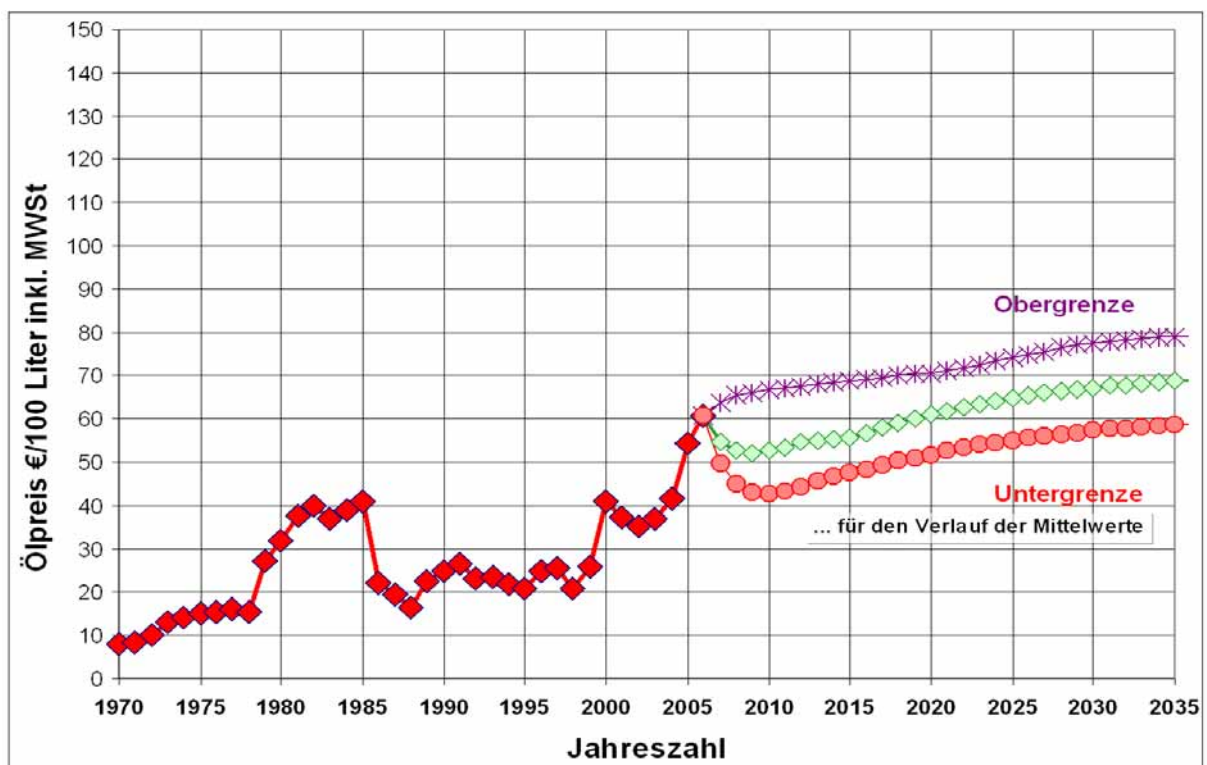


Abbildung 6: Entwicklung des Ölpreises in der Zukunft; Ober- und Untergrenzen nach Einschätzung des PHI für die Entwicklung des mittleren Endenergiepreises, oberes, mittleres und unteres Szenario

Aus diesen Szenarien ergeben sich prognostizierte mittlere Heizölpreise über 30 Jahre von:

Szenario	mittlerer künftiger Heizölpreis €/Cent/Liter (real in Preisen von 2006)
Untere Preisentwicklung	55
Mittlere Preisentwicklung	66
Hohe Preisentwicklung	77

4.3 Kosten der eingesparten Kilowattstunde

Zur Ermittlung der Kosten einer eingesparten Kilowattstunde werden die durch die Sparmaßnahme entstehenden zusätzlichen jährlichen Kosten auf die erzielte Energieeinsparung umgelegt. Sind I die Zusatzinvestition und a der Annuitätenfaktor sowie Z weitere jährliche Zusatzkosten (z. B. Hilfsenergie), so ist eine Maßnahme dann wirtschaftlich, wenn

$$P_{\text{Ein}} = \frac{a \cdot I + Z}{E_{\text{Ein}}}$$

kleiner ist als der Preis P von bezogener Energie $P_{\text{ein}} < P$.

P_{Ein} hat die anschauliche Bedeutung des „Preises für die eingesparte Einheit Energie“.

Diese Darstellung hat mehrere Vorteile:

- Als unmittelbarer Vergleichswert für einen tatsächlichen Energiepreis ist der „Preis für die eingesparte Kilowattstunde Energie“ eine anschauliche Größe.
- In die Berechnung des Beurteilungswertes P_{Ein} gehen als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur die Kapitalmarktzinsen ein (sowie gegebenenfalls Preissteigerungen für eventuelle Zusatzkosten Z), nicht dagegen die Energiepreissteigerung. Damit kann der „Preis für die eingesparte Energie“ verlässlicher berechnet werden als Kapitalwerte bzw. mittlere jährliche Gesamtkosten.
- Die unsichere zukünftige Energiepreisentwicklung steckt ausschließlich im mittleren zukünftigen Energiepreis P . Die aus der Berechnung von P_{Ein} hergeleitete Aussage: „Die Maßnahme ist wirtschaftlich ab einem mittleren zukünftigen Energiepreis von $P = P_{\text{Ein}}$ “ ist damit ziemlich unempfindlich gegenüber Veränderungen der Randbedingungen.
- Jeder Investor kann zu Vergleichszwecken seine eigene Einschätzung der künftigen Energiepreise und gegebenenfalls der mit der Energiepreisentwicklung verbundenen Risiken vornehmen. Dazu ist keine neue Berechnung erforderlich, da P_{Ein} von Energiepreis unabhängig ist und sich nur die Vergleichsgröße ändert.

- Der „Preis für die eingesparte Einheit Energie“, P_{Ein} , ist ein Beurteilungskriterium für die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme, anhand dessen nicht nur alternative Maßnahmen, sondern auch völlig unterschiedliche Maßnahmen aus verschiedenen Bereichen miteinander verglichen werden können („ranking“). Da P_{Ein} außerdem eine Vergleichsgröße für den Preis der bezogenen Energie ist, können anhand dieser Größe Einsparmaßnahmen mit verschiedenen Energieträgern und Versorgungstechnologien verglichen werden.

Kosten der eingesparten Kilowattstunde

$$(a \cdot I + Z) / E_{\text{ein}}$$

= (jährl. Kapitalkosten + andere Zusatzkosten) / Jahresenergieeinsparung

In der vorliegenden Studie wird wegen der vielfältigen Vorteile der „Kosten für die eingesparte Kilowattstunde“ bevorzugt dieses Kriterium eingesetzt.

Energiesparmaßnahmen auf Basis unterschiedlicher Energieträger können ebenfalls mit dieser Methodik verglichen werden. In diesem Fall müssen allerdings alle jährlichen Kosten der alternativen Maßnahme zur Substitution des Heizöl- / Erdgasbezug herangezogen werden. Die „Kosten der eingesparten kWh“ werden zu „Kosten zur Substitution der kWh“ z. B. des Erdgasbezugs. Mit diesem Vorgehen kann z. B. bewertet werden, wie wirtschaftlich die Energiespar-Maßnahme „Wärmepumpe“ (oder eines Pelletkessels) im Vergleich zu einer Gasheizung ist.

Kosten der substituierten Kilowattstunde Öl/Gas

$$(a \cdot I + Z + S) / E_{\text{ein}}$$

= (jährl. Kapitalkosten + andere Zusatzkosten + Energiekosten der Substitutionsmaßnahme) / substituierter Jahresenergiebedarf

5 Wirtschaftliche Energiesparmaßnahmen: Untersuchung von Einzelmaßnahmen

5.1 Wärmeerzeuger

In diesem Abschnitt wird die Erneuerung eines Wärmeerzeugers untersucht. Soll der alte Wärmeerzeuger ohnehin ausgetauscht werden, sind regelmäßig unterschiedlich effiziente Geräte einsetzbar. In diesem Abschnitt soll geklärt werden, in welchen Fällen der Schritt zur effizienteren Technik einzelwirtschaftlich lohnend ist.

Die Versorgungslösung wird regelmäßig durch das örtliche Angebot, die Möglichkeit im Objekt sowie persönliche Vorlieben bestimmt. Im Folgenden werden daher gleichartige Wärmeversorgungslösungen mit unterschiedlichen Maßnahmen zur Effizienz-Verbesserung verglichen.

Untersucht wird die Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses, an welchem bereits wesentliche Wärmeschutz-Maßnahmen durchgeführt wurden. Der Nutzwärmebedarf des Referenz-Gebäudes liegt bei ca. 64 kWh/(m²a). Eine größere Wärmeabnahme bzw. längere Laufzeit des Wärmeerzeugers bei Gebäuden mit geringerem Wärmeschutz führt in der Tendenz zu einer besseren Rentabilität der Effizienz-Maßnahme am Wärmeerzeuger. Bezüglich der Wirtschaftlichkeit wird somit ein eher ungünstiger Fall betrachtet. Die Annahme eines bereits teilweise gedämmten Gebäudes erscheint darüber hinaus aufgrund der Reihenfolge von Sanierungsmaßnahmen sinnvoll. Wenn der Wärmeschutz vor der Erneuerung des Wärmeerzeugers verbessert werden kann, ist ggf. auch ein Wärmeerzeuger mit geringerer Leistung einsetzbar. Bei modernen Heizkesseln (Niedertemperatur- bzw. Brennwertkesseln) hat jedoch, die ggf. geringere Nennleistung kaum Einfluss auf die Bereitschaftsverluste. Es ist also durchaus sinnvoll, im Fall einer fälligen Kesselerneuerung einen hocheffizienten neuen Kessel einzusetzen, auch wenn die Wärmeschutzmaßnahmen erst später erfolgen und dieser Kessel dann überdimensioniert ist. Er kann dennoch über seine gesamte Nutzungsdauer im Einsatz bleiben.

Anders verhält es sich mit der Systemtemperatur der Wärmeversorgung. Da das Gebäude bereits wärmetechnisch verbessert wurde, wird von einem Niedertemperatur-Heizungssystem (55/45 °C) ausgegangen. Aufgrund der geringeren Heizlast kann das alte Wärmeverteilsystem mit geringeren Systemtemperaturen genutzt werden. Für die Versorgungslösung mit Gas und Öl werden zusätzlich noch höhere Systemtemperaturen betrachtet.

Die angegebenen Investitionskosten in den Berechnungstabellen beziehen sich auf eine Erneuerung des gesamten Wärmeversorgungssystems inkl. Verteilung. Die Energie-Kennwerte werden mit den Rechenverfahren der [DIN V 18599] ermittelt.

5.1.1 Wärmeerzeuger mit Energieträger Erdgas

Die Ohnehin-Maßnahme ist bei der Versorgung mit Gas der Ersatz des alten Kessels durch einen Gas-Niedertemperatur-Wärmeerzeuger (Referenzanlage). Dass es sich dabei um eine wirtschaftlich vertretbare Lösung handelt, ist unbestritten: Dieser Anlagentyp wurde im letzten Jahrzehnt überwiegend von den Bauherren realisiert. Aufgrund der geringen Abgastemperaturen wird angenommen, dass Maßnahmen gegen Durchfeuchtung und Versottung des Schornsteins erforderlich sind.

Die Gesamtinvestitionskosten ergeben sich aus den folgenden Positionen:

- Abgasanlage, Heizkessel, WW-Speicher, elektr. Installation u. Regelung (6.200 €)
- Wärmeverteilung / Wärmeabgabesystem (6.240 €)
- Anschlusskosten (1.300 €)

Die Betriebskosten beinhalten die Gas-Grundgebühr, Schornsteinfeger-Gebühr und die Wartungskosten. Die Wartung erfolgt jährlich. Für die Referenzvariante ergeben jährliche Gesamtkosten für die Heizung von 2316 €/a (inkl. Kapitalkosten, Wartung und Energiekosten). Die Energiekosten liegen bei 1188 €/a (vgl. Tabelle 2).

Effizienzvariante: Erdgas-Brennwerttechnik

Die Schornsteinanlage muss auch für einen Kessel mit Brennwerttechnik erneuert werden. Bei Brennwertkesseln können aufgrund der geringen Abgastemperaturen ggf. günstige Kunststoffabgasrohre eingesetzt werden. Bei der Ermittlung der Investitionskosten wurde kein Kostenvorteil der Kunststoffabgasrohre angesetzt. Die Investition für die Erdgas-Brennwert-Lösung liegt um ca. 500 € höher als die Referenzlösung.

Im Rechenverfahren der [DIN V 18599-5] wurde der „Gas-Brennwertkessel, verbessert“, als Wärmeerzeuger angesetzt, da die Normnutzungsgrade der ausgewerteten marktgängigen Gas-Brennwertkessel diese Anforderungen nahezu immer erfüllten. Mit dem Gas-Brennwertkessel werden ca. 11 kWh/(m²a) an Endenergie entsprechend 10 % des Bedarfs eingespart, wodurch eine jährliche Energiekosten-Entlastung von 118 €/a resultiert. Die annuitätische Kapitalkostenbelastung liegt für diese Lösung nur um 34 €/a höher als im Referenzfall. In Tabelle 2 ist die Maßnahme dokumentiert. Mit höheren Systemtemperaturen nimmt der jährliche Gewinn geringfügig ab (76 €/a bei (90/70 °C) anstatt 84 €/a bei (55/45 °C)).

Bei Heizkesseln zwischen 25 kW und 200 kW mit Abgaskondensat besteht ggf. eine Neutralisationspflicht vor Einleitung des Kondensats in das Abwasser. Die Mehrinvestition für eine Neutralisationsbox (max. 1000 € mit Förderpumpe) und das Neutralisation-Granulat (ca. 25 €/a) würden die jährlichen Gesamtkosten maximal um 95 €/a erhöhen, so dass auch in diesem ungünstigen Fall die Brennwerttechnik bereits für ein Zweifamilienhaus rentabel wäre.

Damit ist der Einsatz der Brennwerttechnik heute bei Erdgasversorgung in jedem Fall wirtschaftlich und dies sogar mit hohem einzelwirtschaftlichen Vorteil.

Altbau *Die Verwendung von Erdgas-Brennwerttechnik kann daher als gekoppelte Maßnahme bei der Erneuerung von Heizanlagen in allen Fällen einer vorhandenen Erdgasversorgung gefordert werden (die Schornsteinanlage hätte andernfalls beim Einsatz des Niedertemperaturkessels erneuert werden müssen).*

Neubau *Die Effizienz eines Erdgas-Brennwertkessels kann bei der Bestimmung des Anforderungsniveaus für den Neubau unbeschränkt zugrunde gelegt werden, wenn es eine Erdgasversorgung gibt.*

Eine Gaszentralheizung mit einer dezentralen elektrischen Trinkwarmwasserbereitung ist in Tabelle 3 dokumentiert. Bei dieser Versorgungslösung entfällt der Trinkwarmwasserspeicher, wobei statt dessen die Investitionskosten für zwei Durchlauferhitzer angesetzt werden. Angegeben sind wiederum die Gesamtinvestitionskosten für Heizungsanlage und Trinkwarmwasserbereitung.

Effizienzvariante: Erdgas-Brennwerttechnik

Für die Heizungsanlage mit Brennwerttechnik ergeben sich entsprechend der Variante mit Gaszentralheizung Mehrinvestitionskosten von 500 €. Auch im Falle einer reinen Gasheizungsanlage (dezentrale elektrische Trinkwarmwasserbereitung) ist der Gasbrennwertkessel gegenüber der Variante mit Niedertemperaturkessel rentabel. Aufgrund der geringeren Wärmeabnahme fällt der jährliche Gewinn im Vergleich zur zentralen Trinkwarmwasserbereitung kleiner aus.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass bei vorhandenem Erdgas-Kessel eine Trink-Warmwassererzeugung mit dem Kessel primärenergetisch und damit für den Klimaschutz das bessere Ergebnis ermöglicht als ein elektrischer Durchlauferhitzer.

Tabelle 2: Gaszentralheizung mit Brennwerttechnik

Energiesparmaßnahme: Gaskessel mit Brennwerttechnik			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Niedertemperatur-Kessel (55/45°C)	Brennwert-Kessel (55/45°C)	
Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	91 %	104 %	
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	90 %	95 %	
Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,014	0,014	
Anlagen Kurzbezeichnung :	Gas-NT	Gas-BW	
Wohnfläche :	156,0 m ²	156,0 m ²	
Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt	
Energieträger :	Erdgas	Erdgas	
Nutzenergie :	61,2 kWh/(m ² a)	61,2 kWh/(m ² a)	
Endenergie gesamt	116,5 kWh/(m ² a)	105,0 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf :	114,0 kWh/(m ² a)	102,5 kWh/(m ² a)	
Endenergie Hilfsstrom :	2,5 kWh/(m ² a)	2,5 kWh/(m ² a)	
Primärenergie :	119,8 kWh/(m ² a)	108,4 kWh/(m ² a)	
bauliche Investitionskosten	13740 €	14240 €	Bezug auf Wohnfläche : 91 €/m ²
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :	71 €/a	71 €/a	0,46 €/m ²
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	1243 €/a	1125 €/a	7,21 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	320 €/a	320 €/a	2,05 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	808 €/a	842 €/a	5,40 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	2371 €/a	2287 €/a	14,7 €/m ²
Erzielte Heizenergieeinsparung :		1796 kWh/a	11,5 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :			
jährlicher Gewinn :		84 €/a	0,5 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		1,9 Cent/kWh	
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		1780 kWh/a	11,4 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh

Tabelle 3: Gaszentralheizung mit Brennwerttechnik und dezentraler elektrischer Trinkwarmwasserbereitung

Energiesparmaßnahme: Gaskessel mit Brennwerttechnik			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Niedertemperatur-Kessel (55/45°C) & elektrische TWW	Brennwert-Kessel (55/45°C) & elektrische TWW	
Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	90 %	104 %	
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	90 %	95 %	
Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,017 W	0,017	
Anlagen Kurzbezeichnung :	Gas-NT-Elek	Gas-BW-Elek	
Wohnfläche :	156,0 m ²	156,0 m ²	
Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt	
Energieträger Heizung :	Erdgas	Erdgas	
Energieträger TWW :	Strom	Strom	
Nutzenergie :	66,3 kWh/(m ² a)	66,3 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf TWW :	12,0 kWh/(m ² a)	12,0 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf Heizung :	85,9 kWh/(m ² a)	75,4 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf :	97,9 kWh/(m ² a)	87,4 kWh/(m ² a)	
Endenergie Hilfsstrom :	1,7 kWh/(m ² a)	1,7 kWh/(m ² a)	
Endenergie gesamt	99,6 kWh/(m ² a)	89,1 kWh/(m ² a)	
Primärenergie :	122,1 kWh/(m ² a)	111,8 kWh/(m ² a)	
bauliche Investitionskosten	12940 €	13440 €	Bezug auf Wohnfläche : 86 €/m ²
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :	48 €/a	48 €/a	0,31 €/m ²
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	1267 €/a	1160 €/a	7,44 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	320 €/a	320 €/a	2,05 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	764 €/a	799 €/a	5,12 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	2352 €/a	2279 €/a	14,6 €/m ²
Erzielte Heizenergieeinsparung :		1625 kWh/a	10,4 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :			
jährlicher Gewinn :		73 €/a	0,5 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		2,1 Cent/kWh	
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		1610 kWh/a	10,3 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh

5.1.2 Wärmeezeuger mit Energieträger Heizöl EL

Eine Öl-Zentralheizung soll erneuert werden. Die Ohnehin-Maßnahme in diesem Fall ist der Ersatz des alten Kessels durch einen Öl-Niedertemperaturkessel. Es wurden, wie auch bei der Gas-Versorgungslösung, die Gesamtinvestitionskosten der Heizungsanlage angesetzt inkl. der Wärmeverteilung und des Heizöltanks. Die Investitionskosten der Referenzvariante setzten sich wie folgt zusammen:

- Abgasanlage, Heizkessel, WW-Speicher, elektr. Installation u. Regelung (7.700 €)
- Wärmeverteilung / Wärmeabgabesystem (6.240 €)
- Erneuerung des Heizöltanks (2.000 €)

Daneben fallen jährliche Betriebskosten an. Diese beinhalten Schornsteinfeger-Gebühren, die Wartungskosten und eine Versicherung für den Öltank. Die Wartung erfolgt jährlich.

Die Investitionskosten liegen im Fall von Heizöl EL deutlich höher als bei Erdgas. Dafür sind die betriebsgebundenen Kosten und die jährlichen Energiekosten (1088 €/a) geringer; die annuitätischen Gesamtkosten der Referenz-Ölheizung mit Niedertemperaturkessel unterscheiden sich von der Referenzvariante 5.1.1 nur sehr wenig.

Effizienzvariante: Heizöl-Brennwerttechnik

Die Investition für die Heizöl-Brennwert-Lösung liegt mit zusätzlich ca. 1.150 € deutlich höher als die Referenzlösung. Dafür werden ca. 8 kWh/(m²a) an Endenergie entsprechend 7 % des Bedarfs eingespart, wodurch eine jährliche Energiekosten-Entlastung von 80 €/a resultiert. Die annuitätische Kapitalkostenbelastung liegt für diese Lösung allerdings um 79 €/a höher als im Referenzfall. Mit einer höheren Heizungssystemtemperatur (70/55 °C) nimmt der jährliche Gewinn geringfügig ab (1,10 €/a anstatt 1,40 €/a).

Mit der Einführung von schwefelarmem Heizöl kann das Abgaskondensat von kleinen Heizkesseln (bis 25 kW), wie auch bei Gas-Brennwertkesseln, ins Abwasser eingeleitet werden. Bei Kesseln zwischen 25 kW und 200 kW muss eine ausreichende Verdünnung des Kondensats mit Abwasser vorliegen. Sollte eine zusätzliche Neutralisation des Abgas-Kondensats erforderlich werden, so verfehlt die Effizienzvariante mit Heizöl-Brennwerttechnik knapp die Rentabilität.

Damit ist der Einsatz der Brennwerttechnik heute bei Heizöl-EL knapp wirtschaftlich.

Altbau Die Verwendung von Heizöl-Brennwerttechnik kann daher als gekoppelte Maßnahme bei der Erneuerung von Heizanlagen gefordert werden, sofern wie meist üblich das Abgas-Kondensat ohne Neutralisation ins Abwasser eingeleitet werden kann.

Neubau Die Effizienz eines Heizöl-Brennwertkessels kann bei der Bestimmung des Anforderungsniveaus für den Neubau zugrunde gelegt werden, wenn das Heizen mit Heizöl zulässig ist.

Tabelle 4: Ölzentralheizung mit Brennwerttechnik

Energiesparmaßnahme: Ölkessel mit Brennwerttechnik			
	Referenz-anlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Niedertemperatur-Kessel (55/45°C)	Brennwert-Kessel (55/45°C)	
Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	91 %	99 %	
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	90 %	95 %	
Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,014	0,014	
Anlagen Kurzbezeichnung :	ÖL-NT	ÖL-BW	
Wohnfläche :	156,0 m ²	156,0 m ²	
Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt	
Energieträger :	Heizöl	Heizöl	
Nutzenergie :	61,2 kWh/(m ² a)	61,2 kWh/(m ² a)	
Endenergie gesamt	111,4	103,5 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf :	108,8 kWh/(m ² a)	101,0 kWh/(m ² a)	
Endenergie Hilfsstrom :	2,5 kWh/(m ² a)	2,5 kWh/(m ² a)	
Primärenergie :	119,8 kWh/(m ² a)	111,6 kWh/(m ² a)	
bauliche Investitionskosten	15940 €	17090 €	Bezug auf Wohnfläche : 110 €/m ²
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :	71 €/a	71 €/a	0,46 €/m ²
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	1190 €/a	1110 €/a	7,11 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	270 €/a	270 €/a	1,73 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	968 €/a	1047 €/a	6,71 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	2428 €/a	2427 €/a	15,6 €/m ²
Erzielte Heizenergieeinsparung :		1224 kWh/a	7,8 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :			
jährlicher Gewinn :		1,4 €/a	0,01 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		6,5 Cent/kWh	
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		1270 kWh/a	8,1 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN Realzins: 3,3% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Klima: Referenzklima Deutschland Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh			

5.1.3 Wärmeerzeuger auf der Basis von Biomassekesseln

In diesem Abschnitt wird angesetzt, dass eine Ölzentralheizung erneuert werden muss. Die Referenzmaßnahme ist in diesem Fall die Erneuerung der Heizungsanlage auf der Basis eines Öl-Niedertemperaturkessels (vgl. Fall 5.1.2). Die Wärmeversorgung kann primärenergetisch deutlich verbessert werden, wenn anstatt der Referenzanlage ein Biomassekessel eingesetzt wird. Der Betreiber hat den Vorteil, dass der Brennstoff Holzpellets günstiger als Heizöl-EL ist. In Abschnitt 5.1.2 wurden die Investitionskosten der Referenzausführung dargestellt.

Effizienzvariante: Biomassekessel mit Holzpellet-Feuerung

Anstatt des Öltanks in der Referenzanlage wird nun der Pelletbunker angesetzt. Die Investitionskosten sind hierfür etwas geringer. Der Holzpelletkessel ist jedoch erheblich teuer als die Referenzlösung. Es wurden die folgenden Investitionskosten ermittelt:

- Abgasanlage, Holzpellet-Kessel, WW-Speicher, elektr. Installation u. Regelung, Pellet-Förderschnecke (14.650 €)
- Wärmeverteilung / Wärmeabgabesystem (6.240 €)
- Einrichtung eines Pelletbunkers (1.600 €)

Die jährlichen Betriebskosten setzen sich aus den Wartungskosten und den Schornsteinfeger-Gebühren zusammen. Gegenüber der Ölzentralheizung entfällt der jährliche Versicherungsbeitrag für einen Öltank.

Die Mehrinvestition für die Pellet-Lösung beträgt 6.550 €. Dafür werden hier jedoch 90 kWh/(m²a) an nicht erneuerbarer Primärenergie entsprechend über 75 % des Bedarfs eingespart.

Da Holzpellets auch kostengünstiger sind als Heizöl und die Betriebskosten etwas geringer sind, ergibt sich eine jährliche Betriebs- und Energiekosten-Entlastung von 302 €/a. Die annuitätische Kapitalkostenbelastung liegt für diese Lösung allerdings um 457 €/a höher als im Referenzfall (vgl. Tabelle 5).

Die Verhältnisse ändern sich in einem ungedämmten Altbau (vgl. Tabelle 6). Es wurde angenommen, dass das Dach und die Fenster bereits wärmetechnisch verbessert wurden. Der Nutzwärmebedarf steigt mit dieser Variante deutlich an, wobei die Nennleistung des Kessels noch ausreichend ist. Die größere Wärmeabnahme führt zu einer jährlichen Betriebs- und Energiekosten-Entlastung von 568 €/a. Nun ist es nicht zielführend den Wärmeschutz an Bestandsgebäuden zu vernachlässigen, damit die Investition in einen Wärmeerzeuger rentabel wird. Vielmehr zeigt dies, dass zukünftig Bedarf an leistungsmäßig kleineren kostengünstigeren Biomassekesseln für Einfamilienhäuser besteht.

Damit ist der Einsatz der Holzpellet-Heizung bei heutigen Energiepreisen erst bei größerer Wärmeabnahme wirtschaftlich.

- Altbau** *Die Verwendung von Pelletheizungen kann daher als gekoppelte Maßnahme bei der Erneuerung von Heizanlagen nach dem Energieeinspargesetz nicht gefordert werden. Vielmehr sollte die bestehende Investitionsförderung für Biomassekessel aufrecht erhalten bleiben. Unbedingt sollte eine Förderung mit einer Anforderung an den spezifischen hüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust gekoppelt werden, um eine nachhaltige Nutzung der Biomasse zu sichern. Die insgesamt energetisch nutzbare Biomasse reicht voraussichtlich in Deutschland nur für ca. 10 % der Heizwärmeversorgung, wenn die Wärmebedarfswerte der Gebäude nicht gesenkt werden.*
- Neubau** *Pelletheizungen können wegen der nicht gegebenen einzelwirtschaftlichen Rentabilität beim Neubau nicht dem Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden. Die Investitionsförderung für Pelletkessel sollte keinen Unterschied zwischen Neubau und Altbau machen.*
- Hinweis** Einer weiteren Förderung über den Investitionskostenzuschuss bzw. vergünstigte Kredite hinaus bedarf die Pelletheizung nicht. Insbesondere sollte bei geförderten Neubauten bzw. Altbaumodernisierungen auch bei Biomasse-Heizungen keine Reduktion der Anforderungen an die bauliche Energieeffizienz erfolgen. In der novellierten EnEV sollten dagegen auch für Biomasse-Heizungen gewisse Mindestanforderungen an den Wärmeschutz des Neubaus gestellt werden.

Tabelle 5: Zentralheizung mit Biomassekessel

Primärenergiesparmaßnahme: Biomassekessel			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Niedertemperatur-Öl-Kessel (55/45°C)	Pelletsheizkessel (55/45°C)	
Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	91 %	82 %	
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	90 %	81 %	
Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,014	0,014	
Anlagen Kurzbezeichnung :	ÖL-NT	Pellet	
Wohnfläche :	156,0 m ²	156,0 m ²	
Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt	
Energieträger :	Heizöl	Holz	
Nutzenergie :	61,2 kWh/(m ² a)	61,2 kWh/(m ² a)	
Endenergie gesamt	111,4	123,9 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf :	108,8 kWh/(m ² a)	121,4 kWh/(m ² a)	
Endenergie Hilfsstrom :	2,5 kWh/(m ² a)	2,5 kWh/(m ² a)	
Primärenergie :	119,8 kWh/(m ² a)	29,3 kWh/(m ² a)	
bauliche Investitionskosten	15940 €	22490 €	Bezug auf Wohnfläche : 144 €/m ²
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :	71 €/a	71 €/a	0,45 €/m ²
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	1190 €/a	959 €/a	6,14 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	270 €/a	200 €/a	1,28 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	968 €/a	1425 €/a	9,14 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	2428 €/a	2584 €/a	16,6 €/m ²
Erzielte Heizenergieeinsparung :		16979 kWh/a	108,8 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :			
jährlicher Gewinn :		-155 €/a	-1,00 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Öl-Endenergie :		7,5 Cent/kWh	
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		14116 kWh/a	90,5 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins :	3,3% p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
	Kalkulationsdauer :	20 Jahre	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
	Annuität :	6,9% p.a.	Mittlere Energiekosten WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
	Klima :	Referenzklima Deutschland	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh

Tabelle 6: Zentralheizung mit Biomassekessel in ungedämmten Altbau

Primärenergiesparmaßnahme: Biomassekessel			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Niedertemperatur-Öl-Kessel (70/55°C)	Pelletsheizkessel (70/55°C)	
Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	91 %	82 %	
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	90 %	81 %	
Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,013	0,013	
Anlagen Kurzbezeichnung :	ÖL-NT	Pellet	
Wohnfläche :	156,0 m ²	156,0 m ²	
Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt	
Energieträger :	Heizöl	Holz	
Nutzenergie :	155,1 kWh/(m ² a)	155,1 kWh/(m ² a)	
Endenergie gesamt	240,7	269,1 kWh/(m ² a)	
Endenergie Bedarf :	237,3 kWh/(m ² a)	265,9 kWh/(m ² a)	
Endenergie Hilfsstrom :	3,3 kWh/(m ² a)	3,2 kWh/(m ² a)	
Primärenergie :	255,2 kWh/(m ² a)	57,9 kWh/(m ² a)	
bauliche Investitionskosten	15940 €	22490 €	Bezug auf Wohnfläche : 144 €/m ²
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :	93 €/a	90 €/a	0,58 €/m ²
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	2533 €/a	2035 €/a	13,05 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	270 €/a	200 €/a	1,28 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	968 €/a	1425 €/a	9,14 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	3771 €/a	3661 €/a	23,5 €/m ²
Erzielte Heizenergieeinsparung :		37026 kWh/a	237,3 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :			
jährlicher Gewinn :		111 €/a	0,71 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Öl-Endenergie :		6,3 Cent/kWh	
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		30773 kWh/a	197,3 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins :	3,3% p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
	Kalkulationsdauer :	20 Jahre	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
	Annuität :	6,9% p.a.	Mittlere Energiekosten WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
	Klima :	Referenzklima Deutschland	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh

5.1.4 Wärmeeerzeuger auf Basis von Strom: Wärmepumpen

Als Referenzanlage wird hier eine monovalente Wärmepumpe mit der Wärmequelle Außenluft angesetzt. Die Räume werden wie zuvor über Heizkörper beheizt mit einer Systemtemperatur von 55/45 °C. Es wird Strom zum Wärmepumpentarif bezogen, wobei die täglichen Stromunterbrechungszeiten mit einem Pufferspeicher überbrückt werden. Die Investitionskosten für eine solche Anlage liegen um ca. 3050 € höher als die einer Ölzentralheizung. Die Investitionskosten wurden wie folgt ermittelt:

- Wärmepumpe, WW-Speicher, Pufferspeicher, Anbindung Außenluft / Fortluft, elektr. Installation u. Regelung (12.750 €)
- Wärmeverteilung / Wärmeabgabesystem (6.240 €)

Die Betriebskosten ergeben sich aus der Anschlussgebühr und der Wärmepumpen-Wartung, welche alle 2 bis 3 Jahre erforderlich ist.

Als jährlicher Kostenvorteil beispielsweise gegenüber einer Ölzentralheizung ergeben sich etwa 200 €/a Energiekosteneinsparungen sowie weitere Betriebskosteneinsparungen. Die jährlichen Gesamtkosten unterscheiden sich bei den gegenwärtigen Randbedingungen nur wenig von einer Gas- oder Ölheizung. Der Primärenergiebedarf der Außenluft-Wärmepumpen-Lösung liegt mit 104,7 kWh/(m²a) in einer fast gleichen Höhe wie der einer Erdgas-Brennwerttechnik-Anlage. Aus Sicht des Gesetzgebers sind die beiden Alternativen Außenluft-Wärmepumpe und Erdgas-Brennwerttechnik damit etwa gleich zu bewerten. Dies ist auch Folge der neuen primärenergetischen Bewertung von Strom mit einem Faktor von 2,7 (vorher 3,0).

Effizienzvariante 1: Solewärmepumpe

Aufgrund der höheren Quellentemperatur kann mit einer Solewärmepumpe die Effizienz der Wärmepumpenheizung verbessert werden. Die Investition für eine Erdsondenbohrung mit Erschließung liegt etwa bei 8.500 €, wobei im Vergleich zur Referenzvariante die Investitionen zur Außenluftansaugung und Fortluftführung entfallen. Die Kosten sind im Ergebnis doch erheblich höher als bei der Referenzvariante und zwar um 6.500 €. Dafür werden ca. 5,5 kWh/(m²a) an Endenergie Strom entsprechend 14 % des Bedarfs eingespart, woraus eine jährliche Energiekosten-Entlastung von 118 €/a resultiert. Die annuitätische Kapitalkostenbelastung liegt für diese Lösung allerdings um 243 €/a höher als im Referenzfall.

Damit ist der Einsatz der Solewärmepumpe wegen den im Vergleich zur Abluftwärmepumpe deutlich höheren Investitionskosten heute nicht wirtschaftlich.

Altbau *Auf der Basis des Energieeinspargesetzes kann der Einsatz einer Solewärmepumpe derzeit nicht gefordert werden.*

Neubau *Solewärmepumpen können dem Neubau-Anforderungsniveau nicht zugrunde gelegt werden.*

Effizienzvariante 2: Wasser-Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser oder Oberflächenwasser)

Die Investitionskosten der Wasser-Wasser-Wärmepumpe liegen aufgrund der aufwändigeren Erschließung der Wärmequelle Wasser gegenüber der Referenzvariante Abluftwärmepumpe um ca. 2 000 € höher. Dafür werden fast 11 kWh/(m²a) an Endenergie Strom entsprechend 27 % des Bedarfs eingespart, woraus eine jährliche Energiekosten-Entlastung von 241 €/a resultiert. Die annuitätische Kapitalkostenbelastung liegt für diese Lösung nur um 49 €/a höher als im Referenzfall. Die Wärmepumpen, die Grund- oder Oberflächenwasser als Wärmequelle nutzen können, sind daher unter den gegenwärtigen Bedingungen einzelwirtschaftlich ausgesprochen attraktiv.

Leider ist der Betrieb solcher Wärmepumpen aus wasserrechtlichen Gründen nicht allgemein möglich. Dort wo ein solcher Betrieb genehmigungsfähig ist, kann diese Lösung empfohlen werden.

Der Einsatz von Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist heute wirtschaftlich, wenn eine wasserrechtliche Möglichkeit dafür besteht.

Altbau *Auf der Basis des Energieeinspargesetzes kann der Einsatz der Wasser/Wasser-Wärmepumpe nicht gefordert werden, da nicht überall eine Betriebsmöglichkeit gegeben ist.*

Neubau *Wasser/Wasser-Wärmepumpen können dem Anforderungsniveau nicht zugrund gelegt werden, da nicht überall eine Betriebsmöglichkeit besteht. Sie sind jedoch dort eine attraktive Alternative, wo eine wasserrechtliche Betriebsgenehmigung möglich ist.*

Tabelle 7: Zentralheizung mit monovalenter Wärmepumpe

Energiesparmaßnahme: Wärmepumpe mit besserer Wärmequelle									
Referenz-anlage					Anlage mit verbesserter Effizienz				
Außenluft-Wärmepumpe (55/45°C)					Sole-Wärmepumpe (55/45°C)				
Jahresarbeitszahl Heizen :	2,7				3,4				
Jahresarbeitszahl TWW :	2,2				2,6				
Anlagen Kurzbezeichnung :	WP-AL				WP-Sol				
Wohnfläche :	156,0 m²				156,0 m²				
Aufstellung :	Standard unbeheizt				Standard unbeheizt				
Energieträger :	WP-Strom				WP-Strom				
Nutzenenergie :	66,4 kWh/(m²a)				66,4 kWh/(m²a)				
Endenergie gesamt :	38,8 kWh/(m²a)				33,3 kWh/(m²a)				
Endenergie Bedarf :	37,2 kWh/(m²a)				29,7 kWh/(m²a)				
Endenergie Hilfsstrom :	1,5 kWh/(m²a)				3,6 kWh/(m²a)				
Primärenergie :	104,7 kWh/(m²a)				89,9 kWh/(m²a)				
bauliche Investitionskosten	18990 €				25440 €				
jährliche Kosten									
jährliche Hilfsenergiekosten :	43 €/a				102 €/a				
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :	914 €/a				796 €/a				
betriebsgebundene Kosten :	100 €/a				100 €/a				
annuitätische Kapitalkosten :	1248 €/a				1491 €/a				
jährliche Gesamtkosten :	2262 €/a				2387 €/a				
Erzielte Heizenergieeinsparung :									
Heizenergieeinsparung im Vergleich zur Referenzanlage :					1180 kWh/a				
jährlicher Gewinn :					-125 €/a				
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :					25,6 Cent/kWh				
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh WP-Strom :					15,0 Cent/kWh				
jährliche Primärenergieeinsparung :					2304 kWh/a				
Wasser-Wärmepumpe (55/45°C)									
4,2					4,2				
3,0					3,0				
WP-Was					WP-Was				
156,0 m²					156,0 m²				
Standard unbeheizt					Standard unbeheizt				
WP-Strom					WP-Strom				
66,4 kWh/(m²a)					66,4 kWh/(m²a)				
28,1 kWh/(m²a)					28,1 kWh/(m²a)				
24,6 kWh/(m²a)					24,6 kWh/(m²a)				
3,5 kWh/(m²a)					3,5 kWh/(m²a)				
75,8 kWh/(m²a)					75,8 kWh/(m²a)				
20990 €					20990 €				
99 €/a					99 €/a				
673 €/a					673 €/a				
100 €/a					100 €/a				
1297 €/a					1297 €/a				
2071 €/a					2071 €/a				
1978 kWh/a					1978 kWh/a				
192 €/a					192 €/a				
5,3 Cent/kWh					5,3 Cent/kWh				
15,0 Cent/kWh					15,0 Cent/kWh				
4501 kWh/a					4501 kWh/a				
13,3 €/m²					13,3 €/m²				
12,7 kWh/(m²a)					12,7 kWh/(m²a)				
1,2 €/m²a					1,2 €/m²a				
28,9 kWh/(m²a)					28,9 kWh/(m²a)				

Realizms: 3,3% p.a.
Kalkulationsdauer: 20 Jahre
Annuität: 6,9% p.a.
Klima: Referenzklima Deutschland

Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh

5.1.5 Wärmeerzeuger auf der Basis von Gas: Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)

Die effizientere Technologie bildet in diesem Vergleich eine Erdgas-KWK-Anlage mit Brennwert-Spitzenkessel. Als Referenzwärmeerzeuger wurde ein Niedertemperaturkessel betrachtet. Wie in den Abschnitten zuvor werden Bestandsgebäude betrachtet, an welchen bereits wesentliche Wärmeschutz-Maßnahmen durchgeführt wurden.

In Abbildung 7 ist die Summe aus jährlichem Kapitaldienst und jährlichen Wartungskosten der KWK-Anlage in Abhängigkeit von der elektrischen Nennleistung dargestellt (Kostenansatz gemäß [ASUE 2005]). Mit zunehmender Nennleistung nimmt für beide Positionen der leistungsspezifische Preis deutlich ab. In erster Näherung wird daher die Investition und der Betrieb von KWK-Anlagen mit zunehmender Größe immer wirtschaftlicher, da für ein zusätzliches Kilowatt Nennleistung immer weniger bezahlt werden muss. Im Folgenden betrachten wir daher kleine Erdgas-KWK-Anlagen bzw. Mikro-KWK-Anlagen.

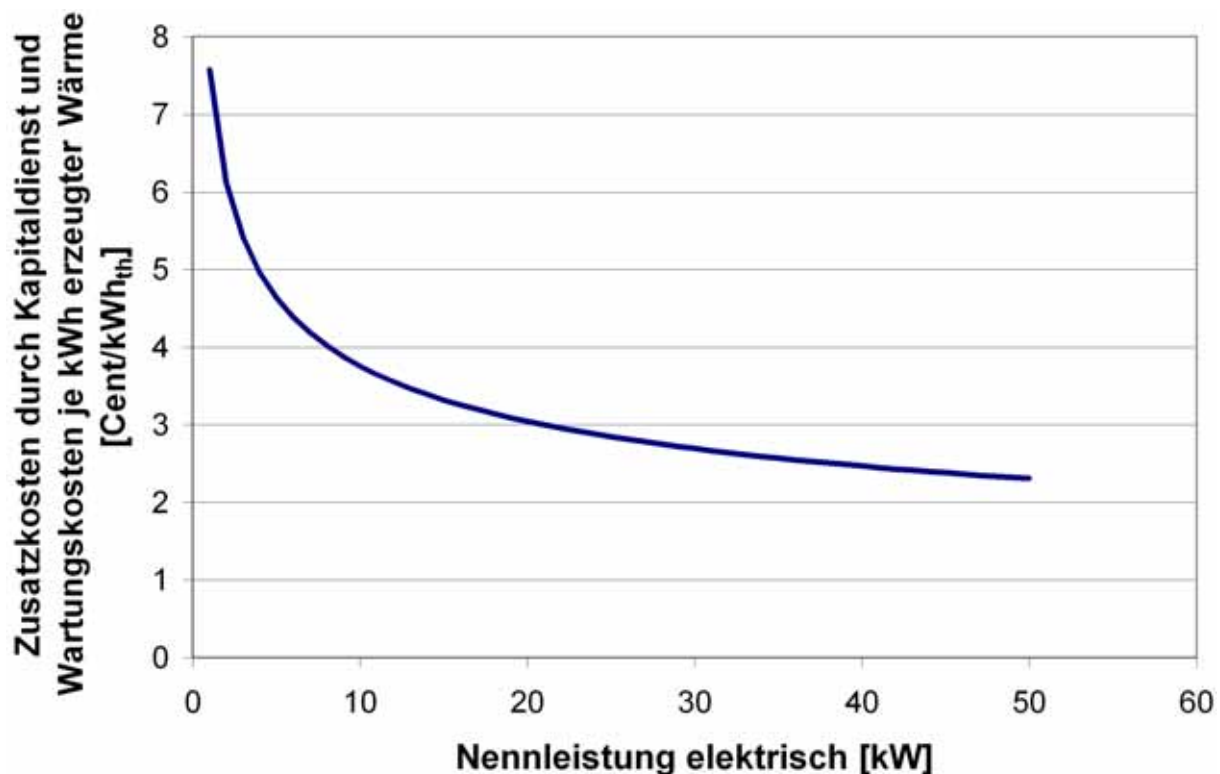


Abbildung 7: Zusatzkosten durch jährlichen Kapitaldienst und Wartung der KWK-Anlage je Kilowattstunde erzeugter Wärmeenergie in Abhängigkeit von der elektrischen Nennleistung der Anlage (Kostenansätze gemäß [ASUE 2005], Laufzeit 6000 h, Stromkennzahl 0,44)

Untersucht wurden zwei Aggregate mit Otto-Motor und eines mit Stirling-Motor (vgl. Tabelle 8). Innerhalb des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren ist eine Generalüberholung der KWK-Anlage erforderlich. Gemäß [ASUE 2005] wurden hierfür 25 % des Anschaffungspreises des Aggregats angesetzt. Weiterhin wurde in den Betriebskosten ein Vollwartungsvertrag für die KWK-Anlage berücksichtigt; die Wartungskosten werden in Abhängigkeit von der erzeugten Strommenge angesetzt (vgl. Tabelle 8, Kostenansatz in Anlehnung an [Pehnt et al. 2006, abasto 2007]). Die Lebensdauer wurde für alle KWK-Anlagen einheitlich mit 80.000 Stunden angesetzt. Nach der veranschlagten Generalüberholung können die Anlagen nochmals für dieselbe Laufzeit betrieben werden. In den Beispielen wurden diese maximalen Betriebsstunden angesetzt, so dass Anlagen mit geringerer jährlicher Auslastung über eine größere Anzahl von Betriebsjahren arbeiten können.

Tabelle 8: Technische Daten und Randbedingungen der untersuchten KWK-Anlagen

	BHKW Typ A	BHKW Typ B	BHKW Typ C
Prinzip	Otto-Motor	Otto-Motor	Stirling-Motor
Leistung elektrisch	1,0 kW	5,5 kW	0,8 kW
Leistung thermisch	3,3 kW	13,3 kW	7,0 kW
Wirkungsgrad elektrisch	20 %	27 %	10 %
Wirkungsgrad thermisch	65 %	65 %	75 %
Vollwartungsvertrag	6,0 Cent / kWh _{el}	3,3 Cent / kWh _{el}	3,3 Cent / kWh _{el}
Lebensdauer [h]	80.000	80.000	80.000
Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage (Gas-NT-Kessel)	7.350 €	20.500 €	9.000 €

Die KWK-Anlagen werden wärmegeführt betrieben; der gleichzeitig erzeugte Strom kann in das Stromnetz eingespeist werden. Der hierfür angesetzte Vergütungspreis setzt sich aus drei Beiträgen zusammen:

- dem Baseload-Preis der Leipziger Strombörse („Phelix base“). Annahme: 6,1 Cent/kWh_{el} (Mittelwert 2006 bis 2026);
- dem vermiedenen Netznutzungsentgelt der vorgelagerten Spannungsebenen. Annahme: 0,8 Cent/kWh_{el}
- und dem Zuschlag gemäß dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz [KWKG 2002] für BHKW-Anlagen mit einer maximalen Leistung von 50 kW elektrisch, für die ersten 10 Betriebsjahre. Die Regelung gemäß [KWKG 2002] gilt noch bis Ende 2008 und sieht einen Zuschlag von 5,11 Cent/kWh_{el} vor.

Für den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren (2006 bis 2026) wurde der Vergütungspreis durch finanzmathematische Mittelwertbildung bestimmt (während der ersten 10 Jahre wird der zusätzliche Bonus bezahlt). Durch die Liberalisierung des Strommarkts hat die Netzeinspeisung des erzeugten Stroms deutlich an Attraktivität verloren. Die angesetzte Stromeinspeisevergütung beträgt 9,8 Cent/kWh_{el} im Unterschied zu 18 Cent/kWh_{el} bei Eigenverbrauch, da dieser Haushaltsstrom andernfalls vom Energieversorger bezogen werden müsste.

Auf Antrag kann zusätzlich eine Steuerentlastung für Energieerzeugnisse, die nachweislich versteuert worden sind, gemäß dem Energiesteuergesetz beantragt werden (§ 53 Steuerentlastung für die Stromerzeugung und die gekoppelte Erzeugung von Kraft und Wärme). Die Erstattung beträgt 0,55 Cent/kWh je kWh Erdgas, welche in der KWK-Anlage verbraucht wurde.

Aufgrund der deutlich geringeren Stromeinspeisevergütung hat der Anteil des Eigenverbrauchs am erzeugten Strom deutlichen Einfluss auf einen wirtschaftlichen Betrieb einer KWK-Anlage ebenso wie die Laufzeit der Anlage.

Andererseits können Gebäudenutzer vom Betreiber der KWK-Anlage nicht zur Abnahme des erzeugten Stroms verpflichtet werden. Sind Betreiber und Nutzer nicht identisch, muss im ungünstigsten Fall der gesamte Strom in das Stromnetz eingespeist werden. Zur Überprüfung des Wirtschaftlichkeitsgebots wird daher eine vollständige Einspeisung des erzeugten Stroms angenommen. Abbildung 8 zeigt den mit einer KWK-Anlage gegenüber einer NT-Referenzanlage erzielbaren Gewinn in Abhängigkeit von der Wohnfläche bzw. Wärmegrundlast für Warmwasser. Ab etwa 3.500 m² Wohnfläche kann mit den kleineren Anlagentypen A und C ein Gewinn erzielt werden. Gleichzeitig nimmt die Primärenergie-Einsparung gegenüber der Referenzanlage ab und kommt dann in den Bereich eines Wärmeerzeugers mit Brennwertechnik. Wird der Strom vollständig eingespeist, sind zusätzliche Förderanreize notwendig, um Anlagen mit einem primärenergetischen Vorteil rentabel zu betreiben.

Auf der Basis des Energieeinspargesetzes kann ein Einsatz von KWK-Anlagen nicht gefordert werden, da bei der betrachteten Anlagengröße eine vollständige Stromeinspeisung den wirtschaftlichen Betrieb nicht sichert.

Vor dem Hintergrund, dass der Entwurf zur Novellierung des KWK-Gesetzes sogar eine geringere Vergütung für KWK-Anlagen bis 50 kW elektrische Leistung vorsieht, kann ein Einsatz von KWK-Anlagen nicht gefordert werden.

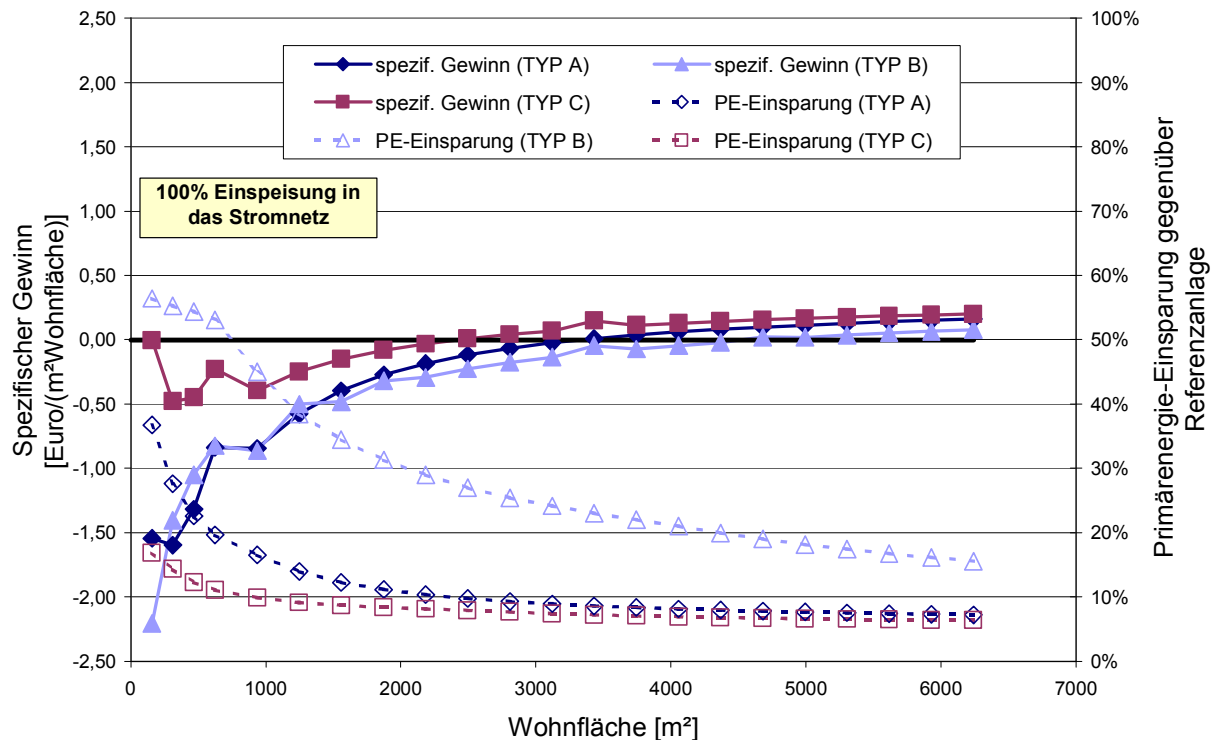


Abbildung 8: Spezifischer Gewinn beim Betrieb einer Klein-KWK-Anlage im Vergleich zur Referenzvariante Niedertemperaturkessel. Dargestellt ist die Abhängigkeit des Gewinns von der Wohnfläche für drei KWK-Anlagentypen. Spezifischer Gewinn in Abhängigkeit von der Wohnfläche. Ab etwa 3.500 m² Wohnfläche kann ein Gewinn bei den Anlagentypen A und C bei vollständiger Netzeinspeisung erzielt werden. Die kleineren Anlagentypen, die auch geringere Wirkungsgrade aufweisen, führen bei großen Gebäuden zu geringen Primärenergieeinsparungen gegenüber der Referenzvariante Niedertemperaturkessel. Im rentablen Bereich wird diese Einsparung vergleichbar mit einer Wärmeversorgung mit Brennwert-Technik.

Anders verhält es sich, wenn Betreiber und Nutzer identisch sind bzw. wenn der erzeugte Strom selbst genutzt werden kann. Zur Untersuchung wurde angenommen, dass 50 % des erzeugten Stroms selbst verbraucht wird (realistische Werte im Wohnbau [abasto 2007], [Schmidt 2007]). Unter diesen Randbedingungen können kleine BHKW bereits bei Einfamilienhäusern wirtschaftlich interessant sein. Hinsichtlich der Primärenergie-Einsparung führen allerdings leistungsmäßig etwas größere KWK-Anlagen, aufgrund des höheren Gesamtwirkungsgrads, zu deutlich besseren Ergebnissen. Der Einsatz von KWK-Anlagen sollte daher ab etwa 500 m² Wohnfläche geprüft werden.

Bei Nichtwohngebäuden ist die thermische Grundlast im Unterschied zum Wohnbau stark von der spezifischen Nutzung abhängig. Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen unterscheiden sich hier deutlich von Büros. Der Trinkwarmwasserbedarf bildet hier keine einheitliche Grundlast. Bei Nichtwohngebäuden sollte der Betrieb von KWK-Anlagen ebenfalls ab einer Nettogrundfläche von 500 m² geprüft werden. Dieser Tatbestand ist bereits in der EnEV 2007 in § 5 „Prüfung alternativer Energieversorgungssysteme“ vorgesehen. Die Mindestgebäudegröße ab der alternative

Energieversorgungssysteme geprüft werden müssen, sollte gegenüber der EnEV 2007 nochmals verringert werden.

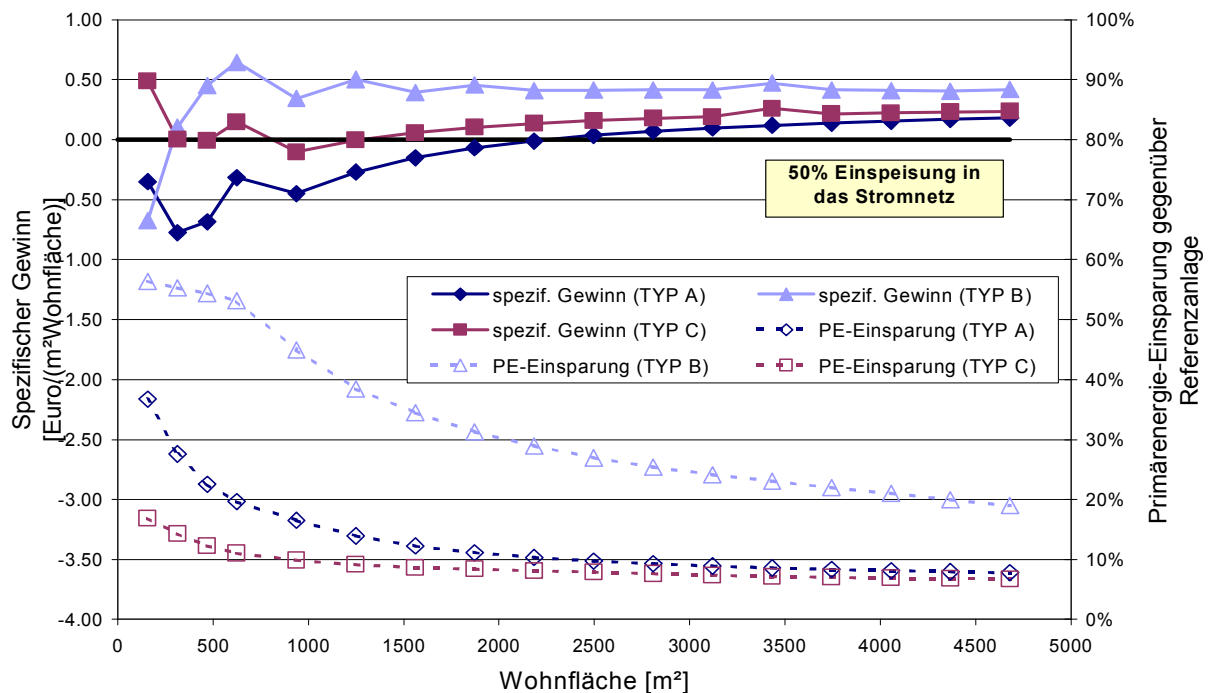


Abbildung 9: Spezifischer Gewinn beim Betrieb einer Klein-KWK-Anlage unter der Annahme, dass 50 % des erzeugten Stroms selbst verbraucht werden. Aufgrund der höheren Stromvergütung beim Eigenverbrauch werden die KWK-Anlagen rentabler. Bei kleinen Gebäuden kann ggf. auf einen zusätzlichen Spitzenlastkessel verzichtet werden (hierdurch resultiert bei den Typen A und C ein Sprung im spezif. Gewinn). Zur Verrechnung des eingespeisten Stroms wurde wiederum der KWK-Bonus und zusätzlich die Energiesteuer-Rückvergütung angesetzt. Der Einsatz von KWK-Anlagen sollte bei Gebäuden ab einer Wohnfläche von etwa 500 m² Wohnfläche geprüft werden.

Tabelle 9: KWK-Anlage Typ B mit Spitzenkessel. Der erzeugte Strom wird zu 50 % ins Netz des Energieversorgers eingespeist. Bei dieser Betrachtung wurde auch die Energiesteuer-Rückerstattung berücksichtigt. Durch den Eigenverbrauch des Stroms wird die KWK-Anlage bereits bei kleineren Wohngebäuden wirtschaftlich.

Energiesparmaßnahme: KWK-Anlage mit Brennwert-Spitzenkessel

		Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz
		Niedertemperatur-Kessel	KWK-Anlage + Brennwert-Kessel
Kessel	Kesselwirkungsgrad bei Teillast :	91 %	100 %
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung :	91 %	94 %
	Betriebsbereitschaftsverlust bei mittlerer Temperatur 70°C q_{B70} :	0,0102	0,0096
	Leistung Spitzenkessel		24 KW
	Anteil des eingespeisten Stroms		50 %
	Anteil der mit der KWK-Anlage erzeugten Wärme		100,0 %
	Laufzeit der KWK-Anlage		3109 h
	elektrischer Wirkungsgrad		27 %
	thermischer Wirkungsgrad		65 %
	Gesamtwirkungsgrad		92 %
KWK-Anlage	thermisch Leistung P_{th}		13,3 KW
	elektrische Leistung P_{el}		5,5 KW
	Wohnfläche :	468,0 m ²	468,0 m ²
	Aufstellung :	Standard unbeheizt	Standard unbeheizt
	Energieträger :	Erdgas	Erdgas
	Nutzenergie :	63,9 kWh/(m ² a)	63,9 kWh/(m ² a)
	Endenergie gesamt	112,0	151,3 kWh/(m ² a)
	Endenergie Bedarf :	110,9 kWh/(m ² a)	150,9 kWh/(m ² a)
	Endenergie Hilfsstrom :	1,2 kWh/(m ² a)	0,4 kWh/(m ² a)
	Stromgutschrift :		36,7 kWh/(m ² a)
Primärenergie :		113,0 kWh/(m ² a)	150,6 kWh/(m ² a)
Primärenergie abzgl. Stromgutschrift :			51,5 kWh/(m ² a)
bauliche Investitionskosten		29850 €	54100 €
jährliche Kosten			
jährliche Hilfsenergiekosten :		97 €/a	35 €/a
jährliche Heiz- / Hilfsenergiekosten :		3517 €/a	4687 €/a
betriebsgebundene Kosten :		1650 €/a	2217 €/a
annuitätische Kapitalkosten :		1797 €/a	2756 €/a
Gutschrift Stromeigenverbrauch :			-1546 €/a
Vergütung Stromeinspeisung :			-843 €/a
Rückerstattung der Energiesteuer für das im BHKW eingesetzte Erdgas :			-388 €/a
jährliche Gesamtkosten :		6964 €/a	6884 €/a
Heizenergie-Bereitstellung (BHKW + Spitzenkessel) :			51897 kWh/a
jährlicher Gewinn :			80 €/a
Kosten der substituierten kWh Endenergie mit BHKW + Spitzenkessel :			6,4 Cent/kWh
mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :			6,6 Cent/kWh
jährliche Primärenergieeinsparung :			28776 kWh/a
			61,5 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 0,066 €/kWh
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 0,047 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 0,150 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 0,180 €/kWh
	Rückerstattung Energiesteuer:	0,0055 €/kWh	Mittlere Einspeisevergütung Str. (2006-2026): 0,098 €/kWh

Der Einsatz von Klein-KWK-Anlagen zielt auf einen primärenergetischen Vorteil ab. Bei vollständiger Netzeinspeisung werden jedoch erst Anlagen rentabel, deren geringer Anteil an KWK-Wärme lediglich auf den Primärenergiebedarf eines Brennwertkessels führt. Der Einsatz von KWK-Anlagen kann daher ohne weitere Fördermaßnahmen neben dem KWK-Bonus nicht nach dem Energieeinspargesetz gefordert werden. Aufgrund der möglichen Primärenergie-Einsparung sollten bestehende Förderungen (bzw. gesetzliche festgeschriebene Zulagen) weiterhin bestehen bleiben.

Bei Förderungen ist eine Begrenzung der förderfähigen Betriebsstunden einer Begrenzung der Anzahl von Jahren nach Inbetriebnahme der Vorzug zu geben. Eine feste Anzahl von förderfähigen Jahren (z. B. Förderung während der ersten 10 Jahre) kann zu einer Optimierung hin zu sehr hoher Auslastung und geringer Primärenergie-Einsparung führen.

Die Verhältnisse bezüglich der Wirtschaftlichkeit ändern sich deutlich, wenn ein Teil des erzeugten Stroms im Eigenverbrauch genutzt wird. Da dies nicht vorausgesetzt werden kann, sollte der Einsatz von KWK-Anlagen ab einer Gebäudemindestgröße geprüft werden.

Altbau *Der Betrieb von KWK-Anlagen sollte ab einer Nettogrundfläche von 500 m² bei Wohn- und Nichtwohngebäuden geprüft werden.*

Neubau *Auch im Neubau sollte der Einsatz von KWK-Anlagen ab einer Nettogrundfläche von 500 m² bei Wohn- und Nichtwohngebäuden geprüft werden.*

5.1.6 Fazit zu Wärmeerzeugungsvarianten

Die folgenden Versorgungsvarianten sind im Vergleich zur weniger effizienten Lösung jeweils wirtschaftlich:

- Versorgung mit Gas: Brennwertnutzung ist wirtschaftlich.
- Versorgung mit Öl: Brennwertnutzung ist derzeit nur knapp wirtschaftlich. Sofern bei größeren Kesseln (< 25 kW) eine Kondensateinleitung in das Abwasser nicht zulässig ist, ist die Wirtschaftlichkeit der Brennwerttechnik nicht immer gegeben.
- Wärmeversorgung mit Biomasse (Holzpellets) im Vergleich zu einem Ölkessel: Die Wärmeversorgung mit Pelletkessel (Kostenbetrachtung inkl. Pelletbunker und allem Zubehör) ist noch teurer als die Variante mit Öl-Niedertemperaturkessel (Kostenbetrachtung inkl. Heizöltank und allem Zubehör). Förderprogramme sollten auch in Zukunft Anreize für Biomasse-Heizungen geben, jedoch sollte eine Förderung auch im Altbau an eine Mindesteffizienz des Gebäudes gekoppelt sein (z. B. Nachweis über H_T).
- Im Vergleich zu einer Wärmeversorgung mit einer Außenluftwärmepumpe ist die Lösung mit Sole-Wärmepumpe und Erdsonde aufgrund der hohen Investitionskosten der Erdsonde nicht wirtschaftlich. Die Wasser/Wasser-

Wärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle ist hingegen wirtschaftlich, jedoch nicht an allen Standorten wasserrechtlich möglich.

- Der Betrieb der untersuchten Klein-KWK-Anlagen ist bei vollständiger Stromeinspeisung nicht wirtschaftlich. Aufgrund der möglichen Primärenergie-Einsparung sollten bestehende Förderungen (bzw. gesetzliche festgeschriebene Zulagen) weiterhin bestehen bleiben. Die Verhältnisse ändern sich bei teilweisem Eigenverbrauch des Stroms; dies kann jedoch nicht vorausgesetzt werden. Der Einsatz von KWK-Anlagen sollte daher ab einer Nettogrundfläche von 500 m² geprüft werden.

5.1.7 Heizungspumpen

Aufgrund des hohen Stromverbrauchs alter und zum Teil überdimensionierter Umwälzpumpen im Gebäudebestand wird im Folgenden untersucht, ob ein Austausch durch neue effizientere Pumpen wirtschaftlich darstellbar ist. Basisvariante bildet hier eine Heizungsanlage mit ungeregelter Pumpe, die je nach Auslegung 40 bis 120 W Stromaufnahme aufweist. Läuft diese Pumpe während der gesamten Heizperiode (Sep - Mai) durch, entstehen bei einem Verbrauch von 250 bis 750 kWh Stromkosten von 45 bis 135 €. Je effizienter das neue Gerät ist, desto wirtschaftlicher stellt sich die Maßnahme dar, obwohl die Hocheffizienzpumpen im Vergleich höhere Anschaffungskosten hervorrufen. Bei dieser Maßnahme wurde eine Kopplung an ohnehin erforderliche Reparatur bzw. Instandhaltungsarbeiten an der Heizungsanlage angesetzt, welche zumindest eine Neubefüllung des Heizungssystems erfordern.

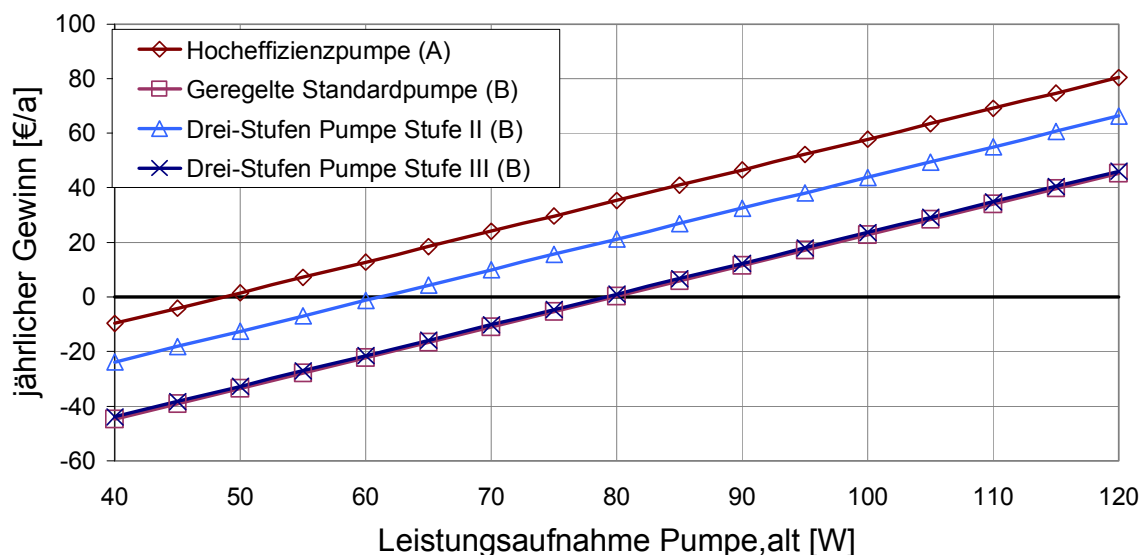


Abbildung 10: Jährlicher Gewinn durch den Austausch einer alten Heizungspumpe durch eine neue in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme der alten Pumpe

Tabelle 10: Daten der betrachteten Pumpen

	Leistungs- aufnahme	Energieeffizienz- klasse	Anschaffungskosten inkl. Montage
Hocheffizienzpumpe	8,5 bis 32 W	A	ca. 450 €
Geregelte Standardpumpe	30 bis 62 W	B	ca. 330 €
Drei-Stufen-Pumpe	40 bis 67 W	B	ca. 265 €

Abbildung 10 stellt den Zusammenhang zwischen dem zu erwartenden, jährlichen Gewinn bei Neuanschaffung einer effizienten Heizungspumpe in Abhängigkeit von der Leistungsaufnahme der alten Pumpe dar. Es wurden drei Pumpenarten untersucht: eine Hocheffizienzpumpe, eine geregelte Standardpumpe und eine in drei Stufen regelbare Pumpe. Dabei wird eine Lebensdauer der Heizungspumpe von 20 Jahren und ein mittlerer Strompreis im Betrachtungszeitraum von 0,18 € angenommen. Im vorliegenden Beispiel sind die Pumpenleistungen für Ein- bis Zweifamilienhäuser ausgelegt, da sich die Wirtschaftlichkeit bei kleinen Geräten generell weniger leicht erreichen lässt. Im Vergleich zu einer Hocheffizienzpumpe sind alte, unregelte Pumpen nahezu immer unwirtschaftlich (vgl. Abbildung 10) und sollten durch neue ersetzt werden. Hocheffizienzpumpen sollten geregelten Standardpumpen oder Drei-Stufen-Pumpen vorgezogen werden.

Altbau *Im Rahmen von ohnehin erforderlichen Arbeiten an der Heizungsanlage (wobei zumindest das Heizungssystem neu befüllt wird) kann auf Basis des Energieeinspargesetzes der Ersatz von unregelten Heizungspumpen (Aufnahmeleistung ≥ 50 W) durch Hocheffizienzpumpen (Energieeffizienzklasse A) gefordert werden.*

Neubau *Hocheffizienzpumpen können auf Basis des Energieeinspargesetzes einem neuen Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden.*

5.1.8 Wärmedämmung von Versorgungsleitungen

In dem in Bestandsgebäuden häufiger auftretenden Fall, dass warme Heizungs- oder Warmwasserverteilleitungen im unbeheizten Keller verlaufen und nur unzureichend oder überhaupt nicht wärmegeklämt sind, kann mit einer nachträglichen Dämmung bei gleichzeitig sehr guter Wirtschaftlichkeit der Maßnahme Energie gespart werden.

Im Folgenden zunächst eine kurze Erläuterung der Berechnung der bei warmen Rohrleitungen auftretenden Verluste:

Die Wärmeverluste $\dot{Q}_{Rohr}$ eines mit einem warmen Medium durchflossenen Rohrleitungsstücks ergeben sich in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur ϑ_m des Mediums in der Leitung, der mittleren Temperatur ϑ_R des Kellerraums, der Länge der Leitung l und dem Wärmeverlustkoeffizient Ψ :

$$\dot{Q}_{Rohr} = \Psi \cdot l \cdot (\vartheta_m - \vartheta_R)$$

Ψ : Wärmeverlustkoeffizient

l : Länge der Rohrleitung

ϑ_m : Temperatur des durchfließenden Mediums

ϑ_R : Temperatur des Aufstellungsraums

Zur Ermittlung der Jahreswärmeverluste der warmen Rohrleitung Q_{Rohr} wird als weiterer Faktor die Betriebsdauer t in die Gleichung eingefügt. Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur ϑ_m des Mediums und des Kellerraums ϑ_R multipliziert mit der Betriebsdauer ergibt die Verlustgradstunden Θ .

$$Q_{Rohr} = \Psi \cdot l \cdot (\vartheta_m - \vartheta_R) \cdot t = \Psi \cdot l \cdot \Theta$$

t : Betriebsdauer

Θ : Verlustgradstunden

Wie Tabelle 11 zeigt, weisen insbesondere Warmwasserleitungen (Versorgungs- und Zirkulationsleitungen) hohe Wärmeverluste auf. Im kalten Keller können diese bis zu 400 kWh/a (400 Verlustgradstunden Θ) betragen; im unbeheizten Dach noch etwas mehr. Dagegen sind die Wärmeverluste von im Keller verlaufenden Heizleitungen geringer und liegen bei einem Niedertemperatursystem (35/30) noch bei $\Theta = 76$ kWh.

Tabelle 11: Verlustgradstunden für Rohrleitungen mit verschiedenen Betriebskennwerten (Quelle: [Feist 1998])

Auslegung	WW+Zirkulation 24h			WW+Zirkulation 18h		
	Wohnraum	Keller	Dach	Wohnraum	Keller	Dach
Temperatur im Raum	20	12	5	20	12	5
spez. Rohrl.verl. kWh/a	329	400	460	246	300	345
Auslegung	Heizung 70/55 ungeregelt			Heizung 70/55 geregelt		
	Wohnraum	Keller	Dach	Wohnraum	Keller	Dach
Temperatur im Raum	20	12	5	20	12	5
spez. Rohrl.verl. kWh/a	14	275	312	7	153	191
Auslegung	Heizung 55/45 ungeregelt			Heizung 55/45 geregelt		
	Wohnraum	Keller	Dach	Wohnraum	Keller	Dach
Temperatur im Raum	20	12	5	20	12	5
spez. Rohrl.verl. kWh/a	10	205	243	5	120	158
Auslegung	Heizung 35/30 ungeregelt			Heizung 35/30 geregelt		
	Wohnraum	Keller	Dach	Wohnraum	Keller	Dach
Temperatur im Raum	20	12	5	20	12	5
spez. Rohrl.verl. kWh/a	4	113	150	2	76	114

In dieser Untersuchung wurde die nachträgliche Wärmedämmung einer bisher ungedämmten Heizwärmeverteilung (DN20, 35/30, geregelt) mit 100 % (20 mm Dämmstärke) und 200 % (40 mm Dämmstärke) untersucht. Mit der Niedertemperaturheizungsleitung (35/30) wurde, wie in Tabelle 11 gezeigt, der Leitungstyp mit dem geringsten Energieeinsparpotential für die Untersuchung ausgewählt. Aus Tabelle 12 ist ersichtlich, dass es sich dennoch mit Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie von 1,6 Cent/kWh (Dämmung mit 200 % x DN) um eine sehr wirtschaftliche Maßnahme handelt. Abbildung 13 zeigt, dass bei Trinkwarmwasserleitungen sogar noch deutlich höhere, jährliche Gewinne von über 13 €/m a bei 200 % Dämmung zu erzielen sind. Für die Warmwasserleitung ist auch bei einer Leitungsführung im warmen Bereich eine 200 % x DN Dämmung empfehlenswert, da diese ebenfalls zu recht hohen jährlichen Gewinnen von in diesem Fall immer noch ca. 11 €/m führt (vgl. Abbildung 14).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde der Hilfsstrombedarf bei der Untersuchung von Wärmeschutz-Einzelmaßnahmen soweit sinnvoll, pauschal angesetzt. Dabei werden die anfallenden Hilfsstromkosten dem mittleren Endenergiepreis Öl/Gas zugeschlagen (vgl. Abschnitt 1). Der Vergleichspreis zu dieser Maßnahme sind daher die mittleren Energiekosten (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Höhere Dämmstärken als 200 % sind bei den in Tabelle 12 beschriebenen Beispielen aus baupraktischen Gründen nicht verwirklicht. Die Wärmedämmung der Verteilungen mit größerer Dämmstärke ist in einigen Fällen einfach und kostengünstig zu verwirklichen. So können zum Beispiel bei einer Wärmedämmung unter der Kellerdecke die Rohrleitungen in die Dämmebene gelegt werden (vgl. Abbildung 11). Verlaufen die Leitungen in einem Steigschacht, so kann dieser oft relativ leicht z. B. mit Glaswolldämmung ausgedämmt oder mit Zellulosedämmung ausgeflockt werden.



Abbildung 11: Halb und ganz in die Kellerdeckendämmung integrierte, gedämmte Rohrleitungen (Foto: Passivhaus Institut)

Bei der Rohrdämmung sollten Lücken möglichst vermieden werden. Abbildung 12 zeigt die Auswirkungen einer Dämmücke von 20 mm auf den Isothermenverlauf. Dadurch werden Verluste vergleichbar mit einem durchgehend gedämmten Rohrstück mit der sechsfachen Länge der Lücke verursacht (bei 200 % Dämmung sogar entsprechend der achtfachen Länge).

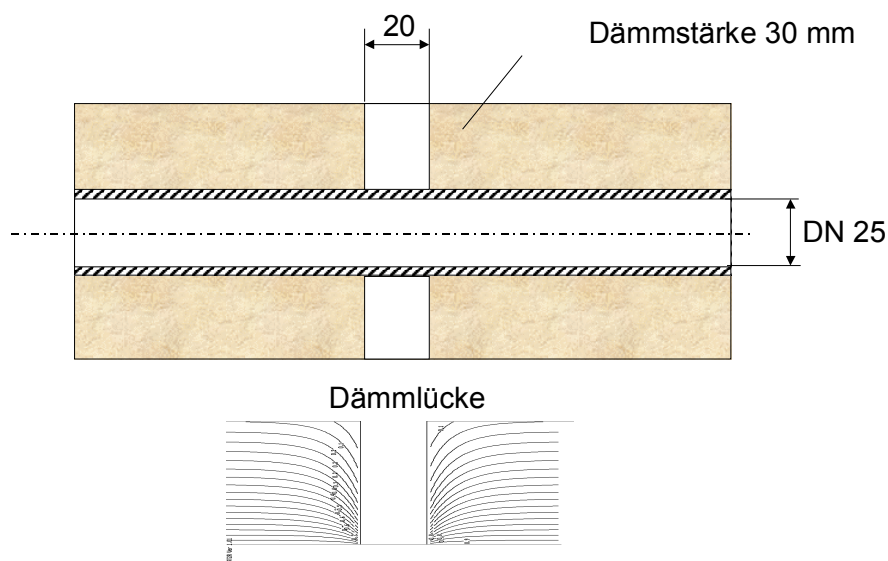


Abbildung 12: Dämmücke von 20 mm an einer mit 30 mm Stärke wärmegeprägten Rohrleitung (DN25) (Geometrie und Isothermendarstellung). Quelle: [AK 28].

Aus der Untersuchung ergeben sich die folgenden Empfehlungen:

Altbau *Auf der Basis des Energieeinspargesetzes kann die nachträgliche Wärmedämmung von wärmeführenden Leitungen in unbeheizten Räumen mit einer Mindest-Dämmstärke von 2 DN gefordert werden.*

Dieser Tatbestand ist auch in der [EnEV 2007] als Nachrüstpflicht erfasst. Aufgrund der durch die Leitungsabstände begrenzten Dämm-Möglichkeiten, sollte die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die zugänglichen Leitungen soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK) gedämmt werden. Bei eingeschränktem Wand- bzw. Deckenabstand kann die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die Dämmstärke auf das maximal mögliche, konzentrische Maß gedämmt wird. Bei parallel laufenden Leitungen mit eingeschränktem Leitungsabstand sollte die Anforderung auch dann erfüllt sein, wenn die Dämmung Leitungen gemeinsam umschließt.

Alt- und Neubau *Warmes Trinkwasser führende Leitungen und Zirkulationsleitungen müssen auch in beheizten Räumen mit mindestens $r_{\text{Dämm}} = 2$ DN wärmegeklämt werden. Dies führt im Übrigen zu einer noch höheren Sicherheit gegenüber Legionellen-Befall.*

Es wird empfohlen diese Maßnahme an bestimmte Tatbestände zu koppeln, z.B. Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten in den betreffenden Bereichen. Die zugänglichen Steigleitungen, Strangleitungen und/oder Zirkulationsleitungen sollten soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK) gedämmt werden.

Neubau *Grundsätzlich sollten Wärmeverteilungen in Neubauten nicht in unbeheizten Räumen verlegt werden. Wenn nicht vermeidbar, so sollten die Leitungen dort so kurz wie möglich sein und eine Dämmdicke von mindestens 2 DN aufweisen. Es ist wichtig, dass die Rohrhalterungen nicht auf dem Rohr selbst, sondern auf der Dämmschale angebracht werden und dass Armaturen, Abzweigungen etc. ebenfalls mitgedämmt werden. Armaturen sollten grundsätzlich in Dämmstoffgehäusen geliefert werden, welche sich für die Dämmung der gelieferten Komponente eignen.*

Tabelle 12: Dämmung von Heizwärmeverteilungen im unbeheizten Keller

Energiesparmaßnahme: Heizungsleitung (35/30 geregelt); Dämmung der Rohrleitung			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: keine			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Mindestwärmeschutz	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz
Rohrleitung ungedämmt	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
Ψ-Wert: 0,73 W/(mK)	keine	Dämmung der Rohrleitung	Dämmung der Rohrleitung
d_N : 20mm	d_N : 20mm	0,18 W/(mK)	0,14 W/(mK)
			
		Dämmung: 20mm WLG 035	Dämmung: 40mm WLG 035
Oberflächentemp. Rohrleitung: bei 35°C Mediumtemp. + 12°C Raumtemp.	35,0 °C	18,0 °C	15,0 °C
Bauliche Investitionskosten:	0 €/m²	10,5 €/m	15,0 €/m
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 30 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		11 €/m	15 €/m
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts: Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		23%	23%
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		2 €/m	4 €/m
jährlicher Gewinn:		8 €/m	11 €/m
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		0,55 €/m a	0,79 €/m a
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		3,17 €/m a	3,43 €/m a
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie : zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		2,61 €/m a	2,63 €/m a
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		46,3 kWh/(m a)	50,1 kWh/(m a)
		75%	81%
		1,2 Cent/kWh	1,6 Cent/kWh
		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
		50,9 kWh/(m a)	55,1 kWh/(m a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Verlustgradstunden von Rohrleitung: 76,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

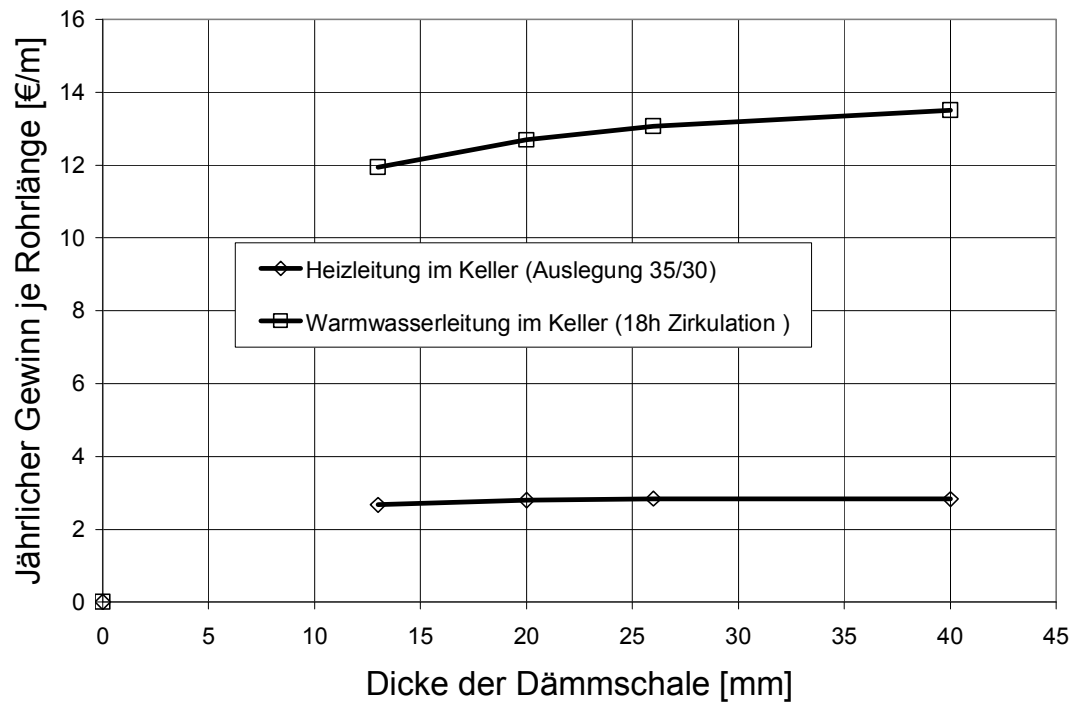


Abbildung 13: Wärmedämmung einer Wärmeverteilung DN 20 im Keller.

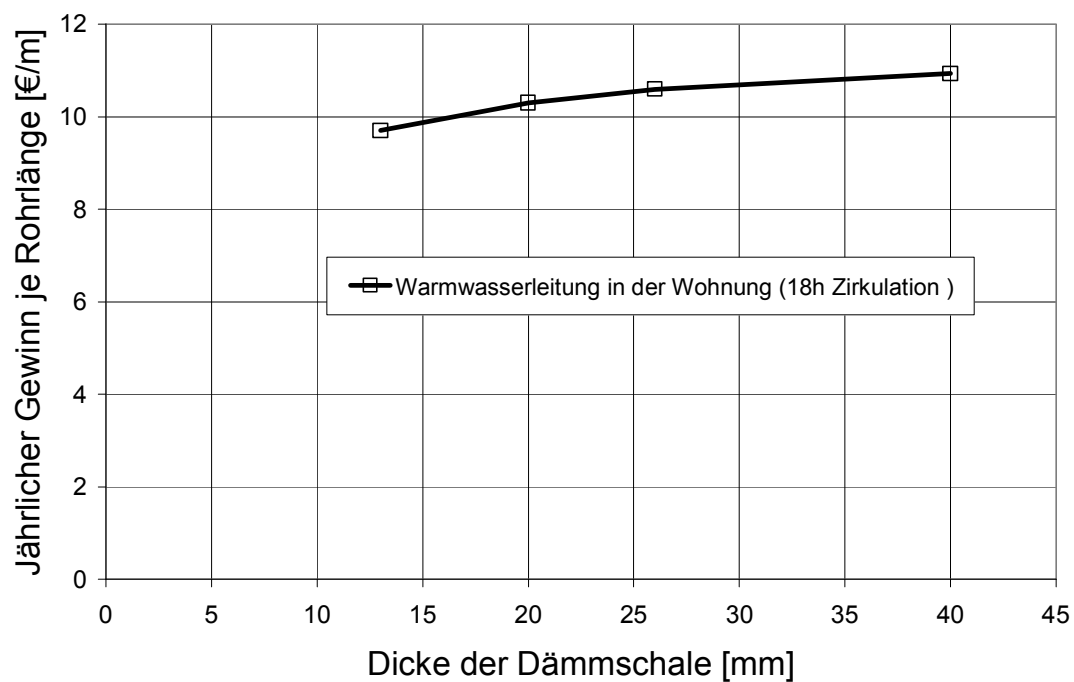


Abbildung 14: Wärmedämmung einer Wärmeverteilung DN 20 im beheizten Bereich.

5.2 Thermische Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung

Im Folgenden wird die Untersuchung von drei verschiedenen Typen von thermischen Solaranlagen dargestellt:

- kleine kostengünstige Anlagen für 4 Personen (Einfamilienhaus, Tabelle 13)
- mittelgroße Anlagen für 6 bis 10 Personen (Zweifamilienhaus, Tabelle 99)
- große Anlagen für bis zu 15 Personen (Dreifamilienhaus, Tabelle 100)

Um die wesentlichen Kosteneffekte herauszuarbeiten, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, welche die Abhängigkeit der Kosten vom Nutzenergiebedarf, d. h. der Zahl der von einer identischen Anlage versorgten Personen darstellt (vgl. Tabelle 75, Tabelle 97 und Tabelle 98 im Anhang, Abschnitt 16.3 ab Seite 325.)

Außerdem hat die Güte der Wärmedämmung der Wärmeverteilungen einen nicht unerheblichen Einfluss auf den rechnerischen Ertrag einer Solaranlage, da diese Wärmeverluste den solaren Ertrag rechnerisch erhöhen, ohne dass dadurch ein höherer Nutzen entstünde und damit den Wärmepreis formal verringern (vgl. Tabelle 101).

Zur Bestimmung der Investitionskosten wurden sogenannte „Solarpakete“ verschiedener Hersteller herangezogen, die als besonders kostengünstig kalkuliert angenommen werden können. Die Kostensumme der Einzelkomponenten ist demgegenüber in der Regel höher. Hier dürfte allerdings wie bei jeder Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit die größte Fehlerquelle liegen ($\pm 10\%$). Die Investitionskosten vergleichbarer Anlagenkonfigurationen lassen sich nur sehr schwer ermitteln, da die Preisbildung bei den verschiedenen Herstellern sehr unterschiedlich strukturiert ist. Was bei einem Hersteller zum Paket dazugehört, muss beim anderen separat bezahlt werden. Die Kostenaufstellung ist deshalb in dieser Hinsicht unsicher. Dasselbe gilt für die Kosten für die Installation: Manche Hersteller gehen davon aus, dass die Installation durch den Handwerksbetrieb mit dem Rabatt, den dieser auf den Paketpreis bekommt, finanziert ist. Bei anderen muss die Installation separat bezahlt werden. In dieser Untersuchung wurde deshalb pauschal 10 % der Paketpreise als Aufwand für die Montage einer Solaranlage angenommen und auf die Paketpreise aufgeschlagen. Die Wartungskosten während der Betriebsjahre wurden ähnlich wie bei Heizungsanlagen mit etwa 70 €/a angenommen. Hier ist insbesondere der Austausch der Wärmeträgerflüssigkeit im Solarkreis (spätestens alle zwei Jahre) bzw. deren jährliche Kontrolle zu nennen.

In der Tendenz zeigt sich, dass besonders bei den kleinen Anlagen die Investitionskosten und die Wartungskosten den Energiepreis dominieren und sich dadurch relativ hohe Kosten für die bereitgestellte Solarwärme ergeben.

Erst wenn man größere Anlagen für mehr als nominell 4 Personen betrachtet, lassen sich Wärmekosten von weniger als 0,12 €/kWh erreichen.

Die Norm [DIN V 18599] gibt für Einfamilienhäuser einen Wert von 12 kWh/(m²a) als nominellen Wärmebedarf für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser an. In dieser

Untersuchung wurde die Wohnfläche mit pauschal 30 m²/Person angenommen, so dass die jeweils versorgte Zahl der Personen und die Größe des Gebäudes miteinander skalieren. Ob nur eine Wohneinheit (4 Personen) oder mehrere Wohneinheiten mit mehr als vier Personen betrachtet werden, spielt damit für die Berechnungen keine Rolle.

Sehr kostengünstige Anlagen zeichnen sich nicht durch besonders hohe solare Erträge aus, da die Effizienz einfacher Kollektoren deutlich schlechter ist und einfache Trinkwarmwasserspeicher zum Teil sehr hohe Wärmeverluste aufweisen. In Tabelle 13 ist das deutlich ablesbar. Das bedeutet, dass mit sehr preiswerten Anlagen kein hoher solarer Deckungsgrad erreicht werden kann (vgl. Tabelle 13, Spalte 1). Andererseits sind die Investitionskosten für hochwertige Solar-Schichten-Speicher mit ausgeprägter Temperaturschichtung deutlich höher (vgl. Tabelle 13, Spalte 2). Der solare Wärmepreis ist dadurch bei den kostengünstigen Solaranlagen geringer.

Ausrichtung (30° Neigung) und Orientierung (-20° Abweichung aus Süd) der Kollektoren wurde gemäß Standardwerten nach [DIN V 18599] gewählt. Die Lebensdauer der Solaranlagen wurde mit 20 Jahren angenommen.

Sensitivitätsanalyse: Höherer Wärmebedarf bei identischer Anlagengröße

Wird mit einer kleinen Solaranlage statt der nominell vorgesehenen Zahl von vier Personen eine hohe Personenzahl versorgt, so steigt der Wärmebedarf entsprechend an. Damit sinkt zwar der mittlere jährliche solare Deckungsgrad, andererseits sinken jedoch auch die Kosten für die durch Solarwärme substituierte Endenergie. Für die kleine Solaranlage (Typ1, nominell 4 Personen) lassen sich damit Wärmepreise von weniger als 0,10 €/kWh erreichen, bei einem Trinkwarmwasser-Wärmebedarf von nominell 12 kWh/(m²a) (vgl. Tabelle 97 im Abschnitt 16.3 ab Seite 325). Selbst für die hochwertige Solaranlage mit Vakuumröhrenkollektoren und Solarschichtenspeicher lässt sich damit der Wärmepreis von 0,19 €/kWh auf etwa 0,14 €/kWh drücken.

Dieser Effekt – niedriger solarer Deckungsgrad bei hoher Wirtschaftlichkeit – ist aus der Literatur seit langem bekannt und rührt hauptsächlich daher, dass im Sommer der Ertrag einer Solaranlage von der möglichen Abnahme an Nutzwärme begrenzt ist und sich deshalb auch mit größerer Kollektorfläche (Überangebot führt zu häufiger Überhitzung des Kollektorkreises, sogenannter Stagnationsbetrieb) nicht steigern lässt. Im Winter ist andererseits auch mit großen Kollektorfeldern nur eine sehr geringe solare Deckung erreichbar. Angebot und Nachfrage an Solarwärme fallen jahreszeitlich nicht optimal zusammen. Vor allem bei großen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser kommt dies zum Tragen. Dort werden Solaranlagen in der Regel mit einer Kollektorfläche von 0,5 m²/Person und weniger gebaut, um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit sicherzustellen.

Sensitivitätsanalyse: Güte des Wärmeverteilsystems

Der Kollektorsertrag wird nach [DIN V 18599] gemäß der dort angegebenen Formel (52) berechnet:

$$Q_{w,sol,a} = Q_{sys} \cdot f_{NGA} \cdot f_{slr} \cdot f_{s,Vaux} \cdot f_{s,loss} + Q_{w,s,a} \quad \text{mit}$$

Q_{sys} Referenz-Jahresenergieertrag Solarkollektoren (deutsches Standardklima)

$Q_{w,s,a}$ jährlicher Bereitschaftswärmeverlust Trinkwarmwasserspeicher

f_{NGA} Korrekturfaktor Neigung Kollektorfeld

f_{slr} Korrekturfaktor Auslastung Solaranlage = $f(Q_{w,outg,a})$

$f_{s,Vaux}$ Korrekturfaktor für das Volumen des Bereitschaftsteils = $f(Q_{w,outg,a})$

$f_{s,loss}$ Korrekturfaktor Wärmeverlustrate Speicher = $f(Q_{w,outg,a})$

$Q_{w,outg,a}$ gesamter Wärmebedarf der Trinkwassererwärmungsanlage [kWh/a]

Zur Berechnung des solaren Deckungsgrades wird der Term $Q_{w,s,a}$ wie auch bei anderen Rechenverfahren üblich [DuffieBeckmann] wieder abgezogen, so dass sich der solare Deckungsgrad ergibt zu

$$\eta_{sol} = Q_{sys} \cdot f_{NGA} \cdot f_{slr} \cdot f_{s,Vaux} \cdot f_{s,loss} / Q_{w,outg,a}$$

Die Korrekturfaktoren f_{slr} , $f_{s,Vaux}$ und $f_{s,loss}$ sind Funktionen des gesamten Wärmebedarfs der Trinkwassererwärmungsanlage $Q_{w,outg,a}$. Somit gehen dort auch die Wärmeverluste des Solarsystems ein, die somit indirekt den Jahresenergieertrag der Solaranlage mit bestimmen. Dieses Vorgehen ist allgemein üblich, da die Wärmeverluste des Systems auch ohne eine Solaranlage von einem konventionellen Wärmeerzeuger gedeckt werden müssen.

Andererseits ist eine gewisse Vorsicht geboten, wenn die Wärmepreise für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf der Basis der Größe des Jahresenergieertrags der Solaranlage = $Q_{sys} \cdot f_{NGA} \cdot f_{slr} \cdot f_{s,Vaux} \cdot f_{s,loss}$ bestimmt werden, wie dies im folgenden geschieht. Denn hohe Wärmeverluste der Verteilleitungen und des WW-Speichers bedeuten eine steigende Erzeugerwärmemenge, d. h. einen erhöhten Wärmebedarf, der wiederum wie oben beschrieben den Wärmepreis sinken lässt, ohne dass der Nutzwärmeertrag sich vergrößert.

In Tabelle 101 im Abschnitt 16.3 ab Seite 325 wurde dies für die Wärmeverteilverluste herausgearbeitet. Bei einem optimierten Leitungsnetz aus gut gedämmten ($\Psi < 0,15$ W/(mK)) und möglichst kurzen Rohrleitungen (< 20 m für ein EFH) können die Wärmeverteilverluste auf weniger als 400 kWh/a gesenkt werden (Tabelle 101, Spalte 1). Andererseits gibt die Norm [DIN V 18599] mit den angegebenen Standardwerten extrem große Leitungslängen vor (Tabelle 101, Spalte 4), die zwar bei einzelnen ungünstig gestalteten Grundrissen denkbar, für ein energieeffizient

geplantes Gebäude jedoch unrealistisch hoch sind. In Spalte 4 ergibt sich deshalb ein unrealistischer Wert von 2600 kWh/a alleine für die Leitungswärmeverluste. Spalte 2 und 3 in Tabelle 101 stellen mittlere Werte für typische Gebäude dar, mit mittelmäßig bis schlecht wärmegeprägten Leitungen.

Beim Vergleich der vier Spalten in Tabelle 101 wird deutlich, dass ein unzureichendes Wärmeverteilnetz mit hohen Wärmeverlusten den solaren Wärmeertrag steigert ohne dass ein erhöhter Nutzenergiegewinn entstünde. Dementsprechend wird der so berechnete Wärmepreis für die solaren Erträge formal vermindert, bzw. es würde bei unkritischer Betrachtung eine Wirtschaftlichkeit errechnet, die tatsächlich nicht gegeben ist.

In Tabelle 102 wurde dieselbe Auswahl von Solaranlagen gewählt wie in Tabelle 13, nur die Verteilverluste wurden für ein optimiertes Leitungsnetz angenommen, d. h. kurze, gut gedämmte Rohrleitungen wie in Tabelle 102 Spalte 1. Im Ergebnis reduziert sich der solare Jahresenergieertrag bzw. die substituierte Endenergie, so dass die entsprechenden Wärmepreise um 0,02 bis 0,05 €/kWh bzw. um 15 bis 25 % je nach Anlagentyp ansteigen, ohne dass der Nutzwärmebedarf sich verändert hätte.

Aus diesem Grunde muss neben der Förderung für solarthermische Anlagen unbedingt gefordert werden, dass auch die Wärmeverteilung und Speicherung energieeffizient optimiert wird. Ansonsten sind Fehloptimierungen nicht auszuschließen.

Berechnung der Gesamtkosten für die solar substituierte Endenergie (€/kWh)

Die letztendlich von der Solaranlage substituierte Endenergie ist nicht nur der Jahresenergieeintrag der Solaranlage, sondern die um die Jahresaufwandszahl des Wärmeerzeugers erhöhte Menge an Endenergie. Im Beispiel wurde Gas mit Brennwerttechnologie betrachtet, mit einer Aufwandszahl von 1,31 (Heizungsanlage wie in Abschnitt 2.1.1). Für einen Gas-NT-Kessel wäre die Aufwandszahl mit 1,36 noch höher.

Diese Umrechnung auf die substituierte Endenergie ist rechnerisch korrekt, sie verringert die nominellen Kosten der solar bereitgestellten Wärme nochmals erheblich. **Auch hier muss jedoch bemerkt werden, dass ein ineffizienter Wärmeerzeuger mit einer großen Aufwandszahl die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage formal verbessert, obwohl die Solaranlage in Kopplung mit dem schlechteren Wärmeerzeuger lediglich dessen höhere Wärmeverluste deckt, dadurch aber kein höherer Nutzen entsteht.** Für Neubauten bzw. beim Austausch der Heizanlage ist deshalb zuerst zu fordern, dass der effizientere Kessel gewählt wird, bevor eine zusätzliche Solaranlage eingebaut wird.

Effizienzvariante: thermische Solaranlage

Die Mehrinvestition für eine thermische Solaranlage abzüglich der Kosten für einen sowieso notwendigen Speicher für Brauchwasser ist mit 2500 bis 5500 € erheblich. Als Referenzvariante wird hierbei ein beliebiges Gebäude mit den verschiedensten Haustechnikvarianten betrachtet, jeweils ohne eine thermische Solaranlage, d. h. die Solaranlage ist immer additiv zu einem bestehenden System zu sehen. Die jährlichen Mehrkosten für Investitions- und Wartungskosten und Stromkosten für die Umwälzpumpen, betragen typischerweise zwischen 270 und 420 €/a. Das führt zu einem Preis für die solarthermisch zur Verfügung gestellte Wärme von 0,12 bis 0,19 €/kWh. **Der Wärmepreis für Warmwasserbereitung über eine thermische Solaranlage liegt damit deutlich über den derzeitigen Energiekosten für Endenergie.** Damit ist der Einsatz von Solaranlagen bei heutigen Energiepreisen wegen der hohen Anlagenkosten noch nicht wirtschaftlich.

Altbau *Die Verwendung von Solaranlagen kann daher als gekoppelte Maßnahme bei der Erneuerung von Heizungsanlagen nach dem Energieeinspargesetz nicht gefordert werden. Vielmehr sollte die bestehende Investitionsförderung für Solaranlagen aufrechterhalten werden. Der Förderbedarf beträgt etwa 1000 bis 1500 € je Anlage bzw. etwa 50 % der Investitionskosten. Eine Förderung in diesem Umfang erscheint sinnvoll, zumal die ausgelöste Mehrinvestition vor allem einer europäischen Wertschöpfung zugute kommt.*

Neubau *Solaranlagen können wegen der nicht gegebenen einzelwirtschaftlichen Rentabilität beim Neubau nicht dem Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden. Die Investitionsförderung für Solaranlagen sollte keinen Unterschied machen zwischen Neubau und Altbau.*

Hinweis *Einer weiteren Förderung über den Investitionskostenzuschuss bzw. über vergünstigte Kredite hinaus bedarf die thermische Solaranlage nicht. Insbesondere sollten bei geförderten Neubauten bzw. Altbaumodernisierungen, auch wenn eine Solaranlage eingebaut wird, die Anforderungen an die bauliche Energieeffizienz nicht reduziert werden. In der neuen EnEV sollte daher insbesondere das Dämmniveau für Solar- und Heizungsleitungen gegenüber der bisherigen Anforderung (Dämmstärke "100 % DN") noch erweitert werden ("200 % DN"). Außerdem sollte auch die hochwertige Wärmedämmung von Armaturen, Pumpen u.ä. in Zukunft zur Pflicht gemacht werden, denn hier liegen besonders hohe Effizienz- bzw. Einsparpotentiale für die Gebäudetechnik.*

Tabelle 13: Kleine Solaranlage für Einfamilienhaus

Energiesparmaßnahme: thermische Solaranlagen für EFH, verschiedene Qualitäten				
	Anlage Typ1	Anlage Typ2	Anlage Typ3	Anlage Typ4
Kurze Anlagenbeschreibung:	kleine kostengünstige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus
Komponenten der Anlage:	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung und Solar-Schichten-Speicher	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.				
Nettogrundfläche (Wohnfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	120,0 m²	120,0 m²	120,0 m²	120,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	4	4	4	4
Energiebedarf TWW pro Jahr	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a
Wärmeverlustrate Verteilung	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	1364 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	4003 kWh/a	2783 kWh/a	2783 kWh/a	2783 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	4,5 m²	5,2 m²	5,2 m²	5,2 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	einfacher Solarspeicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher
Speichereinhalt (total)	300 Liter	313 Liter	313 Liter	313 Liter
Speichereinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	300 Liter	135 Liter	135 Liter	135 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	3,16 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	mittelmäßig lange und mäßig wärmeisolierte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmeisolierte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmeisolierte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmeisolierte Rohrleitungen,
längenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	40,00 m	40,00 m	40,00 m	40,00 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage **)	1768 kWh/a	1559 kWh/a	1649 kWh/a	1788 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,44	0,56	0,56	0,64
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarpumpe + Regler)	157 kWh/a	85 kWh/a	90 kWh/a	97 kWh/a
Investitionskosten:				
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	3456 €	3910 €	4067 €	6146 €
spezifische Investitionskosten [€/m² Kollektorfläche]	618 €/m²	588 €/m²	618 €/m²	1018 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	3456 €	3910 €	4067 €	6146 €
Abzug Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	674 €	854 €	854 €	854 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	2782 €	3056 €	3213 €	5292 €
Annuität der Investitionskosten für Solaranlage:				
Stromverbrauchskosten jährlich	192 €/a	211 €/a	221 €/a	365 €/a
Wartungskosten jährlich	28 €/a	15 €/a	16 €/a	17 €/a
	70 €/a	70 €/a	70 €/a	70 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	290 €/a	296 €/a	308 €/a	452 €/a
Aufwandszahl Brennwert-Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 - 2317 kWh/a	1,31 - 2043 kWh/a	1,31 - 2161 kWh/a	1,31 - 2342 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,125 €/kWh	0,145 €/kWh	0,142 €/kWh	0,193 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.				
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmeerzeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant				
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:			
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh	
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh	
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20			
Annuität	6,89%			

Die weiteren Tabellen und Grafiken finden sich im Anhang, im Abschnitt 16.3 ab Seite 325.

5.3 Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Der Lüftungsanlage kommt eine zentrale Rolle bei Neubau und Bestand zu, weil sie die Bauschadensfreiheit und Raumluftqualität sicherstellt. Hier wird eine möglichst hohe Nutzerzufriedenheit als Grundlage für eine hohe Akzeptanz vorausgesetzt. Anlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) bringen die Zuluft zugfrei in den Raum ein und erfüllen damit diese Anforderung in hohem Maße. Dieser Komfortvorteil wird jedoch im Folgenden nicht weiter untersucht, weil hier nur direkt monetarisierbare Parameter einbezogen werden.

5.3.1 Untersuchte Varianten und Parameter

5.3.1.1 Vergleichsvariante (Ohnehin-Maßnahme)

In den nachfolgenden Betrachtungen wurde die Abluftanlage als Ohnehin-Maßnahme betrachtet. Diese Vorgehensweise wurde ausführlich im Positionspapier (siehe Anlage) begründet und ausgeführt.

Für die Abluftanlage wurde entsprechend Musterkalkulation (Netto, 1.1.2006) und ausgeführter Anlage (abgerechnete Kosten 2004) inkl. Planung und Montage

27,37 €/m²

angesetzt. Die Stromeffizienz typischer Abluftanlagen wurde zu 0,12 Wh/m³ bestimmt (Messwert ausgeführter Anlagen, PHI), weil nur ein Ventilator, und dieser bei geringem Druckabfall (Zuluftkanalnetz und Wärmeübertrager entfallen) betrieben wird.

5.3.1.2 Baustandard

Bei den Untersuchungen wurden Lüftungsanlagen sowohl im Neubau als auch im Rahmen der Nachrüstung im Altbau verglichen. Der unterschiedliche Transmissionsverlust bei unterschiedlichen Baustandards wurde dabei nicht weiter in Betracht gezogen, weil der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Lüftungsanlage nur in zweiter Ordnung vorhanden ist. Es ändert sich der Nutzungsgrad der freien Wärme und die Länge der Heizperiode, der Einfluss auf den Nutzen der Wärmerückgewinnung ist dadurch ein Effekt zweiter Ordnung.

5.3.1.3 Anlagentypen

Folgende Anlagentypen wurden unterschieden:

- zentral (eine WRG für mehrere Wohneinheiten gemeinsam)
- dezentral (wohnungsweise)

In nachfolgender Tabelle werden die Investitionskosten aufgeführt.

Tabelle 14: Investitionskosten (Listenpreise ohne MwSt.) von Zentralgeräten für verschiedene Bautypen und Baugrößen nach Statistik ausgeführter Anlagen

	WRG 71 %	WRG 84 %
zentral	5,6 €/m ³ /h	7,3 €/m ³ /h
dezentral	14,2 €/m ³ /h	16,8 €/m ³ /h

Die Unterscheidung zwischen zentral und dezentral ist notwendig, weil das wirtschaftliche Optimum je nach Gebäudetyp (EFH, MFH) und Wohnungsgröße bei unterschiedlichen Anlagentypen liegt. Die Kostendaten sind auf Basis heutiger Fertigungsmethoden und Gerätekosten ermittelt worden. Hierbei ist allerdings unter langfristiger Perspektive zu bedenken, dass bei der zukünftig zu erwartenden breiten Umsetzung der Maßnahmen die Gerätepreise für dezentrale Wärmerückgewinnung durch Umstellung der Hersteller auf Serienfertigung deutlich sinken werden, eine Reduktion bis zu 50 % erscheint uns wahrscheinlich. Damit wird dieser Gerätetyp deutliche Vorteile gegenüber zentralen Anlagen aufweisen, weil hier die Kosten für das Kanalnetz und die Planung über die Hälfte der Kosten verursachen, welche auch künftig kaum Kostenreduktion erwarten lassen (siehe auch AKKP Protokollband Nr. 30) [AKKP36].

Tabelle 15: Spezifische Baukosten (ohne MwSt.) für unterschiedliche Wohnungsgrößen und Anlagentypen

Wohnungsgröße /Anlagentyp	„klein“ 45 m ²	„mittel“ 85 m ²	„groß“ 135 m ²
dezentral (wohnungsweise)	90 €/m ²	60 €/m ²	40 €/m ²
zentral	70 €/m ²	50 €/m ²	40 €/m ²

Zur Erläuterung: „klein“ (25-65 m², Bemessungswert: 45 m²), „mittel“ (65-105 m², Bemessungswert: 85 m²) und „groß“ (>105 m², Bemessungswert: 135 m²)

5.3.1.4 Parameter

Luftdichtheit der Gebäudehülle

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wirkt sich auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung insofern aus, dass die In- bzw. Exfiltrationsvolumenströme der Gebäudehülle nicht an der Wärmerückgewinnung teilhaben. Es wurden daher folgende Fälle für die Drucktestergebnisse bei 50 Pa zugrunde gelegt:

$n_{50} = 0,35 \text{ 1/h}$ (sehr gute Luftdichtheit, bei entsprechender Planung erreichbar)

$n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$ (sehr gute Luftdichtheit, baupraktisch bei entsprechender Planung reproduzierbar)

$n_{50} = 1,0 \text{ 1/h}$ (Bemessungsluftwechsel Kategorie A nach E DIN 1946-6:2006-12 für ventilatorgestützte Lüftung, wenn die Bonusregelung in Anspruch genommen wird)

$n_{50} = 1,5 \text{ 1/h}$ (zulässiger oberer Grenzwert für die ventilatorgestützte Lüftung nach EnEV und Bemessungsluftwechsel Kategorie B nach E DIN 1946-6:2006-12)

$n_{50} = 4,5 \text{ 1/h}$ (mittlerer Gebäudebestand, Kategorie C nach E DIN 1946-6:2006-12, für die Planung und Ausführung lüftungstechnischer Maßnahmen ungeeignet)

Als Standardfall wurde ein Drucktestergebnis von $1,5 \text{ 1/h}$ zugrunde gelegt.

Ergebnis: Verbessert man die Luftdichtheit des Gebäudes von $n_{50} = 1 \text{ 1/h}$ auf $0,6 \text{ 1/h}$ bzw. $0,35 \text{ 1/h}$, so sinken die Kosten für die eingesparte kWh um $0,1$ bzw. $0,2$ Cent.

Stromeffizienz der Anlage

Die Stromeffizienz der Anlage hängt einerseits vom Ventilatorwirkungsgrad, andererseits vom Druckabfall des Zentralgerätes (interne Pressung) und des Kanalnetzes inkl. Einbauten und Formteile (externe Pressung) ab. Der Ventilatorwirkungsgrad wurde mit Einführung der elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren deutlich verbessert, kleinere Verbesserungen konnten zusätzlich mit veränderter Schaufelradgeometrie erreicht werden. Der Druckabfall im Gerät wird durch die jeweiligen Querschnitte und Strömungsumlenkungen und den Wärmeübertrager selbst bestimmt. Im Allgemeinen ist die Reduzierung des Gerätedruckabfalls (interne Pressung) bei gleichbleibendem Wärmebereitstellungsgrad mit höheren Investitionskosten verbunden. Bei der externen Pressung ist dies nicht zwangsläufig der Fall. Die Verwendung größerer Rohrdurchmesser verursacht zwar höhere Kosten, andererseits können durch möglichst vereinfachte, kurze Kanalnetze Druckabfall und Kosten eingespart werden.

Die Stromeffizienz kann etwa wie folgt eingeordnet werden:

$0,35 \text{ Wh/m}^3$ (sehr effiziente Anlage, mit heutigem Stand der Technik erreichbar)

$0,4 \text{ Wh/m}^3$ (aktuell anzustrebende Stromeffizienz)

$0,45 \text{ Wh/m}^3$ (Wohnungslüftung / WRG / Gleichstromventilatoren. Standard-Annahme gemäß [DIN 4701-10])

$0,9 \text{ Wh/m}^3$ (ineffiziente Anlage, Wechselstromventilatoren bzw. hohe Pressung)

Die hohe Effizienz moderner Lüftungsgeräte wird durch den Einsatz von Gleichstromventilatoren (DC-Ventilatoren) anstelle von Wechselstromventilatoren (AC-Ventilatoren) erreicht (der Verbrauch von Wechselstromventilatoren ist verglichen mit

Gleichstromventilatoren etwa doppelt so hoch). In Tabelle 16 wurden die jeweiligen Mehrkosten für die Gleichstromtechnologie (Zu-/Abluftventilator inkl. Mehrkosten für Schaltnetzteil) aufgeführt.

Tabelle 16: Mehrkosten für die Gleichstromtechnologie der Ventilatoren (ohne MwSt.)

	Mehrkosten DC gegenüber AC-Ventilatoren inkl. Netzteil und Steuerung
Zentral	0,41 €/m³/h
wohnungsweise	0,79 €/m³/h

Ergebnis: Geht man von einer Stromeffizienz von 0,45 Wh/m³ für DC-Ventilatoren aus, so liegt der Wert einer entsprechenden Anlage, welche mit Wechselstromventilatoren ausgerüstet ist, etwa bei 0,9 Wh/m³. Die Wirtschaftlichkeit verschlechtert sich damit deutlich. Die Preise für die eingesparte kWh steigen damit um 0,9 Cent. Der Einsatz der seitens der Investitionskosten heute noch investiv teureren Gleichstromtechnologie ist durch die höhere Effizienz auf heutigem Preisniveau in jedem Fall wirtschaftlich.

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad

Der effektive Wärmebereitstellungsgrad η'_{eff} wird hauptsächlich durch die Strömungsform (Kreuz- bzw. Gegenstrom) sowie die effektive Tauscherfläche bestimmt. Darüber hinaus spielen Gerätedichtheit und Gehäusedämmung eine wesentliche Rolle. Soll der effektive Wärmebereitstellungsgrad bei gleicher Stromeffizienz verbessert werden, so ist dies mit höheren Investitionskosten (variable Kosten) verbunden.

Hier wurde davon ausgegangen, dass die variablen Kosten proportional zur Wärmetauscherfläche zunehmen und damit proportional zu $1/(1-\eta'_{\text{eff}})$.

Im Rahmen der Untersuchung wird jeweils das wirtschaftliche Optimum des effektiven Wärmebereitstellungsgrades bestimmt.

Ergebnis: Wie bei der Wärmedämmung von Außenwänden bildet sich ein relativ flaches Maximum des Barwertes aus. Es zeigt sich, dass das wirtschaftliche Optimum im Bereich der hocheffizienten Anlagen liegt. Da die spezifischen Kosten für den Wärmeübertrager bei wohnungsweisen Anlagen höher als bei zentralen Anlagen liegen, ist das Optimum bei ersteren etwa bei 84 % zu finden, bei letzteren eher im Bereich um 86 bis 90 %.

Volumenstrom und Luftwechselrate

Als Anlagenluftwechsel wurde nach Vorgabe der DIN V 18599 0,4 1/h und zusätzlich ein Fensterluftwechsel von 0,1 1/h vorgegeben.

Bei Auslegung der Lüftungsanlage auf den hygienisch notwendigen Luftwechsel ist in der Praxis keine zusätzliche Fensterlüftung notwendig und würde im Winter eher auf zu geringe Raumluftfeuchten führen.

Ergebnis: Bei geringerem Anlagenluftwechsel sinken die Lüftungswärmeverluste und damit das Potential an Einsparung durch Wärmerückgewinnung. Reduziert man beispielsweise den Anlagenluftwechsel von 0,5 1/h auf 0,4 1/h, so steigen die Kosten für die eingesparte kWh Endenergie um 0,6 Cent. Betriebswirtschaftlich und energetisch ist es natürlich dennoch sinnvoll, den Anlagenvolumenstrom zu senken.

Um den Nutzen der Wärmerückgewinnung zu maximieren, ist eine möglichst luftdichte Gebäudehülle anzustreben, weil die Lüftungswärmeverluste durch Infiltration nicht durch die Wärmerückgewinnung reduziert werden.

Wohnungsgröße (Wohnfläche pro Wohneinheit)

Die spezifischen Investitionskosten (Bezugswert Wohnfläche) hängen von den jeweils zu erschließenden Wohneinheiten ab. Kleine Wohneinheiten weisen einen höheren Erschließungs- und Anlagenaufwand auf, die spezifischen Kosten fallen daher höher aus. Es wurde eine Unterscheidung zwischen den Wohnungsgrößen „klein“ (25-65 m², Bemessungswert 45 m²), „mittel“ (65-105 m², Bemessungswert 85 m²) und „groß“ (>105 m², Bemessungswert 135 m²) vorgenommen. Je nach Wohnungsgröße kann das wirtschaftliche Optimum bei unterschiedlichen Anlagentypen liegen.

Ergebnis: Bei kleinen (45 m²) bzw. großen (135 m²) Wohneinheiten steigen bzw. sinken die Kosten für die eingesparte kWh um 3 Cent, bzw. 1,2 Cent gegenüber dem Standardfall bei einer Wohnungsgröße von 85 m².

5.3.1.5 Marktzins bzw. Förderzinssatz

Der zugrunde gelegte Realzins wird aus Nominalzins und Inflationsrate berechnet. Unter der Annahme einer dem KfW-Programm entsprechenden Förderung kann ein um etwa 1 % reduzierter Nominalzins angesetzt werden.

Ergebnis: Mit Hilfe der Förderung kann die Wirtschaftlichkeit auch bei wohnungsweisen Anlagen und einer Wohnungsgröße von 85 m² erreicht werden. Darüber hinaus kann prinzipiell sinnvollen, aber unter Marktzinsen heute noch nicht im wirtschaftlichen Optimum liegenden Effizienzmaßnahmen zur breiten Umsetzung verholfen werden.

5.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen ist auf Basis heutiger Gerätepreise nur für relativ große Wohneinheiten, insbesondere beim Einsatz von zentralen Anlagen ohne Förderung bereits zu marktüblichen Hypothekenzinsen wirtschaftlich. Zukünftig können sich diese Verhältnisse bei großen Stückzahlen schnell zum Positiven ändern. Gerade bei wohnungsweisen Geräten sind Kostenreduktionen für die Zentralgeräte um ca. 50 % realistisch, die Kosten für die eingesparte kWh liegen dann mit 5,8 Cent nur knapp über den heutigen Bezugskosten für den Brennstoff (Öl/Gas).

Daher halten wir es für gerechtfertigt, durch eine dem KfW-Programm entsprechende Förderung durch weitere Verbreitung der Technologie zur Markteinführung und Erhöhung der Stückzahlen beizutragen. Der Förderzins sollte hierfür in einer Größenordnung von 1,5 % liegen.

5.3.3 Fazit: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Als Referenzvariante wurde hier die reine Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung (Außenluftnachströmung über Außenwandluftdurchlässe) zugrunde gelegt.

Effizienzvariante: Hocheffiziente Wärmerückgewinnung mit Gegenstromwärmeüberträger, hohe Stromeffizienz über Gleichstromventilatoren

Die Mehrinvestition für die hocheffiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegt *bei wohnungsweisen Geräten* mit 29 €/m² bei **mittelgroßen Wohneinheiten** (ca. 85 m²) deutlich über der Referenzlösung, weil der Geräte- und Anlagen-technische Aufwand für die Erschließung relativ hoch ist. Hier erreichen dezentrale Anlagen unter derzeitigen Marktpreisen die Wirtschaftlichkeit noch nicht. Dafür werden etwa 56 % (bzw. bis zu 84 % ohne Annahme von zusätzlicher Fensterlüftung) der Lüftungswärmeverluste durch Wärmerückgewinnung eingespart. Bei *zentralen Anlagen* (ca. 8 WE pro Anlage) wird dagegen die Wirtschaftlichkeit schon bei mittelgroßen Wohneinheiten knapp erreicht.

Bei größeren Wohneinheiten (135 m²) reduzieren sich die wohnflächenspezifischen Mehrkosten auf 20 €/m², die Anlagen erreichen damit die Wirtschaftlichkeit auch im Falle von wohnungsweisen Geräten.

Der Einsatz von hocheffizienten Gleichstromventilatoren (ECM) mit einer spezifischen Elektroeffizienz von 0,44 Wh/m³ ist in jedem Falle wirtschaftlich (Differenz von 20 Cent/(m²a)) und entlastet die Umwelt gegenüber der Variante mit Wechselstromventilatoren (AC) zusätzlich um 2 kg CO₂ pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche. Die Förderung höherer Effizienz auf ein Niveau von 0,4 Wh/m³ ist vor diesem Hintergrund anzustreben.

Altbau *Die nachträgliche Integration von Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung im Bestand ist zwar technisch fast in jedem Falle umsetzbar, kann aber nach dem Energieeinspargesetz derzeit noch nicht generell gefordert werden. Mit einem Förderzins in Höhe von etwa 1,5 % können diese Anlagen auch im Altbau wirtschaftlich betrieben werden. Eine Förderung in diesem Umfang erscheint sinnvoll, zumal die ausgelöste Mehrinvestition vor allem europäischer Wertschöpfung (Zentralgeräte) sowie lokalem Handwerk (Kanalsystem) zu Gute kommt und damit zugleich ein Beitrag zur Raumlufthygiene geleistet wird.*

Neubau *Im Neubau können Anlagen mit Wärmerückgewinnung bereits in die Entwurfsplanung einbezogen werden. Dadurch können sich leichte Kostenreduktionen für Kanalnetz und Wanddurchführungen ergeben. Auch der Planungsaufwand ist im Neubau geringer einzuschätzen, weil keine Rücksicht auf bauliche Gegebenheiten eines Bestandsgebäudes genommen werden muss. Die Investitionsförderung für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung könnte damit im Neubau etwas geringer ausfallen.*

Die weiteren Tabellen und Grafiken finden sich im Anhang Abschnitt 16.4 ab Seite 332.

5.4 Wärmedämm-Maßnahmen an der Gebäudehülle

5.4.1 Wärmedämm-Maßnahmen an der Außenwand

5.4.1.1 Wärmedämmverbundsystem bei Außenputzerneuerung

Muss der Außenputz eines Gebäudes erneuert werden, so fallen durchschnittliche Ohnehin-Kosten von 40 €/m^2 an, bestehend aus den Maßnahmen „Gerüst einrichten“, „alten Putz abschlagen und entsorgen“ sowie „Aufbringen des neuen Außenputzes“.

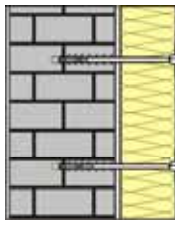
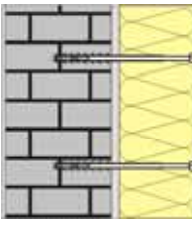
Wird statt der ohnehin anstehende Außenputzerneuerung ein Wärmedämmverbundsystem aufgebracht, fallen nur geringe energiebedingte Mehrinvestitionen an (Ausgangspunkt ist hierbei eine typische Putzfassade ohne Strukturelemente wie z.B. Stuckbestandteile). Die eingesparte Kilowattstunde Energie kostet beim „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ nur 2,5 Cent und beim „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ 2,7 Cent (siehe Tabelle 17). Die in der Studie angesetzten, tatsächlichen Energiebezugsspreise liegen mit 6,8 Cent (inkl. Hilfsenergieanteil, dieser wurde hier pauschal angesetzt; vgl. Abschnitt 1) weit höher.

Ein wichtiger Nebeneffekt der Energiesparmaßnahme ist die Verbesserung der Behaglichkeit im Raum nach der Sanierung durch Innenoberflächentemperaturen der Außenwand von über 19 °C auch im Winter. Außerdem kommt es durch die erhöhte Bauteiltemperatur selbst im oft kritischen Fall eines Schrankes vor einer Außenwandkante nicht mehr zu Schimmelpilzwachstum.

Den jährlichen Gewinn durch die Energiesparmaßnahme gebildet aus den jährlichen eingesparten Energiekosten abzüglich der Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme zeigt Abbildung 15. Eine relativ weite Spanne an Dämmstärken mit einem resultierenden U-Wert von 0,23 bis $0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ kann als wirtschaftlich sinnvoll erachtet werden. Wird ein R-Wert aus dem oberen Bereich dieser Spanne gewählt, so kann bei nur geringfügig geringerem Gewinn eine höhere Unabhängigkeit von Energiepreisschwankungen und eine größere Reduktion der CO_2 -Emissionen erreicht werden.

Abbildung 16 zeigt, dass eine Verbesserung des Wärmeschutzes bei einer ohnehin anstehenden Erneuerung des Außenputzes bis zu einem U-Wert der Bestandswand von $0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wirtschaftlich ist.

Tabelle 17: Wärmedämmverbundsystem gekoppelt an Maßnahme Putzerneuerung

Energiesparmaßnahme: Außenwand, Wärmedämm-Verbundsystem Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Putzerneuerung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Putzerneuerung 1,41 W/(m²K)	Wärmedämm-Verbundsystem 0,16 W/(m²K)	Wärmedämm-Verbundsystem 0,11 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	40 €/m²	106 €/m²	115 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		66 €/m²	75 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts: Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		41%	41%
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		27 €/m²	31 €/m²
jährlicher Gewinn:		39 €/m²	45 €/m²
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		2,70 €/m²a	3,08 €/m²a
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		7,40 €/m²a	7,68 €/m²a
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		4,70 €/m²a	4,59 €/m²a
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		108,2 kWh/(m²a)	112,3 kWh/(m²a)
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		89%	92%
		2,5 Cent/kWh	2,7 Cent/kWh
		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
		119,0 kWh/(m²a)	123,5 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

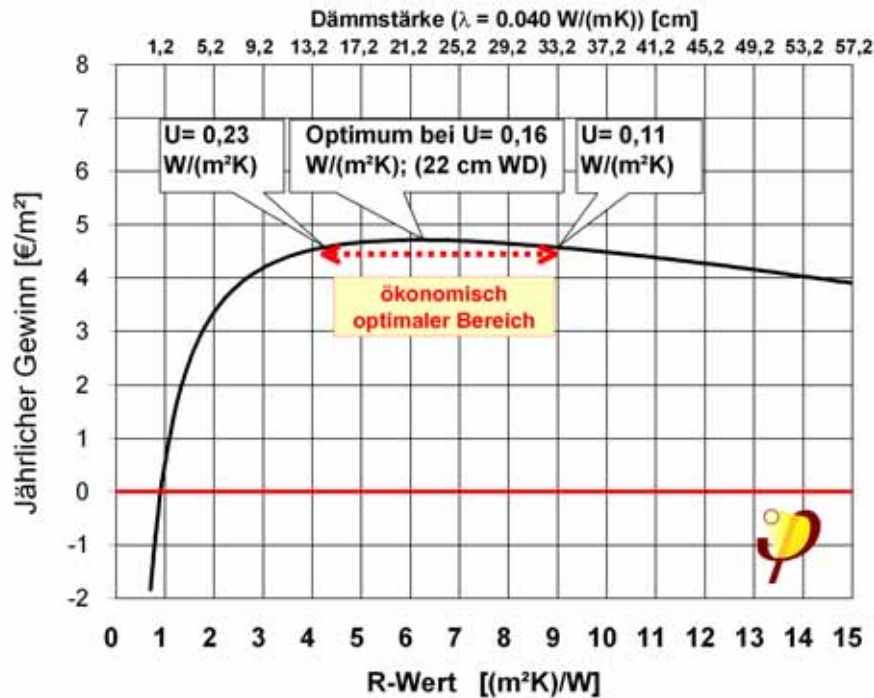


Abbildung 15: Mittlerer jährlicher Gewinn durch ein Wärmedämmverbundsystem (Ohnehin-Maßnahme: Putzerneuerung) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

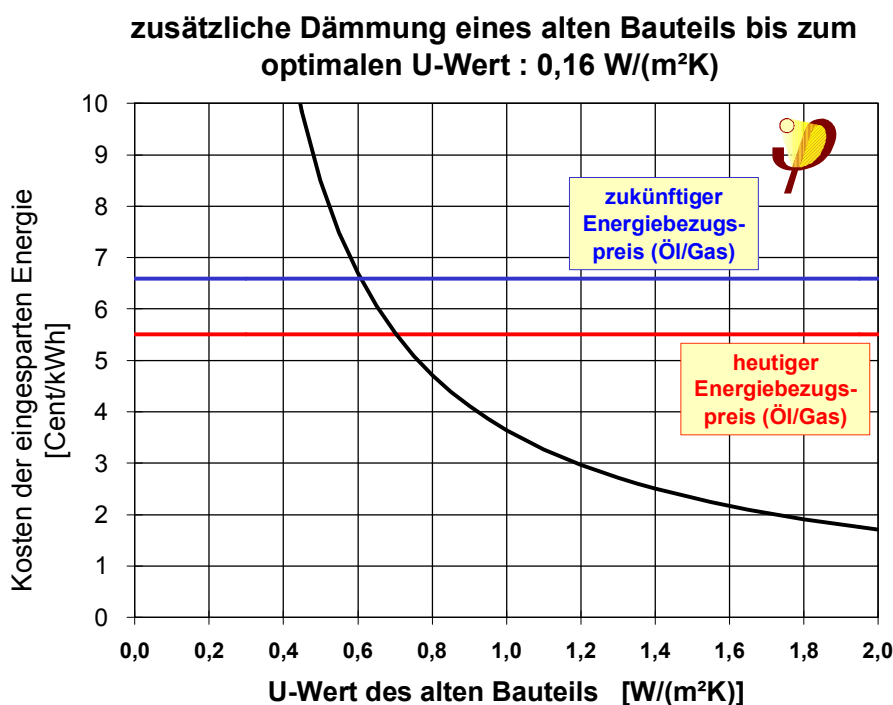


Abbildung 16: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlicher (Wärmedämmverbundsystem bei Außenputzerneuerung).

5.4.1.2 Wärmedämmverbundsystem bei Neuanstrich der Außenfassade

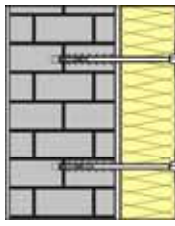
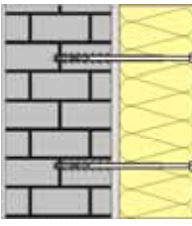
Statt einer Erneuerung des Außenputzes wurde bei diesem Beispiel nun der Fall einer anstehenden Erneuerung des Fassadenanstrichs untersucht (siehe Tabelle 18). Durch das Koppeln dieser Maßnahme mit dem Aufdübeln eines Wärmedämmverbundsystems (22 cm, $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$) auf den alten Putz kann der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand von 1,41 auf 0,16 $\text{W/(m}^2\text{K)}$ verbessert werden. Für den „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ sind Investitionen von 106 €/m² nötig. Weitere 9 €/m² fallen für den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ an. Damit können Energieeinsparungen von 108 bzw. 112 kWh/(m²a) erreicht werden. Die Erneuerung des Fassadenanstrichs würde Investitionen von 20 €/m² erfordern (auch hier wird von einer typischen Putzfassade ohne zusätzliche Strukturelemente ausgegangen). Die Investitionen für das Wärmedämmverbundsystem können sich gegenüber den Berechnungen noch reduzieren, wenn im Einzelfall nachgewiesen wird, dass der Altputz noch tragfähig ist, so dass auf eine Verdübelung des WDVS verzichtet werden kann.

In jedem Fall sind aber beide Maßnahmen in Verbindung mit einem Neuanstrich der Außenfassade wirtschaftlich. Die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie liegen mit 3,2 bzw. 3,5 Cent weit unter den tatsächlichen Energiekosten.

Abbildung 18 zeigt, dass die Verbesserung des Wärmeschutzes noch bis zu einem U-Wert der Bestandswand von 0,9 $\text{W/(m}^2\text{K)}$ wirtschaftlich angemessen ist.

Die zusätzliche Wärmedämmung einer Putzfassade ist bereits bei der Ohnehin-Maßnahme Neuanstrich wirtschaftlich. Das wirtschaftliche Optimum liegt bei einem U-Wert von 0,16 $\text{W/(m}^2\text{K)}$. Das entspricht bei Standard-Dämmmaterialien ($\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$) einer Dämmdicke von 22 cm.

Tabelle 18: Wärmedämmverbundsystem gekoppelt an Maßnahme Neuanstrich

Energiesparmaßnahme: Außenwand, Wärmedämm-Verbundsystem			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Neuanstrich Außenfassade			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Neuanstrich Außenfassade	Wärmedämm-Verbundsystem	Wärmedämm-Verbundsystem
			
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	1,41 W/(m²K)	0,16 W/(m²K)	0,11 W/(m²K)
22 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 5,50 m²K/W			32 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 8,00 m²K/W
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	20 €/m²	106 €/m²	115 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		86 €/m²	95 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		35 €/m²	39 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		51 €/m²	57 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		3,51 €/m²a	3,90 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		7,40 €/m²a	7,68 €/m²a
jährlicher Gewinn:		3,88 €/m²a	3,78 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		108,2 kWh/(m²a)	112,3 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		89%	92%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		3,2 Cent/kWh	3,5 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		119,0 kWh/(m²a)	123,5 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: diff. Jahresnutzungsgrad: Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	78,00 kWh/a 90% 0,0659 €/kWh 0,068 €/kWh

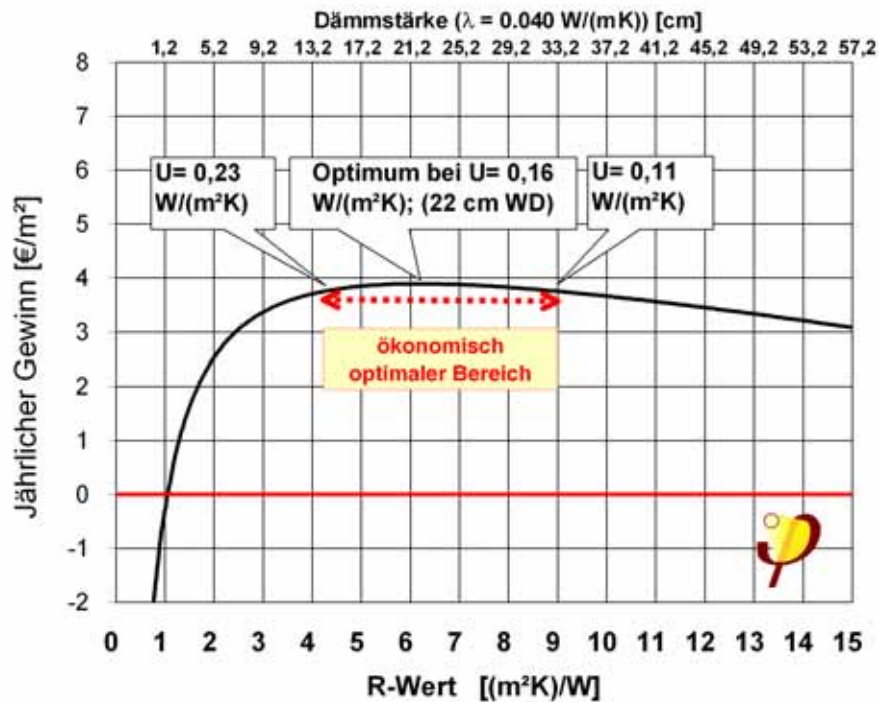


Abbildung 17: Mittlerer jährlicher Gewinn durch ein Wärmedämmverbundsystem (Ohnehin-Maßnahme: Neuanstrich) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

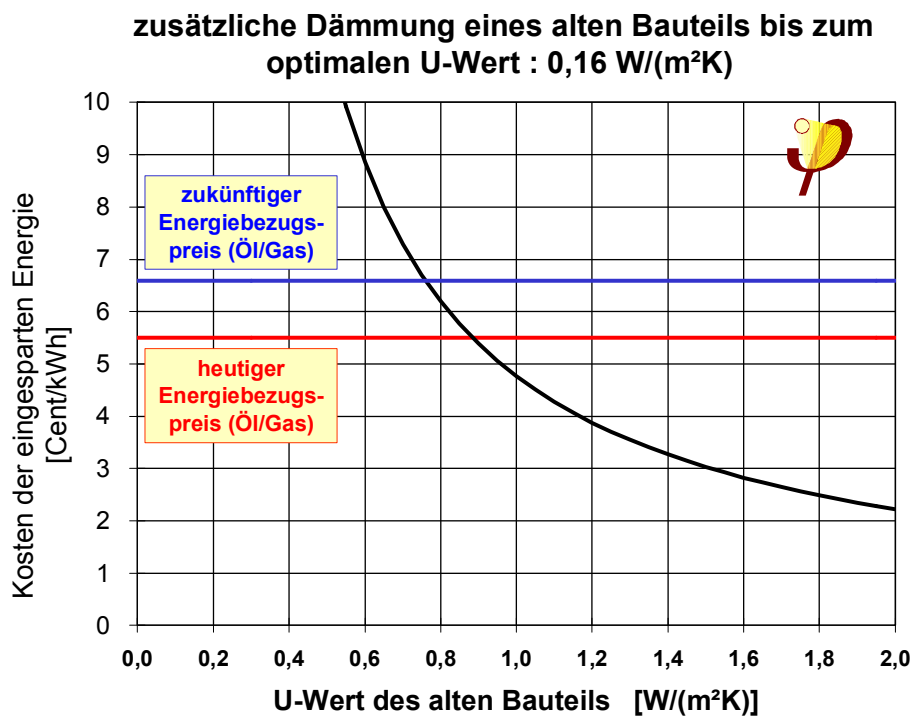


Abbildung 18: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlicher (Wärmedämmverbundsystem bei Neuanstrich).

5.4.1.3 Wärmedämm-Maßnahme mit einer Vorhangfassade

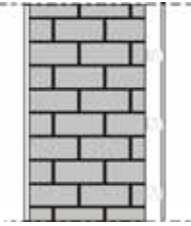
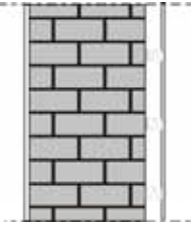
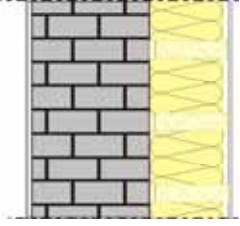
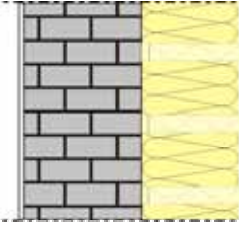
Besonders wirtschaftlich ist die Wärmedämmung der Außenwand, wenn eine bestehende Vorhangfassade erneuert wird (siehe Tabelle 19). Investitionen von 118 €/m² für den „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ bzw. 129 €/m² für den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ stehen Ohnehin-Kosten für die Fassaden-erneuerung von 60 €/m² gegenüber. Gegenüber den Ohnehin-Kosten (Gerüststellen, alte Schalung entfernen, neue Unterkonstruktion aufbringen) entstehen Mehrkosten durch die Montage der Wärmedämmung, das Anbringen einer verlängerten Unterkonstruktion, Anpassungsarbeiten im Bereich von Fensterlaibungen etc.

Die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie belaufen sich beim „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ auf nur 2,2 Cent und beim „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ auf 2,5 Cent und liegen damit weit unter den mittleren Energiekosten der Jahre 2006-2026 (inkl. Hilfsenergieanteil; vgl. Abschnitt 1), die mit 6,8 Cent/kWh angenommen wurden.

Die Zusatzinvestitionen für die Verbesserung des Wärmeschutzes sind dabei immer dann wirtschaftlich, wenn der U-Wert der Bestandsfassade größer als ca. 0,6 W/(m²K) ist (siehe Abbildung 20).

Auch im Fall der Kopplung der Wärmedämmung mit der anstehenden Erneuerung einer Vorhangfassade weist die Gewinnkurve (siehe Abbildung 19) ein sehr flaches Optimum auf, so dass ein U-Wert-Bereich von 0,25 bis 0,12 W/(m²K) als in wirtschaftlicher Hinsicht sinnvoll angesehen werden kann. Wegen der resultierenden Verminderung des CO₂-Ausstoßes und der Steigerung der Behaglichkeit ist ein U-Wert im besseren Bereich dieser Spanne empfehlenswert.

Tabelle 19: Wärmedämmung gekoppelt an eine Erneuerung einer Vorhangfassade

Energiesparmaßnahme: Außenwand, Unterkonstruktion & Wärmedämmung			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Erneuerung der Vorhangfassade			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Erneuerung der Vorhangfassade 1,41 W/(m²K)	Unterkonstruktion & Wärmedämmung 0,18 W/(m²K)	Unterkonstruktion & Wärmedämmung 0,12 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,3 °C	19,5 °C
Bauliche Investitionskosten:	60 €/m²	118 €/m²	129 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		58 €/m²	69 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts: Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		41%	41%
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		24 €/m² 34 €/m²	28 €/m² 41 €/m²
jährlicher Gewinn:		2,38 €/m²a 7,31 €/m²a	2,81 €/m²a 7,62 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		4,93 €/m²a	4,81 €/m²a
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		106,9 kWh/(m²a) 87%	111,4 kWh/(m²a) 91%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		2,2 Cent/kWh	2,5 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		117,6 kWh/(m²a)	122,5 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

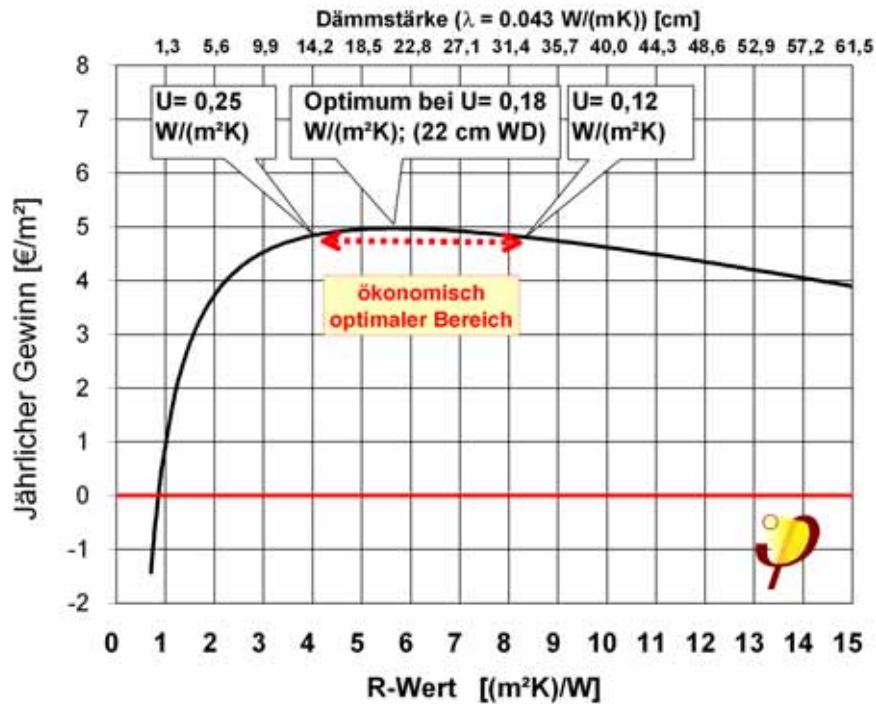


Abbildung 19: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Wärmedämmung einer Vorhangfassade (Ohnehin-Maßnahme: Erneuerung d. Vorhangfassade) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

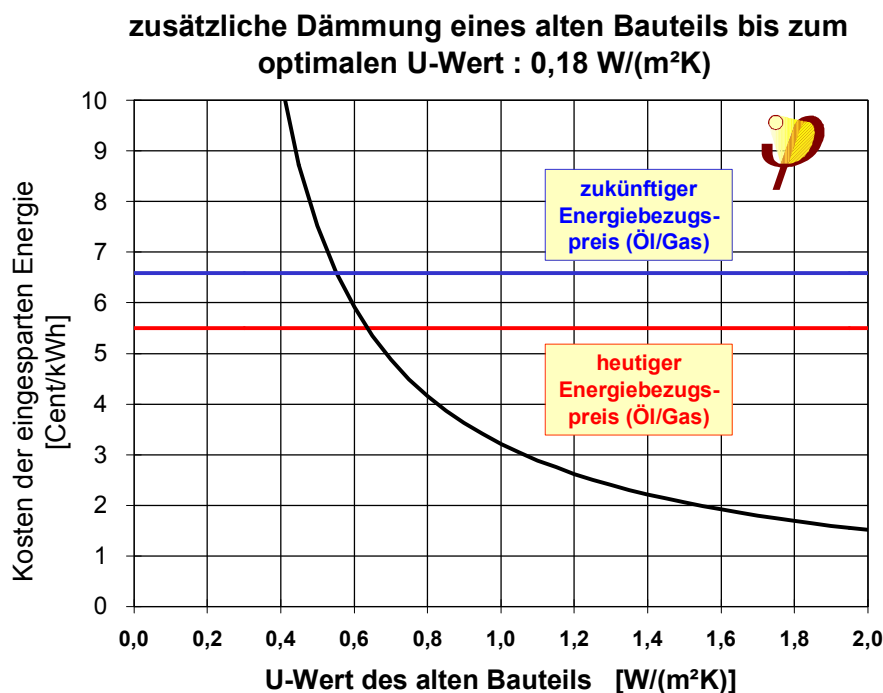


Abbildung 20: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Wärmedämmung einer Vorhangfassade bei Erneuerung d. Vorhangfassade).

5.4.1.4 Innendämmung einer Außenwand gekoppelt an neue Tapete

Innendämmung ist gegenüber der Außendämmung bauphysikalisch ungünstiger und bietet ein geringeres Energieeinsparpotential. Sinnvoll ist sie dann, wenn eine Außendämmung aus verschiedenen Gründen nicht in Frage kommt. Um Feuchteschäden zu vermeiden, muss einer bauphysikalisch korrekten Ausführung mit luftdichten Anschlüssen an die Raumumfassung besondere Beachtung geschenkt werden.

Wenn ohnehin die Tapeten erneuert werden müssen, ist die gleichzeitige Montage einer Innendämmung trotz der genannten Nachteile eine sehr wirtschaftliche Maßnahme. Eine Innendämmung mit 10 cm Dämmstärke verursacht Kosten von 43 €/m², die mit den Ohnehin-Kosten für die neue Tapete von 7 €/m² verrechnet werden können (siehe Tabelle 20). Dies führt zu Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie von 1,9 Cent (mittlere Energiekosten der Jahre 2006-2026 inkl. Hilfsenergieanteil: 6,8 Cent/kWh).

Wegen der Wärmebrückenwirkung der einbindenden Innenwände und -decken und zur Begrenzung des Raumverlusts wurde die untersuchte Dämmstärke auf 10 cm beschränkt. Daher sind hier der „wirtschaftlich gebotene“ und der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ identisch. Der durch die Innendämmung verursachte Raumverlust wird allerdings dadurch wieder relativiert, dass die Nutzbarkeit der außenwandnahen Raumbereiche verbessert wird, weil erst nach der Durchführung der Maßnahme

- eine ausreichende thermische Behaglichkeit in Außenwandnähe gegeben ist (Reduktion der Strahlungstemperaturasymmetrie).
- die Aufstellung eines Schanks an der Außenwand ohne die Gefahr, dass sich dahinter Schimmelpilz bildet, möglich ist.

Für die Berechnung wurde sowohl ein nomineller U-Wert, der den Standardaufbau der innengedämmten Wand beschreibt, als auch ein effektiver U-Wert, der die Wärmebrückenwirkung der einbindenden Innenwände und -decken bei einem vollständig innengedämmten Gebäude als Abschlag enthält, verwendet. In Tabelle 20 wird der nominelle U-Wert aufgeführt (0,28 W/(m²K)). Die Berechnung der Energieeinsparung wurde allerdings mit dem wesentlich schlechteren, effektiven U-Wert (0,52 W/(m²K)) durchgeführt.

Ist der U-Wert des alten Bauteils schlechter als 0,7 W/(m²K), ist diese Maßnahme wirtschaftlich (Abbildung 22). Eine bedingte Anforderung sollte greifen, wenn eine Wohnung komplett renoviert wird und geräumt wurde. Sofern Schränke und Einrichtungen an ungedämmten Außenwänden angeordnet sind, sollten diese im Rahmen einer Renovierung ohnehin weggenommen werden, da bei dieser Platzierung das Schimmelrisiko stark erhöht ist.

Mit Informationen und Qualifizierungsmaßnahmen im Handwerk sollte eine sachgerechte Ausführung der Innendämmung unterstützt werden. Eine komplette Wohnungsrenovierung könnte als auslösender Tatbestand vorgesehen werden,

wenn zumindest eine Erneuerung der Tapeten vorgesehen ist und die Wohnung hierzu leer steht (Mieterwechsel, Eigentümerwechsel).

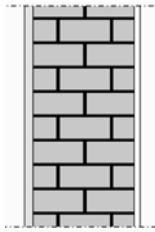
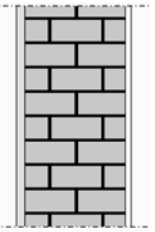
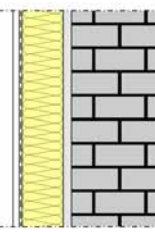
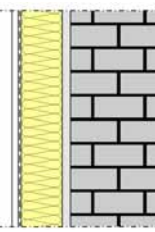
Eine Außendämmung ist bauphysikalisch günstiger und führt zu höheren Energieeinsparungen (weniger Wärmebrücken), daher sollte es erlaubt sein, von der Innendämmung abzusehen, wenn innerhalb eines überschaubaren Zeitraums eine Außendämmung durchgeführt wird. Wird eine Innendämmung unterlassen, könnte eine Verpflichtung zur Anbringung einer Außendämmung innerhalb der nächsten beispielsweise 15 Jahren erfolgen.

Wohnungsweise Durchführung der Maßnahme

Innendämmung führt dazu, dass das außen liegende Mauerwerk stärker abkühlt, weil von den beheizten Innenoberflächen weniger Wärme nach außen dringt. Werden nur einzelne Wohnungen in einem größeren Gebäude mit Innendämmung ausgestattet, dann taucht die Frage auf, ob dieser Effekt in einer angrenzenden Nachbarwohnung ohne Innendämmung zu einer kritischen Verringerung der Innenoberflächentemperaturen führen würde im Vergleich zum Zustand ganz ohne Innendämmung. Tatsächlich führt eine Innendämmung in der angrenzenden ungedämmten Wohnung dazu, dass die Oberflächentemperaturen in der Wandkante absinken. Allerdings ist dies bei Mauerwerkswänden im Gebäudebestand nur eine geringfügige Verschlechterung im Vergleich zur ohnehin sehr kritischen Ausgangssituation (vgl. Abschnitt 16.1 im Anhang).

Eine wohnungsweise Innendämm-Maßnahme sollte daher nicht ausgeschlossen werden, vielmehr sollte auf eine bauphysikalisch einwandfreie Ausführung hingewiesen werden.

Tabelle 20: Innendämmung einer Außenwand gekoppelt an neue Tapete

Energiesparmaßnahme: Außenwand; Innendämmung mit Luftdichtung			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: neue Tapete			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
Außenwand mit Tapete	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	neue Tapete 1,41 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,28 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,28 W/(m²K)
			
10 cm Dämmung (035) mit R-Wert = 2,86 m²K/W	10 cm Dämmung (035) mit R-Wert = 2,86 m²K/W	18,0 °C	18,0 °C
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	43 €/m²	43 €/m²
Bauliche Investitionskosten:	7 €/m²	36 €/m²	36 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		41%	41%
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		15 €/m²	15 €/m²
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		21 €/m²	21 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		1,47 €/m²a	1,47 €/m²a
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		5,27 €/m²a	5,27 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		3,80 €/m²a	3,80 €/m²a
jährlicher Gewinn:		77,1 kWh/(m²a)	77,1 kWh/(m²a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt ¹⁾ :		63%	63%
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil ¹⁾ :		1,9 Cent/kWh	1,9 Cent/kWh
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		85 kWh/(m²a)	85 kWh/(m²a)
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):			
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a	
	Kalkulationsdauer: 20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad: 90%	
	Annuität: 6,9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh	
		Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

1) Zur Berechnung wurde ein effektiver U-Wert verwendet, der typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt.

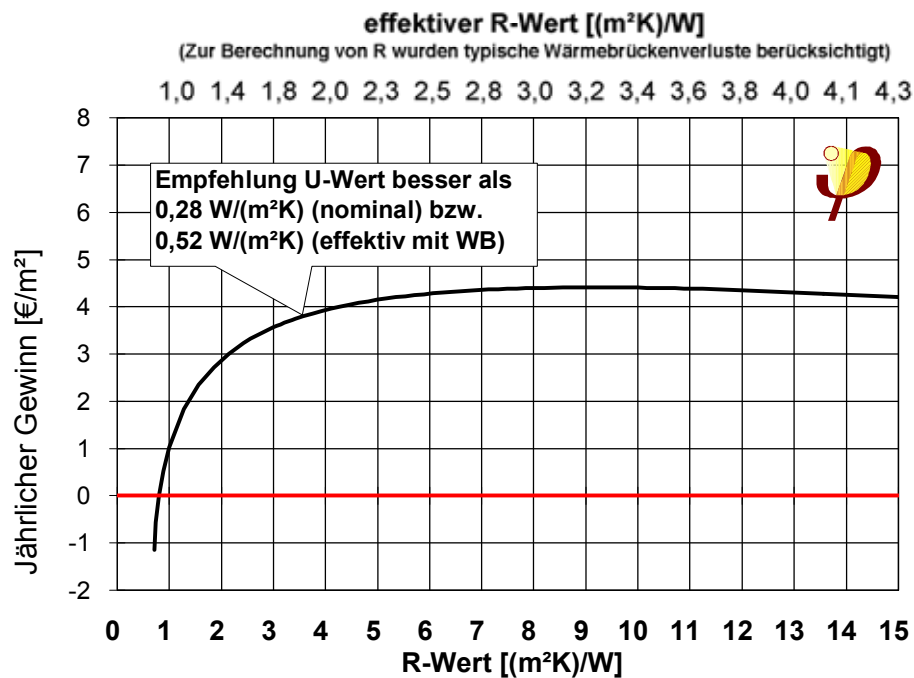


Abbildung 21: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Innendämmung einer Außenwand (Ohnehin-Maßnahme: neue Tapete) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

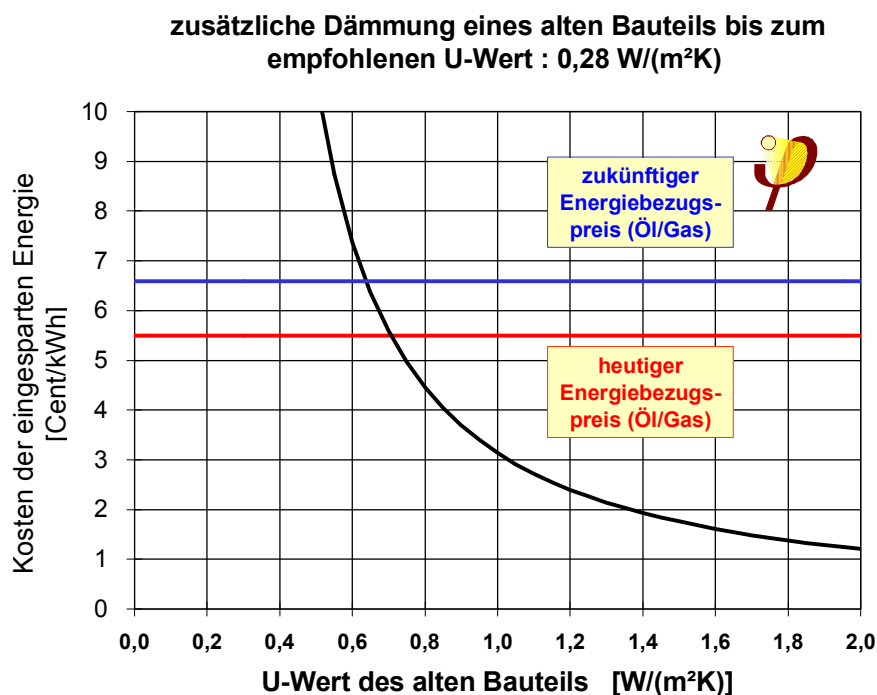


Abbildung 22: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Innendämmung bei Erneuerung der Tapete).

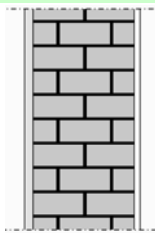
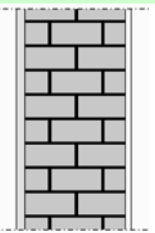
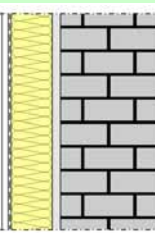
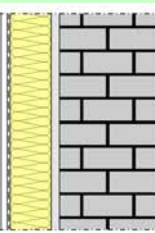
5.4.1.5 Innendämmung einer Außenwand (Erneuerung des Innenputzes und Tapete)

Im selteneren Fall, dass nicht nur die Tapete sondern auch der Innenputz erneuert werden muss, wird eine mit dieser Maßnahme gekoppelte Innendämmung wirtschaftlich noch attraktiver (für allgemeine Bemerkungen zur Innendämmung siehe den vorangehenden Abschnitt 5.4.1.4). Dies liegt an den höheren Ohnehin-Kosten für die Erneuerung des Innenputzes von 25 €/m² (vgl. Tabelle 21).

Aus den genannten Gründen wurde auch hier die Dämmstärke auf 10 cm begrenzt, und es besteht kein Unterschied zwischen „wirtschaftlich gebotenem“ und „zukunftsweisendem Wärmeschutz“. Daher bleiben die resultierenden U-Werte ebenfalls bei (0,28 W/(m²K) für den nominellen U-Wert und (0,52 W/(m²K) für den effektiven U-Wert, der zusätzlich noch die Wärmebrückenverlust enthält.

Die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde betragen nur noch 1,0 Cent (mittlere Energiekosten der Jahre 2006-2026 inkl. Hilfsenergieanteil: 6,8 Cent/kWh). Damit ist die Maßnahme bis zu einem U-Wert des alten Bauteils von ca. 0,5 W/(m²K) wirtschaftlich (vgl. Abbildung 24).

Tabelle 21: Innendämmung einer Außenwand gekoppelt an Ausbesserung von Innenputz und Tapeten

Energiesparmaßnahme: Außenwand; Innendämmung mit Luftdichtung			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Ausbesserung von Innenputz, neue Tapete			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
Außenwand mit Tapete	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Ausbesserung von Innenputz, neue Tapete 1,41 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,28 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,28 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	18,0 °C	18,0 °C
Bauliche Investitionskosten:	25 €/m²	43 €/m²	43 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		18 €/m²	18 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		7 €/m²	7 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		11 €/m²	11 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		0,74 €/m²a	0,74 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		5,27 €/m²a	5,27 €/m²a
jährlicher Gewinn:		4,54 €/m²a	4,54 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt ¹⁾ :		77,1 kWh/(m²a)	77,1 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil ¹⁾ :		63%	63%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		1,0 Cent/kWh	1,0 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		85 kWh/(m²a)	85 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

1) Zur Berechnung wurde ein effektiver U-Wert verwendet, der typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt.

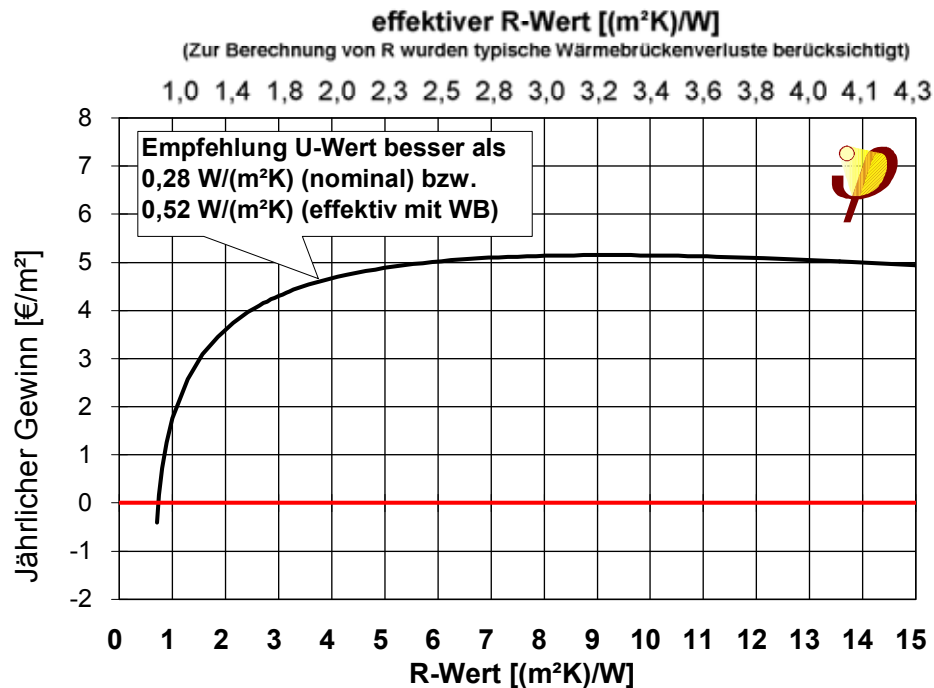


Abbildung 23: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Innendämmung einer Außenwand (Ohnehin-Maßnahme: Ausbesserung Innenputz, Tapete) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

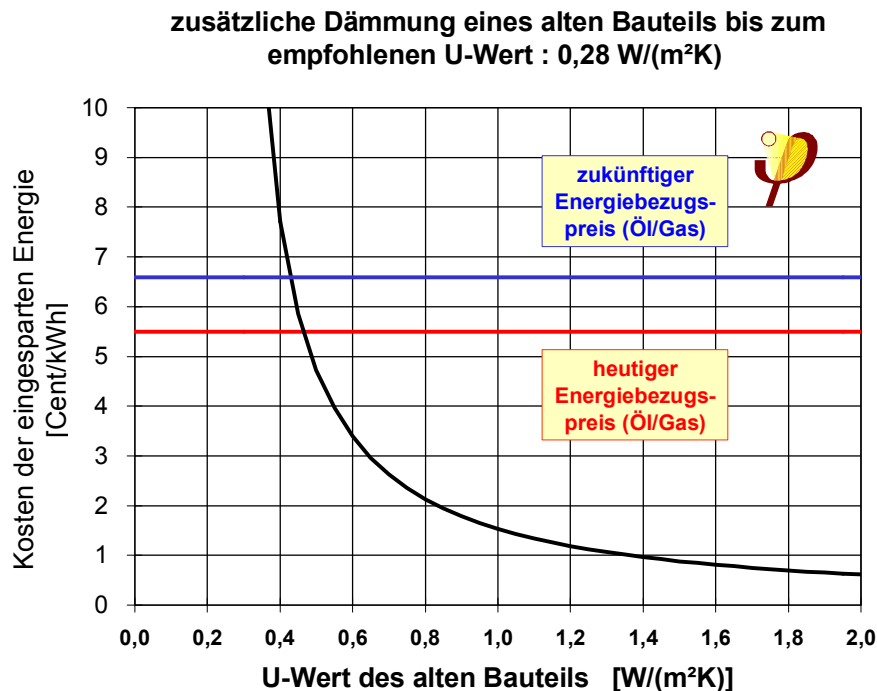


Abbildung 24: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Innendämmung bei Ausbesserung des Innenputzes, Tapete).

5.4.1.6 Dachüberstand und Fenstereinbau bei Wärmedämm-Maßnahmen an der Außenwand

Ein häufiger vorgebrachter Grund gegen höhere Dämmstärken im Außenwandbereich ist ein unzureichender Dachüberstand. Die Investitionskosten der Dachverlängerung an Trauf- oder Giebelseite müssen ggf. den Kosten der Wärmeschutz-Maßnahme an der Außenwand zugeschlagen werden. Dies erfolgt im Anhang in Abschnitt 16.6. Die Investitionskosten erhöhen sich hierdurch um etwa 16 €/m² Fassadenfläche) bei einem zweigeschossigen Gebäude. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie erhöhen sich hierdurch gegenüber dem Basisfall auf 3,1 (bei Kopplung mit einer Putzerneuerung) bzw. auf 3,9 Cent/kWh (kombiniert mit einem ohnehin fälligen Neuanstrich) für den wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz. Die Fassadendämmung ist daher, auch im ungünstigen Falle eines unzureichenden Dachüberstands, eine wirtschaftlich sehr attraktive Maßnahme.

Ein ungünstiger Fenstereinbau von bereits erneuerten Fenstern verringert den wirtschaftlichen Vorteil der Fassadendämmung. Die Fenster werden bei noch ungedämmten Außenwänden regelmäßig in der Mitte des Mauerwerks eingebaut. Das Fenster kann in diesem Fall mit Dämmstreifen in der Laibung oben und seitlich an die Fassadendämmung angeschlossen werden (vgl. im Anhang Abschnitt 16.7). Dies führt gegenüber einem guten Fenstereinbau zu zusätzlichen Wärmebrückenverlusten; die Wirtschaftlichkeit der Fassadendämmung bleibt allerdings nahezu unverändert. Ggf. kann sogar das Demontieren und Versetzen der Fenster in die Dämmebene rentabel sein.

5.4.2 Wärmedämm-Maßnahmen am geneigten Dach

Soll ein bestehendes Dach nachträglich gedämmt werden, so gibt es verschiedene Ausführungsmöglichkeiten. Welche Variante am sinnvollsten ist, hängt davon ab, wie hoch die gewünschte Dämmstärke ist und welcher Teil der Dachkonstruktion erneuerungsbedürftig ist.

Bei Wärmedämmmaßnahmen am Dach ohne gleichzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwände, sollte möglichst daran gedacht werden, im Zuge der Sanierungsarbeiten die Dachüberstände so herzustellen, dass für eine spätere Aufdopplung der Außenwand mit Wärmedämmung genügend Platz vorhanden ist.

Für die Untersuchung wurde bei allen Varianten ein Steildach mit 14 cm Sparrenhöhe und 15 % Holzanteil zur Grundlage genommen, wie es für viele Bestandgebäude typisch ist.

5.4.2.1 Aufsparrendämmung gekoppelt an Maßnahme Neueindeckung

Eine Erneuerung der Dacheindeckung ist eine recht kostenintensive Maßnahme. Auch ohne eine gleichzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes fallen Kosten in Höhe von 70 €/m² für das Aufstellen des Gerüsts, das Abtragen und Entsorgen der alten Dacheindeckung, sowie die Neumontage von Unterspannbahn, Dachlattung, gegebenenfalls Konterlattung und Dacheindeckung sowie für Nacharbeiten an.

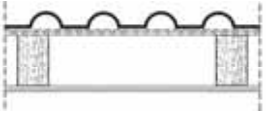
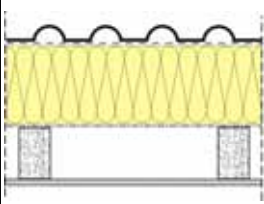
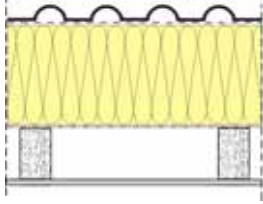
Wird das Dach ohnehin neu eingedeckt, so bietet sich die gleichzeitige Montage einer Aufsparrendämmung an, da hierfür bei einem ausgebauten Dach die bestehende Dachinnenverkleidung nicht verändert werden muss. Es wird lediglich eine zusätzliche Dämmlage auf den Sparren z. B. auf einer Holzschalung angebracht. Konterlattung, Dachlattung und Eindeckung werden auf der Wärmedämmung montiert. Für die Aufsparrendämmung sind auch fertige Systeme auf dem Markt erhältlich.

Für eine Aufsparrendämmung sind Mehrinvestitionen für das Auflegen und Befestigen der Wärmedämmung (z. B. Verschrauben der Wärmedämmung in der Dachschalung) in Höhe von 55 € für den „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ bzw. 66 € für den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ nötig (Tabelle 22). Dabei entstehen relativ geringe Kosten für die eingesparte Kilowattstunde von 1,8 bzw. 2,1 Cent, was die Maßnahme sehr wirtschaftlich macht.

Die Gewinnkurve hat in Ihrem Maximum einen recht flachen Verlauf, so dass das wirtschaftliche Optimum in der breiten Spanne von $U = 0,24$ bis $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt (Abbildung 25). Wegen der dadurch erzielbaren besseren thermischen Behaglichkeit und der stärkeren Reduktion der CO₂-Emissionen ist allerdings der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ mit einem U-Wert von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ empfehlenswerter.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass eine Verbesserung des Wärmeschutzes durch eine Aufsparrendämmung bei einer ohnehin nötigen Erneuerung der Dacheindeckung ab einem U-Wert des alten Bestandsdachs von $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wirtschaftlich ist (Abbildung 26).

Tabelle 22: Aufsparrendämmung gekoppelt an Maßnahme Neueindeckung

Energiesparmaßnahme: Dach, Aufsparrendämmung (von oben)			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Neueindeckung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmtes Dach	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,60 W/(m²K)	Neueindeckung	Aufsparrendämmung (von oben)	Aufsparrendämmung (von oben)
	1,60 W/(m²K)	0,17 W/(m²K)	0,12 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	13,8 °C	19,3 °C	19,5 °C
Bauliche Investitionskosten:	70 €/m²	125 €/m²	136 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:			
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:			
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :			
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:			
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :			
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)			
jährlicher Gewinn:		6,22 €/m²a	6,10 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		123,9 kWh/(m²a)	128,4 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		89%	93%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		1,8 Cent/kWh	2,1 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :			
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		136,3 kWh/(m²a)	141,2 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,27% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad: 90%
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh

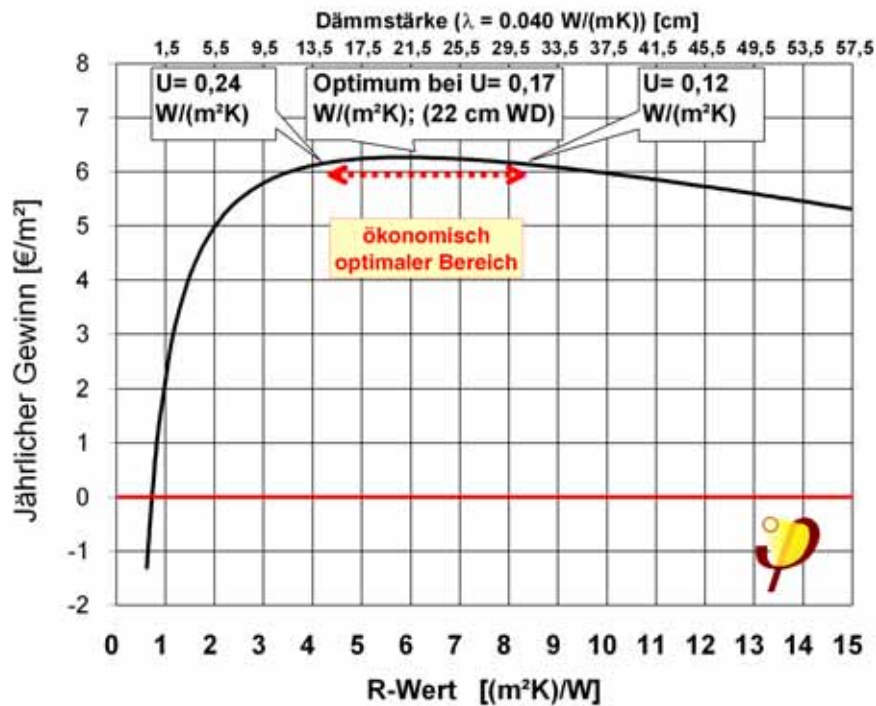


Abbildung 25: Mittlerer jährlicher Gewinn durch eine Aufsparrendämmung (Ohnehin-Maßnahme: Neueindeckung) in Anhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

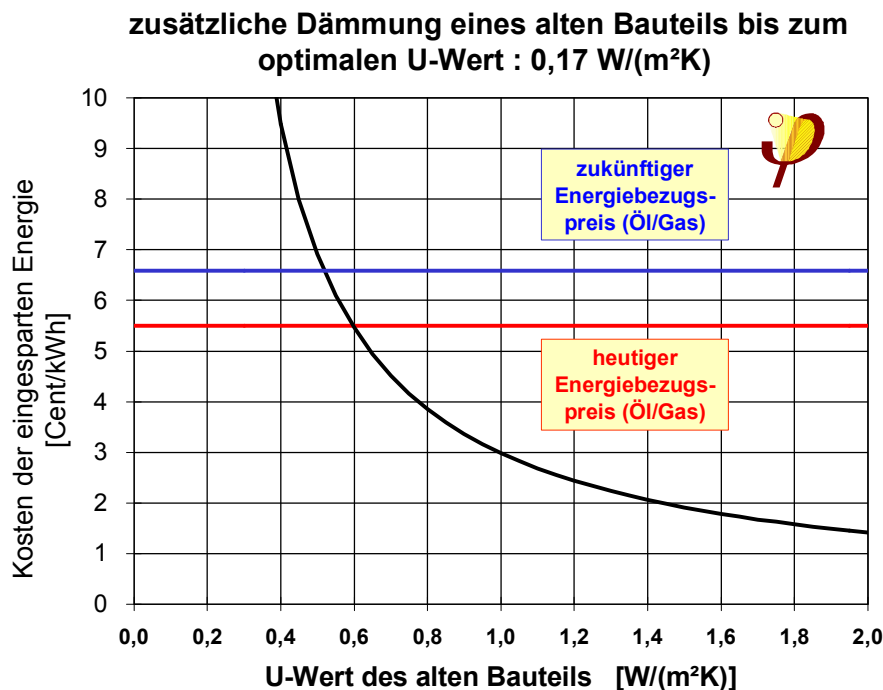


Abbildung 26: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Aufsparrendämmung bei Neueindeckung).

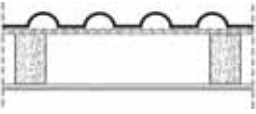
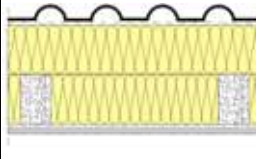
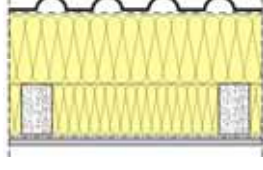
5.4.2.2 Auf- und Zwischensparrendämmung gekoppelt an Maßnahme Neueindeckung

Für eine nachträgliche Zwischensparrendämmung, die im Zuge einer ohnehin anstehenden Neueindeckung des Daches durchgeführt werden soll, wird der Dämmstoff von oben in die Sparrenzwischenräume eingelegt, wofür die bestehende Dachinnenverkleidung nicht verändert werden muss. Da für die Zwischensparrendämmung bei der hier angenommenen Sparrenhöhe von 14 cm nur ein sehr begrenzter Raum zur Verfügung steht, welcher keine Dämmstärke im Bereich des wirtschaftlichen Optimums erlaubt, wurde in diesem Fall die Zwischensparrendämmung mit einer Aufsparrendämmung, vergleichbar mit der im vorangehenden Abschnitt 5.4.2.1 beschriebenen Variante, kombiniert.

Die Ohnehin-Kosten für die Erneuerung der Dacheindeckung liegen ebenfalls analog zur Aufsparrendämmung bei 70 €/m² (Tabelle 23). Die Mehrkosten für die Wärmedämmmaßnahme liegen mit 56 („wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz“) bzw. 73 €/m² („zukunftsweisender Wärmeschutz“) nur geringfügig über den Kosten für eine reine Aufsparrendämmung. Die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie sind mit 1,8 bzw. 2,3 Cent ebenfalls sehr niedrig.

Die wirtschaftlich optimale Maßnahme ist ab einem U-Wert des alten Dachaufbaus von ca. 0,6 W/(m²K) rentabel (vgl. Abbildung 28).

Tabelle 23: Auf- und Zwischensparrendämmung gekoppelt an Maßnahme Neueindeckung

Energiesparmaßnahme: Dach; Auf- und Zwischensparrendämmung			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Neueindeckung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmtes Dach U-Wert: 1,60 W/(m²K) 	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung Neueindeckung 1,60 W/(m²K) 	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung: Auf- und Zwischensparrendämmung 0,17 W/(m²K) 	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung: Auf- und Zwischensparrendämmung 0,12 W/(m²K) 
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	13,8 °C	19,3 °C	19,5 °C
Bauliche Investitionskosten:	70 €/m²	126 €/m²	136 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		56 €/m²	66 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		23 €/m²	27 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		33 €/m²	39 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		2,29 €//(m²a)	2,72 €//(m²a)
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		8,48 €//(m²a)	8,78 €//(m²a)
jährlicher Gewinn:		6,19 €//(m²a)	6,06 €//(m²a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		123,9 kWh/(m²a)	128,4 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		89%	93%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie : zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :		1,8 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh	2,1 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		136,3 kWh/(m²a)	141,2 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

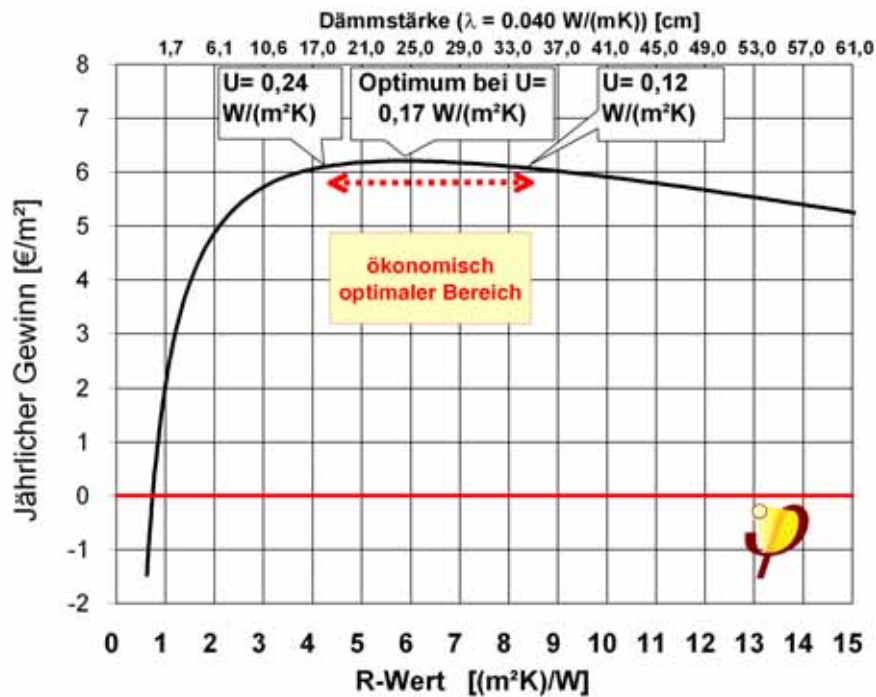


Abbildung 27: Mittlerer jährlicher Gewinn durch eine Auf- und Zwischensparrendämmung (Ohnehin-Maßnahme: Neueindeckung) in Anhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

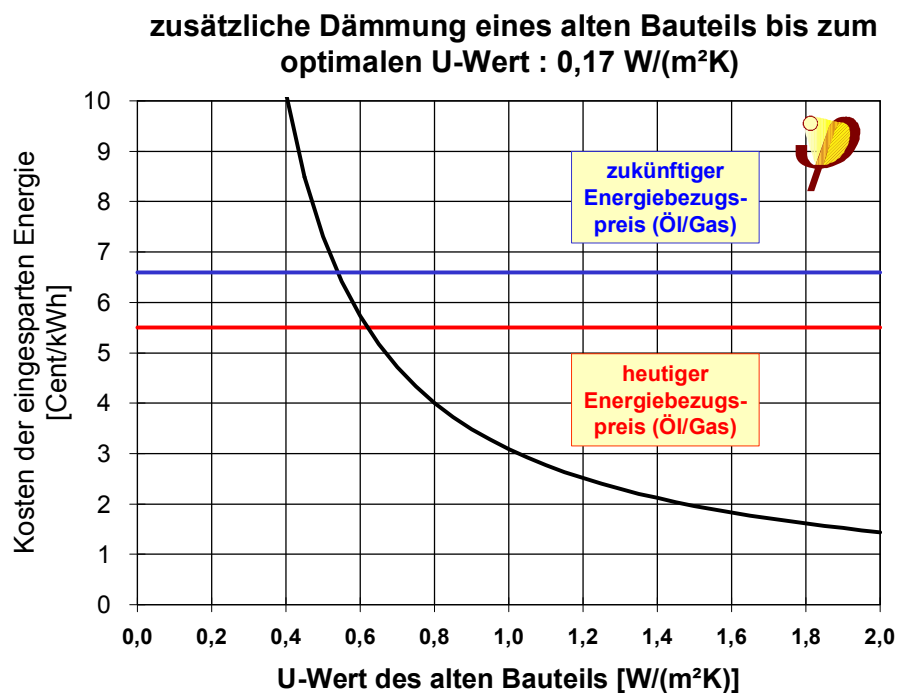


Abbildung 28: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Auf- und Zwischensparrendämmung bei Neueindeckung).

5.4.2.3 Zwischen- und Untersparrendämmung bei Erneuerung der Dach-Innenverkleidung

Wie schon einleitend bemerkt, wird die wirtschaftlich günstigste Lage der nachträglichen Wärmedämmung im Dach meist davon bestimmt, welcher Teil des Dachaufbaus aktuell erneuert werden muss. Wird nicht die Dacheindeckung sondern die Dachinnenverkleidung erneuert, oder wird diese bei einem Dachausbau erstmalig angebracht, so bietet sich eine Zwischensparrendämmung, bei der der Dämmstoff von unten eingebracht wird, in Kombination mit einer Untersparrendämmung an. Die Untersparrendämmung wird nötig, da der Sparrenzwischenraum meist nicht ausreichend groß für eine wirtschaftlich optimale Dämmstärke ist. Allerdings kann auch die Untersparrendämmung nicht in beliebiger Dicke ausgeführt werden, da dem konstruktive Gründe und der resultierende Raumverlust entgegenstehen. Daher wird in dieser Untersuchung die Stärke der Untersparrendämmung auf 10 cm begrenzt. Dies hat zur Folge, dass die wirtschaftlich optimale Dämmstärke nicht erreicht wird. In diesem Fall sind daher der „wirtschaftlich gebotene Wärmeschutz“ und der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ identisch.

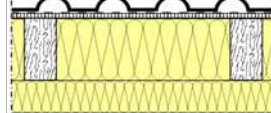
Wichtig ist besonders beim Dachausbau die luftdichte Ausführung aller Anschlüsse, um sowohl die thermische Behaglichkeit als auch die Schadensfreiheit der Konstruktion zu gewährleisten.

Bei der Ohnehin-Maßnahme „Erneuerung der Dachinnenverkleidung“ fallen Kosten für die Demontage der alten Verkleidung und die Montage der neuen, das Tapezieren und den Neuanstrich in Höhe von 20 €/m² an. Die Mehrkosten für die Wärmedämmmaßnahme betragen 58 €/m².

Bei dieser Maßnahme liegt das baupraktische Optimum bei $U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Es ist durch die Begrenzung der Dämmstärke nicht identisch mit dem wirtschaftlichen Optimum, welches bei einem noch besseren U-Wert läge (Abbildung 29).

Die Maßnahme ist ab einem U-Wert des alten Dachaufbaus von ca. $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wirtschaftlich durchführbar (Abbildung 30). Mit Kosten für die eingesparte Kilowattstunde von 1,9 Cent ist die Maßnahme äußerst rentabel.

Tabelle 24: Zwischen- und Untersparrendämmung gekoppelt an Maßnahme neue Dach-Innenverkleidung

Energiesparmaßnahme: Dach; Unter- & Zwischensparrendämmung Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Neue Dach-Innenverkleidung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmtes Dach U-Wert: 1,60 W/(m²K)	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung Neue Dach-Innenverkleidung 1,60 W/(m²K)	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung: Unter- & Zwischensparrendämmung 0,16 W/(m²K)	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung: Unter- & Zwischensparrendämmung 0,16 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft Bauliche Investitionskosten:	13,8 °C 20 €/m²	24 cm Dämmung (035) mit R-Wert = 5,7 m²K/W 19,4 °C 78 €/m²	24 cm Dämmung (035) mit R-Wert = 5,7 m²K/W 19,4 °C 78 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum : Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts: Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme : jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.) jährlicher Gewinn:		58 €/m² 41% 23 €/m² 34 €/m² 2,36 €/m²a 8,55 €/m²a 6,18 €/m²a	58 €/m² 41% 23 €/m² 34 €/m² 2,36 €/m²a 8,55 €/m²a 6,18 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt : Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		125,0 kWh/(m²a) 90%	125,0 kWh/(m²a) 90%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie : zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :		1,9 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh	1,9 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		137,5 kWh/(m²a)	137,5 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

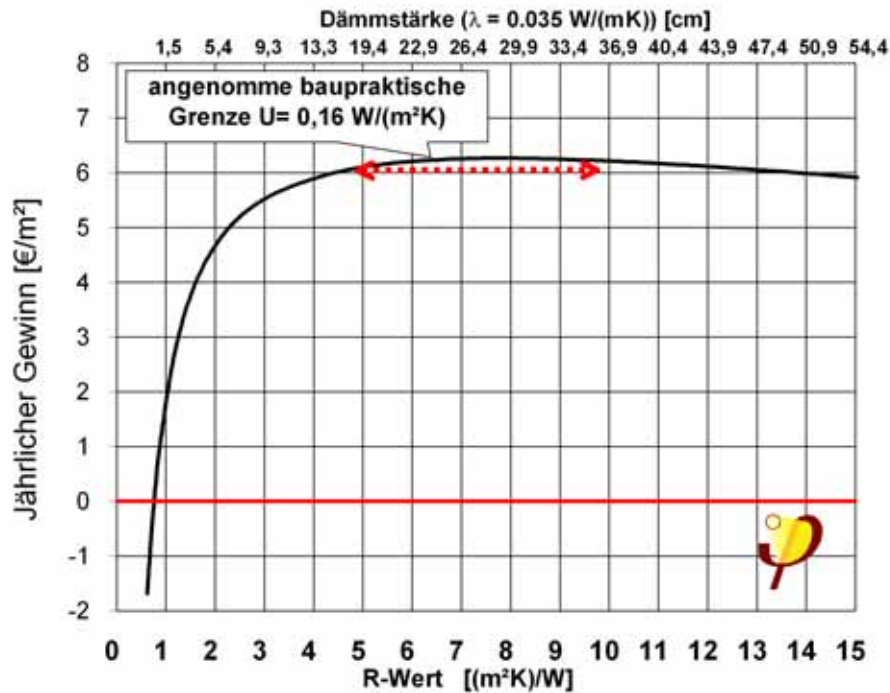


Abbildung 29: Mittlerer jährlicher Gewinn durch eine Unter- und Zwischensparrendämmung (Ohnehin-Maßnahme: neue Dach-Innenverkleidung) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

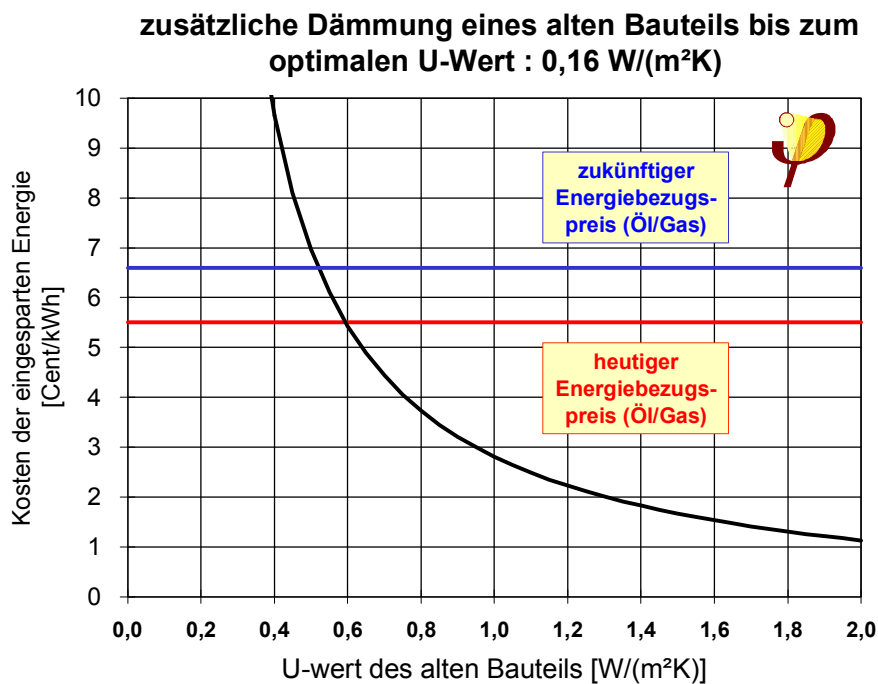


Abbildung 30: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Unter- und Zwischensparrendämmung bei neuer Dach-Innenverkleidung).

5.4.3 Wärmedämm-Maßnahmen am Flachdach

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von nachträglichen Wärmedämmmaßnahmen am Flachdach wurde ein sanierungsbedürftiges, nur wenig gedämmtes, unbelüftetes Flachdach mit Kiesdeckung im Bestand als Ausgangssituation angenommen. Wird im Zuge einer Erneuerung der Flachdachabdichtung Wärmedämmung aufgebracht, so kann nach einer Empfehlung des Fraunhoferinstituts für Bauphysik die alte Dämmung belassen werden, selbst wenn sie, was den Ausnahmefall darstellt, schadensbedingt durchfeuchtet ist (vgl. [Spilker 2006]).

Als Ohnehin-Kosten für die Erneuerung der Dachabdichtung, die das Stellen des Gerüsts, das Abtragen des Kies und der alten Dachabdichtung, sowie das Aufbringen der neuen Abdichtung und der neuen Kiesschicht enthalten, können 50 €/m² angesetzt werden.

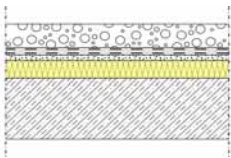
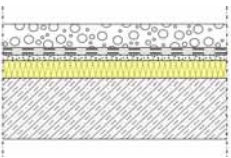
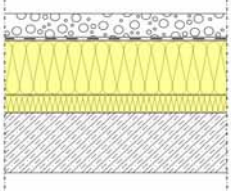
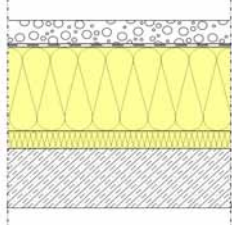
5.4.3.1 Zusätzliche Wärmedämmung unter der neuen Dachabdichtung

Wird bei einer anstehende Sanierung der Dachabdichtung zusätzliche Wärmedämmung unterhalb der Dachabdichtung (Warmdach) aufgebracht, so entstehen dafür zusätzliche Kosten für den „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ von 60 €/m² und für den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ von 69 €/m². Der U-Wert verbessert sich von 1,1 W/(m²K) auf 0,16 W/(m²K) bzw. 0,11 W/(m²K). Mit Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Energie von 3,0 bzw. 3,3 Cent (vgl. Tabelle 25) ist die Maßnahme sehr viel günstiger als der alternative Energiebezug für 6,8 Cent/kWh (mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil).

Die Kostenkurve (Abbildung 31) verläuft auch hier in ihrem Maximum sehr flach, so dass der jährliche Gewinn durch die Maßnahme beim „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ nahezu genauso hoch wie beim „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ ist. Aus Gründen der zukünftigen Versorgungssicherheit und zur Reduktion der CO₂-Emissionen empfiehlt es sich daher den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ zu wählen.

Bis zu einem U-Wert des alten Dachaufbaus von ca. 0,65 W/(m²K) ist diese Maßnahme wirtschaftlich (Abbildung 32).

Tabelle 25: Zusätzliche Wärmedämmung bei Warmdach gekoppelt an eine Erneuerung der Dachabdichtung

Energiesparmaßnahme: Flachdach, Zusätzl. Wärmedämmung in Warmdachaufbau			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Erneuerung der Dachabdichtung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
Unbelüftetes Flachdach (wenig gedämmt)	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,10 W/(m²K)	Erneuerung der Dachabdichtung	Zusätzl. Wärmedämmung in Warmdachaufbau	Zusätzl. Wärmedämmung in Warmdachaufbau
			
U-Wert: 1,10 W/(m²K)	1,10 W/(m²K)	0,16 W/(m²K)	0,11 W/(m²K)
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	15,7 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	50 €/m²	110 €/m²	119 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		60 €/m²	69 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren			
Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :			
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		24 €/m²	28 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		35 €/m²	41 €/m²
jährliche Heizkosteneinsparung:		2,45 €/m²a	2,81 €/m²a
(mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		5,59 €/m²a	5,87 €/m²a
jährlicher Gewinn:		3,14 €/m²a	3,05 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		81,7 kWh/(m²a)	85,8 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		86%	90%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		3,0 Cent/kWh	3,3 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		89,8 kWh/(m²a)	94,3 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

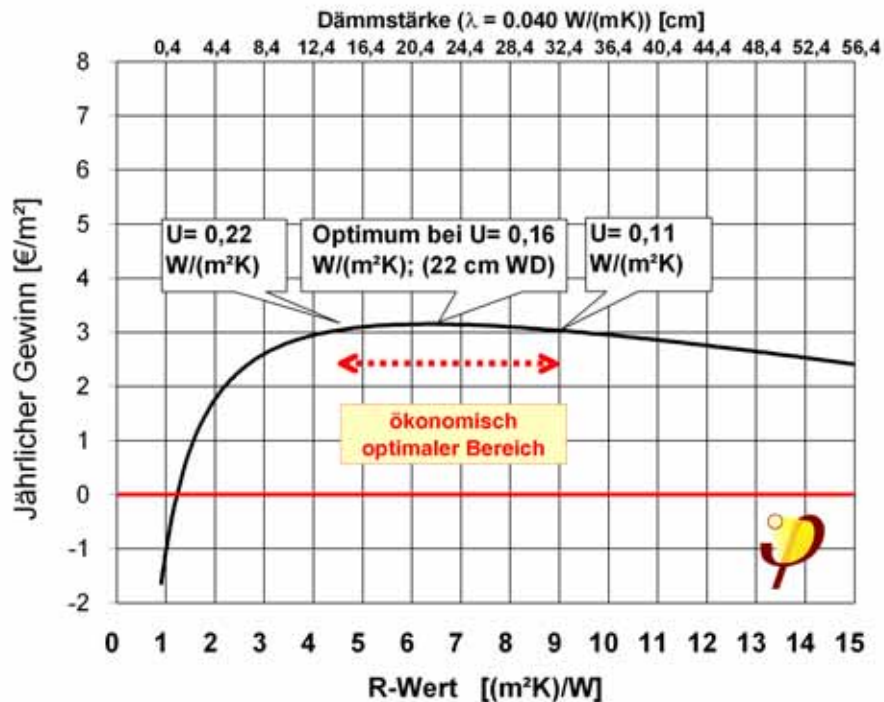


Abbildung 31: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die zusätzliche Wärmedämmung eines unbelüfteten Flachdachs (Ohnehin-Maßnahme: neue Dachabdichtung) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

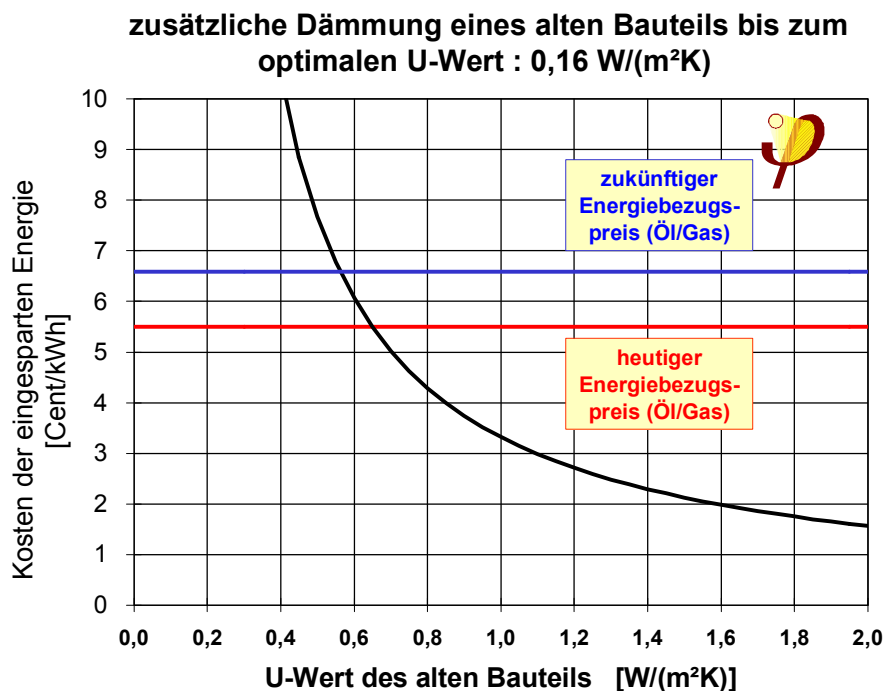


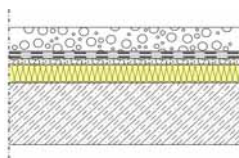
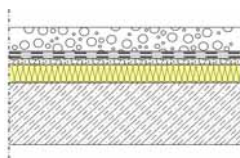
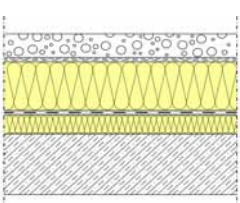
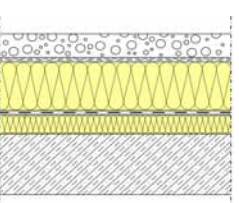
Abbildung 32: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Zusätzliche Wärmedämmung eines unbelüfteten Flachdachs unter der neuen Dachabdichtung).

5.4.3.2 Zusätzliche Wärmedämmung auf der neuen Dachabdichtung – Plusdach

Eine weitere Möglichkeit bei einer Sanierung der Dachabdichtung eines Flachdachs zusätzliche Wärmedämmung aufzubringen besteht darin, die Lage der wasserführenden Schicht nicht zu verändern und die Dämmung *auf* die sanierte Dachabdichtung zu legen. Die Zusatzdämmung aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten wird mit Kies gesichert und bietet der Dachabdichtung einen zusätzlichen Schutz vor mechanischen und thermischen Belastungen.

Die Maßnahme „Plusdach“ ist mit Kosten der eingesparten Endenergie von 2,8 Cent/kWh („wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz“) ebenfalls sehr wirtschaftlich. Da derzeit höhere Dämmstärken in einlagiger Ausführung kaum markverfügbar sind, wurde der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ mit gleicher Dämmstärke angesetzt. Für das Erreichen des Flachdach-U-Werts von $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ entstehen zusätzliche Kosten von 53 €/m^2 (Tabelle 26). Bis zu einem im Bestand vorhandenen U-Wert des Flachdachs von $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist das Aufbringen zusätzlicher Wärmedämmung oberhalb der wasserführenden Schicht bei einer Erneuerung der Dachabdichtung wirtschaftlich (Abbildung 34).

Tabelle 26: Zusätzliche Wärmedämmung auf der neuen Dachabdichtung – Plusdach, gekoppelt an eine Erneuerung der Dachabdichtung

Energiesparmaßnahme: Flachdach, Plusdach (Umkehrdach auf Dachabdichtung)			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Erneuerung der Dachabdichtung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
Unbelüftetes Flachdach (wenig gedämmt)	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,10 W/(m²K)	Erneuerung der Dachabdichtung 1,10 W/(m²K)	Plusdach (Umkehrdach auf Dachabdichtung) 0,19 W/(m²K)	Plusdach (Umkehrdach auf Dachabdichtung) 0,19 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	15,7 °C	19,3 °C	19,3 °C
Bauliche Investitionskosten:	50 €/m²	103 €/m²	103 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		53 €/m²	53 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		22 €/m²	22 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		32 €/m²	32 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		2,18 €/(m²a)	2,18 €/(m²a)
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		5,40 €/(m²a)	5,40 €/(m²a)
jährlicher Gewinn:		3,21 €/(m²a)	3,21 €/(m²a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		78,9 kWh/(m²a)	78,9 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		83%	83%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		2,8 Cent/kWh	2,8 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		86,8 kWh/(m²a)	86,8 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

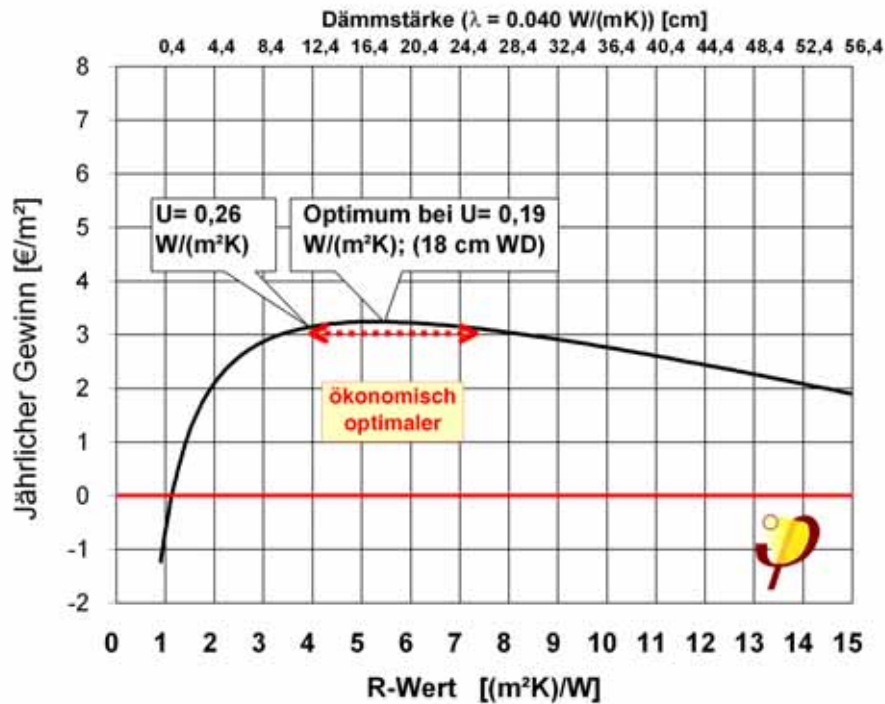


Abbildung 33: Mittlerer jährlicher Gewinn durch ein Plusdach (Ohnehin-Maßnahme: neue Dachabdichtung) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

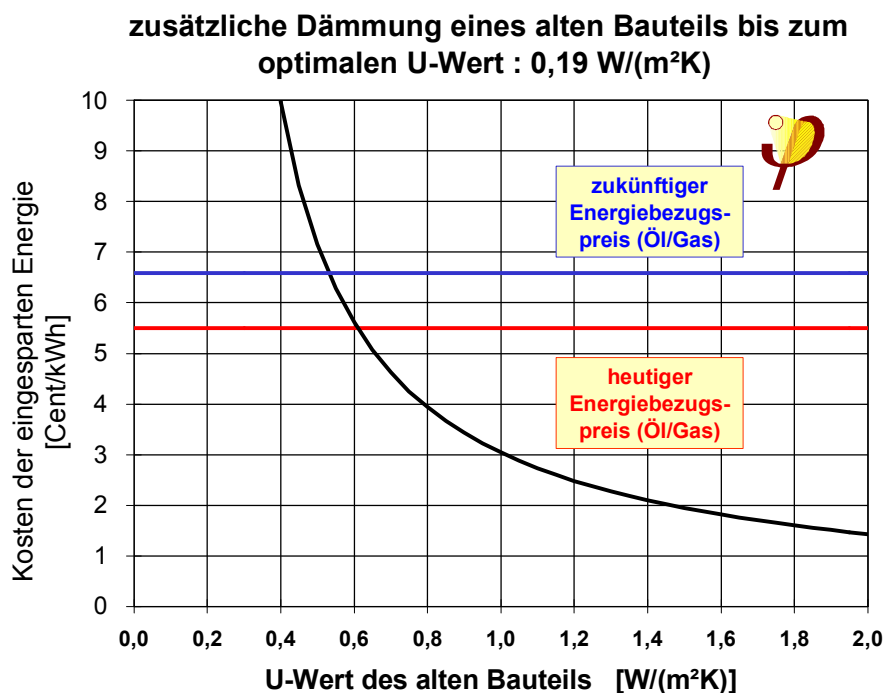


Abbildung 34: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Plusdach bei Erneuerung der Dachabdichtung).

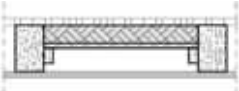
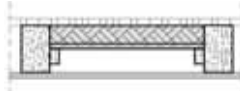
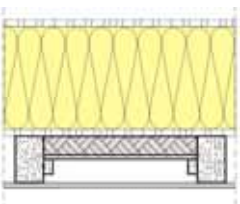
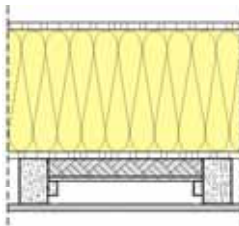
5.4.4 Wärmedämmung der obersten Geschossdecke

Ist der Dachboden unbeheizt, so kann die Wärmedämmung statt in der Dachkonstruktion untergebracht zu werden auf die oberste Geschossdecke aufgelegt werden. Falls die gewünschte Nutzung dies erfordert, kann die Dämmung begehbar ausgeführt werden. Die Maßnahme kann unabhängig davon, ob Sanierungsarbeiten anstehen, ausgeführt werden und ist ökonomisch trotzdem äußerst vorteilhaft.

5.4.4.1 Begehbare Wärmedämmung auf der Geschossdecke

Soll der Dachboden weiterhin begehbar sein, so muss bei einer Dämmung der obersten Geschossdecke eine geeignete Spanplatte auf die Wärmedämmung aufgelegt werden. Kann wegen einer zu niedrigen Raumhöhe oder aus anderen Gründen die wirtschaftlich optimale Dämmstärke nicht verwirklicht werden, so sollte zumindest die größtmögliche Dämmstoffdicke gewählt werden. Die Maßnahme kostet insgesamt 38 €/m² („wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz“) bzw. 43 €/m² („zukunftsweisender Wärmeschutz“). Es resultiert ein Preis für die eingesparte Kilowattstunde Energie von 1,6 bzw. 1,7 Cent. Damit ist die Maßnahme extrem wirtschaftlich. Sie lohnt sich bis zu einem U-Wert der bestehenden Geschossdecke von 0,4 W/(m²K).

Tabelle 27: Begehbare Wärmedämmung auf der obersten Geschossdecke

Energiesparmaßnahme: oberste Geschossdecke, Wärmedämmung (begebar)			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: keine			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmte Geschossdecke	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,26 W/(m²K)	keine 1,26 W/(m²K)	Wärmedämmung (begebar) 0,13 W/(m²K)	Wärmedämmung (begebar) 0,10 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10°C Außenluft	15,1 °C	28 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 7,00 m²K/W 19,5 °C	36 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 9,00 m²K/W 19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	0 €/m²	38 €/m²	43 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		38 €/m² 41% 15 €/m²	43 €/m² 41% 17 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		22 €/m²	25 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		1,55 €/m²a	1,74 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		6,71 €/m²a	6,87 €/m²a
jährlicher Gewinn:		5,16 €/m²a	5,13 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		98,0 kWh/(m²a)	100,4 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		90%	92%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		1,6 Cent/kWh	1,7 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		107,9 kWh/(m²a)	110,4 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: diff. Jahresnutzungsgrad: Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	78,00 kWh/a 90% 0,0659 €/kWh 0,068 €/kWh

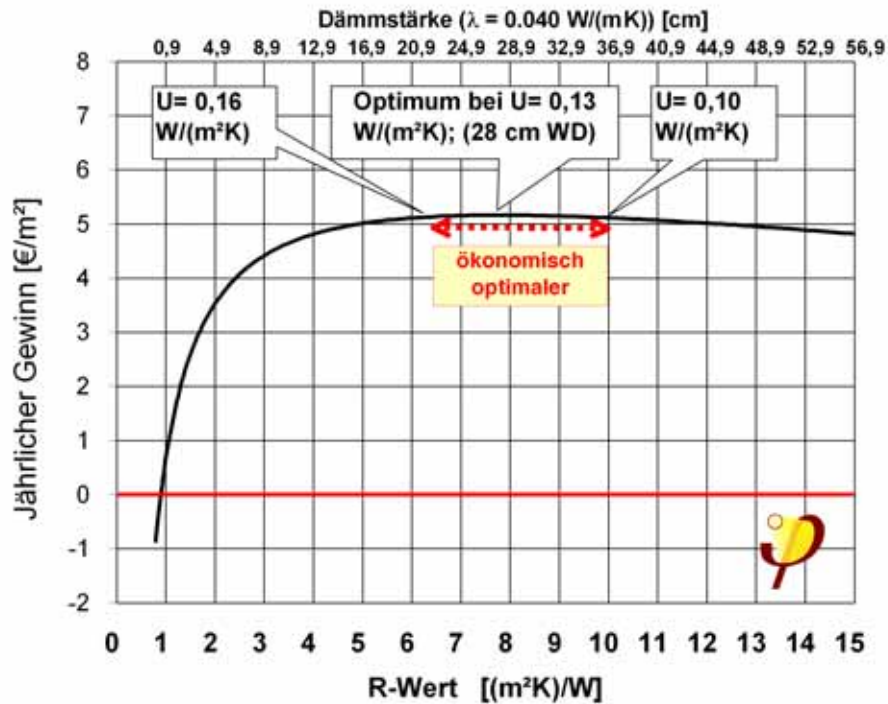


Abbildung 35: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Wärmedämmung (begehr) einer obersten Geschossdecke in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

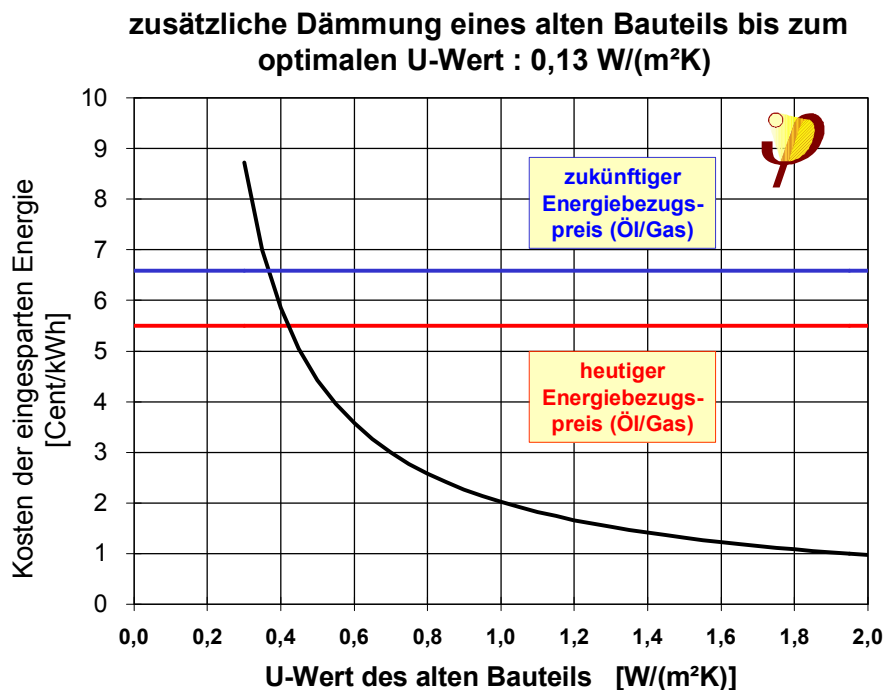
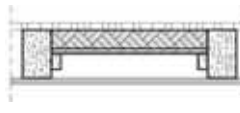
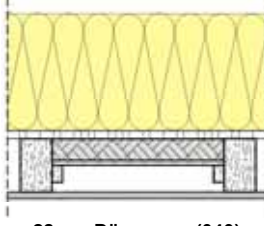
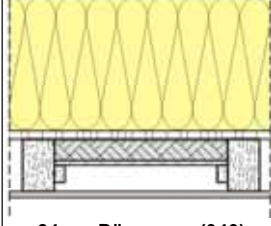


Abbildung 36: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Wärmedämmung (begehr) einer obersten Geschossdecke).

5.4.4.2 Nicht begehbare Wärmedämmung auf der Geschossdecke

Soll der Dachraum über der obersten Geschossdecke nicht genutzt werden, z. B. wegen einer zu geringen lichten Höhe, so kann eine nicht begehbare Wärmedämmung ausgeführt werden, wodurch nochmals Kosten gespart werden. Es sind nur noch sehr geringe Investitionen von 19 € für den „wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz“ bzw. 22 € für den „zukunftsweisenden Wärmeschutz“ pro Quadratmeter gedämmter Deckenfläche nötig. Damit werden U-Werte von 0,13 bzw. 0,11 W/(m²K) erreicht. Die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde liegen unter einem Cent (Tabelle 28).

Tabelle 28: Wärmedämmung auf der obersten Geschossdecke (nicht begehrbar)

Energiesparmaßnahme: oberste Geschossdecke, Wärmedämmung (nicht begehrbar)			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: keine			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmte Geschossdecke	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,26 W/(m²K)	keine 1,26 W/(m²K)	Wärmedämmung (nicht begehrbar) 0,13 W/(m²K)	Wärmedämmung (nicht begehrbar) 0,11 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10°C Außenluft	15,1 °C	19,5 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	0 €/m²	19 €/m²	22 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		19 €/m²	22 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		8 €/m²	9 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		11 €/m²	13 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		0,77 €/m²a	0,92 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		6,71 €/m²a	6,83 €/m²a
jährlicher Gewinn:		5,94 €/m²a	5,91 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		98,0 kWh/(m²a)	99,8 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		90%	91%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		0,8 Cent/kWh	0,9 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		107,9 kWh/(m²a)	109,8 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergie: 0,068 €/kWh	

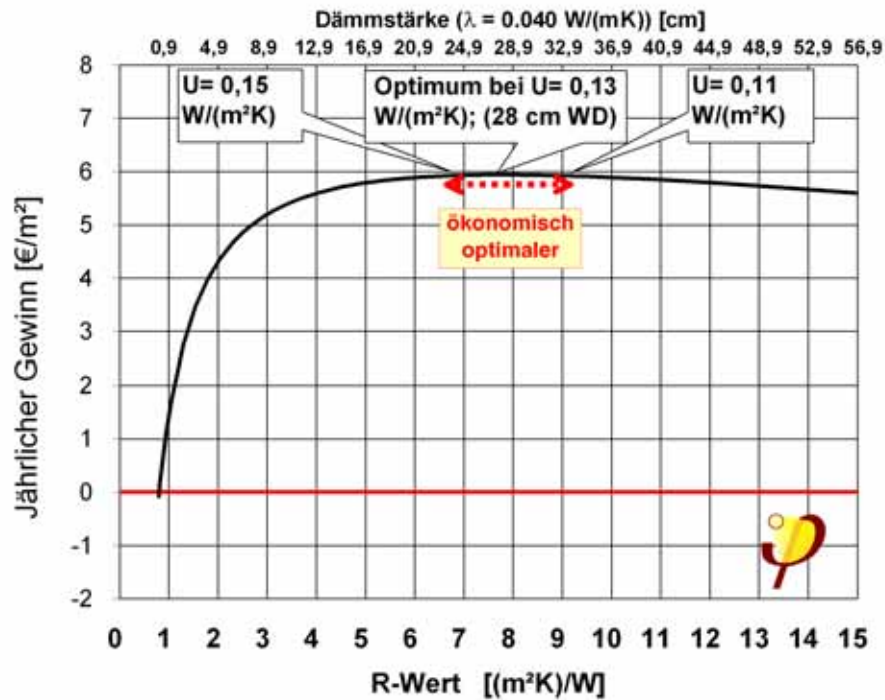


Abbildung 37: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Wärmedämmung (nicht begebar) einer obersten Geschossdecke in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

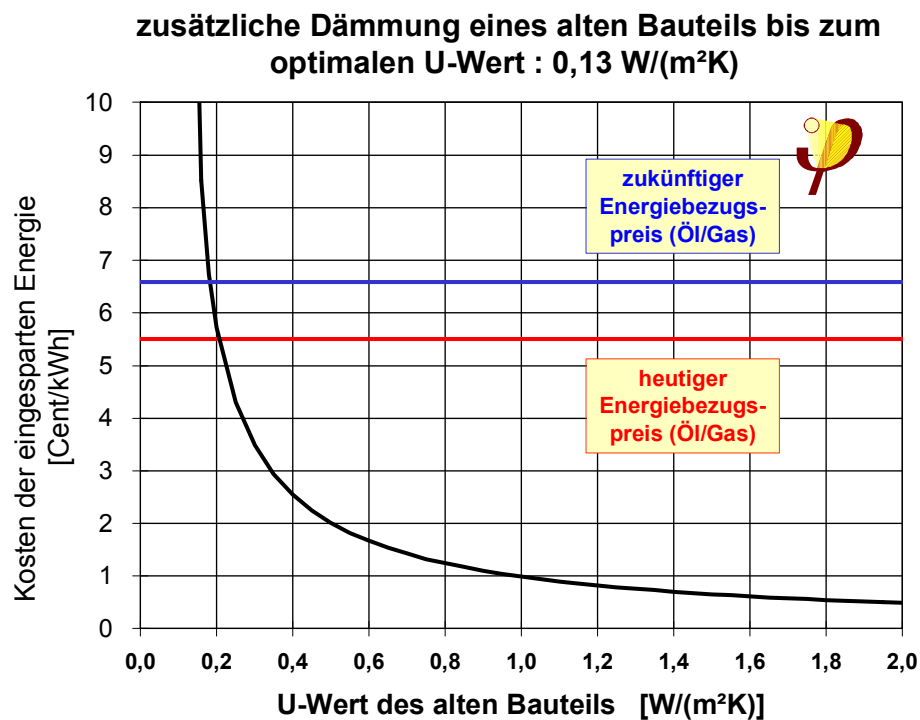


Abbildung 38: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Wärmedämmung (nicht begebar) einer obersten Geschossdecke).

5.4.5 Wärmedämm-Maßnahmen im Keller

5.4.5.1 Wärmedämmung der Kellerdecke von unten

Die nachträgliche Wärmedämmung einer ungedämmten Kellerdecke (unbeheizter Keller) von unten ist selbst ohne eine Kopplung an andere Arbeiten noch knapp wirtschaftlich. Die Dämmplatten werden von unten an die Decke geklebt, gedübelt oder geschraubt. Angesetzt wird weiterhin eine anschließende Spachtelung der gedämmten Deckenuntersicht, wobei wegen der geringeren Anforderung im Keller, regelmäßig keine Verkleidung der Dämmung erforderlich ist. Außerdem müssen die Lampen an der Kellerdecke bei dieser Maßnahme versetzt werden. Da die Deckenhöhe im Keller ohnehin oft knapp bemessen ist, ist der nutzbare Raum für die Wärmedämmung begrenzt. Es wurde daher in dieser Studie eine maximale Dämmstärke von 8 cm angenommen, welche weit unter der theoretisch wirtschaftlich optimalen Dämmstärke liegt. Daher sind der „wirtschaftlich gebotene“ und der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ bei dieser Maßnahme identisch. Um die verfügbare Stärke optimal zu nutzen, wird die Verwendung von hochwärmedämmendem Material vorgeschlagen, in diesem Fall PUR-Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,030 W/(mK).

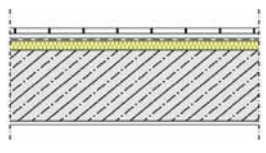
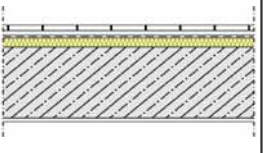
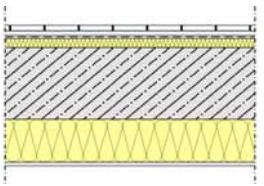
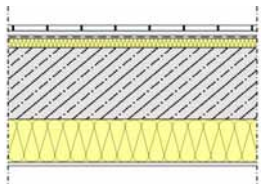
Kellerwände, die die Dämmung durchdringen, stellen eine Wärmebrücke dar, die die Wärmedämmwirkung der Maßnahme reduziert. Es wurden daher für die Berechnung der Heizenergieeinsparung typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt ($\Delta U_{WB} = 0,17 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). Wegen der gegenüber den Außentemperaturen in der Heizperiode höheren Kellertemperaturen wurde ein Temperaturkorrekturfaktor von 0,5 angesetzt. Mit der auf 8 cm begrenzten Dämmstärke ergibt sich ein empfohlener nominaler U-Wert von 0,29 W/(m²K). Der effektive U-Wert unter Berücksichtigung der Wärmebrücken (ΔU_{WB}) liegt bei 0,46 W/(m²K) (Abbildung 39).

Die Maßnahme verursacht Kosten von 51 € pro Quadratmeter Deckenfläche (Tabelle 29) und ergibt Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie von 5,7 Cent (mittlere Energiekosten 2006-2026 inkl. Hilfsenergieanteil: 6,8 Cent/kWh).

Die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von unten ist bei heutigen Energiebezugspreisen als ungekoppelte Maßnahme bis zu einem U-Wert des alten Bauteils von ca. 1,2 W/(m²K) wirtschaftlich (Abbildung 40). Sofern die Kellerdecke oberseitig bereits mit einer Trittschalldämmung nachgerüstet ist, wird der Ausgangs-U-Wert von 1,2 W/(m²K) bereits unterschritten. Aufgrund der nur knapp erreichten Wirtschaftlichkeit sollte diese Maßnahme an auslösende Tatbestände gekoppelt werden. Dies sind z.B. die Säuberung des Kellers verbunden mit einem Neuanstrich bzw. einem Neuverputz der Kellerdecke. Kann auf eine unterseitige Verkleidung der Wärmedämmung verzichtet werden, wird die Maßnahme wesentlich interessanter (Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie um 3 Cent), davon kann allerdings nicht ausgegangen werden.

Unabhängig von der Wirtschaftlichkeit erhöht sich aber durch die Maßnahme die thermische Behaglichkeit, weil die Fußbodentemperatur im Erdgeschoss von 17,5 auf 19 °C ansteigt (bei 5 °C Kellertemperatur). Eine Fußbodentemperatur um 17 °C wird nicht mehr als behaglich empfunden.

Tabelle 29: Wärmedämmung der Kellerdecke von unten

Energiesparmaßnahme: Dämmung von Kellerdecken (v. u., Untersicht gespachtelt)			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : keine			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
Kellerdecke ungedämmt	keine	Dämmung v. unten, Untersicht gespachtelt	Dämmung v. unten, Untersicht gespachtelt
U-Wert: 1,30 W/(m²K)	1,30 W/(m²K)	0,29 W/(m²K)	0,29 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	17,5 °C	19,1 °C	19,1 °C
Bauliche Investitionskosten:	0 €/m²	51 €/m²	51 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		51 €/m²	51 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		21 €/m²	21 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		30 €/m²	30 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		2,08 €/(m²a)	2,08 €/(m²a)
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		2,48 €/(m²a)	2,48 €/(m²a)
jährlicher Gewinn:		0,40 €/(m²a)	0,40 €/(m²a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt¹:		36,2 kWh/(m²a)	36,2 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil¹:		64%	64%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie¹:		5,7 Cent/kWh	5,7 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung)¹:		39,8 kWh/(m²a)	39,8 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 39,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

1) Zur Berechnung wurde ein effektiver U-Wert verwendet, der typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt.

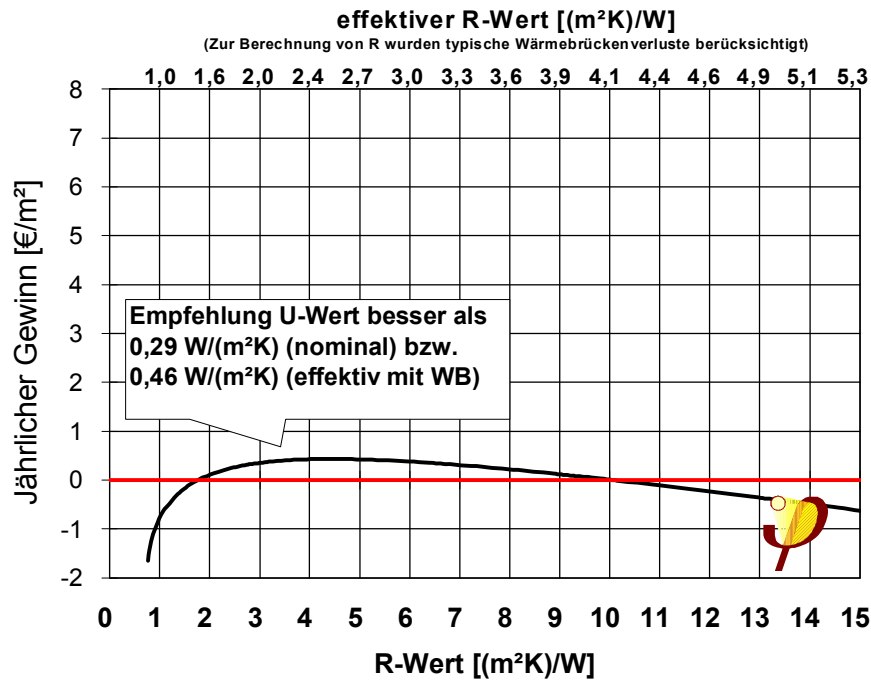


Abbildung 39: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Wärmedämmung einer Kellerdecke von unten in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

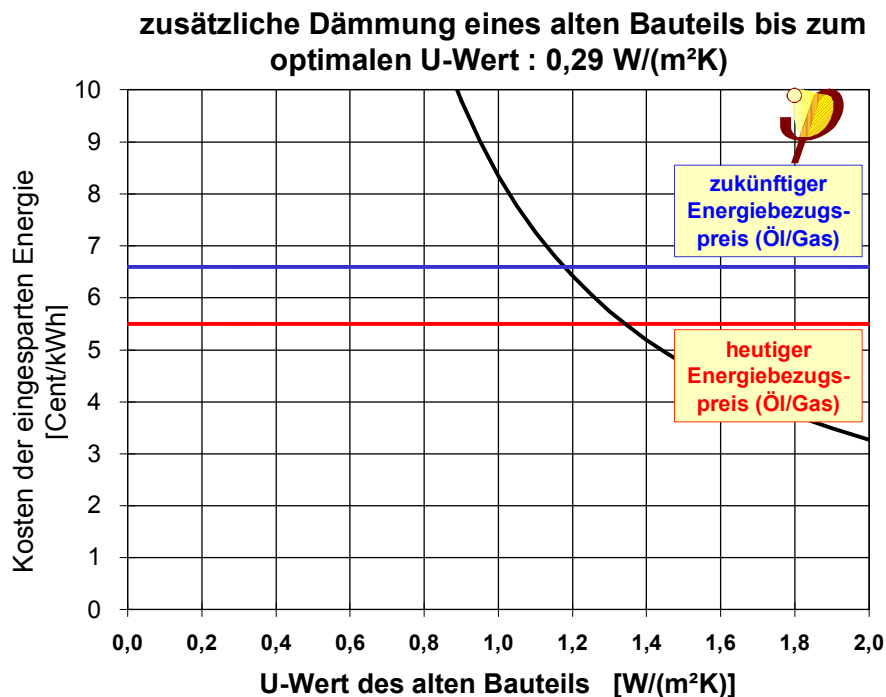


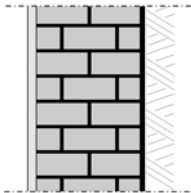
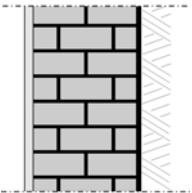
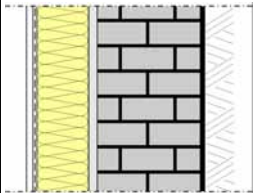
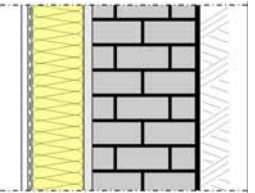
Abbildung 40: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Wärmedämmung einer Kellerdecke von unten).

5.4.5.2 Innendämmung einer Kelleraußenwand bei Erstellung des Innenputzes / der Innenverkleidung

Soll in einem Kellerraum, zum Beispiel im Zuge einer Umnutzung, ein neuer Innenputz oder eine neue Innenverkleidung erstellt werden, so fallen dafür Kosten in Höhe von 25 €/m² an. Dies ist eine gute Gelegenheit, gleichzeitig den Wärmeschutz der Kelleraußenwand durch eine Innendämmung zu verbessern. Aus baupraktischen Gründen (Wärmebrücken und Raumverlust) wird auch bei dieser Maßnahme die Dämmstärke als begrenzt angenommen und zwar auf eine Stärke von 12 cm. Dadurch sind wiederum der „wirtschaftlich gebotene“ und der „zukunftsweisende Wärmeschutz“ identisch. Es entstehen Gesamtkosten für die Dämmmaßnahme von 45 €/m² inkl. Montage der Innenverkleidung und der Dampfbremse, die gleichzeitig die Luftdichtigkeitsebene darstellt. Es wird ein U-Wert von 0,24 W/(m²K) erreicht. Die eingesparte Kilowattstunde Endenergie kostet bei dieser Maßnahme 2 Cent (Tabelle 30). Bis zu einem U-Wert der bestehenden Kelleraußenwand von ca. 0,65 W/(m²K) ist die nachträgliche Dämmung bei einer ohnehin anstehenden Herstellung der Innenoberfläche wirtschaftlich (Abbildung 42).

Auch bei dieser Maßnahme bleiben Wärmebrücken durch an die Kelleraußenwand angrenzende Innenbauteile. Diese wurden bei der Berechnung der Energieeinsparung anhand von typischen Einbindungslängen und zugehörigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten berücksichtigt, woraus ein effektiver U-Wert von 0,47 W/(m²K) resultiert (Zuschlag auf den nominalen U-Wert von $\Delta U_{WB} = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$).

Tabelle 30: Innendämmung der Kellerwand gekoppelt an neuen Innenputz

Energiesparmaßnahme: Kellerwand; Innendämmung mit Luftdichtung Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Neuer Innenputz / neue Innenverkleidung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
ungedämmte Kellerwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Neuer Innenputz / neue Innenverkleidung	Innendämmung mit Luftdichtung	Innendämmung mit Luftdichtung
	1,41 W/(m²K)	0,24 W/(m²K)	0,24 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei 5 °C Erdreich	17,3 °C	19,1 °C	19,1 °C
Bauliche Investitionskosten:	25 €/m²	45 €/m²	45 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :			
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:			
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :			
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)			
jährlicher Gewinn:		1,99 €/m²a	1,99 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt ¹⁾ :		40,8 kWh/(m²a)	40,8 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil ¹⁾ :		67%	67%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		2,0 Cent/kWh	2,0 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,6 Cent/kWh	6,6 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		44,9 kWh/(m²a)	44,9 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,27% p.a.	Heizgradstunden: 39,00 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad: 90%
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh
		Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0,068 €/kWh

1) Zur Berechnung wurde ein effektiver U-Wert verwendet, der typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt.

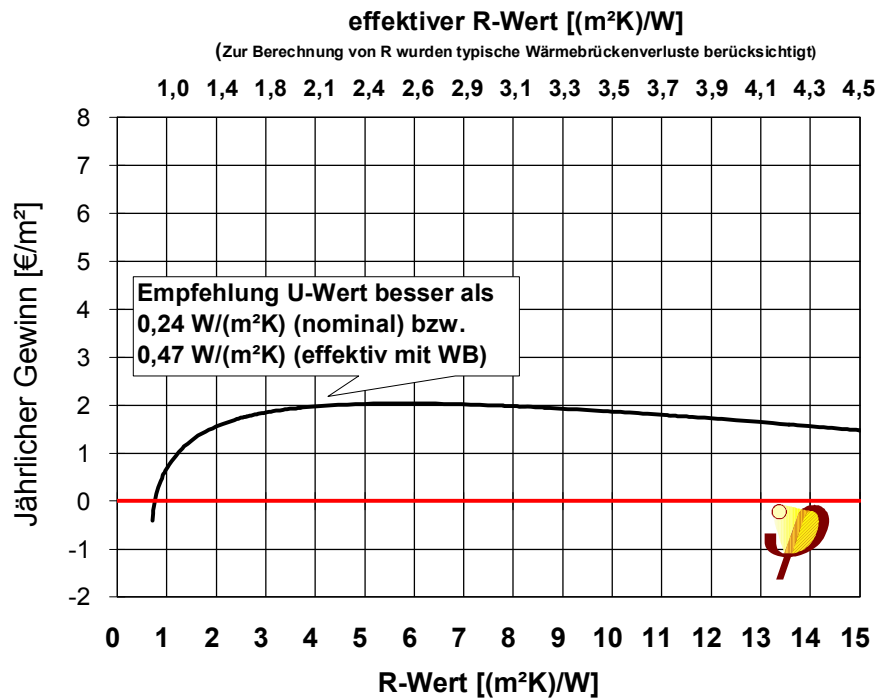


Abbildung 41: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Innendämmung einer Kellerwand (Ohnehin-Maßnahme: neuer Innenputz) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

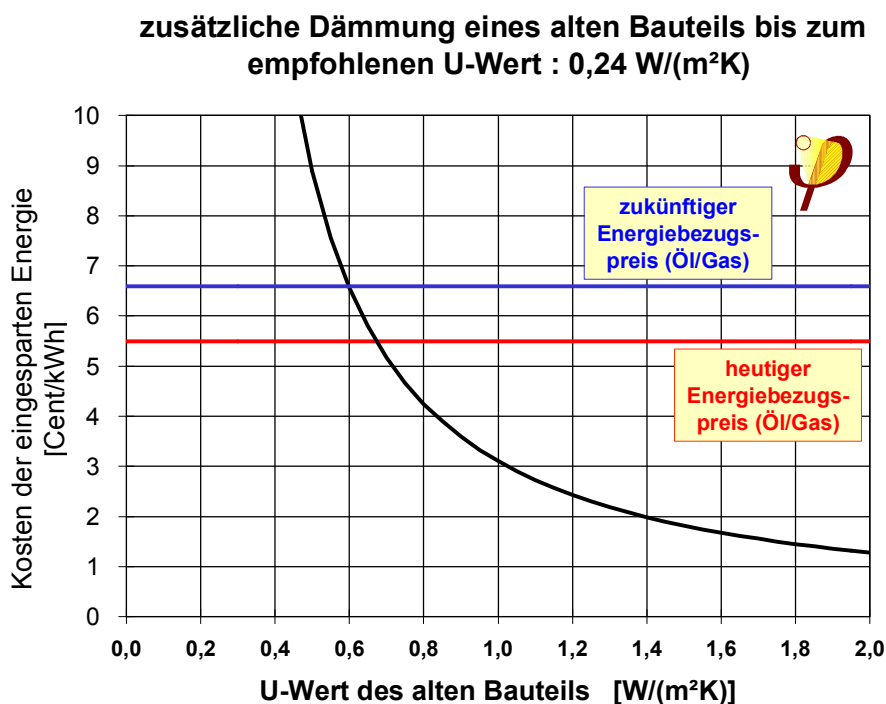
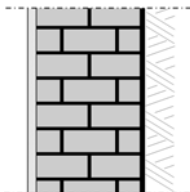
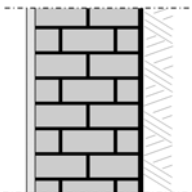
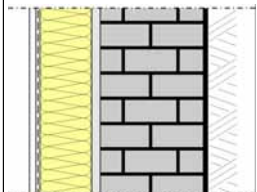
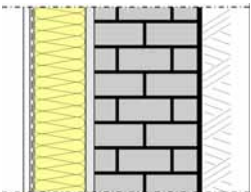


Abbildung 42: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Innendämmung einer Kellerwand bei neuem Innenputz).

5.4.5.3 Innendämmung einer Kelleraußenwand bei einer neuen Tapete

Ist schon eine geeignete Innenoberfläche vorhanden und die Kelleraußenwand muss nur neu tapeziert werden, so fallen gegenüber der vorangehenden Maßnahme 5.4.5.2 geringere Ohnehin-Kosten von nur noch 7 €/m² an. Die Gesamtkosten für die Erstellung der Innendämmung bleiben gleich, so dass der Energiesparmaßnahme höhere Zusatzkosten zugerechnet werden müssen. Bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen steigen daher die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie auf 3,8 Cent womit sie aber immer noch unter dem heutigen Energiebezugspreis von 5,5 Cent/kWh liegen. Die Maßnahme ist daher wirtschaftlich. Sie lohnt sich bis zu einem U-Wert des alten Bauteils von ca. 0,95 W/(m²K).

Tabelle 31: Innendämmung der Kellerwand gekoppelt an neue Tapete

Energiesparmaßnahme: Kellerwand; Innendämmung mit Luftdichtung				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : neue Tapete				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz	
ungedämmte Kellerwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:	
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	neue Tapete 1,41 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,24 W/(m²K)	Innendämmung mit Luftdichtung 0,24 W/(m²K)	
				
Innenoberflächentemperatur bei 5 °C Erdreich	17,3 °C	19,1 °C	19,1 °C	
Bauliche Investitionskosten:	7 €/m²	45 €/m²	45 €/m²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		38 €/m²	38 €/m²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts: Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		41%	41%	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		15 €/m² 22 €/m²	15 €/m² 22 €/m²	
jährlicher Gewinn:		1,54 €/m²a 2,79 €/m²a	1,54 €/m²a 2,79 €/m²a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt¹: Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil¹:		1,25 €/m²a	1,25 €/m²a	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie¹: zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas) :		40,8 kWh/(m²a) 67%	40,8 kWh/(m²a) 67%	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung)¹:		3,8 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh	3,8 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh	
		44,9 kWh/(m²a)	44,9 kWh/(m²a)	
ANNAHMEN	Realzins:	3,27% p.a.	Heizgradstunden:	39,00 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl):	0,0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0,068 €/kWh

1) Zur Berechnung wurde ein effektiver U-Wert verwendet, der typische Wärmebrückenverluste berücksichtigt.

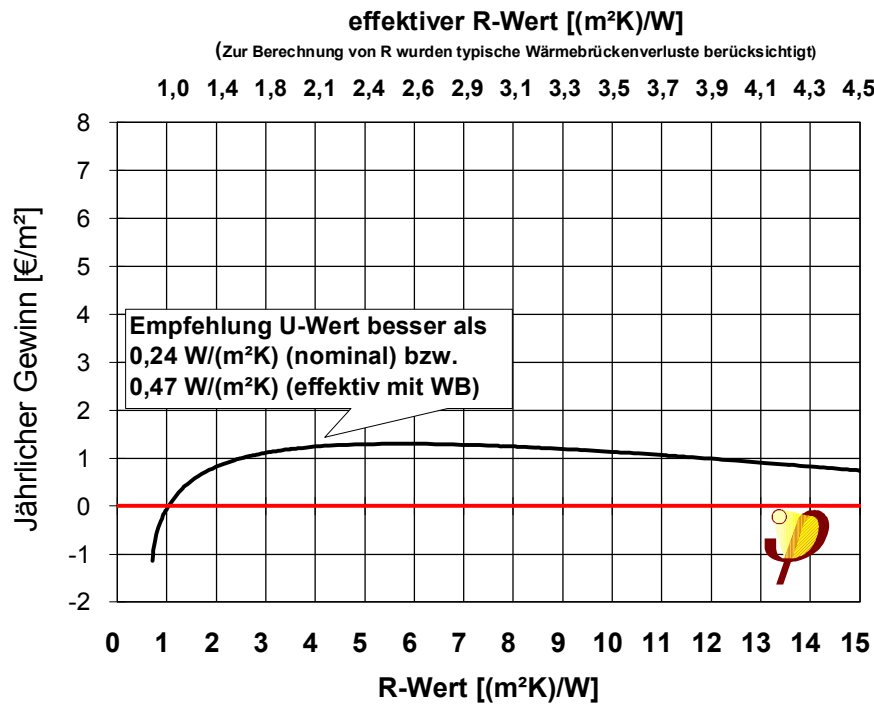


Abbildung 43: Mittlerer jährlicher Gewinn durch die Innendämmung einer Kellerwand (Ohnehin-Maßnahme: neue Tapete) in Abhängigkeit vom erreichten Wärmedurchlasswiderstand.

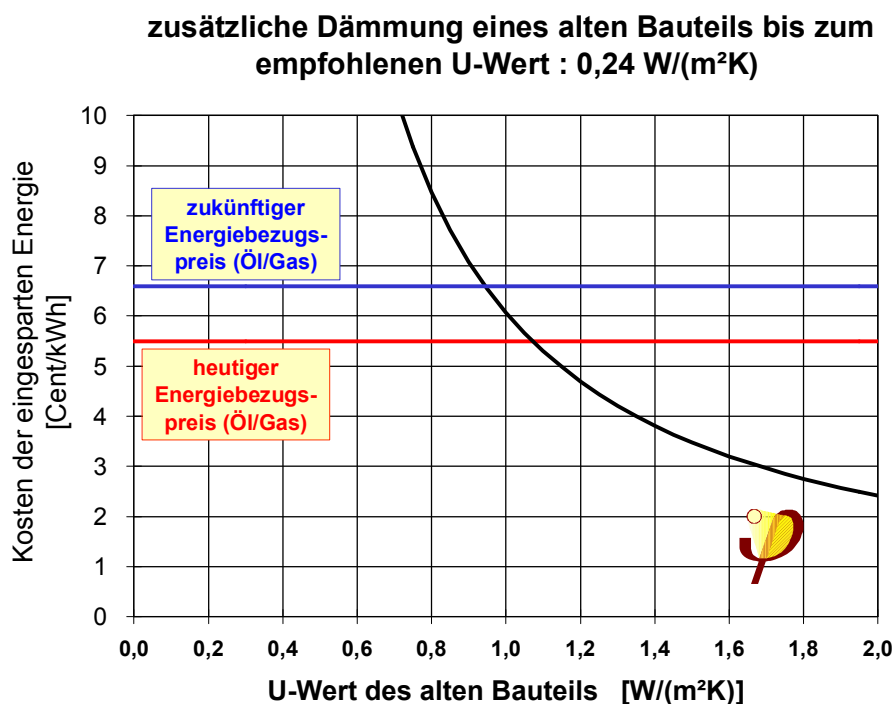


Abbildung 44: Kosten für die eingesparte kWh Energie in Abhängigkeit vom ursprünglichen U-Wert des Bauteils. Ist der Preis für die bezogene Energie höher, so ist die Maßnahme wirtschaftlich (Innendämmung einer Kellerwand bei neuer Tapete).

5.5 Fenster

5.5.1 Einführung zur Untersuchung zur Einzelwirtschaftlichkeit von Fenstern mit verbessertem Wärmeschutz

Thermisch hochwertige Fenster reduzieren nicht nur die Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle, sondern verbessern auch die thermische Behaglichkeit im Raum durch geringere Strahlungstemperaturasymmetrie. Damit kann der Raum bis nahe an das Fenster heran genutzt werden. Dieser Komfortvorteil wird jedoch im Folgenden nicht weiter untersucht, weil hier nur direkt monetarisierbare Parameter einbezogen werden. Bei Fenster-U-Werten (im eingebauten Zustand) unter $0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ kann auf den Heizkörper unter dem Fenster vollständig verzichtet werden. Auch dieser indirekte Effekt bleibt an dieser Stelle unberücksichtigt, weil hier nur eine Betrachtung der Einzelwirtschaftlichkeit von Komponenten vorgenommen wird. Erst bei der Betrachtung von Gesamtgebäuden inklusive der Haustechnik wird dieses zusätzliche Kosteneinsparpotential in die Betrachtungen einbezogen.

Die nachfolgenden ökonomischen Betrachtungen werden auf Basis der Nettowärmeverluste des gesamten Fensters durchgeführt, d. h. es werden sowohl die Transmissionswärmeverluste als auch die solaren Gewinne des Fensters bilanziert. Als Referenzgebäude bezüglich der Verteilung der Fensterflächen auf die Himmelsrichtungen wurde ein Reihennittelhaus (Hannover Kronsberg) herangezogen. Die Verglasungsflächen wurden aus den Bauplänen entnommen, die Rahmenanteile aus dem Normfenstermaß ($1,23 \text{ m} \times 1,48 \text{ m}$) umgerechnet. Auf diese Weise konnte sowohl der Einfluss der Rahmenbreite als auch der g-Werte der Verglasung unter realistischen Bedingungen berücksichtigt werden.

5.5.2 Untersuchte Varianten und Parameter

5.5.2.1 Vergleichsvariante (Ohnehin-Maßnahme)

Bei der Modernisierung von Bestandsgebäuden trifft man heute in einigen Fällen immer noch einfach verglaste Fenster an. Häufig sind die Holzrahmen schadhaft und müssen ohnehin ausgetauscht werden. Als Ohnehin-Maßnahme für den Fensterersatz wird von einem Fensterrahmen der thermischen Qualität eines IV 68 und einer Zweischeiben-WSVG ($U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) ausgegangen ($U_w = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$).

5.5.2.2 Rahmen

Die relevanten Eigenschaften des Fensterrahmens für die hier dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind:

- Rahmen-U-Wert
- Rahmenbreite
- Glasfalztiefe (Glaseinstand)
- Glasfalzbreite (Möglichkeit zur Aufnahme von Dreischeiben-WSVG)

Der Rahmen-U-Wert des Standardfensters (Ohnehin-Maßnahme) beträgt $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Demgegenüber wird der Ersatz durch einen breiteren Rahmen (84 mm) mit einem U-Wert von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ untersucht, welcher auch für den Einbau einer Dreischeiben-WSVG geeignet ist. Eine weitere thermische Verbesserung der Rahmenprofile mit Dämmstoffeinlagen kann den U-Wert nochmals auf $0,74 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verbessern.

Die Rahmenbreite (Ansichtsbreite) ist bei gleicher lichter Weite der Rohbauöffnung maßgeblich für den Verglasungsanteil und damit der Solargewinne.

Der Glaseinstand beeinflusst den Wärmebrückenverlustkoeffizienten am Glasrand, wirkt sich aber auch auf die Kosten der Verglasung (Glasfläche) und die Länge des Randverbundes aus.

Die Glasfalzbreite begrenzt die Möglichkeiten zur Aufnahme von größeren Verglasungsdicken. Die Rahmen, welche über die Ohnehin-Maßnahme hinausgehen, wurden daher so gewählt, dass sie zur Aufnahme einer Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung geeignet sind.

5.5.2.3 Verglasung

Die Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_g von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ist inzwischen sehr weit verbreitet. Deutliche Verbesserungen im Wärmeschutz lassen sich auf Basis dieser Technologie aus physikalischen Gründen kaum mehr erreichen. Der nächste Schritt besteht in der Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung, also dem Hinzufügen einer dritten Scheibe, welche ebenfalls über eine Beschichtung verfügt. Der resultierende U-Wert hängt von der Emissivität dieser Beschichtung sowie der Gasfüllung der Scheibenzwischenräume ab, hier wurde von einem U-Wert der Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung von $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgegangen. Hinsichtlich der Investitionskosten ist die Argon-Füllung günstiger, mit Hilfe von Krypton-Füllung kann der genannte U-Wert dagegen bereits bei geringeren Scheibenzwischenräumen erreicht werden. Zukünftig können Vakuum-Verglasungen auch hinsichtlich der Investitionskosten interessant werden, weil dann zwei Scheiben ausreichen.

Tabelle 32: Ansätze der Investitionskosten (ohne MwSt) der verschiedenen Verglasungstypen

2-Scheiben WSVG	60 €/m ²
3-Scheiben WSVG	90 €/m ²

5.5.2.4 Abstandhalter

Als Standardrandverbund wurde ein Aluminium-Abstandhalter angesetzt. Thermische Verbesserungen können durch Reduzierung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten am Glasrand mit Hilfe von Abstandhaltern aus Materialien mit geringerer Wärmeleitfähigkeit erreicht werden, wie z. B. GFK oder Edelstahl. Die jeweiligen Mehrkosten wurden auf die Randverbundlänge im Standardfenster ($1,23 \times 1,48 \text{ m}$) umgerechnet und auf den Quadratmeter Fensterfläche umgelegt.

Tabelle 33: Ansätze der Mehrkosten (ohne MwSt) für thermisch getrennten Randverbund gegenüber Aluminiumrandverbund

	Kosten pro Laufmeter	Kosten pro qm Fensterfläche eines Standardfensters (1,23 x 1,48 m)
Abstandhalter GFK	1,75 €/lfm	4,2 €/m²
Abstandhalter Edelstahl	0,88 €/lfm	2,23 €/m²

5.5.2.5 Einbau

Die baulichen Investitionskosten werden generell inklusive Fenstereinbau gerechnet. Die Einbaukosten sowie die Kosten für Demontage und Entsorgung des Altfensters unterscheiden sich jedoch zwischen der Ohnehin-Maßnahme und der wirtschaftlich gebotenen Maßnahme nicht (Nettokosten für Demontage und Entsorgung des Altfensters 18 €, Pauschalannahme Nettomontagekosten 49 €/m²). Erst bei der Untersuchung der ungekoppelten Maßnahme (siehe Abschnitt 5.5.5) werden diese Kosten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme relevant. Der Vollständigkeit halber werden die Kosten bei allen Fällen bei den baulichen Investitionskosten mit angeführt.

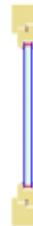
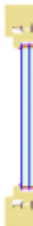
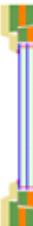
5.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Berechnungsblätter zu den nachfolgend beschriebenen Ergebnissen finden sich zur besseren Übersichtlichkeit im Anschluss.

5.5.3.1 Holzfenster

Die Verbesserung der Qualität vom Standard-Holzfenster auf ein Holzfenster mit einer Bautiefe von 90 mm ermöglicht den Einbau einer Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung. Kanteln dieser Rahmenbreite können auf heutigen Standardmaschinen gerade noch ohne Umbauten bearbeitet werden, die Investitionskosten liegen daher bereits heute im Bereich der Wirtschaftlichkeit (unter den hier angenommenen Randbedingungen vernachlässigbar geringfügig negativer jährlicher Gewinn).

Tabelle 34: Erneuerung der Holzfenster

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Std.-Holzfenster				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz	
Bestand 1-fach Verglasung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Mindest-Empfehlung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Empfehlung	
U _w : 5.15 W/(m2K)	Std.-Holzfenster 2 WSV 1.46 W/(m2K)	Holzfenster Bautiefe 90 mm 3 WSV 0.91 W/(m2K)	Gedämmter Rahmen Holz 3 WSV 0.73 W/(m2K)	
				
Glas / U _g [W/(m²K)]:	2 WSV 1.10	3 WSV 0.60	3 WSV	0.60
Rahmen / U _f [W/(m²K)]:	IV68 1.59	Holz d=90 1.24	Gedämmter Rahmen Holz	0.74
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu 0.078	Kunststoff 0.042	Kunststoff	0.035
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	14.3 °C	16.5 °C	17.1 °C	
Tauwasserschutz Kante:	gering	mittel	mittel	
Bauliche Investitionskosten (inkl. Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	306 €/m²	350 €/m²	418 €/m²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		44 €/m²	112 €/m²	
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:		4%	4%	
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:		7%	11%	
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		5 €/m²	16 €/m²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		39 €/m²	95 €/m²	
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme:		2.69 €/m²a	6.58 €/m²a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		2.69 €/m²a	3.32 €/m²a	
jährlicher Gewinn:		0.00 €/m²a	-3.26 €/m²a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		39.4 kWh/(m²a)	48.5 kWh/(m²a)	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		82%	86%	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		6.8 Cent/kWh	13.6 Cent/kWh	
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil:		6.8 Cent/kWh	6.8 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		43 kWh/(m²a)	53 kWh/(m²a)	
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh

*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

5.5.3.2 Kunststofffenster

Bei vielen marktgängigen Kunststoffrahmen kann durch Einsetzen entsprechend schmalerer Glasleisten die Zweischeibenverglasung durch Dreischeibenverglasung ersetzt werden. Diese Maßnahme ist bereits unter heutigen Marktpreisen wirtschaftlich. Weitere Einsparungen können durch zusätzlich wärmedämmte Rahmenprofile erzielt werden, allerdings wird durch die derzeit noch relativ hohen Investitionskosten noch keine Einzelwirtschaftlichkeit erreicht. Hierfür wäre eine Förderung hilfreich, um die Markteinführung zu erleichtern und um die Kosten zukünftig durch entsprechend hohe Stückzahlen senken zu können.

5.5.3.3 Zukünftiger Kunststoffrahmen

Rahmen-U-Werte im Bereich von $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ sind auf Basis von 8-Kammer-Rahmen (gegenüber den heute üblichen 4 bis 6 Kammern) aus Kunststoff bereits ohne zusätzliche Wärmedämmung erreichbar. Abgesehen von den anfänglichen Entwicklungs- und Werkzeugkosten beschränken sich die Mehrkosten hier im Wesentlichen auf das Material. Diese Rahmen haben daher das Potential, zukünftig auch ohne Förderung eine gute Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Selbst beim Einsatz einer höherwertigen Verglasung ($U_g = 0,51 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) läge dieses Fenster schon nahe an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit (siehe Anhang Tabelle 112).

5.5.4 Thermisch getrennter Randverbund

Wie in den folgenden Abschnitten gezeigt wird, ist der Einsatz eines thermisch getrennten Randverbundes in jedem Falle sinnvoll und wirtschaftlich, die Rentabilität hängt jedoch vom Einsatzfall (Rahmen und Verglasung) ab. Daher wurde die Wirtschaftlichkeit am Beispiel unterschiedlicher Holzrahmenkonstruktionen berechnet.

5.5.4.1 Randverbundverbesserung bei Standard-Holzrahmen und 2-fach WSVG

Bei der hier eingesetzten Zweischeibenverglasung wirkt sich die Maßnahme bezogen auf den Quadratmeter Bauteilfläche zwar nicht so deutlich aus wie bei der Dreischeibenverglasung (siehe nächster Abschnitt), dennoch ist auch bei Standardfenstern und Verglasungen der Einsatz eines thermisch getrennten Randverbundes sinnvoll und wirtschaftlich (siehe Anhang Tabelle 113).

5.5.4.2 Randverbundverbesserung bei Holzrahmen mit Bautiefe 90 mm und 3-fach WSVG

Die erzielte Heizwärmeeinsparung und der jährliche Gewinn fallen im Vergleich zu den Werten im vorangehenden Abschnitt etwa doppelt so hoch aus. Der Einsatz eines thermisch getrennten Randverbundes ist hier in jedem Falle ratsam (siehe Anhang Tabelle 114).

Tabelle 35: Erneuerung der Kunststoff-Fenster

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Std. Kunstst. 2 WSV				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz	
Bestand 1-fach Verglasung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Mindest-Empfehlung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Empfehlung	
U _w :	PVC Stand. 2 WSV 1.34 W/(m2K)	PVC Stand. 3 WSV 0.93 W/(m2K)	Gedämmter Rahmen PVC 3 WSV 0.73 W/(m2K)	
				
Glas / U _g [W/(m²K)]:	2 WSV 1.10	3 WSV 0.60	3 WSV 0.60	
Rahmen / U _f [W/(m²K)]:	PVC Stand. 1.38	PVC Stand. 1.34	Gedämmter Rahmen PVC 0.74	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu 0.060	Kunststoff 0.037	Kunststoff 0.035	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	14.8 °C	16.4 °C	17.1 °C	
Tauwasserschutz Kante:	gering	mittel	mittel	
Bauliche Investitionskosten (inkl.Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	237 €/m²	263 €/m²	390 €/m²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		26 €/m²	154 €/m²	
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:		6%	4%	
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:		9%	12%	
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		4 €/m²	24 €/m²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts :		22 €/m²	130 €/m²	
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		1.51 €/m²a	8.94 €/m²a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		1.54 €/m²a	2.40 €/m²a	
jährlicher Gewinn:		0.02 €/m²a	-6.54 €/m²a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		22.4 kWh/(m²a)	35.1 kWh/(m²a)	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		82%	86%	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		6.7 Cent/kWh	25.5 Cent/kWh	
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :		6.8 Cent/kWh	6.8 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		25 kWh/(m²a)	39 kWh/(m²a)	
ANNAHMEN				
Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a	
Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%	
Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh	
		Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh	

*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

5.5.4.3 Randverbundverbesserung bei gedämmtem Holzrahmenprofil und 3-fach WSVG

Thermisch optimierte, gedämmte Holzrahmenprofile (Passivhaus-Fensterrahmen) verfügen über einen relativ hohen Glaseinstand, welcher die Wärmeverluste im Glasrandbereich reduziert. Der Verbesserungseffekt durch den thermisch getrennten Randverbund ist dadurch weniger ausgeprägt. Aber auch bei diesem Rahmen ist der thermisch getrennte Randverbund wirtschaftlich (siehe Anhang Tabelle 115).

5.5.5 Einsatz neuer Fenster als ungekoppelte Maßnahme

Bei den im Bestand heute noch gelegentlich anzutreffenden Einscheibenverglasungen (meist in schmalen Holzrahmen) mit einem U_w um $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ stellt sich die Frage, ob der Austausch auch als ungekoppelte Maßnahme, also auch dann, wenn das Fenster noch weiter funktionsfähig und nutzbar ist, wirtschaftlich durchgeführt werden kann, weil die hohen Wärmeverluste ein hohes Einsparpotential erwarten lassen, von den Behaglichkeitseinschränkungen sowie der Tauwasserbildung einmal ganz abgesehen.

5.5.5.1 Austausch von einfachverglasten Holzfenstern durch Kunststofffenster mit Wärmeschutzverglasung als ungekoppelte Maßnahme

Ersetzt man noch funktionsfähige einfachverglaste Holzfenster durch Kunststofffenster mit Zwei- bzw. Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung, so sind Demontage und Entsorgung der Altfenster sowie die Montage zusammen mit den Investitionskosten der neuen Fenster der Maßnahme in vollem Umfang anzurechnen. Dennoch ist diese Maßnahme auch ungekoppelt wirtschaftlich. Es zeigt sich sogar, dass die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung eine höhere Wirtschaftlichkeit als die Zweischeibenverglasung aufweist.

Bei einfachverglasten Fenstern könnte nach dem Energieeinspargesetz der Austausch demnach sogar als ungekoppelte Maßnahme gefordert werden – in der praktischen Umsetzung ist allerdings abzuwägen, wie diese Forderung zeitlich verstetigt werden kann. Ein sprunghafter kurzfristiger Anstieg von ungekoppelten Ersatzmaßnahmen ist nicht im Sinne einer nachhaltigen Bestandsmodernisierung und würde sich aufgrund der temporären Verknappung nur preistreibend auswirken (siehe Anhang 16.8).

5.5.5.2 Austausch von Holzfenstern mit Isolierverglasung durch Kunststofffenster mit Wärmeschutzverglasung als ungekoppelte Maßnahme

Trotz des immer noch mäßigen Wärmeschutzes ($U_g = 2,54 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) der heute nicht mehr üblichen Isolierverglasung, also von unbeschichteten Scheiben ohne Gasfüllung im Scheibenzwischenraum, ist der ungekoppelte Austausch solcher Fenster durch thermisch höherwertige Systeme unter den angenommenen Randbedingungen noch nicht wirtschaftlich (siehe Anhang 16.8).

In diesem Fall sollte daher der Zeitpunkt einer ohnehin fälligen Maßnahme abgewartet werden.

5.6 Vermeidung von Wärmebrücken

Eine weitere Energiesparmaßnahme besteht in der Optimierung der Anschlussdetails bezüglich Wärmebrücken. Anhand zweier Beispielobjekte wurde die Wirtschaftlichkeit verschiedener Maßnahmen geprüft. Bei den zwei untersuchten Objekten handelt es sich um zwei in Abschnitt 7.1 beschriebene Modellgebäude, ein Reihenhendhaus (RHE) und um eine Stadtvilla (Stadtvilla).

Jeder Anschluss wurde einmal in Anlehnung an DIN 4108, Beiblatt 2 und einmal hinsichtlich einer Optimierung der Wärmebrückenwirkung überprüft. Bei einem optimierten Detail werden beispielsweise dort, wo eine Wand die Dämmebene der Bodenplatte oder Kellerdecke durchstößt zwei Steinreihen aus Porenbeton, mit gegenüber dem Kalksandstein verringerter Wärmeleitfähigkeit, gemauert. Für den optimierten Fenstereinbau werden diese in die Dämmebene versetzt und mit Konsolen befestigt. Tabelle 36 beschreibt die untersuchten Anschlussdetails jeweils in der Standardausführung und in der optimierten Ausführung.

Tabelle 36: Beschreibung der Ausführung der Wärmebrückendetails

RHE Reihenhhaus		
Wärmebrücke	Standard	Optimiert
Außenwand / Dach (Traufe)	KS-Mauerwerk bis OK-Dämmung weitergeführt	Ununterbrochene Dämmebene am Übergang zwischen Außenwand und Dach
Trennwand / Dach, oben	KS-Mauerwerk bis OK-Dämmung weitergeführt	Trennwand endet an Unterkante Dämmung
Außenwand / Boden	KS-Mauerwerk durchbricht am Wandfuss die Dämmebene	Unterste zwei Steinreihen aus Porenbeton
Trennwand / Boden	KS-Mauerwerk durchbricht am Wandfuss die Dämmebene	Unterste zwei Steinreihen aus Porenbeton
Tragende Innenwand / Boden	KS-Mauerwerk durchbricht am Wandfuss die Dämmebene	Unterste zwei Steinreihen aus Porenbeton
Fenstermontage	Fensterlage in Mauerwerksebene	Fensterlage in Dämmebene (Innenkante Fenster bündig mit Außenkante Mauerwerkswand)

Stadtvilla		
Wärmebrücke	Standard	Optimiert
Innenwände EG	KG-Innenwände aus KS durchbrechen die Dämmebene unter der Kellerdecke	bei KG-Wänden 2 oberste Steinreihen aus Porenbeton
Sockel EG o. KG	KG-Außenwände durchbrechen die Dämmebene unter der Kellerdecke	bei KG-Wänden 2 oberste Steinreihen aus Porenbeton
Attika	Gemauerte Attikaaufrichtung bis unter das Attikablech	Dachrand als ausgedämmte Holzkonstruktion
Fenstermontage	Fensterlage in Mauerwerksebene	Fensterlage in Dämmebene (Innenkante Fenster bündig mit Außenkante Mauerwerkswand)

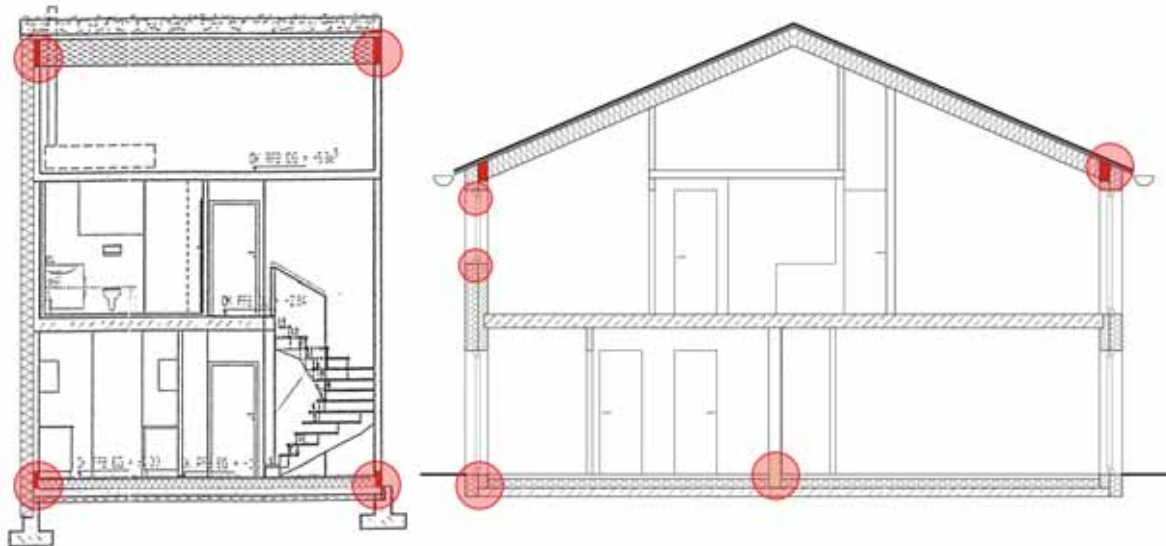


Abbildung 45: Beispielgebäude Reihenhauses: Lage der Wärmebrücken

Tabelle 37 zeigt die angesetzten längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ und den resultierenden auf die Gebäudehüllfläche bezogenen Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} . Mit den optimierten Anschlussdetails ist der auf die Gebäudehüllfläche bezogene zusätzliche Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} für beide Beispiele vereinbar mit der Annahme $\Delta U_{WB} = 0$. Bei dieser Betrachtung wurden weitere negative Wärmebrückenverluste an Gebäudeaußenkanten vernachlässigt. Die Verwendungsmöglichkeit von $\Delta U_{WB} = 0$ wird hierdurch zusätzlich gestützt.

Tabelle 37: Darstellung der angesetzten Wärmebrückenverluste und der Mehrinvestitionen für thermische verbesserte Details

RHE Reihenhaus					
Wärmebrücke	längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (außenmaßbezogen) Ψ [W/mK]		Wärmebrückenzuschlag ΔU bezogen auf die gesamte Hüllfläche des Gebäudes [W/m ² K]		Differenzkosten pro Gebäude absolut [€]
	Standard	Optimiert	Standard	Optimiert	
Außenwand / Dach (Traufe)	0,1420	-0,0440	0,0078	-0,0024	121
Trennwand / Dach, oben	0,2760	0,0030	0,0149	0,0002	168
Außenwand / Boden	0,0970	-0,0300	0,0026	-0,0008	0
Trennwand / Boden	1,1000	0,0220	0,0276	0,0006	0
Tragende Innenwand / Boden	0,2710	0,0260	0,0023	0,0002	0
Fenstermontage	0,0775	0,0101	0,0102	0,0013	364
<i>Planungsaufwand</i>					750
Summe			0,0655	-0,0010	1402
Stadtvilla					
Wärmebrücke	längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient (außenmaßbezogen) Ψ [W/mK]		Wärmebrückenzuschlag ΔU bezogen auf die gesamte Hüllfläche des Gebäudes [W/m ² K]		Differenzkosten pro Gebäude absolut [€]
	Standard	Optimiert	Standard	Optimiert	
Innenwände EG	0,1080	0,0530	0,0016	0,0008	0
Sockel EG o. KG	0,0970	-0,0300	0,0016	-0,0005	0
Attika	0,1420	-0,0440	0,0059	-0,0018	185
Fenstermontage	0,0775	0,0101	0,0100	0,0012	5161
<i>Planungsaufwand</i>					1500
Summe			0,0190	-0,0003	6846

Anmerkung: Die negativen Wärmebrückenverluste an weiteren Gebäudeaußenkanten wurden vernachlässigt. Die Annahme von $\Delta U_{WB} = 0$ im optimierten Beispiel würde hierdurch zusätzlich gestützt.

Wirtschaftlichkeit

Hierzu wird angenommen, dass die Maßnahme zur Vermeidung der Wärmebrücken entsprechend der Standzeiten von Gebäuden sehr lange nachwirkt (Ansatz von 50 Jahren). Nach Ablauf des Kalkulationszeitraums von 20 Jahren hat diese Maßnahme daher noch einen Restwert von 41 % (vgl. Abschnitt 4). Kann der pauschale Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/(m²K) beim Reihendhaus auf Null reduziert werden, führt dies rechnerisch auf eine Reduzierung des Endenergiebedarfs von 1012 kWh/a, dem steht ein jährlicher Kapitaldienst für Mehrinvestitionen zur Wärmebrückenvermeidung von 57 €/a entgegen. Aus dem Verhältnis jährlicher Kapitaldienst zu resultierender Energieeinsparung ergibt sich der Preis der eingesparten kWh zu 5,7 Cent/kWh. Beim Mehrfamilienhaus liegt diese Maßnahme sogar nur bei 3,3 Cent/kWh. Die angenommenen mittleren Energiekosten (2006 bis 2026) für eine kWh (Gas/Öl) betragen 6,59 Cent/kWh. Auch wenn ein zusätzlicher Planungsaufwand in Rechnung gestellt wird, ist daher die Maßnahme der

Optimierung der Wärmebrücken bei den untersuchten Gebäuden (Außenwände gemauert mit WDVS) wirtschaftlich (Randbedingungen gemäß Abschnitt 4 und 1).

Ausgangszustand beider Gebäude ist ein Wärmeschutz mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmniveaus. Wird nun auf einen detaillierten Nachweis der Wärmebrücken verzichtet, ist die Kompensation des Wärmebrückenzuschlags von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durch zusätzliche Wärmedämmung deutlich teurer als die Anschlussdetail-Optimierung (vgl. Tabelle 38). Ursache hierfür ist die bekannte hyperbolische Abhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten von der Dämmstärke (vgl. Abbildung 46). Die genaue Bilanzierung der Wärmebrücken und deren Optimierung wird bei verbessertem Wärmeschutz ökonomisch immer attraktiver.

Tabelle 38: Erforderliche zusätzliche Wärmedämmung zum Ausgleich des ΔU_{WB} -Zuschlags

RHE Reihenendhaus					
Bauteil	Außenwand	Dach	Bodenplatte / Kellerdecke	Fensterrahmen	
zusätzliche Wärmedämmung [mm]	160	180	150	-	Summe
Mehrkosten [€]	1862	1084	1542	-	4489

Stadtvilla Mehrfamilienhaus					
Bauteil	Außenwand	Dach	Bodenplatte / Kellerdecke	Fensterrahmen	
zusätzliche Wärmedämmung [mm]	160	180	150	-	Summe
Mehrkosten [€]	9881	6606	7709	-	24197

Fazit

Altbau *Eine Reduzierung von Wärmebrücken ist auch im Altbau interessant, und zwar immer dann, wenn ohnehin Arbeiten an einem Bauteil durchgeführt werden z. B. ein wärmebrückenarmer Fenstereinbau, wenn das Fenster erneuert wird. Die Möglichkeiten der Reduzierung sind jedoch entscheidend von der Bausubstanz abhängig und daher im Gegensatz zum Neubau eingeschränkt.*

Neubau *Eine Optimierung der Wärmebrücken über das Niveau des Beiblatts 2 zur DIN 4108 hinaus ist zu den angesetzten Energiebezugspreisen im Neubau privatwirtschaftlich interessant. Im Neubau kann daher die Vermeidung von Wärmebrücken als eine Maßnahme dem Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden. Es wird empfohlen, vereinfachende Regelungen zum Nachweis einer „wärmebrückenfreien Konstruktion“ im Neubau ($\Delta U_{\text{WB}} < 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) einzuführen. Mit der derzeitigen Regelung des genauen Nachweises der Wärmebrücken nach DIN V 4108-6 wird die Umsetzung von gegenüber dem Beiblatt 2 zur DIN 4108 thermisch besseren Details unnötig erschwert.*

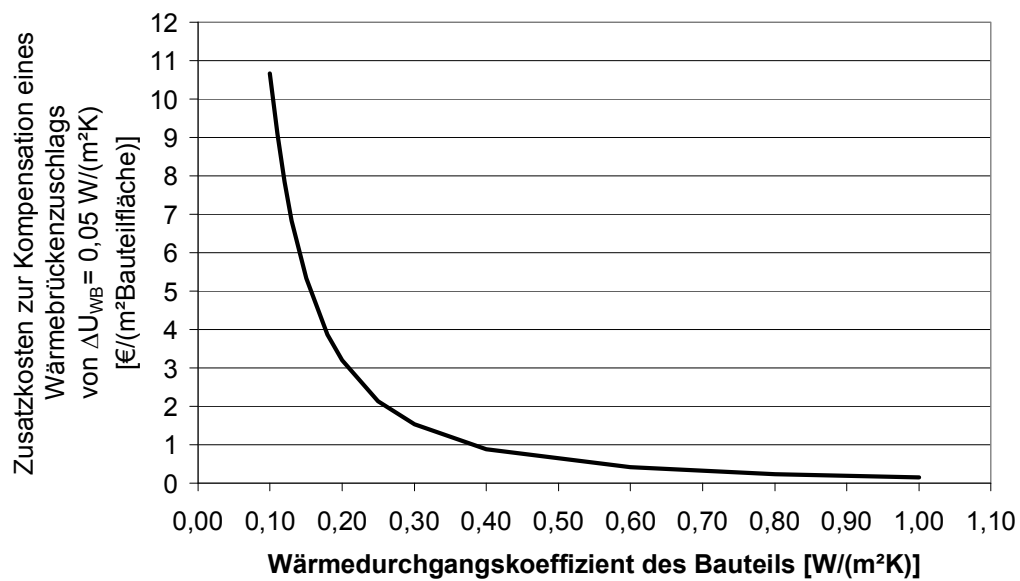


Abbildung 46: Zusatzkosten zur Kompensation eines Wärmebrückenzuschlags von $0,05 \text{ W/(m²K)}$ durch Zusatzdämmung in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils. Die Zusatzkosten wurden zu $80 \text{ Cent/(cm Dämmdicke)/(m²Bauteilfläche)}$ angesetzt ($\lambda = 0,040 \text{ W/(m K)}$). Aufgrund der Hyperbelfunktion nehmen die Zusatzkosten bei besseren Wärmedurchgangskoeffizienten stark zu. Eine Optimierung der Wärmebrücken wird bei besserem Wärmeschutz immer attraktiver.

5.7 Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle

Mit einer Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle können In- und Exfiltration und damit Lüftungswärmeverluste verringert werden. Neben dem Energiespareffekt erhöht diese Qualitätssicherungsmaßnahme aber besonders die Sicherheit vor Bauschäden an Leckagen. Die Überprüfung der Luftdichtheit ist seit der EnEV 2002 bei Neubauten etabliert und wirtschaftlich vertretbar (vgl. Begründung zur [EnEV 2007]). Es wird davon ausgegangen, dass bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen die Anforderungen an die Gebäudeluftdichtheit für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen eingehalten werden können, da dies bei Gebäuden mit Lüftung bereits seit der [EnEV 2002] praktiziert und auch eingehalten wird.

Als zusätzlicher Aufwand zur Verbesserung der Luftdichtheit bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen wird eine Drucktestmessung angesetzt, mit der die Luftdichtheit überprüft werden kann. Bei kleineren Gebäuden (Einfamilienhäusern, Reihenhäusern) ist die Einhaltung der Anforderungswerte aufgrund des ungünstigeren Verhältnisses von Gebäudehüllfläche zu Gebäudevolumen schwieriger als bei großen Gebäuden (die Leckagen befinden sich in der Gebäudehülle). Es wird daher angenommen, dass während des Drucktests bei kleineren Gebäuden ggf. Leckagen noch nachgearbeitet werden müssen. Der Kostenansatz bei kleinen Gebäuden wird etwas über den Marktpreisen für Drucktests mit 600 € angesetzt. Die Kostenfunktion für größere Gebäude wurde anhand von Angebotspreisen als Funktion des Gebäudevolumens parametrisiert (vgl. Tabelle 39). Als Referenzausführung der Wohngebäude gemäß [EnEV 2007] ohne Lüftungsanlage wurde keine Dichtheitsprüfung angesetzt. Um konsistent zum Rechenverfahren der [EnEV 2007] zu bleiben, wurde der Luftdichtheitswert n_{50} in der Referenzausführung im Berechnungsverfahren nach [DIN V 18599] zu $3,0 \text{ h}^{-1}$ angesetzt. Dieser Ansatz weicht vom vorgeschlagenen Standardwert für Gebäude ohne Dichtheitsprüfung von $n_{50} = 4,0 \text{ h}^{-1}$ (Bemessungswert) ab. Als Bemessungswert der verbesserten Ausführung wurde ein $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ angesetzt, der gemäß [DIN V 18599] für Gebäude gilt, bei denen eine Dichtheitsmessung vorgesehen ist und der Anforderungswert von $1,5 \text{ h}^{-1}$ bei der Messung eingehalten werden muss. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde angenommen, dass die Verbesserung der Luftdichtheit bis zur nächsten Fenstererneuerung vorhält (30 Jahre). Nach Ablauf des Kalkulationszeitraums von 20 Jahren hat die Maßnahme noch einen Restwert von 23 % (vgl. Abschnitt 4, Randbedingungen gemäß Abschnitt 4 und 0).

Abbildung 47 zeigt für die untersuchten Modellgebäude (vgl. Abschnitt 7.1) die mit der Verbesserung der Luftdichtheit resultierenden Kosten der eingesparten kWh Endenergie. Die Verbesserung der Luftdichtheit ist mit Kosten der eingesparten kWh unter 3 Cent/kWh sehr rentabel.

Tabelle 39: Daten zu den Modellgebäuden

Objekt	thermisch konditioniertes Volumen V_e	Endenergieeinsparung aufgrund der Verbesserung der Luftdichtheit	Kostenansatz für Drucktest- Messung
	[m ³]	[kWh/a]	[€]
EFH	797	1825	600
RHE	496	1327	600
RHM	479	1283	600
Stadtvilla	5047	10795	3100
MFH	18805	43505	5900

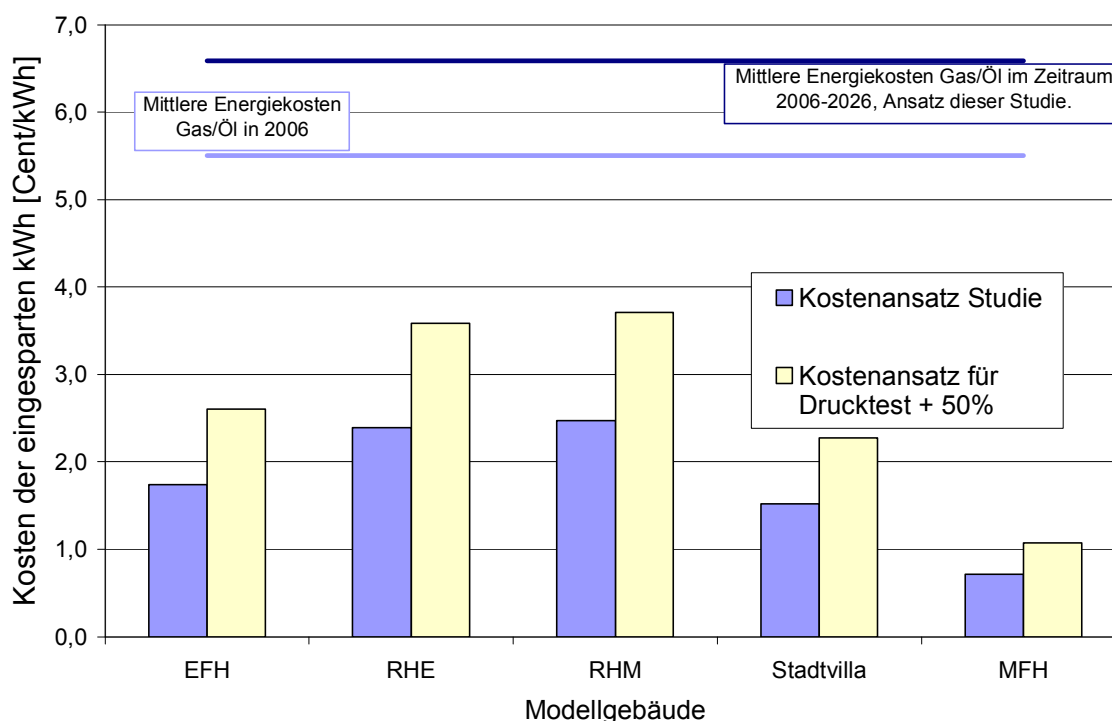


Abbildung 47: Ausgehend von der Referenzausführung ($n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$) wird die Luftdichtheit der Modellgebäude auf den Anforderungswert für Gebäude mit Lüftungsanlage verbessert (Messwert muss kleiner sein als $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$). Gemäß [DIN V 18599-2] kann in diesem Fall ein Bemessungswert zur Berechnung von $1,0 \text{ h}^{-1}$ angesetzt werden. Mit Kosten der eingesparten kWh unter drei Cent/kWh ist die Energiesparmaßnahme „Erhöhung der Luftdichtheit“ sehr wirtschaftlich. Die tatsächlichen Kosten der Drucktestmessung sind bei größeren Gebäuden stark vom Objekt abhängig (Anzahl der Aufgänge, Wohnungen, Geschosse, Kellerabgänge, etc.). Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, sind die resultierenden Kosten der eingesparten kWh zusätzlich für den Fall dargestellt, dass die Kosten der Messung 50 % höher ausfallen. Auch in diesem Fall bleibt die Maßnahme wirtschaftlich.

Fazit

Neubau: *Eine Verbesserung der Luftdichtheit in Gebäuden mit Fensterlüftung auf das Anforderungsniveau von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen ist eine sehr wirtschaftliche Energiesparmaßnahme. Es wurde angenommen, dass mit einer Luftdichtheitsmessung diese Werte erzielt werden können. Neben der Energieeinsparung hilft diese Maßnahme ferner Bauschäden zu Vermeiden. Eine erhöhte Luftdichtheit der Gebäudehülle kann daher dem Anforderungsniveau für den Neubau zugrunde gelegt werden.*

5.8 Beleuchtungsanlagen

In diesem Abschnitt wird die Erneuerung einer Beleuchtungsanlage in einem Nichtwohngebäude untersucht. Dabei wird angenommen, dass ohnehin eine Sanierung der Beleuchtung ansteht. Mit Hilfe von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) und geeigneten Leuchtmitteln oder einer guten Lichtplanung kann die installierte elektrische Leistung der Beleuchtung gegenüber einer Ausstattung mit verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) verringert werden.

Es wird angenommen, dass stabförmige Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten (direkte Beleuchtung) vorgesehen sind. Die erforderliche elektrische Leistung der Leuchten bzw. die elektrische Bewertungsleistung wird mit dem Tabellenverfahren gemäß [DIN V 18599-4] bestimmt.

In den nächsten Abschnitten werden die folgenden beiden Nutzungsprofile gemäß [DIN V 18599-10] Klassenraum und Einzelbüro untersucht:

- Klassenraum mit 1398 Nutzungsstunden im Jahr bei einer Beleuchtungsstärke von 300 lx
- Einzelbüro mit 2543 Nutzungsstunden im Jahr bei einer Beleuchtungsstärke von 500 lx.

5.8.1 Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) anstatt verlustarmer Vorschaltgeräte (VVG)

- Elektronische Vorschaltgeräte haben gegenüber verlustarmen Vorschaltgeräten geringere Verlustleistung und verlängern zusätzlich die Lebensdauer der Leuchtmittel.

Als Referenzfall wird bei beiden Nutzungen eine Erneuerung mit Spiegelrasterleuchten für direkte Beleuchtung mit VVG angesetzt. Es werden nur die Investitionskosten der Leuchten berücksichtigt, da die Installationskosten in beiden Fällen gleich sind.

Tabelle 40: Verbesserung der Lampenbetriebsgeräte (EVG anstatt VVG) in einem Klassenzimmer

Energiesparmaßnahme: Beleuchtung mit EVG			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	58W-Leuchte mit verlustarmen Vorschaltgerät	58W-Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät	
Beleuchtungsart :	direkt	direkt	
spezif. elektr. Bewertungsleistung	9,6 W/m ²	8,4 W/m ²	
Wartungswert der Beleuchtung	300 lx	300 lx	
Nutzung :	08 Klassenzimmer	08 Klassenzimmer	
Lampenart :	stabförmige Leuchtstofflampe	stabförmige Leuchtstofflampe	
Vorschaltgerät :	VVG	EVG	
beleuchtete Fläche je 58 W-Leuchte :	6,0 m ²	6,0 m ²	
Volllaststunden :	848 h	848 h	
			Bezug auf Nettogrundfläche:
Endenergie Bedarf :	49 kWh/a	43 kWh/a	7,2 kWh/(m ² a)
Investition Rasterleuchte :	100 €	120 €	
bauliche Investitionskosten	100 €	120 €	20 €/m ²
Nutzungsdauer pro Jahr :	848 h/a	848 h/a	
Betriebsdauer der Leuchtmittel :	7500 h	12000 h	
Leuchtmittlersatz erforderlich in :	9,0 a	14,0 a	
Kosten des Leuchtmittelaustauschs :	13 €	13 €	
jährliche Kosten			
jährliche Energiekosten :	8,8 €/a	7,7 €/a	1,29 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	1,6 €/a	1,1 €/a	0,19 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	6,9 €/a	8,3 €/a	1,38 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	17,3 €/a	17,1 €/a	2,9 €/m ²
Erzielte Endenergieeinsparung :		6,0 kWh/a 12%	1,0 kWh/(m ² a) 12%
jährlicher Gewinn :		0,2 €/a	0,03 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		14,6 Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Strom (Gewerbe) :		18,0 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		16 kWh/a	2,7 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Gewerbestrom:
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten (2006-2026): 0,180 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	heutige Energiekosten: 0,170 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	

Tabelle 41: Verbesserung der Lampenbetriebsgeräte (EVG anstatt VVG) in einem Büro

Energiesparmaßnahme: Beleuchtung mit EVG			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	58W-Leuchte mit verlustarmen Vorschaltgerät	58W-Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät	
Beleuchtungsart :	direkt	direkt	
spezif. elektr. Bewertungsleistung	21,5 W/m ²	18,9 W/m ²	
Wartungswert der Beleuchtung	500 lx	500 lx	
Nutzung :	01 Einzelbüro	01 Einzelbüro	
Lampenart :	stabförmige Leuchtstofflampe	stabförmige Leuchtstofflampe	
Vorschaltgerät :	VVG	EVG	
beleuchtete Fläche je 58 W-Leuchte :	2,0 m ²	2,0 m ²	
Volllaststunden :	1342 h	1342 h	Bezug auf Nettogrundfläche:
Endenergie Bedarf :	58 kWh/a	51 kWh/a	25,3 kWh/(m ² a)
Investition Rasterleuchte :	100 €	120 €	
bauliche Investitionskosten :	100 €	120 €	60 €/m ²
Nutzungsdauer pro Jahr :	1342 h/a	1342 h/a	
Betriebsdauer der Leuchtmittel :	7500 h	12000 h	
Leuchtmittlersatz erforderlich in :	6,0 a	9,0 a	
Kosten des Leuchtmittelaustauschs :	13 €	13 €	
jährliche Kosten			
jährliche Energiekosten :	10,4 €/a	9,1 €/a	4,55 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	2,3 €/a	1,6 €/a	0,81 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	6,9 €/a	8,3 €/a	4,14 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	19,6 €/a	19,0 €/a	9,5 €/m ²
Erzielte Endenergieeinsparung :		7,1 kWh/a	3,5 kWh/(m ² a)
		12%	12%
jährlicher Gewinn :		0,6 €/a	0,30 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		9,5 Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Strom (Gewerbe) :		18,0 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		19 kWh/a	9,6 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Gewerbestrom:
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten (2006-2026): 0,180 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	heutige Energiekosten: 0,170 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	

Effizienzvariante: Spiegelrasterleuchte für stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG.

Die Mehrinvestition für das elektronische Vorschaltgerät beträgt bei einer 58-W-Rasterleuchte etwa 20 €. Mit dieser Maßnahme wird eine Endenergieeinsparung von 12 % erzielt, zusätzlich verlängern sich die Lebensdauer der Lampen und damit sinken die Wartungskosten. Vernachlässigt wurde bei dieser Betrachtung, dass bei höherer Lichtausbeute der Leuchten ggf. die Gesamtanzahl der Leuchten verringert werden kann.

Altbau *Der Einsatz von EVG bei stabförmigen Leuchtstofflampen ist bei Kopplung mit einer ohnehin erforderlichen Erneuerung der Beleuchtung wirtschaftlich.*

Neubau *Der Einsatz von effizienteren EVG bei stabförmigen Leuchtstofflampen ist gegenüber VVG einzelwirtschaftlich rentabel. Bei Nichtwohngebäuden kann der Einsatz von EVG bei Leuchtstofflampen dem Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden.*

5.8.2 Optimierung des Beleuchtungssystems durch einen Fachplaner und Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)

Mit einer guten Lichtplanung kann die Effizienz der Beleuchtung noch weiter verbessert werden. Die elektrische Bewertungsleistung im Referenzfall mit VVG wird wiederum mit dem Tabellenverfahren gemäß [DIN V 18599-4] bestimmt. Es wird angenommen, dass mit der Lichtplanung und Spiegelrasterleuchten mit EVG sowie geeigneten Leuchtmitteln die Grenzwerte für die installierte Lampenleistung einschließlich Vorschaltgeräten gemäß [LEE] bzw. [SIA 380-4] erreicht werden (die Zielwerte wären nochmals strenger). Dies sind bei einer geforderten Beleuchtungsstärke von 300 lx 7,3 W/m² und bei 500 lx 15 W/m².

Tabelle 42: Optimierung des Beleuchtungssystems durch eine Lichtplanung mit EVG

Energiesparmaßnahme: Beleuchtung mit EVG und Optimierung durch Fachplaner			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	58W-Leuchte mit verlustarmen Vorschaltgerät	58W-Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät und Optimierung durch Fachplaner	
Beleuchtungsart :	direkt	direkt	
spezif. elektr. Bewertungsleistung	9,6 W/m ²	7,3 W/m ²	
Wartungswert der Beleuchtung	300 lx	300 lx	
Nutzung :	08 Klassenzimmer	08 Klassenzimmer	
Lampenart :	stabförmige Leuchtstofflampe	stabförmige Leuchtstofflampe	
Vorschaltgerät :	VVG	EVG	
beleuchtete Fläche je 58 W-Leuchte :	6,0 m ²	6,0 m ²	
Volllaststunden :	848 h	848 h	Bezug auf Nettogrundfläche:
Endenergie Bedarf :	49 kWh/a	37 kWh/a	6,2 kWh/(m ² a)
Investition Rasterleuchte :	100 €	135 €	
bauliche Investitionskosten :	100 €	135 €	23 €/m ²
Nutzungsdauer pro Jahr :	848 h/a	848 h/a	
Betriebsdauer der Leuchtmittel :	7500 h	12000 h	
Leuchtmittlersatz erforderlich in :	9,0 a	14,0 a	
Kosten des Leuchtmittelaustauschs :	13 €	13 €	
jährliche Kosten			
jährliche Energiekosten :	8,8 €/a	6,7 €/a	1,12 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	1,6 €/a	1,1 €/a	0,19 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	6,9 €/a	9,3 €/a	1,55 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	17,3 €/a	17,1 €/a	2,9 €/m ²
Erzielte Endenergieeinsparung :		11,8 kWh/a 24%	2,0 kWh/(m ² a) 24%
jährlicher Gewinn :		0,2 €/a	0,04 €/m ² a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		16,2 Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Strom (Gewerbe) :		18,0 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		32 kWh/a	5,3 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Gewerbestrom:
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten (2006-2026): 0,180 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	heutige Energiekosten: 0,170 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	

Tabelle 43: Optimierung des Beleuchtungssystems durch eine Lichtplanung mit EVG

Energiesparmaßnahme: Beleuchtung mit EVG und Optimierung durch Fachplaner			
	Referenzanlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	58W-Leuchte mit verlustarmen Vorschaltgerät	58W-Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät und Optimierung durch Fachplaner	
Beleuchtungsart:	direkt	direkt	
spezif. elektr. Bewertungsleistung:	21,5 W/m²	15,0 W/m²	
Wartungswert der Beleuchtung:	500 lx	500 lx	
Nutzung :	01 Einzelbüro	01 Einzelbüro	
Lampenart:	stabförmige Leuchtstofflampe	stabförmige Leuchtstofflampe	
Vorschaltgerät:	VVG	EVG	
beleuchtete Fläche je 58 W-Leuchte :	2,0 m²	2,0 m²	
Volllaststunden :	1342 h	1342 h	Bezug auf Nettogrundfläche:
Endenergie Bedarf:	58 kWh/a	40 kWh/a	20,1 kWh/(m²a)
Investition Rasterleuchte:	100 €	135 €	
bauliche Investitionskosten:	100 €	135 €	68 €/m²
Nutzungsdauer pro Jahr:	1342 h/a	1342 h/a	
Betriebsdauer der Leuchtmittel:	7500 h	12000 h	
Leuchtmittelsatz erforderlich in:	6,0 a	9,0 a	
Kosten des Leuchtmittelaustauschs:	13 €	13 €	
jährliche Kosten			
jährliche Energiekosten :	10,4 €/a	7,2 €/a	3,62 €/m²
betriebsgebundene Kosten :	2,3 €/a	1,6 €/a	0,81 €/m²
annuitätische Kapitalkosten :	6,9 €/a	9,3 €/a	4,65 €/m²
jährliche Gesamtkosten :	19,6 €/a	18,2 €/a	9,1 €/m²
Erzielte Endenergieeinsparung :		17,4 kWh/a	8,7 kWh/(m²a)
		30%	30%
jährlicher Gewinn :		1,4 €/a	0,7 €/m²a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		9,8 Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Strom (Gewerbe) :		18,0 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		47 kWh/a	23,5 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Gewerbestrom:
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten (2006-2026): 0,180 €/kWh
	Annuität:	6,9% p.a.	heutige Energiekosten: 0,170 €/kWh
	Klima:	Referenzklima Deutschland	

Effizienzvariante: Spiegelrasterleuchte für stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG und eine Optimierung durch einen Fachplaner.

Die Mehrinvestition für die Fachplanung und das elektronische Vorschaltgerät bei einer 58-W-Rasterleuchte betragen etwa 35 €; das Honorar des Fachplaners gilt für eine große Anzahl von Leuchten, wie bei Nichtwohngebäuden üblich. Die Endenergieeinsparung liegt bei den untersuchten Nutzungen zwischen 24 und 30 % gegenüber den Referenzvarianten, wenn wie oben angenommen, die eingeführten Grenzwerte eingehalten werden. Auch hier wurde bei den Investitionskosten nicht berücksichtigt, dass ggf. die Gesamtanzahl der Leuchten bei höherer Lichtausbeute und Optimierung der Planung verringert werden kann.

Altbau *Die Beleuchtungsoptimierung durch einen Fachplaner inklusive dem Einsatz von EVG bei stabförmigen Leuchtstofflampen ist bei Kopplung mit einer ohnehin erforderlichen Erneuerung der Beleuchtung wirtschaftlich. Dies gilt für Beleuchtungssanierungen ab etwa 750 m² NGF. Bei der Erneuerung von Beleuchtungsanlagen könnte daher die Einhaltung von Effizienzstandards (z. B. Grenzwerte der spezifischen installierten Lampenleistung) gefordert werden.*

Neubau *Die Optimierung der Beleuchtung durch einen Fachplaner ist bei Einhaltung der eingeführten Grenzwerte der installierten Leistung gemäß [LEE] und [SIA 380-4] wirtschaftlich. Bei Nichtwohngebäuden kann eine Optimierung der Beleuchtung auf eingeführte Grenzwerte dem Anforderungsniveau zugrunde gelegt werden.*

5.8.3 Verwendung eines tageslichtabhängigen Kontrollsystems und elektronische Vorschaltgeräte (EVG) anstatt verlustarmer Vorschaltgeräte (VVG) ohne Kontrollsystem

Eine tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung kann helfen, dass Tageslichtangebot besser auszunutzen und somit den Strombedarf für Beleuchtung zu verringern. Bei ausreichendem Tageslichtangebot wird häufig das Kunstlicht nicht mehr wahrgenommen, in der Folge wird es bei ausreichendem Tageslicht regelmäßig nicht abgeschaltet. Im folgenden wird die Wirtschaftlichkeit einer tageslichtabhängigen Beleuchtungsregelung im Vergleich zur Referenzanlage für die Nutzung „Einzelbüro“ untersucht (Beleuchtung mit VVG). Der Strombedarf wird wiederum gemäß den Rechenverfahren der [DIN V 18599-4] bestimmt. Angesetzt wird das Kontrollsystem tageslichtabhängig gedimmt, ausschaltend.

Tabelle 44: Optimierung des Beleuchtungssystems mittels eines tageslichtabhängigen Kontrollsystems (mit EVG)

Energiesparmaßnahme: Beleuchtung mit EVG und tageslichtabhängigem Kontrollsystem			
	Referenz-anlage	Anlage mit verbesserter Effizienz	
	Leuchte mit verlustarmen Vorschaltgerät	Leuchte mit elektronischem Vorschaltgerät	
Beleuchtungsart :	direkt	direkt	
spezif. elektr. Bewertungsleistung	21,5 W/m²	18,9 W/m²	
Wartungswert der Beleuchtung	500 lx	500 lx	
Nutzung :	01 Einzelbüro	01 Einzelbüro	
Lampenart :	stabförmige Leuchtstofflampe	stabförmige Leuchtstofflampe	
Vorschaltgerät :	VVG	EVG	
Kontrollsystem :	manuell	tageslichtabhängig gedimmt, ausschaltend	
Anzahl der Leuchten :	4	3	
NGF des beleuchteten Raums :	12 m ²	12 m ²	
Vollaststunden :	1342 h	858 h	
			Bezug auf Nettogrundfläche:
Endenergie Bedarf :	346 kWh/a	194 kWh/a	16,2 kWh/(m²a)
Investition je Rasterleuchte :	100 €	220 €	
bauliche Investitionskosten Summe :	400 €	660 €	55 €/m²
Nutzungsdauer pro Jahr :	1342 h/a	858 h/a	
Betriebsdauer der Leuchtmittel :	7500 h	12000 h	
Leuchtmittelsatz erforderlich in :	6,0 a	14,0 a	
Kosten des Leuchtmittelaustauschs :	13 €	13 €	
jährliche Kosten			
jährliche Energiekosten :	62,3 €/a	35,0 €/a	2,92 €/m ²
betriebsgebundene Kosten :	2,3 €/a	1,1 €/a	0,09 €/m ²
annuitätische Kapitalkosten :	27,6 €/a	45,5 €/a	3,79 €/m ²
jährliche Gesamtkosten :	92,2 €/a	81,6 €/a	6,8 €/m²
Erzielte Endenergieeinsparung :		151,8 kWh/a	12,6 kWh/(m²a)
		44%	44%
jährlicher Gewinn :		10,6 €/a	0,9 €/m²a
Kosten der eingesparten kWh Endenergie :		11,0 Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten (2006-2026) für eine kWh Strom (Gewerbe) :		18,0 Cent/kWh	
jährliche Primärenergieeinsparung :		410 kWh/a	34,1 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins:	3,3% p.a.	Gewerbestrom:
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	Mittlere Energiekosten (2006-2026):
	Annuität:	6,9% p.a.	heutige Energiekosten:
	Klima:	Referenzklima Deutschland	

Effizienzvariante: Spiegelrasterleuchte für stabförmige Leuchtstofflampen mit EVG und tageslichtabhängigem Kontrollsystem.

Die Mehrinvestition für das elektronische Vorschaltgerät und das Kontrollsystem belaufen sich bei einer 58-W-Rasterleuchte auf etwa 120 €. Dabei wurde ein autarkes tageslichtabhängiges Kontrollgerät zugrunde gelegt, welches jeweils zwei Leuchten ansteuert. Die Variante mit Kontrollsystem ist damit erheblich teurer als das Referenzsystem. Mit dieser Maßnahme wird eine Endenergieeinsparung von 44 % erzielt, zusätzlich verlängern sich die Lebensdauern der Lampen und damit sinken die Wartungskosten. Diese Maßnahme wird erst wirtschaftlich, wenn auch berücksichtigt wird, dass mit verbesserter Lichtausbeute auch die Gesamtleuchtenanzahl im Raum verringert werden kann (drei Leuchten anstatt vier bei der Referenzvariante; die Anzahl der Leuchten wurde hierfür anhand des tatsächlichen Lichtstroms ermittelt, vgl. Anhang 16.10.3).

Altbau *Ein tageslichtabhängiges Kontrollsystem (gedimmt, ausschaltend) ist aufgrund der deutlich höheren Investitionskosten bei der untersuchten Nutzung erst wirtschaftlich, wenn eine mögliche Verringerung der Leuchtenanzahl in der optimierten Variante eingesetzt wird.*

Neubau *Ein tageslichtabhängiges Kontrollsystem wird einzelwirtschaftlich rentabel, wenn gleichzeitig eine mögliche Verringerung der Leuchtenanzahl aufgrund der verbesserten Lichtausbeute berücksichtigt wird. Da im Neubau noch mehr planerische Freiheit bezüglich der Anordnung der Leuchten besteht, können ein tageslichtabhängiges Kontrollsystem und verlustarme Vorschaltgeräte dem Anforderungsniveau im Neubau bei büroähnlichen Nutzungen zugrunde gelegt werden (vgl. Referenzgebäudeausführung Abschnitt 7.3.1).*

5.9 Effizienzmaßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz

Wohngebäude in Mitteleuropa benötigen bei vernünftiger Planung keine aktive Kühlung. Auch bei Büronutzung ist eine klassische Klimatisierung nicht erforderlich. Bei Reduzierung der solaren und internen Lasten kann auf die Klimaanlage verzichtet werden. Dieser Ansatz liegt auch dem aktuellen Entwurf der EnEV für das Referenzgebäude zugrunde. In den folgenden Abschnitten wird untersucht, welche Effizienzmaßnahmen unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit nach dem Energieeinspargesetz gerechtfertigt sind. Es werden dabei verschiedene Methoden zur Herstellung sommerlichen Komforts verglichen. Als Berechnungsgrundlage wurde soweit als möglich auf die DIN V 18599-10:2005-07 zurückgegriffen. Zur Untersuchung von BKT und Erdsondennutzung wurden dynamische Simulationsverfahren herangezogen, weil hierfür nach DIN V 18599 kein Berechnungsgang vorliegt.

5.9.1 Das Beispielobjekt: Büroneubau lu·teco in Ludwigshafen

Als Beispielobjekt wurde ein Teil eines Büroneubaus der GAG Ludwigshafen ausgewählt. Fertigstellung des letzten Bauabschnitts des Bürogebäudes war im April 2008. Das Gebäude weist insgesamt ca. 10.000 m² Nutzfläche auf, die Kammstruktur ist aufgrund der Größe des Gesamtobjekts vergleichsweise kompakt, die „Zinken“ des Kamms sind 31 m lang und 15 m breit.

Für die Berechnungen wurden zwei Geschosse mit insgesamt 405 m² Hauptnutzfläche betrachtet; die in anderen Teilen des Gebäudes liegenden Verkehrs- und Funktionsflächen werden im Folgenden nicht berücksichtigt. Die Gebäudehülle wurde bei den Berechnungen nach DIN V 18599 entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude angesetzt. Die baulichen Details sowie die eingesetzten Randbedingungen für die dynamische Simulation sind in [Schnieders 2005] näher erläutert.

5.9.2 Prüfung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2

Anhand von zwei „kritischen“ Büroräumen im 3. OG (Eckbüro S-O und Büro O) wurde der sommerliche Wärmeschutz nach dem Verfahren der DIN 4108-2: 2003-07 Abschnitt 8 untersucht. Abbildung 48 zeigt die Ansichten und Grundrisse der betreffenden Büroräume. Das Verhältnis von Fensterfläche zu Nettogrundfläche der betrachteten Büroräume sind in Tabelle 45 aufgelistet. Das Klima ist als „sommerheiß“ (Klimaregion C), die Gebäudebauart als „schwer“ eingestuft.

Tabelle 45: Fensterflächenanteile und zulässiger Sonneneintragskennwert der „kritischen“ Büroräume

	Fenster- fläche A_w	Nettogrund- fläche A_G	Grundflächen- bezogener Fensterflächen- anteil	Zul. Sonnen- eintrags- kennwert S_{zul}
Eckbüro S-O	19,9 m ²	41,4 m ²	48 %	0,108
Büro O	11,4 m ²	25,1 m ²	45 %	0,091



Abbildung 48: „Kritische“ Büroräume welche zur Bestimmung der Sonneneintragskennwerte herangezogen wurden (Oben: Ostbüro BA I; unten: Eckbüro BA II)

Tabelle 46: Fensterflächenanteile und zulässiger Sonneneintragskennwert der „kritischen“ Büroräume; Referenzgebäude mit und ohne außenliegender Verschattung

	Grenzwert S_{zul}	Referenz ohne außenliegender Verschattung S_{vorh}	Referenz mit außenliegend drehbaren Lamellen, hinterlüftet S_{vorh}
Eckbüro S-O	0,108	0,313	0,078
Büro O	0,091	0,294	0,074

Tabelle 47: Fensterflächenanteile und zulässiger Sonneneintragskennwert der „kritischen“ Büroräume

	Grenzwert S_{zul} bei Sonnenschutz- verglasung und erhöhter Nachtlüftung	Referenz mit innenliegender Verschattung heller Farbe, Sonnenschutzverglasung und erhöhter Nachtlüftung S_{vorh}
Eckbüro S-O	0,158	0,143
Büro O	0,141	0,134

Wie in Tabelle 47 zu erkennen ist, wird der zulässige Sonneneintragskennwert von einem Gebäude entsprechend dem EnEV-Referenzgebäude überschritten, wenn kein außenliegender Sonnenschutz angebracht wird. Mit dem Einsatz von außenliegenden drehbaren Lamellen (Abminderungsfaktor 0,25) wird der Grenzwert unterschritten.

Ohne außenliegende Verschattung wird der zulässige Sonneneintragskennwert nur unterschritten, wenn sowohl Sonnenschutzglas (g-Wert 0,37) als auch innenliegende Verschattung heller Farbe (Abminderungsfaktor 0,8) sowie erhöhte Nachtlüftung eingesetzt wird.

5.9.3 Reduzierung der internen Gewinne durch effiziente Arbeitshilfen

In diesem Abschnitt wird untersucht, in wie weit der Einsatz von energieeffizienten Arbeitshilfen im Bürogebäude, welche die derzeitig vorherrschenden Verbrauchswerte (oder sogar die Vorgaben der Standardwerte nach DIN V 18599) unterschreiten, eine wirtschaftliche Maßnahme darstellen. Welche Einsparpotentiale hier möglich sind, zeigen die Erfolge im Bereich der Mobiltechnologie. Notebooks wurden aufgrund der begrenzten Akkukapazität auf Energieeffizienz optimiert. Die gleiche Prozessortechnologie kann aber auch in normale Bürotechnik integriert werden. Einen sehr guten Überblick über die aktuelle Marktverfügbarkeit besonders effizienter Bürogeräte wird durch die Initiative Energieeffizienz-Technologie + Dienstleistungen (<http://www.office-topten.de>) zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage wurde die nachfolgende Tabelle mit den jeweils marktführenden Geräten aufgestellt (Stand 5/2007).

Tabelle 48: Hocheffiziente Bürogeräte, nach <http://www.office-topten.de> Stand 5/2007

Gerät	Eigenschaften	On Mode	Sleep Mode	Low Power Mode	Stromverbrauch
		W	W	W	kWh/a
PC	2,4 GHz	43,0	2,3		92,92
PC	1 GHz	10,4	0,7		22,91
TFT-Monitor	1024x768 15"TFT	13,0	0,6		27,56
Drucker	Laserdrucker		0,8		6,80
Fax	SW, A4, 33 kbit/s		0,4		3,07
Kopierer	digital, s/w, A4 u. A3			2,8	14,00
Multifunktions- gerät	Scanner, Fax u. Drucker	13	0,4	1,5	7,88
Scanner	Flachbett, Farbe, A4, max 12800 dpi		3,5		16,66

Da der Energieverbrauch der Bürogeräte für die Hersteller bislang kaum eine Rolle zu spielen scheint, sind bei Auswahl sparsamer Geräte in den meisten Fällen keine systematischen Mehrkosten zu erwarten. Das gleiche gilt für die Nutzung von vorhandenen Energiespartechiken, die oft lediglich aktiviert werden müssen. Die Mehrkosten von Notebooktechnologie sind in den letzten Jahren erheblich gesunken; TFTs statt Röhrenmonitore sind ohnehin bei Neuanschaffungen weitgehend zum Standard geworden. Aufgrund der geringen Nutzungsdauer der Arbeitshilfen (hier: 5 Jahre) ist der Barwert der Investition trotzdem relativ hoch. Die Maßnahme trägt sich dennoch bereits allein durch die unmittelbare Energieeinsparung. Außerdem müssten sonst etwa 50 % des eingesparten Stroms zusätzlich durch die Klimaanlage hinausgekühlt werden.

Tabelle 49: Stromverbrauch pro Jahr in kWh der Geräte in den jeweiligen Betriebszuständen (Quelle: Fraunhofer ISI (2005)). *Diese Geräte sind aufgrund Ihrer Faxfunktion ständig im Betrieb und werden nicht abgeschaltet

Bürogerät, Arbeitshilfe	Stromverbrauch pro Jahr [kWh/a]	zeitmittlere Dauerleistung [W]
PC	120	13,7
Notebook	48	5,5
CRT	144	16,4
TFT	48	5,5
Tintenstrahldrucker	36	4,1
Laserdrucker	168	19,2
Scanner	48	5,5
Kopierer	360	41,1
Faxgerät*	108	12,3
Multifunktionsgeräte*	120	13,7

Entsprechend der DIN V 18599-10:2005-07 werden für Bürogebäude unterschiedliche Nutzungszeiten und Personenbelegungen vorgegeben. Je nach Belegungsdichte und Nutzung staffeln sich die internen Wärmequellen in die Bereich „tief“, „mittel“ bzw. „hoch“.

Untersucht wird hier ein Gruppenbüro mit zwei bis sechs Arbeitsplätzen. Die Nutzungszeiten werden hierfür nach DIN V 18599 von 7 bis 18 Uhr mit 6 Vollnutzungsstunden pro Tag angegeben. Die internen Wärmequellen teilen sich damit entsprechend Tabelle 50 auf. *Hinweis: In den Tabellen der DIN V 18599-10:2005-07 Tabelle A1 und A2 sind offensichtlich in der Spalte der internen Wärmequellen der Nutzungsgruppe „tief“ die Werte für Personen bzw. Arbeitshilfen vertauscht worden. Dies wurde in nachfolgender Tabelle bereits korrigiert.*

Die in der Tabelle angegebenen Werte für die Arbeitshilfen sind als durchweg sehr gering einzustufen, in der Stufe „tief“ auch bei geringer Belegungsdichte mit heute verfügbarer Technik nur bei konsequenter Produktauswahl zu erreichen, die Stufe „mittel“ und „hoch“ kann dagegen mit der effizientesten heute verfügbaren Technik unterboten werden.

Tabelle 50: Interne Wärmequellen aus Personen und Arbeitshilfen entsprechend der Nutzungsgruppen „tief“, „mittel“ bzw. „hoch“ nach DIN V 18599-10.

	spezifische mittlere Dauerleistung [W/m ²] bzw. Jahresverbrauch [kWh/(m ² a)]		
	niedrig	mittel	hoch
Personen (70 W je Person)	1,0 W/m ² 8,76 kWh/(m ² a)	1,25 W/m² 10,95 kWh/(m²a)	1,75 W/m ² 15,33 kWh/(m ² a)
Arbeitshilfen (50/100/150 W)	0,75 W/m ² 6,57 kWh/(m ² a)	1,75 W/m² 15,33 kWh/(m²a)	3,75 W/m ² 32,85 kWh/(m ² a)
Gesamt	1,75 W/m ² 15,33 kWh/(m ² a)	3,0 W/m² 26,28 kWh/(m²a)	5,5 W/m ² 48,18 kWh/(m ² a)

Durch den Einsatz von effizienten Bürogeräten und PC-Ausstattung mit Mobiltechnologie lässt sich die interne Wärmequelle durch Arbeitshilfen von 5,2 W/m² ([Zimmermann 1999]) auf 1,0 W/m² reduzieren (siehe [Knissel 2002]). Die Mehrinvestitionen sowie laufende Kosten für Beschaffung und Einrichtungen wurden aus [Schnieders 2005] übernommen. Die direkte Einsparung an elektrischer Energie beträgt damit 4,2 W/m², also 36,8 kWh/(m²a). Die Maßnahme ist schon allein durch diesen direkten Effekt wirtschaftlich. Hinzu kommt noch der indirekte Effekt durch Vermeidung von Kühllast mit einem Barwert von 11,4 €/(m²a), welcher bereits durch den höheren Aufwand an Heizwärme in der Heizperiode bereinigt wurde.

Tabelle 51: Interne Wärmequellen aus Personen und Arbeitshilfen entsprechend der Nutzungsgruppen erreichbar mit heute verfügbaren hocheffizienten Arbeitshilfen nach <http://www.office-topten.de>, Stand 5/2007.

	spezifische mittlere Dauerleistung W/m ² , erreichbar mit hocheffizienten Arbeitshilfen		
	niedrig	mittel	hoch
Personen	1,0	1,25	1,75
Arbeitshilfen	0,8	1,0	1,4
Gesamt	1,8	2,25	3,15

Tabelle 52: Wirtschaftlichkeitsberechnung zu energieeffizienten Arbeitshilfen

Energiesparmaßnahme: Notebooktechnik im PC, effiziente Kopierer, geringer Standby-Verlust usw.

Energie ¹⁾	
direkte Wirkung:	-36,8 kWh/(m²a)
Nutzenergie Kühlung:	-14,7 kWh/(m²a)
Nutzenergie Raumwärme:	+9,9 kWh/(m²a)
Kühllast:	-7,4 W/m²
Primär-energie-einsparung:	+5,1 kWh/(m²a)

Kosten ¹⁾	
Einzelinvestition:	11,11 €/m²
Barwert Investition:	59,76 €/m²
Barwert Wartung & Reparatur:	29,33 €/m²
Barwert Energiekosten:	-169,52 €/m²
Barwert Kühl-lastreduktion:	-10,94 €/m²
Gesamtkosten der Maßnahme (Barwert)¹⁾:	-91,36 €/m²
Kosten der eingesparten kWh:	0,09 €/kWh
jährlicher Gewinn¹⁾:	5,54 €/m²a



¹⁾Bezugswert: Nutzfläche

ANNAHMEN	Realzins:	3,3 %	Mittlerer Energiepreis Heizung:	0,066 €/kWh
	Lebensdauer Maßnahme:	5 a	Mittlere Energiek. inkl. Hilfsenergie:	0,068 €/kWh
	Betrachtungszeitraum:	50 a	Mittlerer Strompreis:	0,180 €/kWh
			Verglasungsfläche/Nutzfläche:	35 %

5.9.3.1 Untersuchung von Fensterqualität und außenliegendem Sonnenschutz nach DIN 18599

Zur Reduzierung der solaren Einträge werden folgende permanente bzw. temporäre Maßnahmen zur Reduzierung des g-Wertes der Fenster verglichen:

Art und Betriebsweise Sonnenschutz:

ohne; manuell/zeitgesteuert; automatisch

Fenster- bzw. Verglasungsqualität:

MSIV 2-fach

SSV mit g-Wert 0,37

Jalousie:

Lamellenstores, außenliegend

Außenliegende Lamellenstores

Für außenliegende Lamellenstores können Kosten von 170 €/m² angesetzt werden [Schulz 2005]. Wartung und Reparatur wurden mit jährlich 2,5% der Investitionskosten angesetzt.

Der Nutzkältebedarf beim Einsatz von außenliegendem Sonnenschutz (Jalousie, 45°, dunkelgrau) reduziert sich gegenüber der Referenz um 1,0 kWh/(m²a) bei manueller

Steuerung bzw. um $7,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bei automatischer Steuerung. Hier stellt sich die Frage, ob dieser gravierende Unterschied allein aufgrund der automatischen Steuerung in der Praxis tatsächlich zu erwarten ist, zumal auch bei automatischer Steuerung ein Nutzereingriff (Übersteuerung der Automatik) möglich ist. Eine deutliche Verbesserung durch die automatische Steuerung ist eigentlich nur in Räumen mit langen Abwesenheitszeiten der Nutzer zu erwarten, wenn die Verschattungseinrichtungen dort nicht aktiv genutzt werden.

Durch die Jalousien reduzieren sich in der Praxis Kühllast und Kältebedarf erheblich, wenn man von überwiegend geschlossenem Zustand in den Sommermonaten ausgeht. Nach der Berechnung entsprechend DIN V 18599 bleibt die Kühllast allerdings konstant, der Nutzkältebedarf sinkt bei manueller Steuerung nur unwesentlich um $1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, aber auch bei automatischer Steuerung fällt die Nutzkälteeinsparung mit $7,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ verglichen mit der dynamischen Simulation ($25,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) relativ gering aus. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der begrenzten Lebensdauer ist die Maßnahme aber ohnehin als eher teuer einzustufen.

Motorisch angetriebene Lamellenstores sind kaum teurer als manuell bediente. Hier wurden Mehrkosten von 20 €/m^2 angesetzt. Wartung und Reparatur betragen jährlich $2,5 \%$ der Investitionskosten. Hinzu kommen die Kosten der GLT mit 32 €/m^2 ; ein Anteil von 5 €/m^2 hiervon wurde für die Steuerung der Verschattungseinrichtungen angesetzt.

Die einzelwirtschaftlichen Daten der außenliegenden Verschattung sagen jedoch noch nichts über dessen Bedeutung im Gesamtkonzept zum sommerlichen Wärmeschutz aus. Sie stellt nämlich neben den geringen internen Lasten eine der wichtigsten Voraussetzungen dar, um überhaupt auf maschinelle Kühlung verzichten zu können.

Tabelle 53: Außenliegende Lamellenstores, automatische Steuerung via GLT

Energiesparmaßnahme: Außenliegende Verschattung mit Lamellenstores, Steuerung autom.

Energie ¹⁾	
direkte Wirkung:	0,0 kWh/(m²a)
Nutzenergie Kühlung:	-7,6 kWh/(m²a)
Nutzenergie Raumwärme:	+0,7 kWh/(m²a)
Kühllast:	0,0 W/m²
Primär-energie-einsparung: +7,5 kWh/(m²a)	

Kosten ¹⁾	
Einzelinvestition:	92,57 €/m²
Barwert Investition:	114,74 €/m²
Barwert Wartung & Reparatur:	28,42 €/m²
Barwert Energiekosten:	-7,22 €/m²
Barwert Kühllastreduktion:	0,00 €/m²
Gesamtkosten der Maßnahme (Barwert)¹⁾: 135,93 €/m²	
Kosten der eingesparten kWh: 3,24 €/kWh	
jährlicher Gewinn¹⁾: -5,43 €/m²a	



¹⁾Bezugswert: Nutzfläche

ANNAHMEN	Realzins:	3,3 %	Mittlerer Energiepreis Heizung:	0,066 €/kWh
	Lebensdauer Maßnahme:	15 a	Mittlere Energiek. inkl. Hilfsenergie:	0,068 €/kWh
	Betrachtungszeitraum:	20 a	Mittlerer Strompreis:	0,180 €/kWh
			Verglasungsfläche/Nutzfläche:	35 %

Sonnenschutzverglasung

Nach Tabelle 5 der DIN V 18599-2:2005-07 werden drei unterschiedliche 2fach – Sonnenschutzverglasungen aufgeführt. Der g-Wert für senkrechten Strahlungseinfall variiert dabei von 0,48 über 0,37 bis 0,25. Dabei ist jedoch zu beachten, dass mit dem g-Wert auch der Transmissionsgrad im sichtbaren Spektralbereich deutlich zurückgeht und damit auch die Tageslichtnutzung eingeschränkt wird. Der Komfort ist damit nicht mehr mit der einer Standard-Verglasung zu vergleichen. Aus diesem Grund wurde die SSV mit g=0,37 für die Untersuchung herangezogen, da diese noch einen akzeptablen visuellen Komfort bietet, aber eine deutliche Strahlungsreduktion aufweist. Die Mehrkosten einer SSV, deren g-Wert-Reduktion auf geänderter Glasbeschichtung (und nicht auf einer Tönung der Scheibe) basiert, liegt bei 130 € pro Quadratmeter Verglasung (vgl. Mehrkosten durch Tönung ca. 60 €/m² Mehrkosten, aber reduzierter visueller Komfort).

Durch den reduzierten g-Wert werden allerdings auch die solaren Gewinne in der Heizperiode reduziert, im Beispiel Bürogebäude steigt damit die spezifische Heizwärme um 4,5 kWh/(m²a) an. Dagegen sinkt der Nutzkältebedarf um 11,7 kWh/(m²a) und die maximal erforderliche Kühlleistung um 8 kWh/(m²a).

Aufgrund der hohen investiven Mehrkosten liegt aber auch diese Maßnahme mit 0,77 €/kWh nicht im Bereich der Einzelwirtschaftlichkeit.

Tabelle 54: Sonnenschutzverglasung, $g=0,37$

Energiesparmaßnahme: Sonnenschutzverglasung, Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0.37$

Energie ¹⁾	
direkte Wirkung:	0,0 kWh/(m²a)
Nutzenergie Kühlung:	-11,7 kWh/(m²a)
Nutzenergie Raumwärme:	+4,0 kWh/(m²a)
Kühllast:	-8,0 W/m²
Primär-energie-einsparung:	+8,3 kWh/(m²a)

Kosten ¹⁾	
Einzelinvestition:	45,50 €/m²
Barwert Investition:	56,39 €/m²
Barwert Wartung & Reparatur:	0,00 €/m²
Barwert Energiekosten:	-7,89 €/m²
Barwert Kühl-lastreduktion:	-6,99 €/m²
Gesamtkosten der Maßnahme (Barwert)¹⁾:	41,52 €/m²
Kosten der eingesparten kWh:	0,79 €/kWh
jährlicher Gewinn¹⁾:	-1,10 €/m²a



¹⁾Bezugswert: Nutzfläche

ANNAHMEN	Realzins:	3,3 %	Mittlerer Energiepreis Heizung:	0,066 €/kWh
	Lebensdauer Maßnahme:	15 a	Mittlere Energiek. inkl. Hilfsenergie:	0,068 €/kWh
	Betrachtungszeitraum:	20 a	Mittlerer Strompreis:	0,180 €/kWh
			Verglasungsfläche/Nutzfläche:	35 %

5.9.4 Vergleich konventionelle Klimaanlage mit einem System aus BKT und Erdsonden

Wie bereits eingangs erwähnt, konnte die Untersuchung von Betonkerntemperierung und Erdsonden nicht mit dem Berechnungsverfahren der DIN V 18599-2 durchgeführt werden. Die Berechnungsergebnisse basieren daher auf der dynamischen Simulation, wie sie in [Schnieders 2005] ausgeführt ist. Die Randbedingungen und Annahmen wurden jedoch wie bei allen anderen Untersuchungen dieses Berichtes einheitlich zugrunde gelegt.

Das Beispielgebäude hat eine geregelte, außenliegende Verschattung, so dass der Nutzkältebedarf noch 13,7 kWh/(m²a) beträgt. Die Kühllast liegt nun bei 22,3 W/m². Diese Größenordnung kann als typisch für ein modernes Bürogebäude gelten, in dem die Klimaanlage lediglich eine Spitzenlast abdeckt.

5.9.4.1 Konventionelle Klimaanlage

Für das Beispielgebäude wurde eine konventionelle Induktionsklimaanlage mit Investitionskosten vom pauschal 167 €/m² angenommen. Für den Energiebedarf von Pumpen und Ventilatoren wurden Werte an der unteren Grenze typischer Anlagen nach [Rechnagel 2003] angesetzt. Abgezogen wird eine Gutschrift für den Energiebedarf einer effizienten Passivhaus-Lüftungsanlage im Sommerhalbjahr. Trotzdem beträgt der für die Raumkühlung anzurechnende Hilfsenergiebedarf noch 12,4 kWh/(m²a). Unter der Annahme, dass 80 % dieser Wärme im Gebäude verbleiben, erhöht sich der eigentliche Nutzkältebedarf von 13,7 kWh/(m²a) auf 23,6 kWh/(m²a).

Die Gesamtkosten werden durch die Anlage selbst bestimmt, was wesentlich auch mit der geringen Lebensdauer und den häufigen Wiederbeschaffungen zusammenhängt. Die Energiekosten sind demgegenüber gering. Sie werden noch von den Kosten für Wartung und Reparatur (3,5 % der Investition) überstiegen. In ungünstig konstruierten und betriebenen Gebäuden (große Glasflächen ohne Verschattung, keine Möglichkeit der Fensterlüftung, enges Raumtemperaturband) kann der Energieaufwand für die Klimatisierung aber leicht auf ein Vielfaches wachsen.

Tabelle 55: Ökonomie einer konventionellen Klimaanlage im Beispielgebäude

Konventionell Klimaanlage

Energie ¹⁾	
Nutzenergie Kühlung:	13,7 kWh/(m ² a)
Strombedarf dafür:	+9,5 kWh/(m ² a)
Strom Pumpen u. Ventilatoren	12,4 W/m ²

Kosten ¹⁾	
Einzelinvestition:	167 €/m ²
Barwert Investition:	348 €/m ²
Barwert Wartung & Reparatur:	143 €/m ²
Barwert Energie- kosten HLK:	96 €/m ²
Gesamtkosten der Maßnahme (Barwert)¹⁾:	
587 €/m²	



¹⁾Bezugswert: Nutzfläche

ANNAHMEN	Realzins:	3,3 %		
	Lebensdauer Maßnahme:	15 a		
	Betrachtungszeitraum:	50 a		
			Mittlerer Strompreis:	0,180 €/kWh
			Verglasungsfläche/Nutzfläche:	35 %

5.9.4.2 Betonkerntemperierung mit Erdsonden

Bei der Betonkerntemperierung (BKT, auch Bauteilaktivierung oder thermoaktives Bausystem genannt) werden Rohrschlangen in der Betondecke von Kühlwasser durchströmt. Da die Betondecken selbst eine große Wärmekapazität aufweisen, kann die Wärmeabfuhr zeitlich in gewissem Maße von der Wärmelast entkoppelt werden; aufgrund der großen Kühlflächen sind relativ geringe Untertemperaturen ausreichend um Wärmeleistungen bis zu 20 W/m^2 abzuführen. Durch diese Tatsache sind Betonkerntemperierungen besonders für die Kombination mit Wärmepumpen oder Erdsonden geeignet. In Gebäuden mit sehr gutem Dämmstandard kann die BKT auch die Beheizung mit übernehmen. Zusätzliche Vorteile ergeben sich dann beim Einsatz von Erdsonden, da eine Ermüdung des Erdreichs leichter vermieden werden kann.

Die vorliegenden Praxiserfahrungen mit derartigen Systemen sind ausgezeichnet. Es handelt sich jedoch noch um eine junge Technologie, die besonders sorgfältige Planung voraussetzt [Glück 2000].

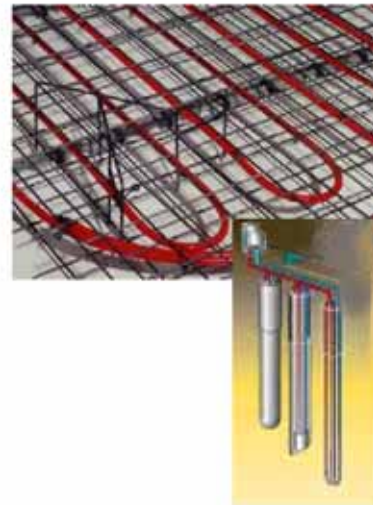
Die Investitionskosten des Systems BKT + Erdsonden werden in der Regel als 30 bis 40 % geringer als bei einer konventionellen Kühlung eingeschätzt. Eine eigene Berechnung aufgrund vorliegender abgerechneter Kosten ([Baumgartner 2005], [Krien 2003]) führte auf ein ähnliches Ergebnis: Mit 51 €/m^2 für die BKT, 43 €/m^2 für die Erdsonden und 20 €/m^2 für die zusätzliche Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ergeben sich Gesamt-Investitionskosten, die signifikant unter denen einer konventionellen Klimaanlage liegen.

In der ökonomischen Analyse wirkt sich vor allem die lange Lebenserwartung der Komponenten positiv aus: Sowohl für die Erdsonden als auch für die in die Betondecke eingegossenen Rohrleitungen aus PE-xa kann aufgrund des geschützten Einbaus und der geringen Temperaturschwankungen eine Lebensdauer von 50 Jahren angesetzt werden. Der Barwert der Investitionskosten beträgt damit nur ein Drittel des Barwerts einer konventionellen Klimaanlage. Auch der Wartungsaufwand dürfte drastisch geringer ausfallen, in der Berechnung wurden 0,3 % der Investitionskosten angesetzt.

Die Kühlung erfolgt rein passiv durch Wärmetransfer aus dem ca. 11 °C warmen Erdreich. Energie wird nur für die Förderung des Kühlwassers benötigt. Aufgrund der geringen Temperaturspreizungen (typisch: $1\text{-}2 \text{ K}$) müssen große Wassermengen umgepumpt werden; dennoch lässt sich der jährliche Energiebedarf bei Einsatz effizienter Pumpen im Bereich von $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ halten ([Rochard 2002], [Rebmann 2005]). Die Hälfte dieses Wertes wird hier der Kühlung zugerechnet. Die Gesamtkosten des Systems liegen damit bei 30 % einer konventionellen Klimaanlage.

Tabelle 56: Ökonomie einer Betonkerntemperierung mit Rückkühlung ins Erdreich

Betonkerntemperierung und Erdsonden		
Energie ¹⁾	Kosten ¹⁾	
Nutzenergie Kühlung: 13,7 kWh/(m²a)	Einzelinvestition:	113 €/m²
Strombedarf dafür: 0 kWh/(m²a)	Barwert Investition:	122 €/m²
Strom Pumpen u. Ventilatoren 2,5 W/m²	Barwert Wartung & Reparatur:	29 €/m²
	Barwert Energie- kosten HLK:	10 €/m²
	Gesamtkosten der Maßnahme (Barwert)¹⁾:	161 €/m²
¹⁾ Bezugswert: Nutzfläche		
ANNAHMEN	Lebensdauer Maßnahme:	50 a
	Betrachtungszeitraum:	50 a



5.9.4.3 Zusammenfassung

Die Untersuchung der Einzelwirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Reduzierung des Solareintrags im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz am Beispiel von außenliegender Verschattung und Sonnenschutzverglasung zeigte, dass diese den Bereich der Wirtschaftlichkeit nur erreichen, wenn durch sie auf eine aktive Klimatisierung (und die damit verbundenen Investitionskosten) verzichtet werden kann. Die Prüfung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 am Beispielgebäude ergab jedoch, dass die Anforderungen nur mit mindestens einer dieser Maßnahmen erreicht werden. Sie stellen eine wichtige Voraussetzung für die Möglichkeit auf den Verzicht maschineller Kühlung dar.

Als höchst wirtschaftlich, bereits allein durch ihre direkte Einsparung, haben sich effiziente Arbeitshilfen herausgestellt. Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde aufgrund der direkten (Betriebsstromeinsparung) und indirekten (reduzierte Kühllast) liegt bei nur 9 Cent.

Als zukunftsweisendes Gesamtkonzept für hocheffiziente Bürogebäude hat sich die Kombination aus Erdsonden mit Wärmeverteilung/Kühlung über Betonkerntemperierung erwiesen. Der Barwert der Gesamtkosten liegt dabei im Vergleich zum System mit konventioneller Klimatisierung um 426 € pro Quadratmeter Nutzfläche niedriger.

Vorschlag für Lenkungsmaßnahmen für stärkeren Einsatz effizienter Arbeitshilfen und Beleuchtung im Bürobau: Derzeit sind für den Nachweis zum

sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2 bei Nichtwohngebäuden $144 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ (entspricht einer mittleren Dauerleistung von $6 \text{ W}/\text{m}^2$) anzusetzen. Es wäre allerdings im Sinne der Primärenergieeinsparung (und aus Sicht des Bauherrn auch der Investitionskostenminimierung) erstrebenswert, Bürokonzepte mit effizienten Arbeitshilfen und effizienter Beleuchtung planen und umsetzen zu können. Bürogebäude mit minimaler Kühlung bzw. Verzicht auf Klimatisierung werden erst durch Reduzierung der internen Wärmequellen möglich. Häufig ist jedoch der Bauherr nicht unbedingt auch der spätere Nutzer des Gebäudes, er hat damit auch keinen direkten Einfluss auf die spätere Büroausstattung.

Es wird daher vorgeschlagen, den Planungswert für interne Wärmequellen auf einem Niveau zuzulassen, welches unter Einsatz heute verfügbarer hocheffizienter Technologie (etwa $1 \text{ W}/\text{m}^2$ für Arbeitshilfen) erreichbar ist. Der für das jeweilige Gebäude festzulegende maximale Wert wird in den Betreiberunterlagen dokumentiert und gibt die Obergrenze für die spätere Nutzung an. Wenn der sommerliche Wärmeschutz auf diesem Niveau dimensioniert wird, kann im späteren Betrieb die sommerliche Behaglichkeit nur unter der Voraussetzung einer effizienten Büroausstattung erreicht werden. Davon abweichende Nutzung würde zu einer Überwärmung der Büroräume führen. Auf diese Weise könnte ohne jegliche weitere Kontrolle oder bürokratischer Reglementierung die faktische Einführung hoher Effizienzklassen erreicht werden. Diese Vorgehensweise kann aufgrund der hohen Einzelwirtschaftlichkeit von effizienter Büroausstattung nach dem Energieeinspargesetz gefordert werden.

5.10 Nachrüstpflichten im Gebäudebestand

Der energetische Nutzen von Nachrüstpflichten ist nach Ansicht der Autoren von keiner großen Bedeutung. Durch Nachrüstpflichten werden z. T. Energiespar-Maßnahmen erzwungen, die zu einem späteren Zeitpunkt ohnehin durchgeführt würden. Z.B. werden Einscheibenverglasungen aufgrund der ungenügenden Behaglichkeit kaum noch akzeptiert. Der geringste Anlass wird in diesen Fällen genutzt, diese Fenster zu erneuern. Zudem kommt auf Grundlage des Wirtschaftlichkeitsgebots nur bei wenigen untersuchten Maßnahmen eine Nachrüstpflicht überhaupt in Frage.

Von Nachteil erscheint sogar, dass eine Diskussion über den Zwang entsteht, bestimmte Energiespar-Maßnahmen zur „Unzeit“ durchführen zu müssen, während die eigentlich beabsichtigten positiven Effekte - Energie(kosten)einsparung und ggf. Verbesserung der Behaglichkeit - ausgeblendet werden. Zusätzlich kann sich ein durch Nachrüstpflichten verursachter sprunghafter, kurzfristiger Anstieg von Ersatzmaßnahmen aufgrund der temporären Verknappung preistreibend auswirken.

Es wird daher empfohlen, Anforderungen an die energetische Qualität von Bauteilen und Komponenten an ohnehin fällige Maßnahmen, Änderungen oder Erneuerungen, zu koppeln.

Bei den folgenden Komponenten und Bauteilen könnte auf Grundlage der Energieeinsparverordnung eine Nachrüstpflicht in Betracht gezogen werden:

Austausch von Fenstern mit Einfachverglasung

Nach dem Energieeinspargesetz könnte der Austausch von einfachverglasten Holzfenstern sogar als ungekoppelte Maßnahme gefordert werden. Da durch diese Maßnahme auch die Wohnbarkeit beeinträchtigt wird, wird empfohlen, den Austausch von einfachverglasten Fenstern an bestimmte Tatbestände zu koppeln, die Schwelle allerdings sehr gering anzusetzen (Mieterwechsel, Eigentümerwechsel, Fassadenarbeiten, Renovierungsarbeiten).

Wärmedämmung der Kellerdecke von unten

Die nachträgliche Wärmedämmung der Kellerdecke von unten ist auch noch als ungekoppelte Maßnahme wirtschaftlich. Aufgrund der nur knapp erreichten Wirtschaftlichkeit sollte diese Maßnahme an auslösende Tatbestände gekoppelt werden. Dies sollte zumindest die Leerräumung des Kellers (z.B. bei einem Mieter-/Eigentümerwechsel EFH und eine Kellersanierung/Modernisierung im MFH) verbunden mit einem Neuanstrich der Kellerdecke oder einem Neuverputz der Kellerdecke sein.

Kann aufgrund von Versorgungsleitungen, Türen etc. die erforderliche Dämmstärke nicht erreicht werden, dann sollte die Anforderung auch als erfüllt gelten, wenn zumindest mit größtmöglicher Dämmstärke in diesen Bereichen gedämmt wird (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$). Insbesondere warme Versorgungsleitungen können auch in die Dämmung integriert werden (vgl. Abschnitt 5.1.8).

Wärmedämmung der obersten Geschossdecke (nicht begehbar / begehbar)

Ungedämmte, **nicht begehbare**, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume müssen bereits gemäß der [EnEV 2007] im Falle eines Eigentümerwechsels in Gebäuden mit bis zu 2 Wohnungen gedämmt werden. Die geforderten Mindestwärmedurchgangskoeffizienten sollten an die wirtschaftlich gebotenen Dämmstärken angepasst werden (Mindest-Wärmedurchgangskoeffizient von $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Auch eine ungekoppelte Wärmedämmung einer **begehbaren** obersten Geschossdecke ist, wie diese Studie zeigt, wirtschaftlich. Dabei wird eine geeignete Spannplatte auf die Dämmung aufgelegt. Kann wegen zu geringen Raumhöhen oder aus anderen Gründen die erforderliche Dämmstärke nicht erreicht werden, so sollte zumindest mit größtmöglicher Dämmstärke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) gedämmt werden.

Die Dämmmaßnahme an ungedämmten, begehbaren obersten Geschossdecken sollte an auslösende Tatbestände gekoppelt werden, die zumindest das Freiräumen des gesamten Dachbodens erforderlich machen.

Wärmedämmung von ungedämmten, wärmeführenden Leitungen in unbeheizten Räumen

Für ungedämmte Heizungs- und Trinkwarmwasserleitungen besteht bereits eine Nachrüstpflicht in Gebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten. Die Maßnahme ist mit geringem Aufwand durchführbar. Die Anforderungen sollten an die wirtschaftlich gebotenen Dämmstärken angepasst werden. In dieser Studie wurde ein Mindest-Dämmniveau von 2 x DN ermittelt.

Aufgrund der durch die Leitungsabstände begrenzten Dämm-Möglichkeiten, sollte die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die zugänglichen Leitungen soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) gedämmt werden. Bei eingeschränktem Wand bzw. Deckenabstand kann die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die Dämmstärke auf das maximal mögliche konzentrische Maß gedämmt wird. Bei parallel laufenden Leitungen mit eingeschränktem Leitungsabstand sollte die Anforderung auch dann erfüllt sein, wenn die Dämmung Leitungen gemeinsam umschließt.

Eine weitere Studie im Auftrag des Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung führt hierzu vertiefende Untersuchungen durch.

Wärmedämmung von warmes Trinkwasser führenden Leitungen und Zirkulationsleitungen in beheizten Räumen

Da diese wirtschaftlich lohnende Maßnahme auch in bewohnten Bereichen durchgeführt werden müsste und damit ggf. Nutzungseinschränkungen verbunden sein können, wird eine Kopplung an umfassende Wohnungssanierungen empfohlen.

Bei noch ungedämmten Leitungen sind Mindestdämmstärken von $2 \times DN$ wirtschaftlich geboten. Auch hier sollte die Anforderung erfüllt sein, wenn die zugänglichen Steigleitungen, Strangleitungen und/oder Zirkulationsleitungen soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W/(mK)}$) gedämmt werden.

5.11 Anforderung bei Änderung oder Erneuerung von Gebäudekomponenten von Bestandsgebäuden / wirtschaftlich gebotener Mindeststandard

Der folgende Abschnitt gibt zusammenfassend einen Überblick zu den untersuchten Effizienzmaßnahmen im Gebäudebestand aus Abschnitt 1. Gegenüber den derzeit gültigen Anforderungen gemäß [EnEV 2007] sind, aufgrund der geänderten ökonomischen Randbedingungen, deutlich weitreichendere energetische Verbesserungen an Bestandsgebäuden wirtschaftlich sinnvoll. Weiterhin kommen zusätzliche Ohnehin-Maßnahmen als auslösende Tatbestände in Frage.

Einige Energiespar-Maßnahmen sind bereits bei geringsten Anlässen wirtschaftlich durchführbar. Es wird allerdings empfohlen, energetische Mindestanforderungen nach Möglichkeit immer an ohnehin fällige Maßnahmen, Änderungen oder Erneuerungen, zu koppeln und von Nachrüstpflichten abzusehen (vgl. Abschnitt 5.10).

Die energetische Verbesserung des Gebäudebestands sollte nach Empfehlung der Autoren schwerpunktmäßig über solche Einzelanforderungen angestrebt werden. Dabei sollten die ohnehin erforderlichen Erneuerungszyklen genutzt werden, die jeweils wirtschaftlich optimalen Effizienzniveaus umzusetzen. Unabhängig vom Ausgangszustand kann derart schrittweise ein Baustandard nahe am Neubau-Niveau erreicht werden (vgl. auch Abschnitt 0).

Die vorgeschlagenen neuen Anforderungswerte bei Änderungen an bestehenden Gebäuden entsprechen jeweils dem einzelwirtschaftlichem Optimum, d.h. der erzielbare Gewinn ist für den Investor mit diesem Effizienzstandard am höchsten. Neben dem wirtschaftlich optimalen Anforderungswert wird ein weiterer Wert vorgeschlagen, der als Richtwert für eine Förderung gelten kann. Er beinhaltet nochmals verbesserte Effizienzstandards, mit denen der Energiebedarf des Gebäudes weiter reduziert werden kann. So kann die Abhängigkeit von der Energiepreisentwicklung reduziert und der CO₂-Ausstoß nochmals verringert werden. Dieser Anforderungswert für Förderungen ist regelmäßig vom Investor wirtschaftlich erreichbar, der jährlich erzielbare Gewinn ist aber geringfügig niedriger als beim ersten Anforderungswert. Ein Förderprogramm kann nun den Differenzbetrag in den jährlichen Kosten ausgleichen und so Anreize zu weitergehenden Energiesparmaßnahmen bieten.

Besonders wirtschaftlich sind Wärmeschutzmaßnahmen dann, wenn sie gleichzeitig mit ohnehin fälligen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden können. Da die Erneuerung oder Sanierung von Bauteilen nur in relativ großen Zeitabständen nötig ist (20-50 Jahre), sollte in einem solchen Fall immer die Gelegenheit genutzt werden, zumindest den heute wirtschaftlich gebotenen Effizienzstandard zu erreichen („Vorgeschlagener neuer Anforderungswert“).

Weist bei Wärmeschutz-Maßnahmen ein Bauteil schon einen verbesserten Wärmeschutz auf, so verringert sich die Wirtschaftlichkeit weiterer Maßnahmen an diesem Bauteil. Ab einem bestimmten Grenz-U-Wert des bestehenden Bauteils sind

weitere Wärmeschutzmaßnahmen nicht mehr wirtschaftlich durchführbar. Dieser Mindest-Ausgangswärmedurchgangskoeffizient wird daher in den folgenden Übersichtstabellen aufgeführt (vorletzte Spalte). Bei der Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen sollte daher immer ein möglichst hoher wirtschaftlich und baupraktisch durchführbarer Standard erreicht werden, da spätere Verbesserungen am Bauteil sonst regelmäßig unwirtschaftlich sind.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde mittels der dynamischen Annuitätenmethode durchgeführt (vgl. Abschnitt 4). Zu jeder Maßnahme wird in den nachfolgenden Tabellen der bestimmte Äquivalentpreis der eingesparten Energie angegeben. Dieses Wirtschaftlichkeitskriterium ermöglicht einen direkten Vergleich zur Alternative weiterer Energiebezug. In dieser Studie wurde mit einem zukünftigem Energiepreis (Gas oder Öl) von 6,6 Cent/kWh im Mittel über den Kalkulationszeitraum (2006 bis 2026) gerechnet (der derzeitige Energiepreis, Stand 2006, liegt bei 5,5 Cent/kWh).

Die aktualisierten ökonomischen Randbedingungen führen zu folgenden wesentlichen Ergebnissen:

- *Die wirtschaftlich optimalen Wärmedämm-Maßnahmen führen auf Kosten der eingesparten Energie zwischen 1 und 4,6 Cent/kWh. Damit sind diese Maßnahmen deutlich günstiger als die Alternative Energiebezug.*
- *Die Erneuerung des Wärmeerzeugers mit einem effizienteren Gerät ist ebenfalls rentabel (Kosten der eingesparten Energie von 1,9 bis 6,5 Cent/kWh).*
- *Bei thermischen Solaranlagen besteht weiterhin Förderbedarf. Die Kosten der eingesparten Energie sind größer als 12 Cent/kWh.*
- *Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung kommen in den wirtschaftlichen Bereich, wenn zumindest die Investitionskosten einer Abluftanlage gegen gerechnet werden können (für vergleichbare Raumluftqualität wäre mindestens eine Abluftanlage erforderlich).*
- *Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen mit thermisch verbessertem Randverbund sind im Vergleich zu Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen ebenfalls rentabel (Kosten der eingesparten kWh knapp unter dem Endenergiebezugspreis).*
- *Besonders interessant ist bei Nichtwohngebäuden eine effiziente Beleuchtungsanlage (Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten mit geeigneten Leuchtmitteln).*

Bei den Wärmeschutzmaßnahmen können auf Basis der aktualisierten Randbedingungen die folgenden neuen auslösen Tatbestände ergänzt werden:

- Neuanstrich der Fassade: Anforderung an Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand.
- Komplette Wohnungsrenovierung, wenn zumindest eine Erneuerung der Tapeten vorgesehen ist und die Wohnung hierzu leer steht (Mieterwechsel, Eigentümerwechsel): Anforderung an Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand mit Innendämmung

Eine Außendämmung ist bauphysikalisch günstiger und führt zu höheren Energieeinsparungen (weniger Wärmebrücken), daher sollte es erlaubt sein, von der Innendämmung abzusehen, wenn innerhalb eines überschaubaren Zeitraums eine Außendämmung durchgeführt wird.

- Mieter-/Eigentümerwechsel im EFH bzw. eine Kellersanierung / Modernisierung im MFH (Leerräumung des Kellers) verbunden mit einem Neuanstrich der Kellerdecke: Anforderung an Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerdecke.

Tabelle 57: Übersicht zu den untersuchten Wärmeschutzmaßnahmen an der Außenwand. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Zukunftsweisender Standard für Förderung	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh							
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/m ²							
	U-Wert zukunftsweisend (Studie)	W/(m ² K)							
EnEV-Höchstwert Altbau		W/(m ² K)		0,35	- ¹⁾	0,35		- ¹⁾	0,45
Wirtschaftlichkeit gegeben bis Ausgangs-U-Wert von		W/(m ² K)		0,60	0,75	0,55		0,65	0,45
Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?				JA	JA	JA		JA	JA
Auslösende Maßnahme				Außenputz-erneuerung	Neuanstrich Fassade	Erneuerung Vorhangfassade		Renovierung der ganzen Wohnung ²⁾	Renovierung der ganzen Wohnung ²⁾
Wirtschaftlich optimierter Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh		2,5	3,2	2,2		1,9	1,0
	statische Amortisationszeit	a		9	12	8		7	3
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/m ²		106	106	118		43	43
	U-Wert optimal (Studie)	W/(m ² K)		0,16	0,16	0,18		0,28	0,28
Bauliche Investitionskosten der Ohnehin-Maßnahme		€/m ²		40	20	60		7	25
Ohnehin-Maßnahme				Außenputz-erneuerung	Neuanstrich Fassade	Erneuerung der Vorhangfassade		Neue Tapete	Neuer Innenputz und neue Tapete
Wärmedämmmaßnahmen an der Außenwand	Außendämmung								
	Wärmedämmverbundsystem								
	Wärmedämmverbundsystem								
	Wärmedämmung einer Vorhangfassade								
	Innendämmung								
	Innendämmung mit Luftdichtung								
	Innendämmung mit Luftdichtung								

¹⁾ Keine Anforderungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV). ²⁾ Eine komplette Wohnungsrenovierung, wenn zumindest eine Erneuerung der Tapeten vorgesehen ist und die Wohnung hierzu leer steht (Mieterwechsel, Eigentümerwechsel). Eine Außendämmung ist bauphysikalisch günstiger und führt zu höheren Energieeinsparungen (weniger Wärmebrücken), daher sollte es erlaubt sein, von der Innendämmung abzusehen, wenn innerhalb eines überschaubaren Zeitraums eine Außendämmung durchgeführt wird. ³⁾ Baupraktisch begrenzt.

Tabelle 58: Übersicht zu den untersuchten Wärmeschutzmaßnahmen am Dach. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Wärmedämm- maßnahmen am Dach	Zukunftsweisender Standard für Förderung	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

¹⁾ Keine Anforderungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV). ²⁾ Die Dämmmaßnahme an ungedämmten, obersten Geschossdecken sollte an auslösende Tatbestände gekoppelt werden, die zumindest das Freiräumen des gesamten Dachbodens erforderlich machen. ³⁾ Baupraktisch begrenzt.

Tabelle 59: Übersicht zu den untersuchten Wärmeschutzmaßnahmen im Keller. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Zukunftsweisender Standard für Förderung	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh		5,7		2,4	4,6
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/m ²		51		45	45
	U-Wert zukunftsweisend (Studie)	W/(m ² K)		0,29 ³⁾		0,24 ³⁾	0,24 ³⁾
	EnEV-Höchstwert Altbau	W/(m ² K)		0,4		0,5	- ¹⁾
Wirtschaftlichkeit gegeben bis Ausgangs-U-Wert von		W/(m ² K)		1,20		0,85	1,15
Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?				JA		JA	JA
Auslösende Maßnahme				Renovierung des Kellergeschosses ²⁾		Renovierung des Kellergeschosses	Renovierung des Kellergeschosses
Wirtschaftlich optimierter Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh		5,7		2,4	4,6
	statische Amortisationszeit	a		20		7	14
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/m ²		51		45	45
	U-Wert optimal (Studie)	W/(m ² K)		0,29		0,24	0,24
Bauliche Investitionskosten der Ohnehin-Maßnahme		€/m ²		-		25	7
Ohnehin-Maßnahme				keine		neuer Innenputz / neue Innenverkleidung	neue Tapete
Wärmedämmmaßnahmen im Keller							
Kellerdecke							
Dämmung der Kellerdecke (v.u., Untersicht gespachtelt)							
Keller-außenwand							
Innendämmung mit Luftdichtung							
Innendämmung mit Luftdichtung							

¹⁾ Keine Anforderungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV); ²⁾ Aufgrund der nur knapp erreichten Wirtschaftlichkeit sollte diese Maßnahme an auslösende Tatbestände gekoppelt werden. Dies ist z.B. die Leerräumung des Kellers (z.B. bei einem Mieter-/Eigentümerwechsel EFH und eine Kellersanierung/Modernisierung im MFH) verbunden mit einem Neuanstrich der Kellerdecke oder einem Neuverputz der Kellerdecke. ³⁾ Baupraktisch begrenzt.

Tabelle 60: Übersicht Wärmeschutzmaßnahmen bei gering beheizten Gebäuden. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?	Auslösende Maßnahme	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Empfohlener Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh		4,9	3,2		1,5		2,9		4,2		4,6
	statische Amortisationszeit a		16	16		5		10		12		17
	Gesamte, bauliche Investitionskosten		98	110		41		73		102		48
	empfohlener U-Wert (Studie)		0,25	0,25		0,4		0,24		0,24		0,4
Bauliche Investitionskosten der Ohnehin-Maßnahme		€/m²	20	60		25		20		50		25
Ohnehin-Maßnahme		€/m²	Neuanstrich Fassade	Erneuerung der Vorhang-fassade		neuer Innenputz / neue Innenverkleidung		Neue Dachinnenverkleidung		Erneuerung der Dachabdeckung		neuer Innenputz / neue Innenverkleidung
Wärmedämmmaßnahmen bei gering beheizten Gebäuden (Innentemperatur von 12°C bis <19°C)			Außenwand Außendämmung	Wärmedämm-Verbundsystem	Wärmedämmung einer Vorhangfassade	Außenwand Innendämmung	Innendämmung mit Luftdichtung	Steildach	Unter- + Zwischen- sparrendämmung	Flachdach	Zusätzl. Wärmedämmung in Warmdachaufbau	Decken und Wände gegen unbeheizt oder Erdreich
												Dämmung der Kellerdecke (v.u., unverkleidet)
												Innendämmung mit Luftdichtung

Die Ergebnisse wurden analog zu den Berechnungsblättern in Abschnitt 5.4 ermittelt, wobei die Heizgradstunden dem geringeren Innentemperaturniveau entsprechend modifiziert wurden (Ansatz: Heizgradstunden 50 kWh/a).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu Effizienz-Maßnahmen am Fenster. Zur Charakterisierung der Fensterqualität wäre ein äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient, welcher auch den Energiedurchlassgrad der Verglasung mit einbezieht, besser geeignet. In der folgenden Tabelle zur Effizienz-Maßnahme Fenster ist daher zusätzlich der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient angegeben $U_{w, \text{equi}}$. Die vorgeschlagene Bestimmungsformel für den äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient $U_{w, \text{equi}}$ lautet:

$$U_{w, \text{equi}} = U_w - F_f * g * 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

mit

F_f : Abminderungsfaktor Rahmenanteil

g : Energiedurchlassgrad

U_w : Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters

Als Höchstwert des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern bei Änderung oder Erneuerung empfehlen wir einen Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von $1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bzw. $U_{w, \text{equi}} = 0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Tabelle 61: Überblick zu den Energieeffizienz-Maßnahmen: Fenster. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

Austausch der Fenster	Ohnehin-Maßnahme	Wirtschaftlich optimierter Standard			Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?			EnEV-Höchstwert Altbau (U _{max})	Zukunftsweisender Standard für Förderung																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		Auslösende Maßnahme		Investitionskosten pro m ² Fenster	Austausch der alten Fenster		JA																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
				Äquivalentpreis d. eingesparten kWh			JA																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
				statische Amortisationszeit			JA																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
				U _{W,equi} *			JA																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Kunststoff-fenster	Kunststoff-fenster	Kunststoff-fenster	Kunststoff-fenster	Kunststoff-fenster	U _W	g	U _{W,equi} *	Cent/ kWh	€ / m ²	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt, 3WSV	Holz gedämmt, 3WSV	PVC gedämmt

$U_{W,eqi}^*$: äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient, welcher auch den Energiedurchlassgrad der Verglasung mit berücksichtigt (vgl. oben).

1) Nach dem Energieeinspargesetz könnte der Austausch von einfachverglaste Holzfenstern sogar als ungekoppelte Maßnahme gefordert werden. Wir würden aber auch für diese Maßnahme eine Kopplung an bestimmte Tatbestände empfehlen, die Schwelle allerdings sehr gering ansetzen (Mieterwechsel, Eigentümerwechsel, Fassadenarbeiten, Renovierungsarbeiten).

Tabelle 62: Überblick zu den Energieeffizienz-Maßnahmen: Wärmeerzeuger. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) von 6,6 Cent/kWh.

Austausch des Kessels	Ohnehin-Maßnahme		Wirtschaftlich optimierter Standard					Auslösende Maßnahme		Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?		EnEV-ANforderung Altbau		Zukunftsweisender Standard für Förderung							
	Kesselwirkungs- grad bei Teillast / Jahresarbeitszahl Heizen	Kesselwirkungs- grad bei Nenn- leistung / Jahres- arbeitszahl TWW	Investitionskosten pro m² NGF	% / -	% / -	Kesselwirkungs- grad bei Nenn- leistung / Jahres- arbeitszahl TWW	statische Amortisationszeit	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh*	Investitionskosten pro m² NGF	Auslösende Maßnahme	Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?	EnEV-ANforderung Altbau	Kesselwirkungs- grad bei Teillast / Jahresarbeitszahl Heizen	Kesselwirkungs- grad bei Nenn- leistung / Jahres- arbeitszahl TWW	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh*	Investitionskosten pro m² NGF					
Gas			neuer Niedertemperatur- Kessel (55/45°C)	91	90	88,1			Brennwertkessel (55/45°C)	104	95	4	1,9	91	Neuer Wärme- erzeuger	JA					
			neuer Niedertemp.-Kessel (55/45°C) TWW elektrisch	90	90	82,9				Brennwertkessel (55/45°C) TWW elektrisch	104	95	5	2,1	86	Neuer Wärme- erzeuger	JA				
			neuer Niedertemperatur- Kessel (55/45°C)	91	90	102			Brennwertkessel (55/45°C)	99	95	14	6,5	110	Neuer Wärme- erzeuger	JA					
			neuer Niedertemperatur-Öl- Kessel (55/45°C)	91	90	102											Pelletsheizkessel (55/45°C)	82	81	7,5	144
Biomasse			neue Außenluft- Wärmepumpe (55/45°C)	2,7	2,2	122			Wasser-Wärmepumpe (Grundwasser oder Oberflächenwasser) (55/45°C) 1)	4,2	3	8	5,3	135	Neuer Wärme- erzeuger	JA					
																	Sole-Wärmepumpe (55/45°C)	3,4	2,6	25,6	163
Wärme- pumpe elektrisch									Bei Wärmepumpen ist der Vergleichspreis WP-Strom: 15 Cent/kWh												
KWK-Anlage + Spitzen- kessel			neuer Niedertemperatur-Öl- Kessel (55/45°C)	91	90	102			KWK-Anlage + Brennwertkessel												
									abhängig von Eigenstromnutzung / Wärmeabnahme 1)												

- Der Einsatz von Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist heute wirtschaftlich, wenn eine wasserrechtliche Möglichkeit dafür besteht. Da hierfür nicht überall eine Betriebsmöglichkeit gegeben ist, kann ein Einsatz von Wasser/Wasser-Wärmepumpen nicht gefordert werden.
 - Bestehende Förderungen sollten beibehalten werden.
 - Die Klein-KWK-Anlage wird bei teilweisem Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wirtschaftlich; dies kann jedoch nicht vorausgesetzt werden. Der Einsatz von KWK-Anlagen sollte daher ab einer Nettogrundfläche von 500 m² geprüft werden.
- *) Äquivalentpreise sind nicht untereinander vergleichbar, da sie sich auf unterschiedliche Kessel als Ohnehin-Maßnahme beziehen.

Tabelle 63: Überblick zu den Energieeffizienz-Maßnahmen: thermische Solaranlage. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) von 6,6 Cent/kWh.

Thermische Solaranlagen zur Trinkwasserbereitung (EFH, 120 m² NGF)	Zukunftsweisender Standard für Förderung					
	Solarer Deckungsanteil	Investitionskosten pro m² NGF	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh			
	%	€/m²	Cent/kWh			
Typ 1: Flachkollektor, (Aufdachmontage) einfacher Solarspeicher	neuer TWW-Speicher	6	44	29	12,5	
Typ 2: Flachkollektor, (Aufdachmontage) Solar-Schichten-Speicher	neuer TWW-Speicher	7	56	33	14,5	
Typ 3: Flachkollektor, (Aufdachmontage) Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung, Solar-Schichten-Speicher	neuer TWW-Speicher	7	59	34	14,2	
Typ 4: Vakuumröhrenkollektor (Aufdachmontage) Solar-Schichten-Speicher	neuer TWW-Speicher	7	64	51	19,3	

Tabelle 64: Überblick zu den Wärmedämm-Maßnahmen an wärmeführenden Leitungen. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil von 6,8 Cent/kWh.

EnEV-Höchstwert Altbau (mit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$)			ca. 1xDN		ca. 1xDN
Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?			JA		JA
Auslösende Maßnahme			keine 1)		Wohnungsmodernisierung 2)
Wirtschaftlich optimierter Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh	< 1,6		< 1
	statische Amortisationszeit	a	< 5		< 2
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/l/m	15		15
	Dämmniveau optimal (Studie) mit Wärmeleitfähigkeit $0,35 \text{ W}/(\text{m K})$	-	2xDN		2xDN
Bauliche Investitionskosten der Ohnehin-Maßnahme		€/l/m			
Ohnehin-Maßnahme			keine		keine
Wärmedämmmaßnahmen an Verteilleitungen		Heizwärmeverteilung			
		Nachträgliche Dämmung in unbeheizten Räumen			
		Trinkwasserführende Leitungen und Zirkulationsleitungen			
		Nachträgliche Dämmung in unbeheizten und beheizten Räumen			

1) Auf der Basis des Energieeinspargesetzes kann die nachträgliche Wärmedämmung von wärmeführenden ungedämmten Leitungen in unbeheizten Räumen sogar ungekoppelt gefordert werden. Dieser Tatbestand ist auch in der [EnEV 2007] als Nachrüstpflicht erfasst. Aufgrund der durch die Leitungsabstände begrenzten Dämm-Möglichkeiten, sollte die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die zugänglichen Leitungen soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$) gedämmt werden. Bei eingeschränktem Wand bzw. Deckenabstand kann die Anforderung als erfüllt gelten, wenn die Dämmstärke auf das maximal mögliche konzentrische Maß gedämmt wird. Bei parallel laufenden Leitungen mit eingeschränktem Leitungsabstand sollte die Anforderung auch dann erfüllt sein, wenn die Dämmung Leitungen gemeinsam umschließt.

2) In beheizten Räumen ist auch die Dämmung der ungedämmten warmes Wasser führenden Leitungen und Zirkulationsleitungen wirtschaftlich. Es wird empfohlen diese Maßnahme an bestimmte Tatbestände zu koppeln, z.B. Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten in den betreffenden Bereichen. Die zugänglichen Steigleitungen, Strangleitungen und/oder Zirkulationsleitungen sollten soweit baupraktisch möglich mit einem Dämmstoff (Wärmeleitfähigkeit $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$) gedämmt werden.

Tabelle 65: Einbau einer effizienten Heizungspumpe. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Strom (2006 bis 2026) von 18 Cent/kWh.

Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?			Ja
Auslösende Maßnahme			Instandaltungs- arbeiten an Heizung (Pumpen- warmwasser-Heizung wird neu befüllt)
Vergleichspreis: mittlere Stromkosten (2006-2026)			18 Cent/kWh
Wirtschaftlich optimierter Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/ kWh	17 <
	statische Amortisationszeit	a	>14
	Investitionskosten inkl. Montage	€/Stk.	460
	Betrieb der neuen Pumpe		geregelt
	Energieeffizienzklasse der neuen Pumpe		A
Ohnehin-Maßnahme	Betrieb der alten Heizungspumpe		ungeregelt
	Aufnahmeleistung der alten Heizungspumpe	W	50 >=
			Instandaltungsarbeiten an Heizung (Pumpenwarmwasser- Heizung wird neu befüllt)
Einbau einer hoch- effizienten Heizungs- pumpe		Einbau einer hocheffizienten Heizungspumpe bei Ein- und Zweifamilienhaus	

Tabelle 66: Überblick zu den Effizienzmaßnahmen: Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Öl/Gas (2006 bis 2026) inkl. Hilfsenergieanteil für Heizung von 6,8 Cent/kWh.

Zukunftsweisender Standard für Förderung	Investitionskosten pro m ² NGF	€/m ²	Lüftungsanlage mit Wärme-rückgewinnung		
	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh			
	Wärmebereitstellg.	%			
	Stromeffizienz	Wh/m ²			
Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?				NEIN	JA ¹⁾
Auslösende Maßnahme				keine	Installation einer Lüftungsanlage
Wirtschaftlich optimierter Standard	Investitionskosten pro m ² NGF	€/m ²	Lüftungsanlage mit Wärme-rückgewinnung		
	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh			
	Wärmebereitstellg.	%			
	Stromeffizienz	Wh/m ²			
Ohnehin-Maßnahme	Investitionskosten pro m ² NGF	€/m ²	Abluftanlage	32	32
	Wärmebereitstellg.	%		0	0
	Stromeffizienz	Wh/m ²		0,12	0,12
Einbau einer Lüftungsanlage				Wohnungsweise 1 WE = 135m ²	Zentral 1 WE = 85m ²

1) Nur Wirtschaftlich bei Ansatz einer Abluftanlage als Ohnehin-Maßnahme Abluftanlage.

Tabelle 67: Überblick zu den Energieeffizienz-Maßnahmen: Beleuchtungsanlagen in Nichtwohngebäuden. Zum Vergleich: mittlere Energiekosten Strom (2006 bis 2026) von 18 Cent/kWh.

Als bedingte Maßnahme wirtschaftlich?			JA	JA	JA 1)	JA 1)	nicht immer 2)
Auslösende Maßnahme			Erneuerung einer Spiegelraster-leuchte	Erneuerung einer Spiegelraster-leuchte	Erneuerung der Beleuchtungs-anlage ab etwa 750m ² NGF	Erneuerung der Beleuchtungs-anlage ab etwa 750m ² NGF	Erneuerung der Beleuchtungs-anlage ab etwa 750m ² NGF
Vergleichspreis: mittlere Stromkosten (2006-2026)			18Cent/kWh				
Wirtschaftlich optimierter Standard	Äquivalentpreis d. eingesparten kWh	Cent/kWh	14,6	9,5	16,2	9,8	11,0
	statische Amortisationszeit	a	13	10	13	9	9
	Gesamte, bauliche Investitionskosten	€/m ²	120	120	135	135	220
	Angesetzte Vollbetriebsstunden / Wartungswert der Beleuchtung	W/(m ² ·k)	850h / 300lx	1340h / 500lx	850h / 300lx	1340h / 500lx	1340h / 500lx
Bauliche Investitionskosten der Ohnehin-Maßnahme		€/m ²	100	100	100	100	100
Ohnehin-Maßnahme			Erneuerung der Spiegelraster-leuchten mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG)	Erneuerung der Spiegelraster-leuchten mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG)	Erneuerung der Spiegelraster-leuchten mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG)	Erneuerung der Spiegelraster-leuchten mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG)	Erneuerung der Spiegelraster-leuchten mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG)
Beleuchtungsanlage: Spiegelrasterleuchten mit stabförmiger Leuchtstoff-lampen			Spiegelrasterleuchte mit Leuchtstofflampe und elektronischem Vorschaltgerät (EVG)	Spiegelrasterleuchte mit Leuchtstofflampe und elektronischem Vorschaltgerät (EVG)	Spiegelrasterleuchte mit EVG und Beleuchtungsoptimierung (7,3W/m ² bei 300lx)	Spiegelrasterleuchte mit EVG und Beleuchtungsoptimierung (15W/m ² bei 500lx)	Spiegelrasterleuchte mit EVG und tageslichtabhängigem Kontrollsystem (gedimmt, ausschaltend)

- 1) Bei der Erneuerung von Beleuchtungsanlagen könnte daher die Einhaltung von anerkannten Grenzwerten der installierten elektrischen Lampenleistung gefordert werden. Die Anforderung sollte noch für zusätzliche Nutzungen untersucht werden.
- 2) Ein tageslichtabhängiges Kontrollsystem wird wirtschaftlich, sofern mit der höheren Lichtausbeute der Lampen mit EVG die Gesamtanzahl der Leuchten verringert werden kann. Davon kann nicht in allen Fällen ausgegangen werden.

6 Energetische Anforderungen bei bestehenden Gebäuden

Bei Änderungen an Bestandsgebäuden müssen Mindestanforderungen an die energetische Qualität eingehalten werden. Gemäß [EnEV 2007] stehen zwei alternative Nachweisverfahren zur Verfügung. Dabei muss entweder eine Gesamtgebäudeanforderung („140%-Regelung“) erfüllt werden oder es müssen energetische Einzelanforderungen an Bauteile bei Erneuerung dieser Bauteile eingehalten werden. Soll die Gesamtanforderung erfüllt werden, so dürfen der Jahres-Primärenergiebedarf und der spezifische, auf die Umfassungsfläche bezogene, Transmissionswärmeverlust (H_T') die Anforderung für den Neubau um nicht mehr als 40% überschreiten (vgl. [EnEV 2007], §9, Absatz 1).

Im Unterschied zum Neubau sind bei Bestandsgebäuden viele Gebäudeparameter vorgegeben und mit vertretbarem Aufwand kaum änderbar. Hierzu zählen z.B. Ausrichtung, Verschattung, konstruktionsbedingte Wärmebrücken aber auch z.T. anlagentechnische Gegebenheiten, wie z.B. die Versorgungslösung (Gas, Öl, Strom) oder die Beheizungslösung.

Dies führt dazu, dass bei einigen Objekten mit geringem Aufwand und bei anderen nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand ein Primärenergie-Anforderungsniveau im Bereich des Neubaus erreicht werden kann. Orientiert sich ein Primärenergie- bzw. ein H_T' -Anforderungswert für bestehende Gebäude nun an einem energetisch ungünstigen Ausgangszustand, so bleibt bei zahlreichen Gebäuden ein wesentliches, wirtschaftlich erschließbares Energieeinsparpotential vom Verordnungsgeber unerschlossen.

Es wird daher empfohlen, abweichend von der bisherigen Regelung gemäß [EnEV 2007], im Gebäudebestand den Schwerpunkt auf eine energetische Verbesserung über Einzelanforderungen zu setzen. Den dargestellten Einzelanforderungen in Abschnitt 5.10 liegen wirtschaftlich optimale Effizienzniveaus zugrunde. Die ohnehin erforderlichen Erneuerungszyklen sollten nun genutzt werden, um im Falle der Erneuerung diese wirtschaftlich optimalen Effizienzmaßnahmen umzusetzen. Sukzessive kann mit dieser Anforderungsstrategie ein Baustandard im Bestand nahe am Neubau-Niveau erreicht werden, wobei unabhängig vom Ausgangszustand die energetischen Einsparpotentiale erschlossen werden können.

Für einen alternativen Nachweis der energetischen Qualität über eine Gebäudesamtanforderung sollte ein Anforderungsniveau so gewählt werden, dass auch bei einem energetisch günstigen Ausgangszustand des Gebäudes wirtschaftlich gebotene Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Der pauschale Ansatz gemäß [EnEV 2007], welcher einen gegenüber dem Neubau um 40 % erhöhten Primärenergiebedarf und spezifischen Transmissionswärmeverlust (H_T') zulässt, müsste daraufhin überprüft werden.

Der Katalog der Einzelanforderungen gemäß [EnEV 2007] sollte noch um anlagentechnische Anforderungen ergänzt werden, wie z.B. die Mindesteffizienz von Wärmeversorgungsanlagen und Beleuchtungssystemen. In Abschnitt 5.10 sind hierzu Maßnahmen zusammengefasst.

7 Primärenergie-Anforderung im Neubau / Nachweis der Wirtschaftlichkeit

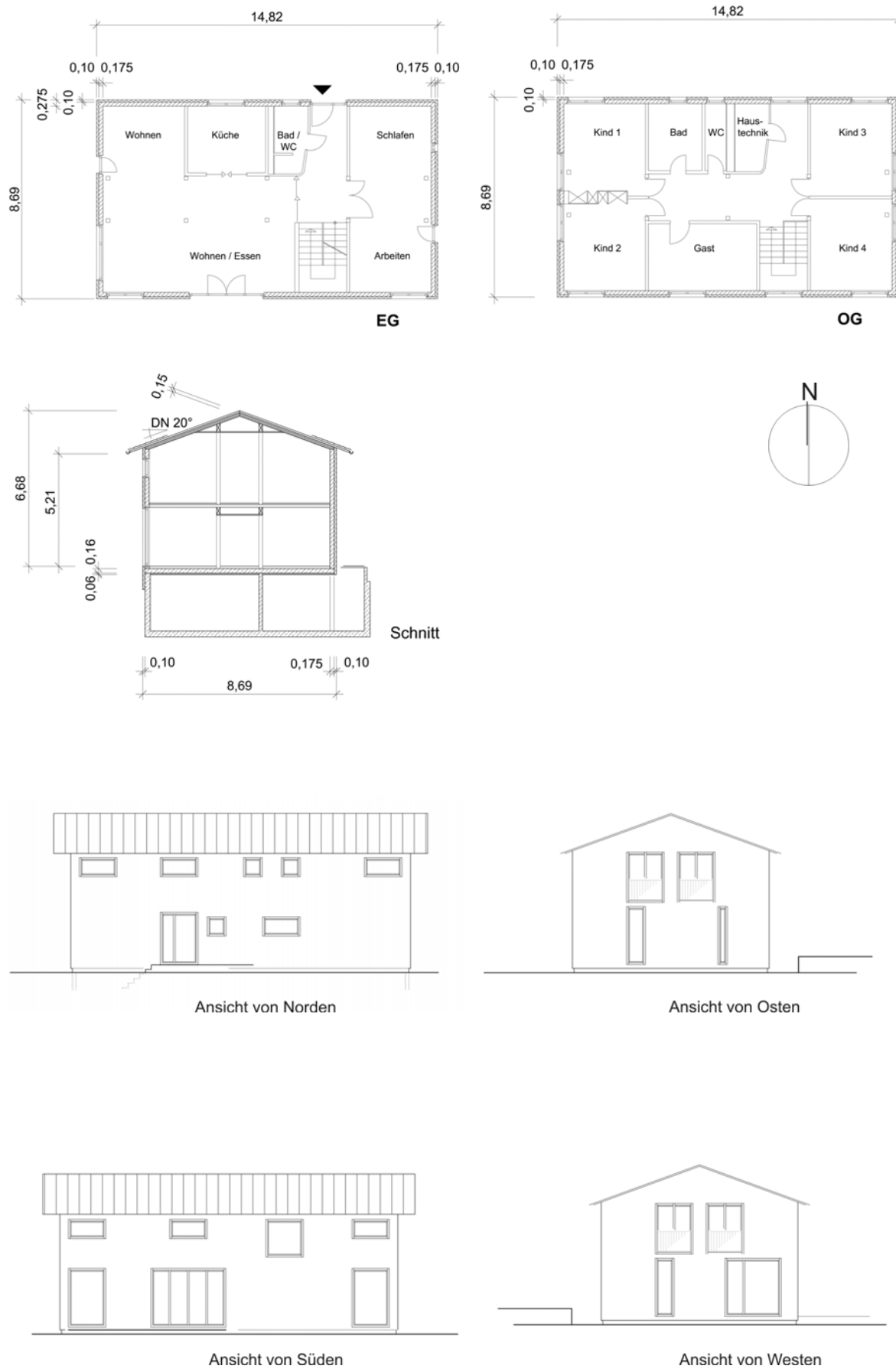
Anhand von Modellgebäuden werden für die Anforderungen im Neubaubereich einzelwirtschaftlich rentable Maßnahmen zu Gesamtpaketen zusammengeführt. Das Gebot der Wirtschaftlichkeit gemäß EnEG wird anhand dieser Maßnahmenpakete im Vergleich zu einer Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] belegt. Der ökonomische Maßstab ist dabei eine insgesamt geringere Belastung der Gemeinschaft Investor/Nutzer gegenüber einer Ausführung von Gebäudekomponenten und Anlagentechnik auf niedrigerem Anforderungsniveau. Zur Bewertung werden die jährlichen Gesamtkosten herangezogen, welche aus den folgenden Beiträgen resultieren:

- jährlicher Kapitaldienst für die bauliche Mehrinvestition,
- Betriebskosten (Wartung, jährlicher Grundpreis für Energieversorgung, etc.)
- und Energiekosten (Heizung, Trinkwarmwasser und Hilfsstrom / bei Nichtwohngebäuden zusätzlich Beleuchtung und Klimatisierung)

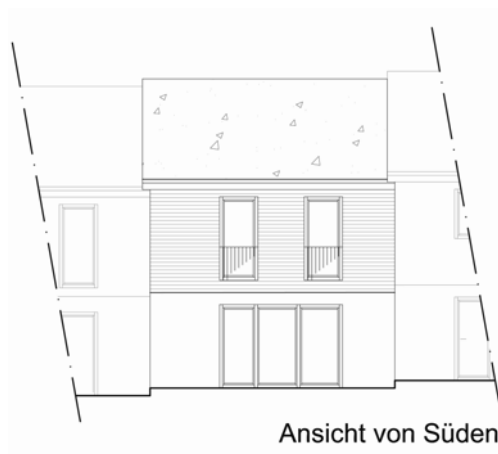
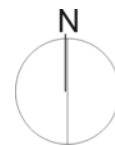
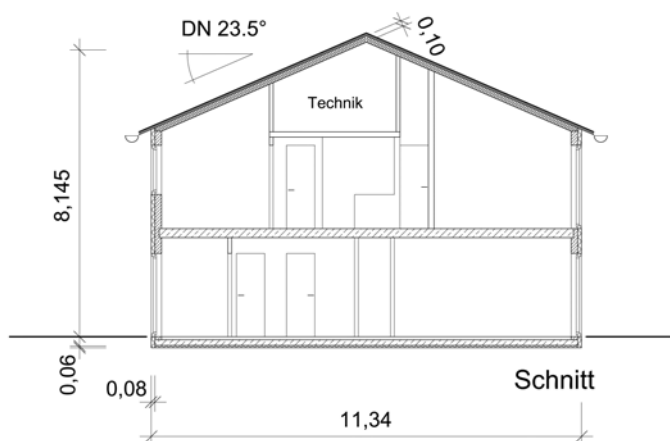
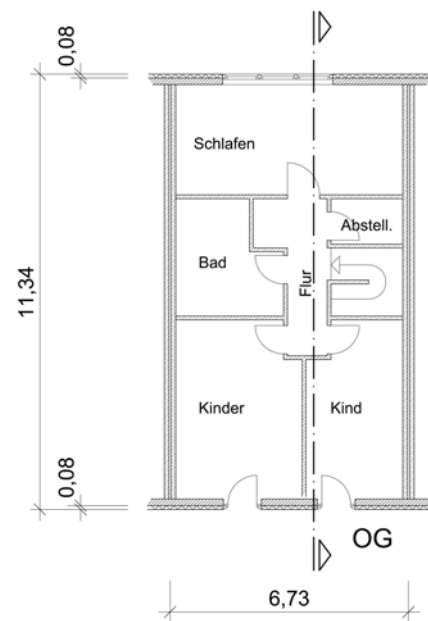
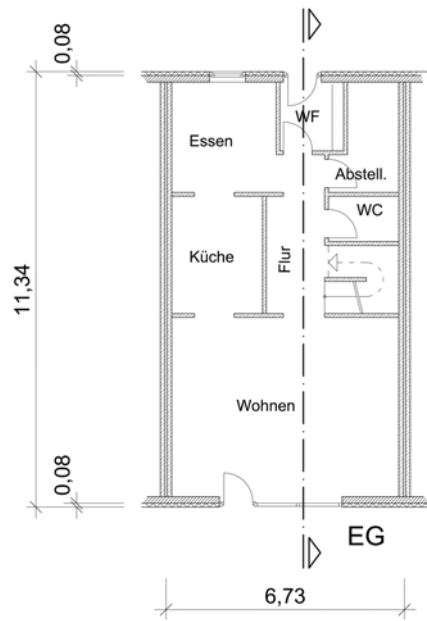
Die baupraktische und technische Machbarkeit wird anhand von unterschiedlichsten Ausführungsvarianten an den Beispielgebäuden belegt.

7.1 Beschreibung der Modellgebäude

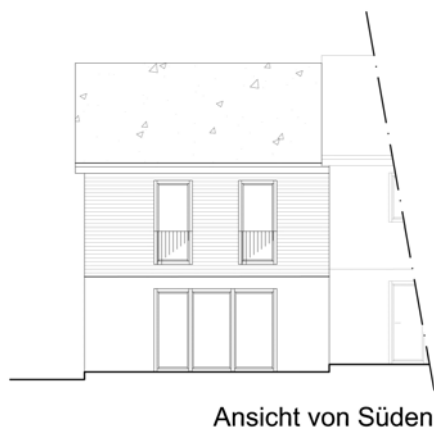
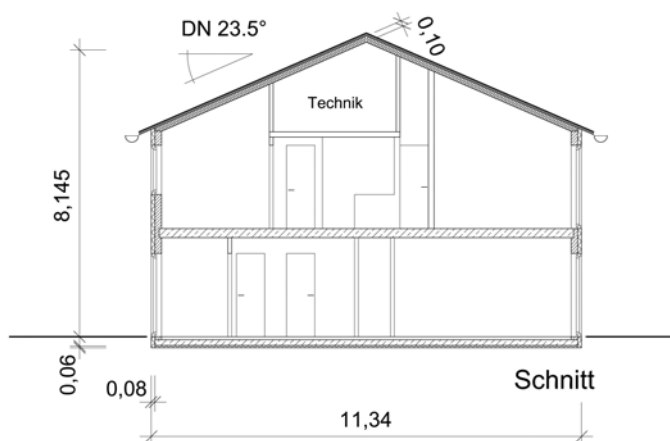
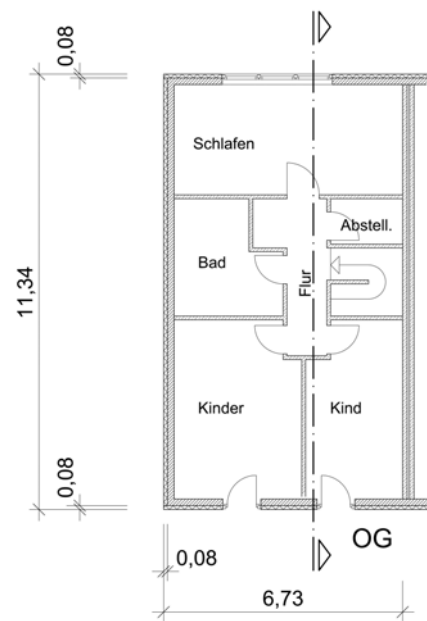
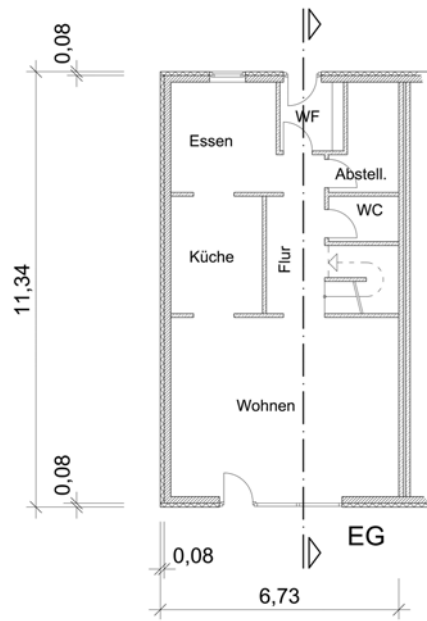
BASISDATEN		EINFAMILIENHAUS
beheizte Geschosse		2
beheizte Wohnfläche (II. BV)		196 m ²
Bruttoraumvolumen		797 m ³
Hüllfläche		524 m ²
A/V-Verhältnis		0,66 m ² /m ³
H _T '		0,47 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,05 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		3,0 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		15 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		151,1 kWh/(m ² Wohnfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
		107,8 kWh/(m ² A _N a); berech. gem. [DIN 4108-6] / [DIN 4701-10]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	129 m ²
	Bauweise:	teilunterkellert, Wärmedämmung unter Kellerdecke / Bodenplatte
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand	U-Werte:	0,35 W/(m ² K)
	Fläche:	200 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	59 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,27 W/(m ² K)
	Fläche:	137 m ²
	Bauweise:	Satteldach, Sparrendach mit Zwischensparrendämmung
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,91
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,9
	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
Lüftung	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage



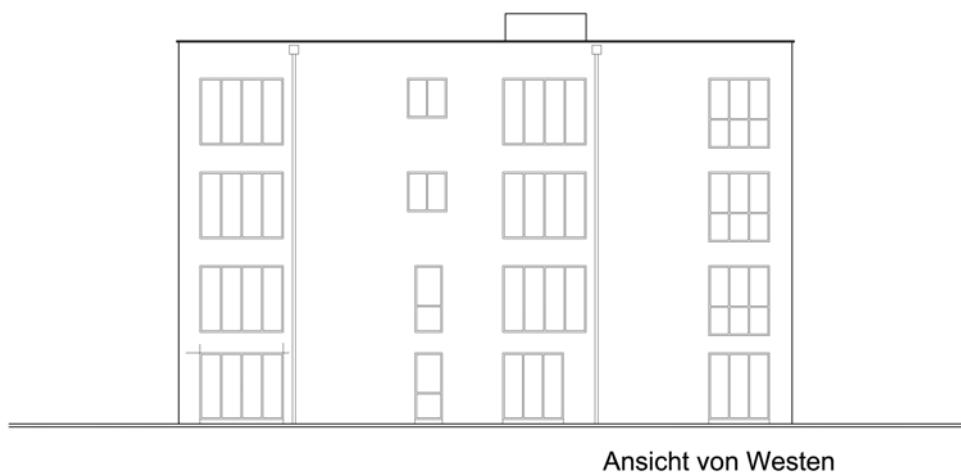
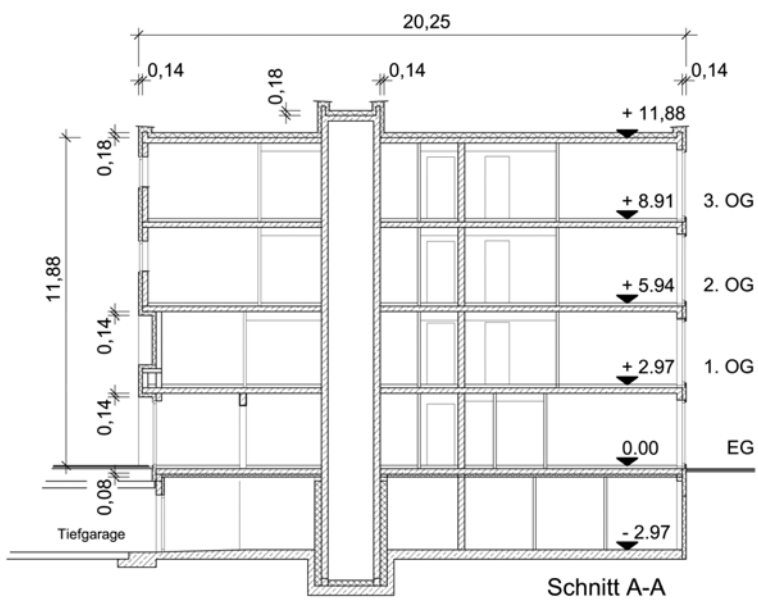
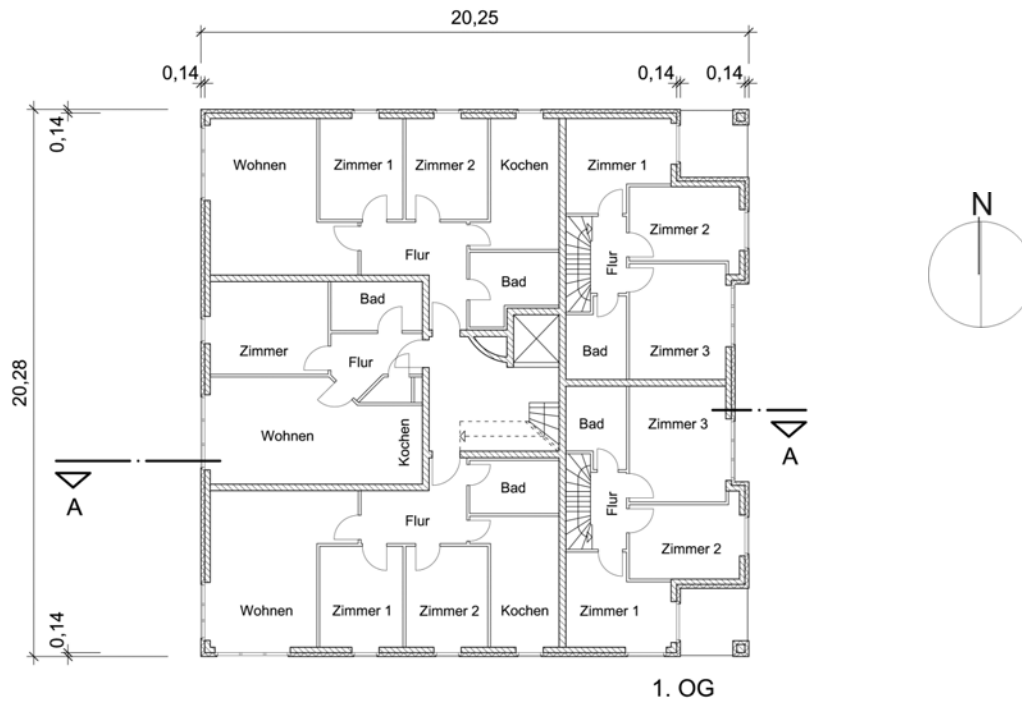
BASISDATEN		REIHENMITTELHAUS
beheizte Geschosse		2
beheizte Wohnfläche (II. BV)		120 m ²
Bruttoraumvolumen		479 m ³
Hüllfläche		228,99 m ²
A/V-Verhältnis		0,48 m ² /m ³
H _T '		0,46 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,05 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		3,0 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		13 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		134,0 kWh/(m ² Wohnfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
		97,2 kWh/(m ² A _N a); berech. gem. [DIN 4108-6] / [DIN 4701-10]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	73 m ²
	Bauweise:	nicht unterkellert, Dämmung unter Bodenplatte
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand	U-Werte:	0,42 W/(m ² K)
	Fläche:	56 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	20 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,37 W/(m ² K)
	Fläche:	81 m ²
	Bauweise:	Satteldach, Sparrendach mit Zwischensparrendämmung
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,91
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,9
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage



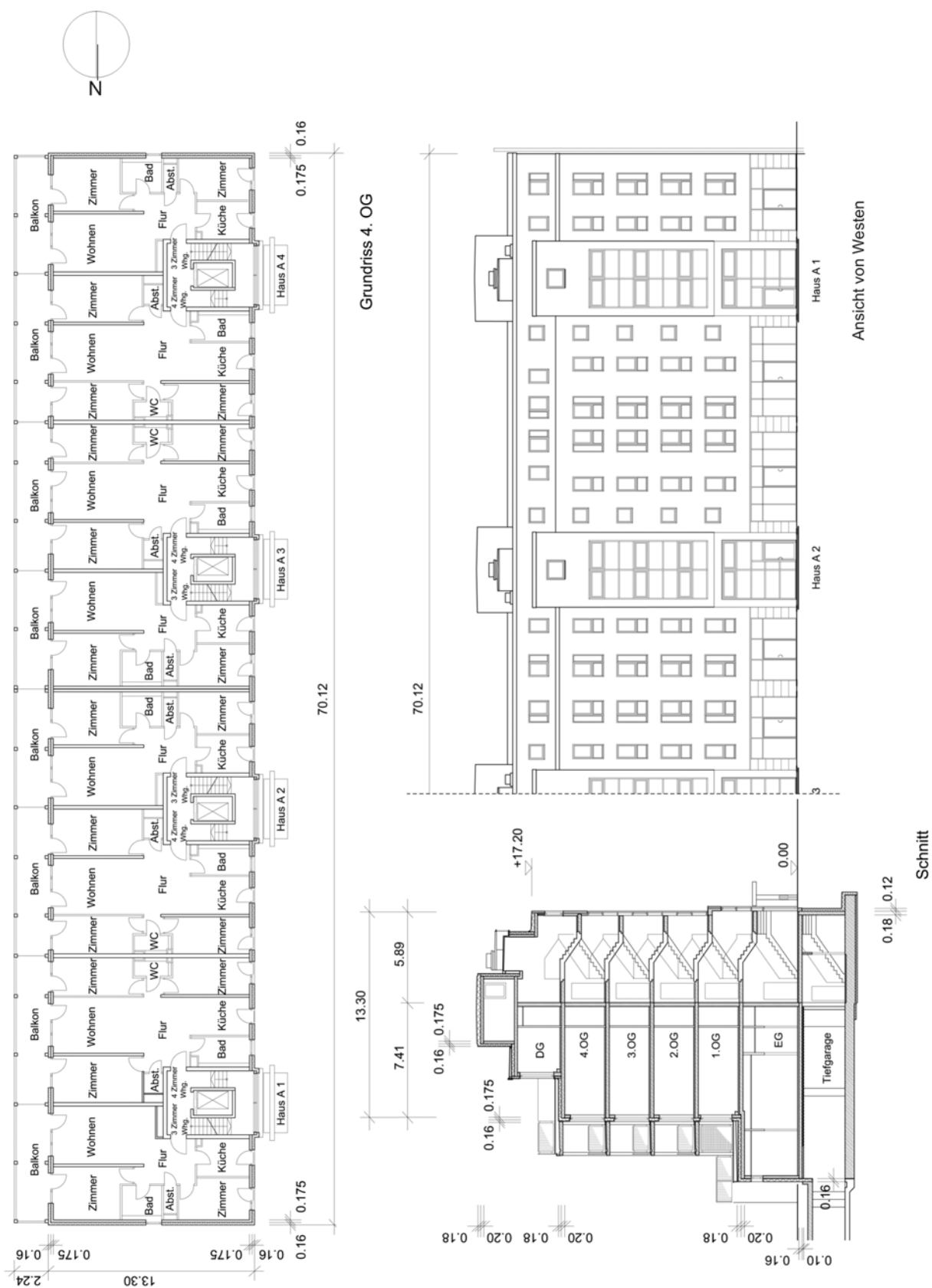
BASISDATEN		REIHENENDHAUS
beheizte Geschosse		2
beheizte Wohnfläche (II. BV)		120 m ²
Bruttoraumvolumen		496 m ³
Hüllfläche		330,7 m ²
A/V-Verhältnis		0,67 m ² /m ³
H _T '		0,40 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,05 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		3,0 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		8 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		157,1 kWh/(m ² Wohnfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
		113,2 kWh/(m ² A _N a); berech. gem. [DIN 4108-6] / [DIN 4701-10]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	79 m ²
	Bauweise:	nicht unterkellert, Dämmung unter Bodenplatte
Geschoss- decke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand	U-Werte:	0,35 W/(m ² K)
	Fläche:	145 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	20 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,25 W/(m ² K)
	Fläche:	86 m ²
	Bauweise:	Satteldach, Sparrendach mit Zwischensparrendämmung
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwasser- erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelter Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Verteilung:	
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,91
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,9
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage



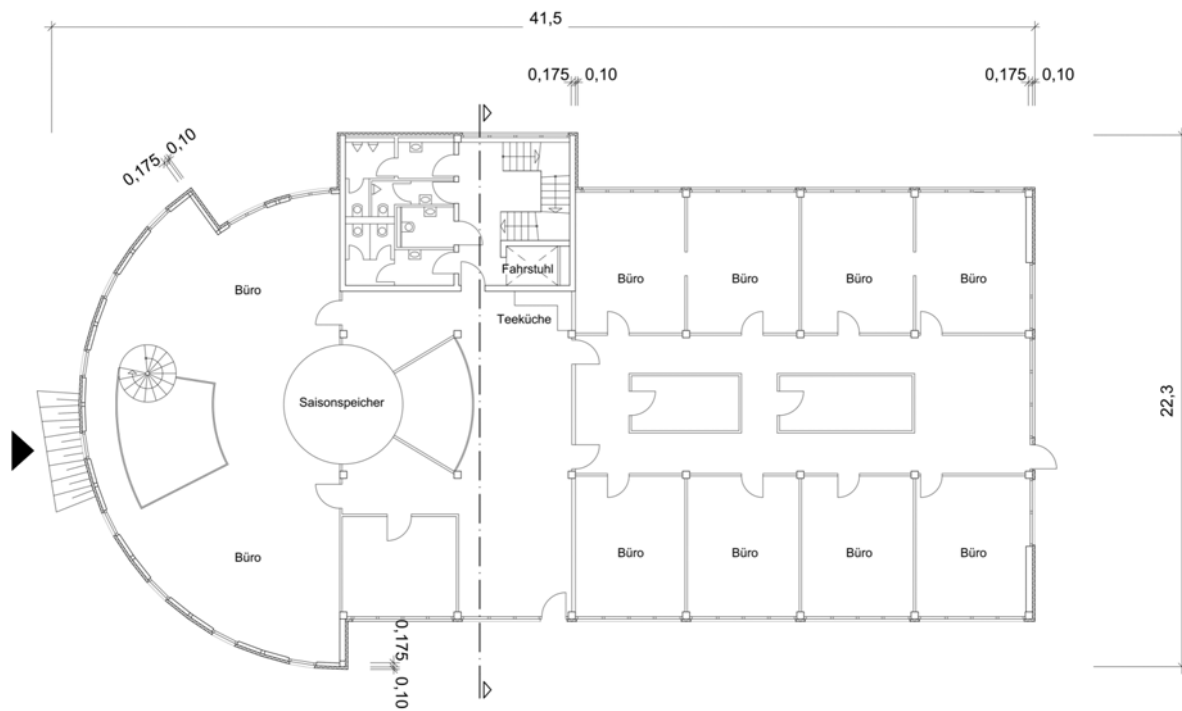
BASISDATEN		STADTVILLA
beheizte Geschosse		4
beheizte Wohnfläche (II. BV)		1278 m ²
Bruttoraumvolumen		5047 m ³
Hüllfläche		1967,22 m ²
A/V-Verhältnis		0,39 m ² /m ³
H _{T'}		0,46 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,05 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		3,0 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		27 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		115,6 kWh/(m ² Wohnfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
		81,8 kWh/(m ² A _N a); berech. gem. [DIN 4108-6] / [DIN 4701-10]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,32 W/(m ² K)
	Fläche:	395 m ²
	Bauweise:	unterkellert, Dämmung unter Kellerdecke
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0,22 W/(m ² K)
	Fläche:	15 m ²
	Bauweise:	Stb.-Decke mit WDVS
Außenwand	U-Werte:	0,26 W/(m ² K)
	Fläche:	772 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Außenwand gegen Erdreich	U-Werte:	0,36 W/(m ² K)
	Fläche:	98,1 m ²
	Bauweise:	Stb.-Wand mit außenliegender Perimeterdämmung
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	279 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,27 W/(m ² K)
	Fläche:	408 m ²
	Bauweise:	Flachdach, Warmdach auf oberster Geschossdecke aus Stb.
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,92
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,91
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage



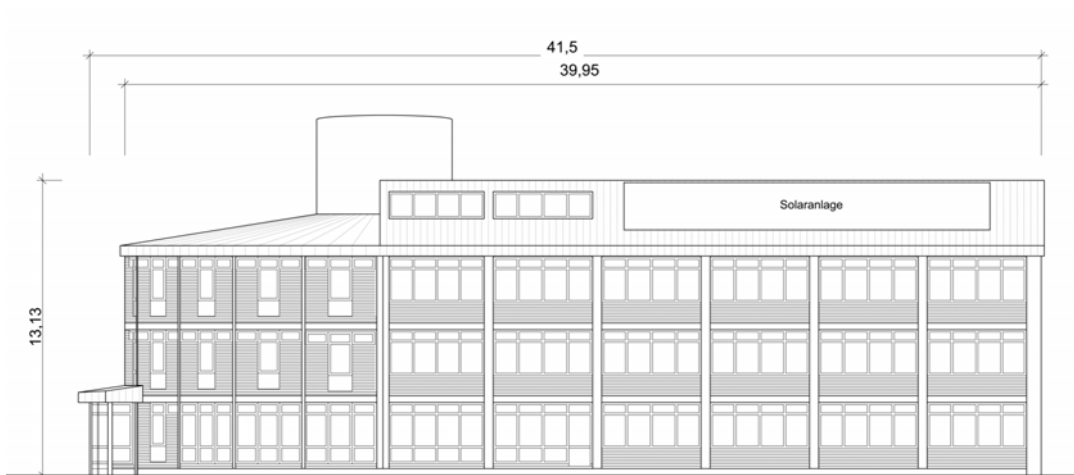
BASISDATEN		MEHRFAMILIENHAUS
beheizte Geschosse		5 1/2
beheizte Wohnfläche (II. BV)		4323 m ²
Bruttoraumvolumen		18805 m ³
Hüllfläche		6437,03 m ²
A/V-Verhältnis		0,34 m ² /m ³
H _T '		0,47 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,05 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		3,0 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		31 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		117,6 kWh/(m ² Wohnfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
		77,1 kWh/(m ² A _N a); berech. gem. [DIN 4108-6] / [DIN 4701-10]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,28 W/(m ² K)
	Fläche:	1274 m ²
	Bauweise:	Tiefgarage / Keller unter EG, Dämmung unter TG- / Kellerdecke
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand	U-Werte:	0,23 W/(m ² K)
	Fläche:	2557 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Außenwand gegen Erdreich	U-Werte:	0,31 W/(m ² K)
	Fläche:	212,2 m ²
	Bauweise:	Stb.-Wand mit außenliegender Perimeterdämmung
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	1126 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,21 W/(m ² K)
	Fläche:	1268 m ²
	Bauweise:	Flachdach, Warmdach auf oberster Geschossdecke aus Stb.
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,93
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,92
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage



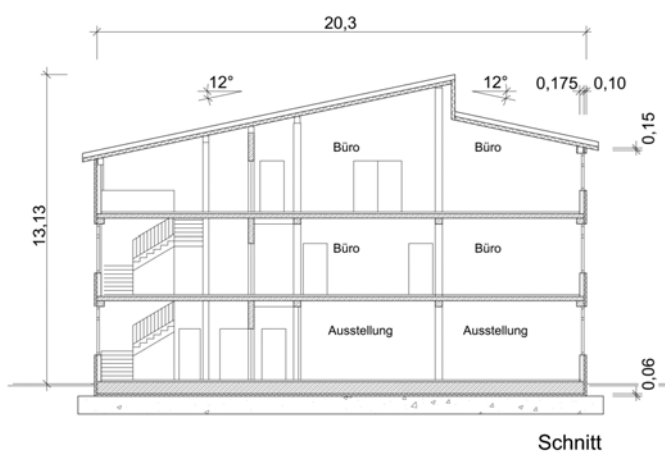
BASISDATEN		BÜROGEBÄUDE
beheizte Geschosse		3
Nettogrundfläche (DIN 277-1)		1948 m ²
Bruttoraumvolumen		8533 m ³
Hüllfläche		2807 m ²
A/V-Verhältnis		0,33 m ² /m ³
H _T '		0,58 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,10 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		1,50 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		26 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		171,6 kWh/(m ² Nettogrundfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	722 m ²
	Bauweise:	nicht unterkellert, Dämmung unter EG-Bodenplatte
Geschoss- decke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand	U-Werte:	0,35 W/(m ² K)
	Fläche:	804 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	545 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,27 W/(m ² K)
	Fläche:	736 m ²
	Bauweise:	Schrägdach, Sparrendach mit Zwischensparrendämmung
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwasser- erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.- Schutz), P-Regler (2K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelter Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,92
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,91
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20 °C
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit Platten-WT
	Erzeugung:	Zu-/Abluftanlage mit WRG 45 %, zentral, AC-Ventilatoren, SFP 2,85 kW/(m ³ /s)
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	manuell, ohne Präsenzkontrolle
	Beleuchtungsart:	direkt
	Leuchte:	stabförm. Leuchtstofflampe mit verlustarm VVG



Grundriss OG



Ansicht von Süden

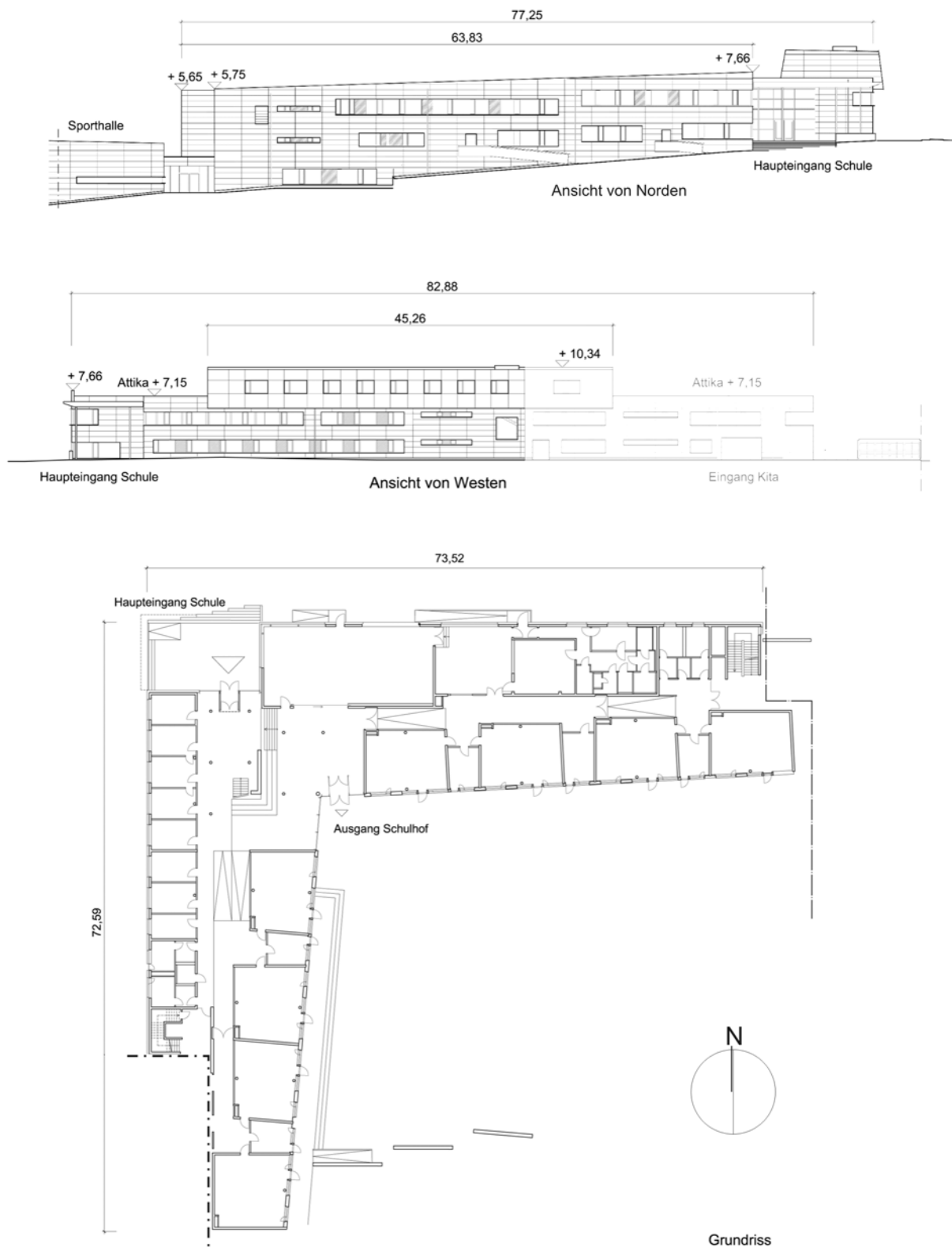


Schnitt

BASISDATEN		VERWALTUNGSGEBÄUDE
beheizte Geschosse		5 (inkl. beheiztes Kellergeschoss)
Nettogrundfläche (DIN 277-1)		11212,9 m ²
Bruttoraumvolumen		43572 m ³
Hüllfläche		11680 m ²
A/V-Verhältnis		0,27 m ² /m ³
H _T '		0,82 W/(m ² K)
ΔU _{WB}		0,10 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n ₅₀)		1,50 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		52 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		174,4 kWh/(m ² Nettogrundfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	2532 m ²
	Bauweise:	Dämmung unter Stb.-Kellerbodenplatte
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand gegen Außenluft	U-Werte:	0,42 W/(m ² K)
	Fläche:	2560 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Außenwand gegen Erdreich	U-Werte:	0,57 W/(m ² K)
	Fläche:	1299 m ²
	Bauweise:	Stb.-Wand mit außenliegender Perimeterdämmung
Fenster	U-Werte:	2,2 W/(m ² K)
	Fläche:	2758 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Kunststoffrahmen / Pfostenriegel, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,31 W/(m ² K)
	Fläche:	2532 m ²
	Bauweise:	Flachdach, Warmdach auf oberster Geschossdecke aus Stb.
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (2K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,93
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,92
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20 °C
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit Platten-WT
	Erzeugung:	Zu-/Abluftanlage mit WRG 45 %, zentral, AC-Ventilatoren, SFP 2,85 kW/(m ³ /s)
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	manuell, ohne Präsenzkontrolle
	Beleuchtungsart:	direkt
	Leuchte:	stabförm. Leuchtstofflampe mit verlustarm VVG



BASISDATEN		SCHULE
beheizte Geschosse		4
Nettogrundfläche (DIN 277-1)		4499,4 m ²
Bruttoraumvolumen		21174 m ³
Hüllfläche		7408 m ²
A/V-Verhältnis		0,35 m ² /m ³
H_T'		0,54 W/(m ² K)
ΔU_{WB}		0,10 W/(m ² K)
Luftdichtigkeit der Gebäudehülle (n₅₀)		1,50 1/h
Fensterflächenanteil nach EnEV		37 %
Primärenergiebedarf [EnEV 2007]		181,4 kWh/(m ² Nettogrundfläche a); berechnet gemäß [DIN V 18599]
BAUTEILDATEN		
Kellerdecke / Bodenplatte	U-Werte:	0,38 W/(m ² K)
	Fläche:	2199 m ²
	Bauweise:	teilunterkellert, Wärmedämmung unter Kellerdecke / Bodenplatte
Geschossdecke gegen außen	U-Werte:	0 W/(m ² K)
	Fläche:	0 m ²
	Bauweise:	
Außenwand gegen Außenluft	U-Werte:	0,53 W/(m ² K)
	Fläche:	1565 m ²
	Bauweise:	KS-Stein-Wand mit WDVS
Außenwand gegen Erdreich	U-Werte:	0,57 W/(m ² K)
	Fläche:	402,7 m ²
	Bauweise:	Stb.-Wand mit außenliegender Perimeterdämmung
Fenster	U-Werte:	1,5 W/(m ² K)
	Fläche:	932 m ²
	Bauweise:	2-fach WSV, Holzrahmen, Aluminiumrandverbund
Dach	U-Werte:	0,36 W/(m ² K)
	Fläche:	2310 m ²
	Bauweise:	Flachdach, Warmdach auf oberster Geschossdecke aus Stb.
ANLAGENTECHNIK		
Trinkwassererwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (2K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,200 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,93
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,92
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20 °C
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit Platten-WT
	Erzeugung:	Zu-/Abluftanlage mit WRG 45 %, zentral, AC-Ventilatoren, SFP 2,85 kW/(m ³ /s)
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	manuell, ohne Präsenzkontrolle
	Beleuchtungsart:	direkt
	Leuchte:	stabförm. Leuchtstofflampe mit verlustarm VVG



7.2 Primärenergie-Anforderungen für Wohngebäude

Berechnungsverfahren

Im Rahmen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Rechenverfahren gemäß [DIN V 18599] Verbrauchsmessungen in Energiesparhäusern und Ergebnisse aus systematischen Simulationsrechnungen realistisch reproduzieren (vgl. Abschnitt 12 bis 1). Es wird daher empfohlen auch bei Wohngebäuden die Verfahren gemäß [DIN V 18599] anzuwenden (vgl. auch Abschnitt 7.2.3). Vor einer Anwendung im Wohnbau sollten die Rechenverfahren jedoch noch geeignet vereinfacht werden. In Absprache mit dem Auftraggeber sind daher die folgenden Berechnungen im Wohnbau auf Basis der [DIN V 18599] durchgeführt worden.

Flächenbezug

Bei den folgenden Berechnungsergebnissen im Wohnbau wird, im Unterschied zum Vorgehen gemäß [EnEV 2007], die tatsächliche **beheizte Wohnfläche als Energiebezugsfläche angesetzt**. Dieser Ansatz wird aus den folgenden Gründen empfohlen:

- Nutzungsrandbedingungen aus der [DIN V 18599] werden im Wohnbau über die Wohnfläche parametrisiert. Die Eingabe der Wohnfläche ist für eine korrekte Anwendung der [DIN V 18599] ohnehin erforderlich.
- Die Wohnfläche ist im Unterschied zu A_N gemäß [EnEV 2007] eine tatsächlich vorhandene Fläche, welche den Planern auch bekannt ist.
- Der Energiebedarf im bewohnten, nutzbaren Bereich sollte gering sein, daher ist der Bedarf je Wohnfläche die bessere Optimierungsgröße.

7.2.1 Vorschlag für neues Primärenergie-Anforderungsniveau

Abbildung 49 zeigt die Primärenergie-Anforderung gemäß [EnEV 2007] und das vorgeschlagene neue Primärenergie-Anforderungsniveau. Zur Bestimmung des dargestellten Anforderungsniveaus gemäß [EnEV 2007] auf Basis der Normenreihe [DIN V 18599] wurde eine Referenzausführung der Modellgebäude jeweils so eingestellt, dass sie zunächst die zulässigen Jahres-Primärenergie-Höchstwerte gemäß [EnEV 2007], ermittelt mit der Normenkombination [DIN 4701-10], [DIN 4108-6], einhalten. In einem zweiten Schritt wurde der Primärenergiebedarf der derart bestimmten Referenzausführungen, mittels der Rechenmethode der Normenreihe [DIN V 18599] berechnet. Das Anforderungsniveau gemäß [EnEV 2007] auf Basis der Normenreihe [DIN V 18599] wurde anschließend anhand der Primärenergiebedarfswerte der Modellgebäude als Funktion des A/V-Verhältnisses interpoliert. Zur Vereinfachung und zur Verbesserung der Transparenz wurde auf eine zusätzliche Abhängigkeit von der Gebäudebezugsfläche verzichtet. Die Modellgebäude in ihrer Referenzausführung sind in Abschnitt 7.1 ausführlich dokumentiert.

Die folgenden Bestimmungsgleichungen beschreiben die dargestellten Anforderungsniveaus:

- Jahres-Primärenergiebedarfsanforderung Q_p' gemäß [EnEV 2007] übertragen auf die Rechenmethode der Normenreihe [DIN V 18599] und mit Bezug auf die Gebäudewohnfläche:

$$Q_p' = 128 \text{ kWh}/(\text{m a}) * A/V + 72,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

- Vorschlag für neue Jahres-Primärenergiebedarfsanforderung Q_p' bei Anwendung der Rechenmethodik der Normenreihe [DIN V 18599] und mit Bezug auf die Gebäudewohnfläche:

$$Q_p' = 54 \text{ kWh}/(\text{m a}) * A/V + 65,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Das vorgeschlagene neue Jahres-Primärenergie-Anforderungsniveau führt auf eine durchschnittliche Verbesserung der Primärenergiebedarfsanforderungen für Neubauten von 35 %. Die mittlere Verbesserung wurde hierbei über den A/V_e -Wertebereich von 0,2 bis 1,0 ermittelt.

Die vorgeschlagene neue Anforderungskurve verläuft deutlich flacher als das Anforderungsniveau gemäß [EnEV 2007]: Dies rührt daher, dass zu einem verschärften Anforderungsniveau ein verbesserter Wärmeschutz beiträgt und mit höherem Wärmeschutz die Abhängigkeit vom A/V -Verhältnis abnimmt.

Im Anhang in Abschnitt 16.9 wird das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau ergänzend auch auf die Verfahren gemäß [DIN 4108-6] und [DIN 4107-10] rückgespiegelt.

Bei der Bewertung der ermittelten Primärenergie Kennwerte gemäß des Verfahrens nach [DIN V 18599] muss beachtet werden, dass das Rechenverfahren sich gegenüber dem Verfahren der Normenkombination [DIN 4701 10], [DIN 41086] (EnEV 2004) unterscheidet. D. h. Komponenten werden unterschiedlich bewertet, außerdem ändert sich der Flächenbezug. Die dargestellten Ergebnisse gemäß [DIN V 18599] beziehen sich auf die Wohnfläche. Alleine durch den Flächenbezug auf die tatsächliche Wohnfläche kann der flächenspezifische Kennwert (gegenüber einem Bezug auf A_N) um ca. 30 % ansteigen.

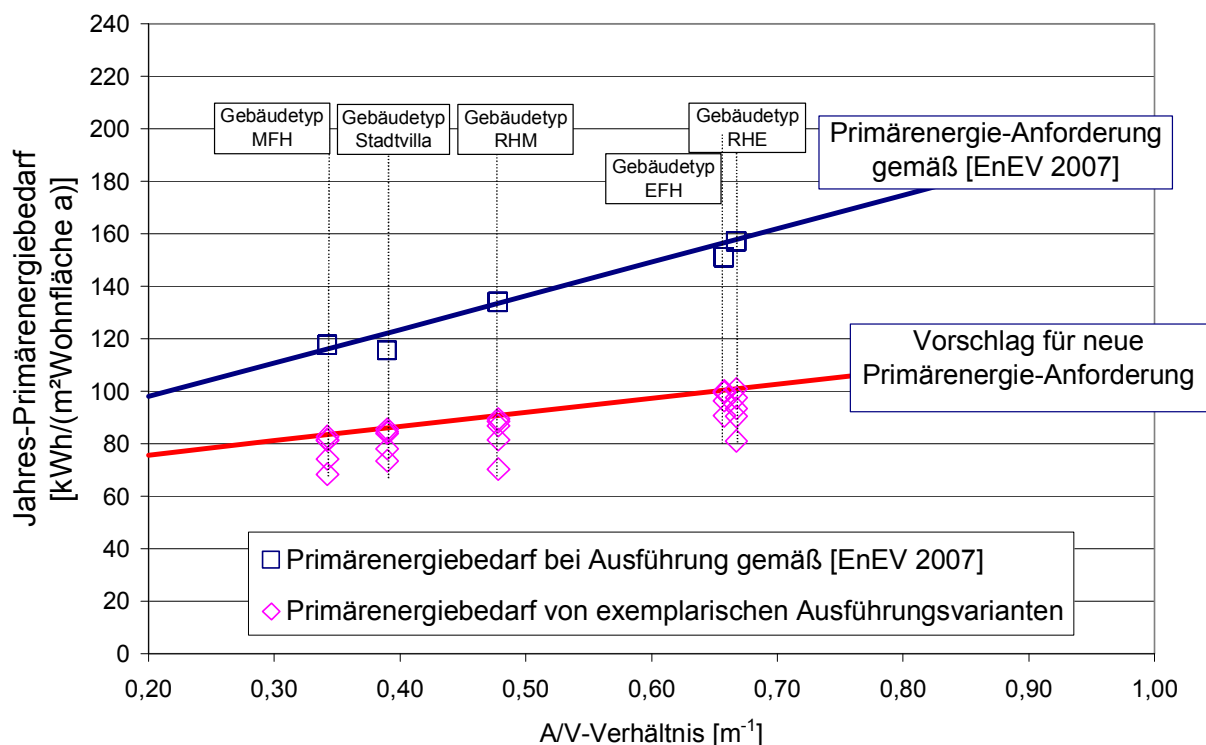


Abbildung 49: Primärenergie-Anforderung gemäß [EnEV 2007] und Vorschlag für neues Anforderungsniveau. Alle Primärenergiebedarfswerte sind gemäß den Rechenmethoden der [DIN V 18599] ermittelt. Als Beleg für die praktische Umsetzung und Machbarkeit von verschärften Primärenergiebedarfswerten wurden zu den Modellgebäude unterschiedlich Beispielausführungen vorgestellt, welche jeweils das vorgeschlagene Anforderungsniveau einhalten. Im Vergleich zum Anforderungsniveau gemäß [EnEV 2007] verläuft die vorgeschlagene Anforderungskurve flacher; mit verbessertem Wärmeschutz nimmt der Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis ab. Aufgrund der abweichenden Rechenmethodik und des anderen Flächenbezugs der [DIN V 18599] sind die Anforderungswerte nicht mit Rechenergebnissen der Normenkombination [DIN 4701-10], [DIN 4108-6] direkt vergleichbar.

7.2.2 Nachweis der Wirtschaftlichkeit anhand von Ausführungsvarianten

Zur Überprüfung des Wirtschaftlichkeitsgebots werden Maßnahmenpakete vorgestellt, welche das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau erfüllen. Diese beispielhaften Ausführungsvarianten müssen gemäß Energieeinspargesetz privatwirtschaftlich rentabel sein, d. h. die finanzielle Belastung der Investor/Nutzer-Gemeinschaft muss gegenüber einem schlechteren Energiestandard geringer sein. Zur Bewertung werden die jährlichen Gesamtkosten aus Kapitaldienst für Investitionen, Betriebskosten und Energiekosten herangezogen. Sind die jährlichen Gesamtkosten der Ausführungsvariante geringer als die Kosten der Referenzvariante (gemäß [EnEV 2007]), dann resultiert ein jährlicher Gewinn und das Maßnahmenpaket ist einzelwirtschaftlich rentabel.

In Abbildung 50 sind die Primärenergiebedarfswerte für mögliche Ausführungsvarianten dargestellt. Bei der Zusammenstellung der Maßnahmenpakete wurden möglichst unterschiedliche Kombinationen der Anlagentechnik und des Wärmeschutzes gewählt. Die zugehörigen Ausführungsvarianten sind in Tabelle 69 bis Tabelle 73 zusammenfassend dokumentiert. Es zeigt sich, dass bei dem vorgeschlagenen

Anforderungsniveau eine große Vielfalt von Lösungsansätzen erhalten bleibt. Privatwirtschaftlich rentable Maßnahmenpakete auf Basis von Niedertemperatur-Kesseln, Brennwert-Kesseln oder Wärmepumpen sowie zentrale als auch dezentrale Trinkwarmwasserversorgungsvarianten sind möglich.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines Maßnahmenpakets im Vergleich zur Referenzausführung ist die Differenz der jährlichen Gesamtkostenbelastung. Diese ist in Abbildung 50 positiv als Gewinn ausgewiesen. Der durchschnittliche jährliche Gewinn der Ausführungsvarianten liegt bei 1,2 € je m² Wohnfläche. Durch Synergie-Effekte werden in der Kombination auch Maßnahmen wirtschaftlich, die isoliert betrachtet eine Wirtschaftlichkeit nicht erreichen. So werden z. B. auch Ausführungskombinationen mit thermischen Solarkollektoren im Paket wirtschaftlich. Nahezu wirtschaftlich wird im Geschosswohnbau die Energiesparmaßnahme Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (DC-Ventilatoren). Diese Variante wurde ebenfalls dokumentiert (MFH 3), um die Bandbreite der Lösungsansätze aufzuzeigen.

Die erforderlichen Mehrinvestitionen der Ausführungsvarianten liegen im Durchschnitt um 52 €/m² Wohnfläche). Dabei sind Mehrinvestitionen beim Einfamilienhaus (durchschnittlich 64 €/m² Wohnfläche)) aufgrund des höheren Anteils an Außenbauteilen wie zu erwarten höher als im Geschosswohnbau (im Mittel im 34 €/m² Wohnfläche)).

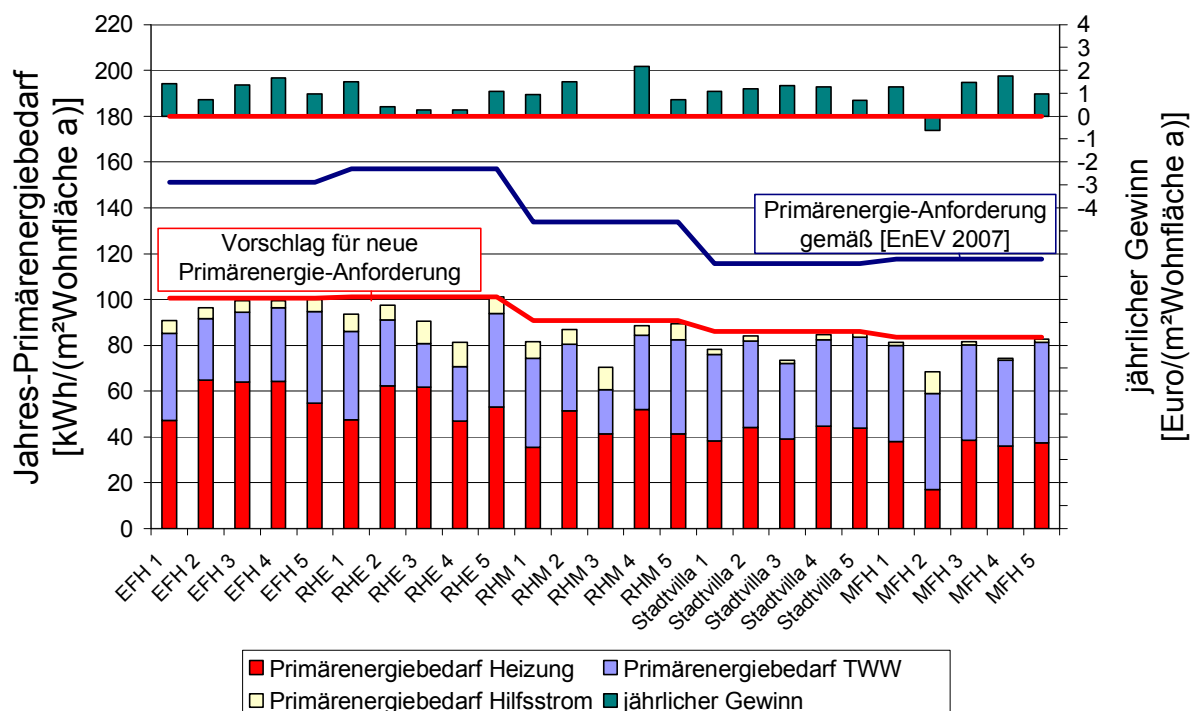


Abbildung 50: Jahres-Primärenergiebedarf berechnet gemäß [DIN V 18599] und Darstellung des jährlichen Gewinns (grüne Säulen oben und Skala rechts) der exemplarischen Ausführungsvarianten im Vergleich zu einer Referenzausführung der Modellgebäude gemäß [EnEV 2007]. Ist der Gewinn positiv (größer Null), dann ist das Maßnahmenpaket rentabel.

Welchen Einfluss hat der Energiepreis auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete? Zur Beurteilung von unterschiedlichen Energiepreis-Annahmen wurde zu den Energiespar-Varianten der Äquivalentpreis der eingesparten kWh Endenergie bestimmt. Wie Abbildung 51 verdeutlicht, sind die Maßnahmenpakete überwiegend bereits zu heutigen Endenergiepreisen für Gas/Öl wirtschaftlich. Der mittlere Äquivalentpreis der eingesparten kWh der Ausführungsbeispiele liegt bei 4,7 Cent/kWh. Analog zu den erforderlichen Mehrinvestitionen für ein verbessertes Anforderungsniveau ist der Äquivalentpreis der eingesparten kWh für Energiesparmaßnahmen im Geschosswohnbau (um 4,1 Cent/kWh) geringer als bei Einfamilien- sowie Reihenhäusern (durchschnittlich bei 5,1 Cent/kWh).

In Abschnitt 4 wird das Konzept der eingesparten kWh Endenergie eingeführt. Bei den Maßnahmenpaketen mit Wärmepumpen ist der Preis zur Substitution einer kWh Erdgas angegeben. Trotz des Energieträgerwechsels von der Referenzvariante zu den Maßnahmen mit Wärmepumpe ist so ein konsistenter Vergleich der Energiesparmaßnahmen möglich (vgl. Abschnitt 4).

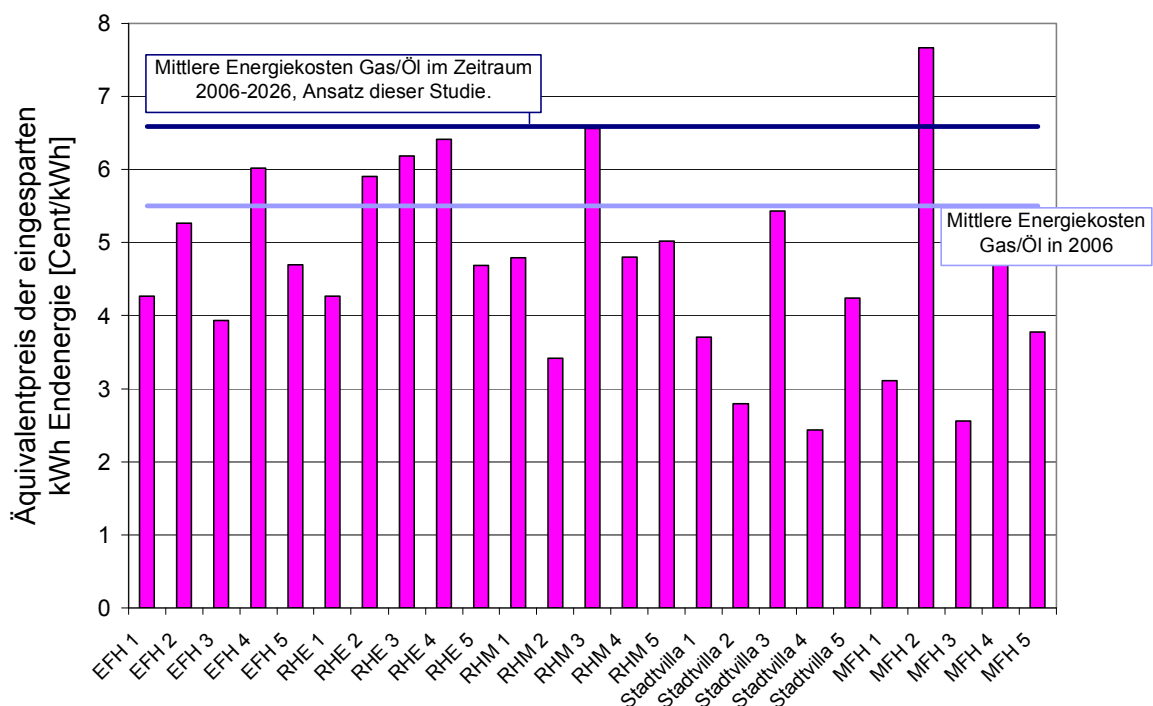


Abbildung 51: Einfluss des Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete. Dargestellt ist der Äquivalentpreis der eingesparten kWh und Vergleichspreise zur Alternative Energiebezug von Gas oder Öl. Zu allen Modellgebäuden gibt es Maßnahmenpakete, die bereits zu heutigen Endenergiepreisen rentabel sind. Wie zu erwarten, werden die Energiespar-Pakete bei größeren Wohnbauten ökonomisch günstiger.

Welche Energiesparmaßnahmen wurden bei den exemplarischen Maßnahmenpaketen kombiniert? Ein verbesserter Wärmeschutz ist wirtschaftlich attraktiv, ebenso ist bei Kesseln die Mehrinvestition für Brennwerttechnik in allen Fällen gut angelegtes Geld.

Verbesserung der Effizienz der Wärmeversorgung: Einsatz eines Gas-Brennwert- anstatt eines Gas-Niedertemperaturkessels.

Als Wärmeerzeuger wurden aktuelle Gas-Brennwertkessel herangezogen kombiniert mit einem Niedertemperaturheizungssystem (Radiator / Systemtemperatur 55/45 °C). Beim Brennwertkessel wurden die Wirkungsgrad-Randbedingungen gemäß [DIN V 18599] für Brennwertkessel, verbessert gewählt, da diese den aktuellen Produkten entsprechen und die gesichteten Datenblätter durchweg sogar höhere Nutzungswirkungsgrade aufwiesen.

Gegenüber der Referenzausführung wurden Mehrinvestitionen für die Brennwerttechnik beim Kessel berücksichtigt. Beim Wärmeübergabesystem wurden trotz der veränderten Temperaturspreizung (vorher 70/55 °C) keine Mehrkosten angerechnet, da die Beispielvarianten gegenüber der Referenzausführung einen besseren Wärmeschutz aufweisen und geringere Heizlasten auftreten. Daher muss sich trotz der niedrigen Vorlauftemperatur die Fläche der Heizkörper nicht vergrößern. Es wird angenommen, dass daher keine Mehrkosten entstehen.

Die Mehrinvestition für Brennwerttechnik wurde anhand von Listenpreisen interpoliert. Diese liegt bei dem Einfamilienhaus bzw. den Reihenhäusern bei 500 € und reicht bei den größeren Gebäuden bis 2900 €.

Verbesserung der Effizienz der Wärmeversorgung: Einsatz einer Wärmepumpe mit Erdsonde anstatt eines Niedertemperaturkessels.

Als Wärmequelle der Wärmepumpe werden Erdsonden angesetzt. Die Wärmeübergabe erfolgt, wie auch bei der Variante mit Brennwertkessel, über ein Niedertemperatursystem (Radiator / Systemtemperatur 55/45 °C). Die Wärmepumpen werden monovalent mit Pufferspeicher betrieben.

Gegenüber der Referenzvariante fallen Mehrinvestitionen für die Wärmepumpe, die Wärmequelle und die elektrischen Anschlussarbeiten an. Diesen stehen aber auch Minderkosten für das entfallende Abgassystem und den entfallenden Gasanschluss gegenüber. Die Investitionskosten sind im Anhang dokumentiert.

Die Betriebskosten fallen bei Wärmepumpe im Vergleich zum Gas-Kessel günstiger aus, da der Grundpreis des Gasanschlusses und die Schornsteinfegergebühren entfallen und die Wartungskosten geringer sind. Beim Reihenhaus verringern sich die jährlichen Betriebskosten mit der Wärmepumpenlösung um 270 €/a (vgl. Anhang Abschnitt 16.10.5).

Zur Bewertung der Wärmepumpen wurde das Berechnungsverfahren für Quellen- und Senkentemperaturkorrekturen mit festem exergetischem Wirkungsgrad und Standardwerten für Leistungszahlen verwendet (vgl. [DIN V 18599-5]).

Nutzung von erneuerbaren Energien bei der Wärmeversorgung. Thermische Solaranlage zur Unterstützung der TWW-Versorgung.

Bei der Maßnahme thermische Solaranlage zur Trinkwarmwassererwärmung wurde ein Flachkollektor (Kollektorfläche = A_c) mit bivalentem Solarspeicher angesetzt. Größe und Eigenschaften des Flachkollektors und des Solarspeichers gemäß Standard-Annahmen der [DIN V 18599].

Die Mehrinvestitionskosten wurden anhand von Paketpreisen ermittelt. Die Mehrkosten beinhalten Flachkollektor, Zubehör, Montage und die Mehrkosten des Solarspeichers. Es wurden Zusatzinvestitionen für die Reihenhäuser von 2850 € angesetzt. Die Wartung der Solaranlage erhöht die Betriebskosten der Heizungsanlage um 50 €/a.

Reduzierung der Lüftungswärmeverluste: Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

Die kontrollierte Lüftung verbessert vor allem den Komfort in den Wohngebäuden und sorgt für gute Raumlufthqualität. Aus dieser Komponente wird in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft und effizienten DC-Ventilatoren auch noch eine Energiespar-Komponente. Die Rückwärmzahl wird mit 80 % und die Stromaufnahme zu $0,45 \text{ Wh/m}^3$ (Standardwert für DC-Ventilatoren gemäß [DIN 4701-10]) angesetzt. Die Lüftung wird, wie im Wohnbau üblich, nur in der Heizperiode betrieben. Abweichend von den Randbedingungen der [DIN V 18599-2] (den Empfehlungen aus Abschnitt 1 folgend) wird kein zusätzlicher Fensterluftwechsel beim Lüftungsanlagenbetrieb angesetzt.

Beim Gebäudemodell MFH betragen die Mehrinvestitionen $42 \text{ €/}(\text{m}^2\text{Wohnfläche})$ für das Kanalnetz und je Zentralgerät 14.923 € bei insgesamt 4 Geräten (Kosten inkl. Montage und Zubehör).

Reduzierung der nicht nutzbaren Wärmeverluste von Trinkwarmwasser- und Heizwärmeversorgung

Warme Verteilleitungen haben Wärmeverluste. Eine bessere Wärmedämmung von Verteilleitungen und möglichst kurze Leitungslängen verringern diese Verluste. Bei den Ausführungsbeispielen wird eine verbesserte Wärmedämmung der Verteilleitungen angesetzt. Der Wärmeverlustkoeffizient der Leitungen verbessert sich mit dieser Maßnahme von $0,20$ auf $0,16 \text{ W}/(\text{m K})$. Die Dämmstärken entsprechen $150 \% \times \text{DN}$ ($\text{DN } 20 / \lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m K})$). Diese Maßnahme wird bei Verteilleitungen und Strangleitungen angesetzt. Die Primärenergie-Einsparung aufgrund der verbesserten Dämmung der Verteilleitungen liegt um $3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{Wohnfläche a})$ (beim Gebäudemodell EFH 3,5 und bei der Stadtvilla $2,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{Wohnfläche a})$).

Es wurden grundsätzlich die Standardlängen der Versorgungsleitungen verwendet. Die Optimierung der Verteilleitungen hat ebenfalls Energiesparpotential. Im Ausführungsbeispiel EFH 3 werden die tatsächlichen TWW-Leitungslängen

verwendet. Die TWW-Leitungen verkürzen sich mit dieser Maßnahme um 55 %, die Primärenergie-Einsparung beträgt in diesem Beispiel 8,5 kWh/(m² Wohnfläche a). (bei den anderen Modellgebäuden ist der Unterschied zwischen der Standard-TWW-Leitungslänge und der tatsächlichen Länge geringer). Die Minderkosten aufgrund des kürzeren Verteilnetzes werden vernachlässigt.

Eine Frage der Größe des TWW-Verteilnetzes und des Komforts ist die Zirkulation. Kann auf eine Zirkulation verzichtet werden bzw. können die Laufzeiten der Zirkulation minimiert werden, führt auch dies zu zusätzlichen Einspar-Potentialen. Die angesetzten Laufzeiten der Zirkulation in den Ausführungsbeispielen entsprechen den Standard-Annahmen der [DIN V 18599-8].

Die Anordnung der Wärmeversorgung im unbeheizten (außerhalb) oder im beheizten Gebäudebereich ist zunächst eine Frage des Wärmeerzeugers und des Platzangebots. Wenn ausreichend Platz innerhalb des Gebäudes ist und der Wärmeerzeuger auch im beheizten Bereich betrieben werden darf (raumluft-unabhängiger Betrieb), dann können Wärmeverluste von Wärmeerzeuger und ggf. TWW-Speicher in der Heizzeit genutzt werden.

Verbesserung des Wärmeschutzes der opaken Bauteile. Verbesserung der Wärmedämmung auf einzelwirtschaftlich optimale Dämmstärken.

Einzelwirtschaftlich sehr interessant ist die Verbesserung des Wärmeschutzes. Bei mehreren Ausführungsbeispielen, welche das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau erfüllen, werden Dämmstärken entsprechend den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken im Neubau angesetzt bzw. Bauteile mit optimalen Dämmstärken kombiniert. Die genaue Ausführung ist in Abschnitt 16.10.5 dokumentiert. Einzelwirtschaftlich optimale Dämmstärken werden in Abschnitt 5.4 bestimmt.

Tabelle 68: Bauweise, Wärmedurchgangskoeffizienten und Zusatzkosten der angesetzten Bauteile mit verbessertem Wärmeschutz. Bauteilaufbauten und Bauteilgesamtkosten sind im Anhang Abschnitt 16.10 dargestellt.

	Bauweise	Wärmedurchgangskoeffizienten	Zusatzkosten des cm Mehrdämmung je m ² Bauteilfläche ($\lambda=0,040 \text{ W/(m K)}$)
Flachdach	Warmdach auf oberster Geschossdecke	0,13 W/(m ² K)	90 Cent/cm/m ²
Sparrendach	Sparrendach mit Zwischensparren-Dämmung	0,15 W/(m ² K)	70 Cent/cm/m ²
Außenwand WDVS	KS-Stein-Wand mit WDVS	0,17 W/(m ² K)	80 Cent/cm/m ²
Außenwand monolithisch (36,5)	Plan-Wärmedämmziegel (36,5cm)	0,33 W/(m ² K)	
Außenwand monolithisch (42,5)	Plan-Wärmedämmziegel (42,5cm)	0,20 W/(m ² K)	
Geschossdecke gegen außen	Stb.-Decke mit WDVS	0,15 W/(m ² K)	80 Cent/cm/m ²
Bodenplatte bzw. Kellerdecke	Wärmedämmung unter Bodenplatte bzw. Kellerdecke	0,18 W/(m ² K)	130 Cent/cm/m ²

Verbesserung des Wärmeschutzes der Fenster: Einsatz von Dreischeiben-wärmeschutz-Verglasungen

In der Referenzausführung der Modellgebäude werden marktgängige Holz-Fenster mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung (2WSV) und konventionellem Randverbund (Aluminium-Abstandhalter) berücksichtigt. In Ausführungsvarianten werden thermisch verbesserte Fenstervarianten angesetzt: Holzfenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung (3WSV) mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund. Wie Untersuchungen der Einzelmaßnahme Fenster in Abschnitt 5.5 zeigen, ist auch der Einsatz von Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund in einem Holzrahmenfenster wirtschaftlich.

Holzfenster mit 2WSV: $U_W = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_W gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 65 %

Holzfenster mit 3WSV: $U_W = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_W gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 50 %

Verbesserung des Wärmeschutzes: Optimierung der Anschlussdetails

Wie in Abschnitt 5.6 gezeigt wurde, wird die Kompensation von Wärmebrückenverlusten durch zusätzliche Wärmedämmung mit verbessertem Wärmeschutz aufwendiger. Die Vermeidung von Wärmebrücken bzw. die Optimierung von Anschlussdetails wird hingegen mit insgesamt besserem Wärmeschutz wirtschaftlich attraktiver.

Ausgehend von der pauschalen Berücksichtigung der Wärmebrückenverluste (Details gleichwertig zu DIN 4108, Beiblatt 2) werden die Details wärmeschutztechnisch derart verbessert, dass sich negative Wärmebrücken mit verbliebenen positiven Wärmebrückenverlusten aufheben. Die Details werden detailliert nachgewiesen bzw. es werden „wärmebrückenfreie“ Detailbeispiele angewendet (es wird empfohlen, vereinfachende Regelungen zum Nachweis einer „wärmebrückenfreien Konstruktion“ im Neubau ($\Delta U_{WB} < 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) einzuführen).

Ansatz: $\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Die Mehrinvestitionskosten wurden projektspezifisch anhand der Lauflängen der Wärmebrücken ermittelt. Außerdem wurden zusätzliche Planungskosten angesetzt. Die Mehrinvestitionskosten werden in Abschnitt 16.10.5 für die Ausführungsbeispiele ausgewiesen.

Reduzierung der Lüftungswärmeverluste: Prüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle

Die Überprüfung der Luftdichtheit ist seit der EnEV 2002 bei Neubauten etabliert und wirtschaftlich vertretbar. Es wird davon ausgegangen, dass bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen die Anforderungen an die Gebäudeluftdichtheit für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen eingehalten werden können.

Bei den Ausführungsvarianten wird angenommen, dass mit der Durchführung von Luftdichtheitsmessungen verbesserte Luftdichtheitskennwerte eingehalten werden können. Bei den kleineren Objekten EFH, RHE und RHM wurde zusätzlich Zeit kalkuliert für etwaige Nachbesserungen von Leckagen. Die Gebäudeluftdichtheit verbessert sich mit dieser Maßnahme von $3,0 \text{ h}^{-1}$ auf den Bemessungswert gemäß [DIN V 18599] von $1,0 \text{ h}^{-1}$ (dieser Bemessungswert kann angesetzt werden, wenn für die Drucktest-Messung nach Fertigstellung des Gebäudes ein n_{50} -Kennwert von mindestens $1,5 \text{ h}^{-1}$ gefordert wird).

Wie in Abschnitt 5.7 gezeigt wurde, handelt es sich hierbei um eine einzelwirtschaftlich rentable Maßnahme. Die Mehrinvestitionskosten werden mit den Ausführungsvarianten in Abschnitt 16.10.5 dokumentiert.

Kurzdokumentation der Ausführungsvarianten, welche das neu vorgeschlagene Anforderungsniveau einhalten

In Tabelle 69 bis Tabelle 73 sind die mit dem vorgeschlagenen neuen Anforderungsniveau verträglichen Beispielausführungen der Modellgebäude zusammenfassend dokumentiert. Investitionskosten, Bauweise und Anlagentechnik werden ausführlich im Anhang (Abschnitt 16.10.5) beschrieben.

Tabelle 69: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **EFH**, welche das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind jeweils nur die Änderungen in der Ausführung gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Die durchschnittliche Mehrinvestition der erforderlichen Energiesparmaßnahmen liegt bei 59 €/m²Wohnfläche). Nahezu alle Energiespar-Pakete sind bereits zu heutigen Energiepreisen rentabel (mittlerer Energiepreis Gas/Öl 2006 ca. 5,5 Cent/kWh). Die einzelnen Ausführungsvarianten sind ausführlich im Anhang dokumentiert (vgl. Abschnitt 16.10.5).

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m²Wohnfläche]	jährlicher Gewinn [€/m²Wohnfläche]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m²Wohnfl. a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m²Wohnfl. a)]	Statische Amortisationszeit [a]
EFH 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	56,3	1,4	4,3	90,8	100,5	151,1	14
EFH 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS optimal, Ziegel (42,5), WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	68,1	0,7	5,3	96,5	100,5	151,1	19
EFH 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, TWW-Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation, tatsächliche TWW-Leitungslängen / WS optimal, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	47,1	1,4	3,9	99,6	100,5	151,1	14
EFH 4	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, TWW dezentral, elektrischer Durchlauferhitzer / WS optimal, Ziegel (42,5), Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	72,1	1,7	6,1	99,6	100,5	151,1	15
EFH 5	Gas-NT, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	53,8	1,0	4,7	100,2	100,5	151,1	16

Abkürzungen:

1) bei Wärmepumpen wird der Preis zur Substitution einer kWh Gas ausgewiesen (vgl. Text)

Gas-BW – verbessert: Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten

Gas-NT: Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage

Durchlauferhitzer: dezentrale TWW-Versorgung mit elektrischem Durchlauferhitzer

WS optimal: Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken.

Ziegel (42,5): Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,20 W/(m²K))

Vergl. 3WSV: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

WB-Zuschlag: $\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Berücksichtigung der Wärmebrücken durch genauen Nachweis bzw. durch Anwendung von Planungsbeispielen für „wärmebrückenfreie“ Details.

n₅₀: 1,5 Durchführung eines Gebäudedrucktests mit einem Ergebnis $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$.

tatsächliche TWW-Leitungslängen: Es wurde die tatsächliche Länge der TWW-Verteilleitung angesetzt.

Tabelle 70: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude RHE, welche das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind nur die Abweichungen gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007].

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m ² Wohnfläche]	jährlicher Gewinn [€/m ² Wohnfläche]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m ² Wohnfläche a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	Statische Amortisationszeit [a]
RHE 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	59,7	1,5	4,3	93,5	101,0	157,1	14
RHE 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS optimal, Ziegel (42,5), WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	82,1	0,4	5,9	97,5	101,0	157,1	20
RHE 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, Flachkollektor, A _c : 4,7m ² , mit Zirkulation / WS optimal, WB-Zuschlag: 0,00	71,2	0,3	6,2	90,5	101,0	157,1	18
RHE 4	WP-Sole, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, TWW-Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation / WS mäßig, WB-Zuschlag: 0,00	128,5	0,3	6,4	81,2	101,0	157,1	17
RHE 5	Gas-NT, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	60,6	1,1	4,7	101,0	101,0	157,1	16

Abkürzungen:

1) bei Wärmepumpen wird der Preis zur Substitution einer kWh Gas ausgewiesen (vgl. Text)

Gas-BW – verbessert: Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten

Gas-NT: Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage

WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequelle

Flachkollektor: thermische Solaranlage mit Kollektorfläche = A_c

WS optimal: Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken.

WS mäßig: Wärmedämmung vergleichbar der Referenzausführung, einzelne Bauteile verbessert

Ziegel (42,5): Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,20 W/(m²K))

Vergl. 3WSV: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

WB-Zuschlag: $\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Berücksichtigung der Wärmebrücken durch genauen Nachweis bzw. durch Anwendung von Planungsbeispielen für „wärmebrückenfreie“ Details.

n₅₀: 1,5 Durchführung eines Gebäudedrucktests mit einem Ergebnis $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$.

tatsächliche TWW-Leitungslängen: Es wurde die tatsächliche Länge der TWW-Verteilleitung angesetzt.

Tabelle 71: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **RHM**, welche das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind nur die Abweichungen gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Auch hier ergeben sich die maximalen Kosten der eingesparten Energie für die Variante mit Solaranlage. Dieses Maßnahmenpaket ist in der Gesamtkostenbetrachtung gegenüber der Referenzausführung des RHM kostenneutral, bei gleichzeitiger, bedeutender Energieeinsparung.

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m ² Wohnfläche]	jährlicher Gewinn [€/m ² Wohnfläche]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m ² Wohnfläche a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	Statische Amortisationszeit [a]
RHM 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	54,8	1,0	4,8	81,5	90,8	134,0	16
RHM 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS mäßig, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	35,2	1,5	3,4	86,9	90,8	134,0	11
RHM 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, Flachkollektor, A _c : 4,7m ² , mit Zirkulation / WS optimal, WB-Zuschlag: 0,00	71,3	0,02	6,6	70,4	90,8	134,0	19
RHM 4	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, TWW dezentral, elektrischer Durchlauferhitzer / WS optimal, Ziegel (42,5), Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	51,9	2,1	4,9	88,5	90,8	134,0	12
RHM 5	Gas-NT, mit Zirkulation / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	50,6	0,7	5,0	89,5	90,8	134,0	17

Abkürzungen:

1) bei Wärmepumpen wird der Preis zur Substitution einer kWh Gas ausgewiesen (vgl. Text)

Gas-BW – verbessert: Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten

Gas-NT: Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage

WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequelle

Durchlauferhitzer: dezentrale TWW-Versorgung mit elektrischem Durchlauferhitzer

Flachkollektor: thermische Solaranlage mit Kollektorfläche = A_c

WS optimal: Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken.

WS mäßig: Wärmedämmung vergleichbar der Referenzausführung, einzelne Bauteile verbessert

Ziegel (42,5): Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,20 W/(m²K))

Vergl. 3WSV: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

WB-Zuschlag: $\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Berücksichtigung der Wärmebrücken durch genauen Nachweis bzw. durch Anwendung von Planungsbeispielen für „wärmebrückenfreie“ Details.

n₅₀: 1,5 Durchführung eines Gebäudedrucktests mit einem Ergebnis $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$.

tatsächliche TWW-Leitungslängen: Es wurde die tatsächliche Länge der TWW-Verteilleitung angesetzt.

Tabelle 72: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **Stadtvilla**, welche das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind nur die Abweichungen gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Mit Mehrinvestition ab 16 €/m²Wohnfläche) kann bei diesem Objekt der vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungswert mit vergleichsweise geringem Aufwand eingehalten werden. Die Maßnahmen wären bereits bei deutlich geringeren Energiekosten rentabel: die Kosten der eingesparten Energie bei den dargestellten Ausführungsvarianten liegen zwischen 2,4 und 5,4 Cent/kWh.

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m²Wohnfläche]	jährlicher Gewinn [€/m²Wohnfläche]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m²Wohnfl. a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m²Wohnfl. a)]	Statische Amortisationszeit [a]
STADT- VILLA 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle / WS optimal, Vergl. 3WSV, n_{50} : 1,5	29,0	1,1	3,7	78,1	86,0	115,6	12
STADT- VILLA 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS optimal, n_{50} : 1,5	19,4	1,2	2,8	84,0	86,0	115,6	9
STADT- VILLA 3	WP-Sole, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle / WS mäßig, Ziegel (36,5)	50,5	1,3	5,4	73,5	86,0	115,6	12
STADT- VILLA 4	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS mäßig, WB-Zuschlag: 0,00, n_{50} : 1,5	16,2	1,3	2,4	84,6	86,0	115,6	8
STADT- VILLA 5	Gas-NT / WS optimal, Vergl. 3WSV, n_{50} : 1,5	27,7	0,7	4,2	85,6	86,0	115,6	14

Abkürzungen:

1) bei Wärmepumpen wird der Preis zur Substitution einer kWh Gas ausgewiesen (vgl. Text)

Gas-BW – verbessert: Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten

Gas-NT: Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage

WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequelle

Durchlauferhitzer: dezentrale TWW-Versorgung mit elektrischem Durchlauferhitzer

Flachkollektor: thermische Solaranlage mit Kollektorfläche = A_c

WS optimal: Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken.

WS mäßig: Wärmedämmung vergleichbar der Referenzausführung, einzelne Bauteile verbessert

Ziegel (36,5): Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,33 W/(m²K))

Vergl. 3WSV: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

WB-Zuschlag: $\Delta U_{WB} = 0,00$ W/(m²K), Berücksichtigung der Wärmebrücken durch genauen Nachweis bzw. durch Anwendung von Planungsbeispielen für „wärmebrückenfreie“ Details.

n_{50} : 1,5 Durchführung eines Gebäudedrucktests mit einem Ergebnis $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$.

Tabelle 73: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **MFH**, welche das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind nur die Abweichungen gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Das vorgeschlagene Primärenergie-Anforderungsniveau kann bei den dargestellten Varianten mit Mehrinvestitionen um 25 €/m² Wohnfläche) erreicht werden. Die Energiesparmaßnahme Wohnungslüftungsanlage wird im Maßnahmenpaket (MFH 2) bei diesem Geschosswohnbau nahezu rentabel. Die Kosten der eingesparten kWh liegen dann bei 7 Cent/kWh.

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m ² Wohnfläche]	jährlicher Gewinn [€/m ² Wohnfläche]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m ² Wohnfläche a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m ² Wohnfl. a)]	Statische Amortisationszeit [a]
MFH 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle / WS optimal, Vergl. 3WSV, n ₅₀ : 1,5	24,4	1,2	3,2	81,4	83,5	117,6	10
MFH 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / vollständig Zu-/Abluftanlage, WRG80 % / WS optimal, Vergl. 3WSV, n ₅₀ : 1,5	80,2	-0,7	7,7	68,5	83,5	117,6	26
MFH 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle, TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WS optimal, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	21,6	1,5	2,6	81,6	83,5	117,6	9
MFH 4	WP-Sole, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle / WS mäßig, Ziegel (36,5), n ₅₀ : 1,5	42,2	1,7	5,1	74,3	83,5	117,6	10
MFH 5	Gas-NT / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00, n ₅₀ : 1,5	29,6	0,9	3,9	82,8	83,5	117,6	13

Abkürzungen:

1) bei Wärmepumpen wird der Preis zur Substitution einer kWh Gas ausgewiesen (vgl. Text)

Gas-BW – verbessert: Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten

Gas-NT: Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage

WP-Sole: Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequelle

vollständig Zu-/Abluftanlage, WRG80 %: zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (DC-Ventilatoren / Betrieb in Heizperiode / kein zusätzlicher Fensterluftwechsel)

WS optimal: Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken.

WS mäßig: Wärmedämmung vergleichbar der Referenzausführung

Ziegel (36,5): Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,33 W/(m²K))

Vergl. 3WSV: Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung

WB-Zuschlag: $\Delta U_{WB} = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Berücksichtigung der Wärmebrücken durch genauen Nachweis bzw. durch Anwendung von Planungsbeispielen für „wärmebrückenfreie“ Details.

n₅₀: 1,5 Durchführung eines Gebäudedrucktests mit einem Ergebnis $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

7.2.3 Vergleich der Rechenverfahren nach DIN V 18599 und DIN 4107-10 / DIN 4108-6

Der systematische Vergleich der Rechenverfahren gemäß [DIN V 18599] mit tatsächlichen Verbrauchswerten von Gebäuden mit geringem Energiebedarf führte auf eine gute Übereinstimmung von Rechenergebnis und gemessenen Werten. Zusätzliche Parameterstudien mit Hilfe eines validierten dynamischen Gebäudesimulationsmodells bestätigten die Übereinstimmung. Bei einem Vergleich mit berechneten Energiebedarfswerten gemäß der [DIN V 18599] kann daher davon ausgegangen werden, dass diese reale Verbrauchswerte zufriedenstellend beschreiben. Im folgenden Vergleich mit dem Energiebilanzverfahren der Normenkombination aus [DIN 4701-10 / DIN 4108-6] können die Ergebnisse gemäß [DIN V 18599] als realitätsnahe Referenz angesetzt werden.

Ausgehend von einer Gebäudebasisvariante wurden stichprobenartig einzelne Maßnahmen geändert und der relative Einfluss dieser Maßnahme auf den Primärenergie-Kennwert bestimmt. Ausgangsgebäudemodell ist das Reihenendhaus mit einem Brennwert-Kessel und Trinkwarmwasserspeicher (vgl. Tabelle 74 und Tabelle 75).

Die nachfolgende Abbildung 52 verdeutlicht die teilweise starken Abweichungen zwischen den beiden Verfahren. Die nächsten beiden Novellen der Energieeinsparverordnung werden den Mindest-Energiestandard von Gebäuden nochmals deutlich verbessern und den Baustandard Richtung Energiesparhäuser führen. Hierdurch wird es immer bedeutender, dass das angewendete Rechenverfahren Energiesparmaßnahmen realistisch bewertet, denn nur so können sich die mit den Effizienzmaßnahmen erhofften Energiekosteneinsparungen auch tatsächlich einstellen. Um Fehloptimierungen zu vermeiden, wird daher empfohlen, möglichst bald auch das Rechenverfahren für Wohngebäude auf eine ggf. vereinfachte Version der [DIN V 18599] umzustellen.

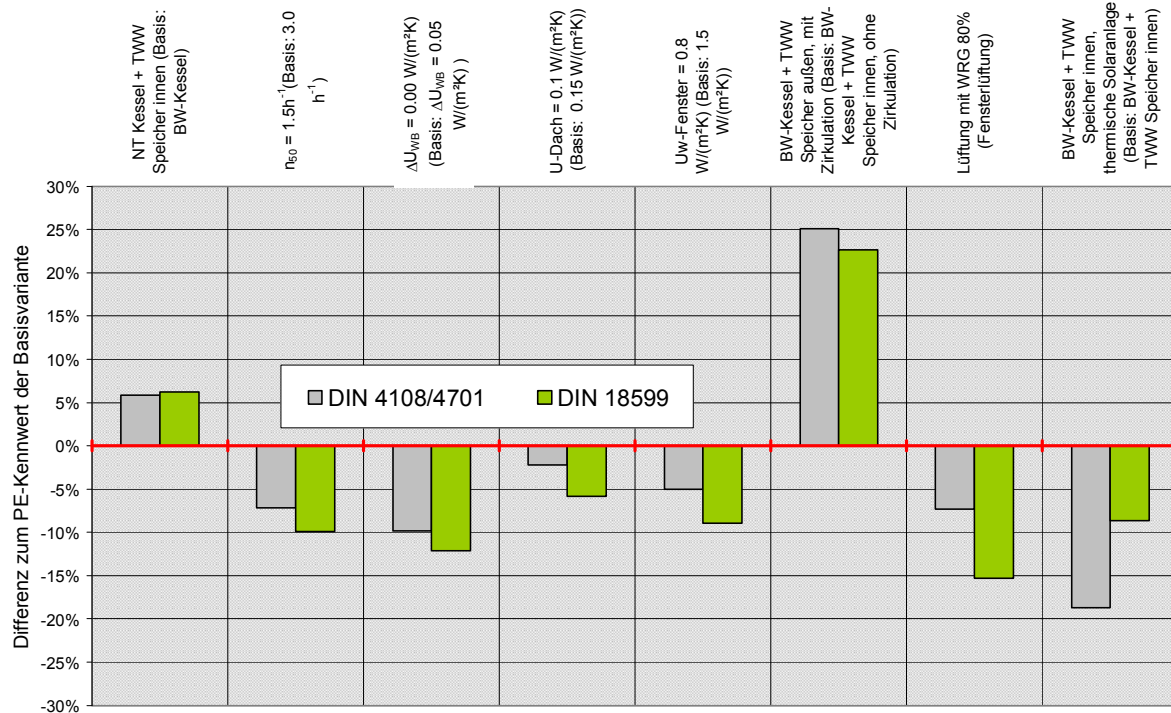


Abbildung 52: Differenzen zum Primärenergie-Kennwert der Basisvariante (Reihenendhaus mit Brennwert-Kessel und Trinkwarmwasserspeicher; vgl. Tabelle 74 und Tabelle 75). Der relative Einfluss von Einzelmaßnahmen unterscheidet sich bei den unterschiedlichen Verfahren gemäß [DIN V 18599] und der Normenkombination [DIN 4701-10 / DIN 4108-6] z.T. deutlich.

Tabelle 74: Anlagenbeschreibung der Basisvariante

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung Speicherung Erzeugung	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle zentral, Brennwertkessel
Heizung	Übergabe Verteilung Speicherung Erzeugung	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, Thermostatventile 1 K horizontale Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen keine Speicherung Brennwertkessel 55/45 °C innerhalb thermischer Hülle
Lüftung	Übergabe Verteilung Erzeugung	keine Lüftungsanlage

Tabelle 75: Beschreibung der Gebäudehülle der Basisvariante

Wohnfläche	119,5m ²
A/V _e	0,67 m ⁻¹
H _{T'}	0,28 W/(m ² K)
Fenster	U _w = 1,5 W/(m ² K) ; Zweifach-Wärmeschutzverglasung
ΔU_{WB}	0,05 W/(m ² K)
Luftdichtheit n ₅₀	3,0 h ⁻¹

Abbildung 53 zeigt den berechneten Jahres-Primärenergiebedarf der untersuchten Modellgebäude, welche die [EnEV 2007] genau erfüllen. Die Berechnung wurde hierzu jeweils mit dem Verfahren [DIN V 18599] und der Normenkombination [DIN 4701-10], [DIN 4108-6] durchgeführt. Dabei wurden die Berechnungsergebnisse jeweils auf A_N bezogen. Für die untersuchten Modellgebäude liegen die berechneten Primärenergiebedarfswerte gemäß [DIN V 18599] um 6 bis 12 % höher als die Bedarfswerte gemäß [DIN 4701-10], [DIN 4108-6]. Hierbei kommt allerdings auch zum Tragen, dass sich gegenläufige Effekte kompensieren. Bei einzelnen Gebäudeausführungen kann daher die Abweichung der Rechenergebnisse noch höher oder auch geringer ausfallen.

Aus Sicht der Autoren dieser Studie ist entscheidend, dass Fehloptimierungen, d.h. ggf. eine Überschätzung einer Energiesparmaßnahme im Bereich der zukünftigen Gebäudeenergiestandards vermieden wird. Denn nur so kann gewährleistet werden, dass Investitionen in Energiesparmaßnahmen auch tatsächlich einer angemessenen Energiekosteneinsparung gegenüber stehen. Da in dieser Studie belegt wurde, dass das Verfahren gemäß [DIN V 18599] zufriedenstellend auch im Bereich von Energiesparhäusern und damit im Bereich der zukünftigen Baustandards bewertet (vgl. Abschnitt 12 bis 1), wird eine Umstellung auch im Wohnbau auf dieses Verfahren dringend empfohlen.

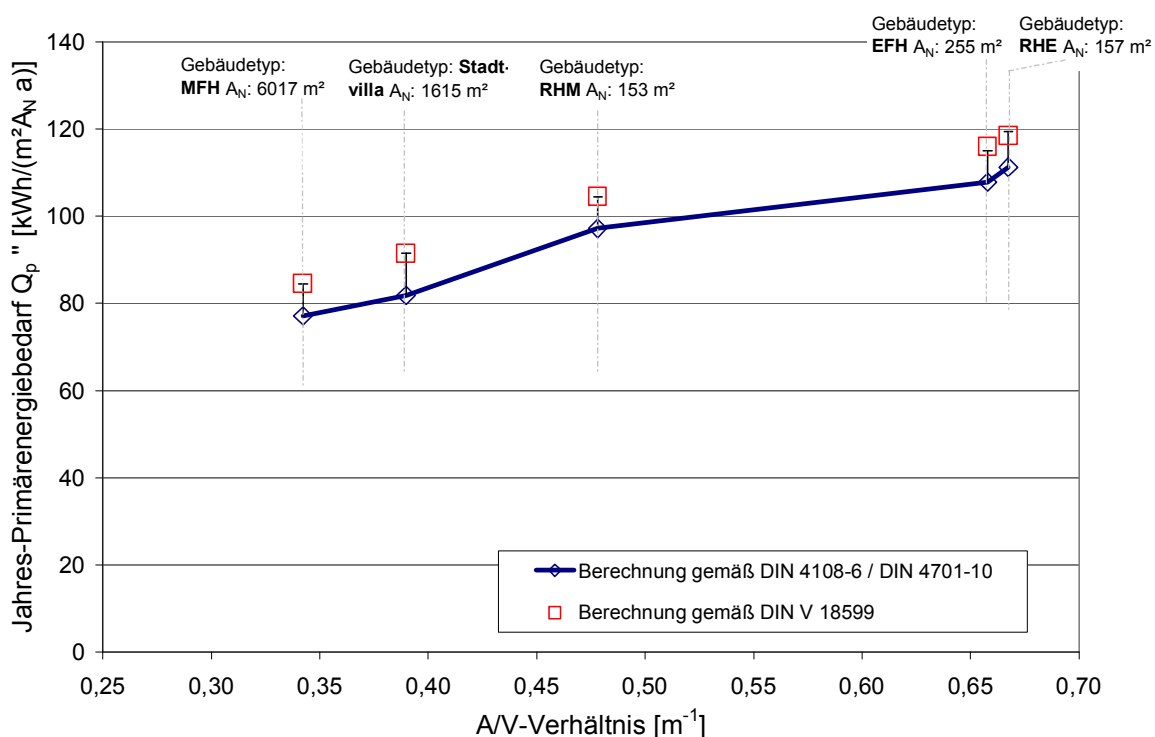


Abbildung 53: Jahres-Primärenergiebedarf berechnet gemäß dem Verfahren der [DIN V 18599] und der Normenkombination [DIN 4701-10], [DIN 4108-6] der untersuchten Modellgebäude, welche genau die Anforderungen gemäß [EnEV 2007] einhalten. Die Berechnungsergebnisse wurden einheitlich auf die Bezugsfläche A_N bezogen. Die Berechnungsergebnisse gemäß [DIN V 18599] liegen zwischen 6% und 12% über den Werten gemäß [DIN 4701-10], [DIN 4108-6].

7.3 Primärenergie-Anforderungen für Nichtwohngebäude

Im Unterschied zum Wohnbau wird der zulässige Primärenergie-Kennwert im Nichtwohnbau seit der Einführung der [EnEV 2007] mittels des sogenannten „Gebäudereferenzverfahrens“ ermittelt. Dabei wird der zulässige Primärenergie-Kennwert eines neu zu errichtenden Gebäudes anhand des Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung in einer Referenzausführung berechnet. Anhand dieses Referenzgebäudes gleicher Geometrie und Ausrichtung wird gebäude- und nutzungsspezifisch ein Primärenergie-Höchstwert definiert. Mit diesem Verfahren ergeben sich die primärenergetischen Anforderungen aus der tatsächlichen Nutzung und Geometrie des geplanten Gebäudes (vgl. [IEMB 2005]).

Für Anforderungen an die Referenztechnik im Rahmen der Energieeinsparverordnung gilt das Wirtschaftlichkeitsgebot. Die Referenzausführung muss daher technisch machbar und der darüber beschriebene Baustandard einzelwirtschaftlich rentabel sein. Vorschläge zur Referenzausführung von Nichtwohngebäuden, vor dem Hintergrund der geänderten ökonomischen Randbedingungen, werden in Abschnitt 7.3.1 vorgestellt.

Variantenrechnungen in Abschnitt 7.3.2 anhand von drei Modellgebäuden (einem Verwaltungsbau, einem Büro und einer Schule; vgl. Abschnitt 7.1) belegen dabei die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung (vgl. Abschnitt 7.3.1). Unterschiedliche Lösungsansätzen erfüllen weiterhin die vorgeschlagenen neuen energetischen Anforderungen und dies zu insgesamt geringeren jährlichen Gesamtkosten. Die durchschnittliche Mehrinvestition liegt bei den untersuchten Maßnahmenpaketen und Modellgebäuden bei 64 €/m²NGF), womit Energie zu Kosten von durchschnittlich 2,5 Cent/kWh eingespart werden kann.

Bedingt durch den methodischen Ansatz des „Referenzgebäudeverfahrens“, ist die Frage nach der mit der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung gegenüber der Ausführung gemäß [EnEV 2007] erzielbaren Primärenergie-Einsparung nicht generell zu beantworten. Das Primärenergie-Anforderungsniveau wird bei diesem Verfahren individuell, gebäude-spezifisch ermittelt. Bei den untersuchten Modellgebäuden stellt sich mit der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung im Mittel eine Verschärfung des Primärenergie-Anforderungsniveaus von 47% ein (vgl. Abbildung 54).

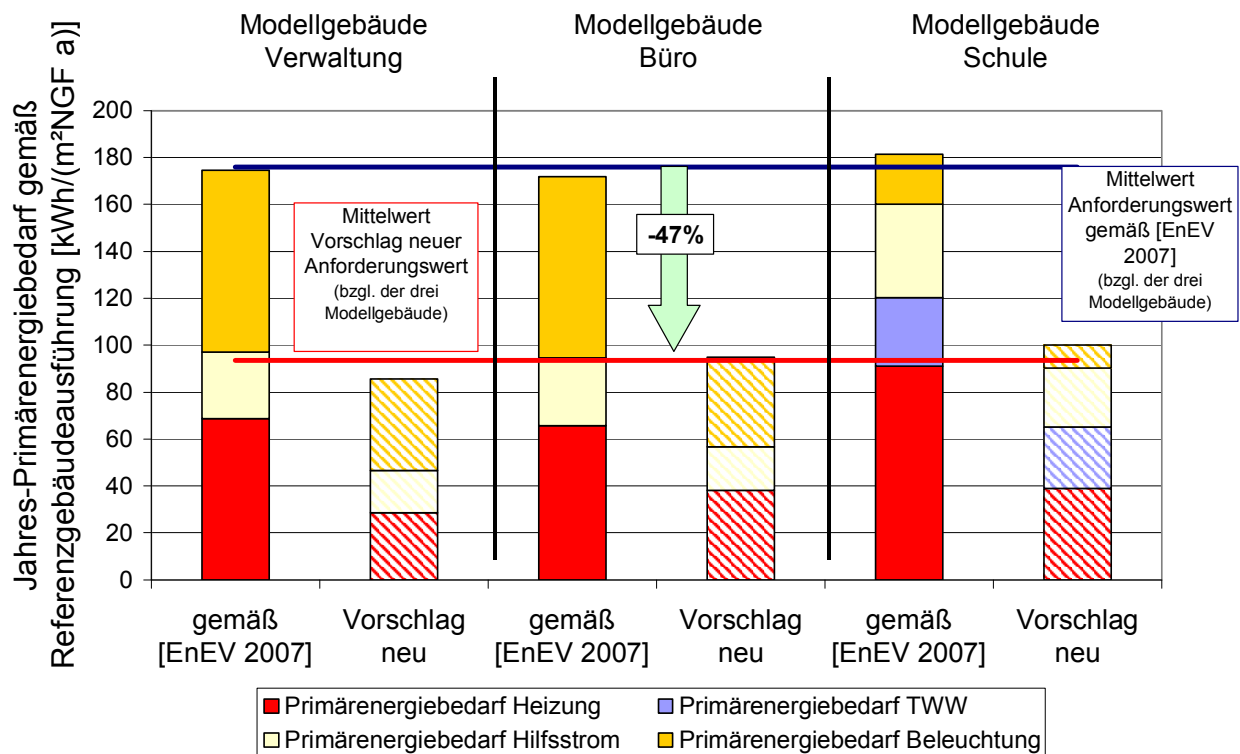


Abbildung 54: Primärenergie-Anforderung gemäß [EnEV 2007] und Vorschlag für neues Anforderungsniveau. Dargestellt ist der Primärenergiebedarf der drei betrachteten Nichtwohn-Modellgebäude bei einer Ausführung gemäß der Referenzgebäudeausstattung gemäß [EnEV 2007] und gemäß eines neuen Vorschlags zur Referenzausführung. Die Modellgebäude sind mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet.

Zur Einschätzung, welchen Beitrag dabei die einzelnen Ausführungsbereiche liefern, zeigt Abbildung 55 die Verringerung des Primärenergie-Anforderungsniveaus ausgehend von der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007], sofern nur einzelne Teilbereiche gemäß der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung (vgl. Abschnitt 7.3.1) ausgeführt werden. Wie zu erwarten zeigt sich, dass die primärenergetische Auswirkung einer geänderten Referenzausführung abhängig von der Nutzung und vom tatsächlichen Gebäude ist. Beispielsweise verringert die effizientere Beleuchtung im Modellgebäude-Schule den Gesamtprimärenergiebedarf weniger stark als in den verbleibenden Modellgebäuden mit Büronutzung (vgl. Abbildung 55).

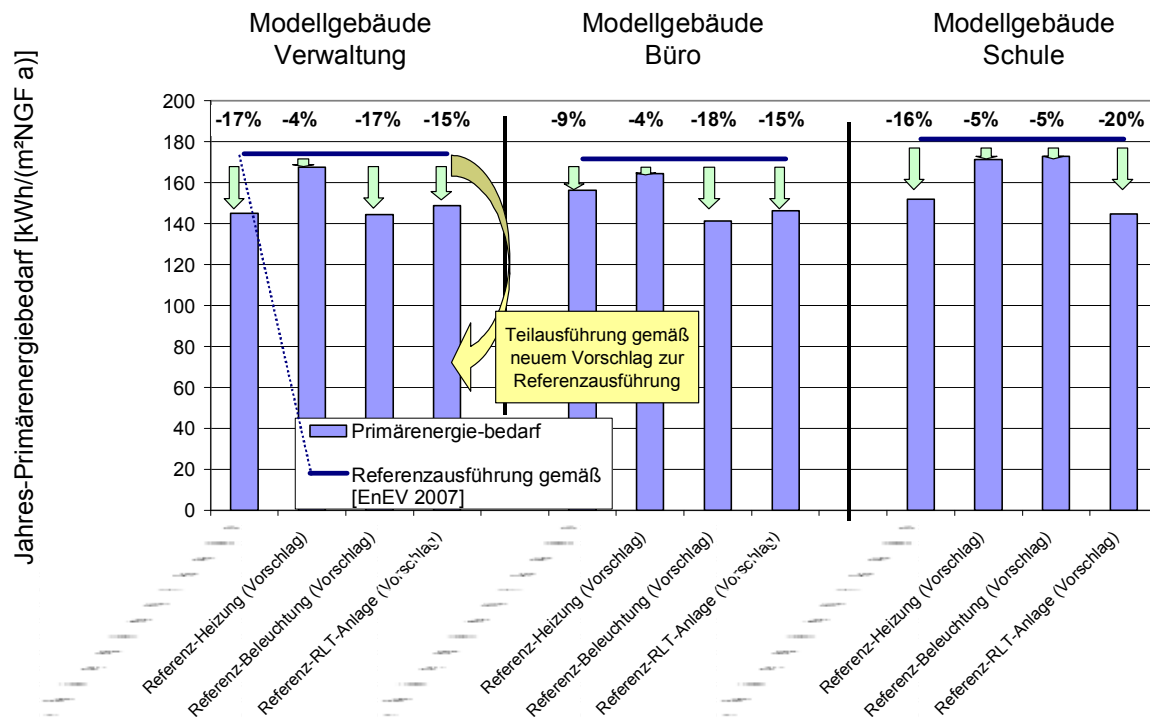


Abbildung 55: Auswirkung der vorgeschlagenen neuen Referenzgebäudeausführung auf die Primärenergie-Anforderung gemäß [EnEV 2007]. Die vorgeschlagene neue Referenzausführung wird dabei nur in einem Teilbereich (z.B. Heizungstechnik) umgesetzt. Wie zu erwarten, ist der Einfluss auf den Primärenergiebedarf bedeutend von der Nutzung und vom tatsächlichen Gebäude abhängig. Generelle Aussage zur erwartenden Energieeinsparung sind daher nur bedingt möglich.

Die Berechnungsmethodik der [DIN V 18599] sieht bei Nichtwohngebäuden eine Aufteilung des Gebäudes in Zonen vor. Dabei sollte eine Zone Bereiche einheitlicher Nutzungsrandbedingungen zusammenfassen. In dieser Studie hingegen wurden die untersuchten Modellgebäude als Einzonen-Modelle abgebildet, mit dem Ziel die Gebäudemodelle übersichtlich und Abhängigkeiten möglichst einfach zu halten. Dabei wurden die Vereinfachungen genutzt, welche in [Hauser 2006] hergeleitet und gemäß [EnEV 2007] zulässig sind. Die Vereinfachung sieht vor, dass jeweils die Hauptnutzung z.B. Einzelbüro in einem Bürogebäude dem Einzonen-Modell zugrundegelegt wird.

Der Einfluss der Zonierung auf den Primärenergiebedarf wurde zusätzlich am Schul-Modellgebäude untersucht. Dabei wurde das Schulmodell in insgesamt 10 Zonen einheitlicher Nutzungsrandbedingungen aufgeteilt (vgl. Anhang Abschnitt 16.10.5). Beim untersuchten Schulmodell-Gebäude hat die genauere zonenweise Gebäudeabbildung nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtjahres-Primärenergiebedarf. Der Jahres-Primärenergiebedarf verringert sich mit der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung beim Einzonen-Modell insgesamt um 45% und mit der detaillierten Berechnung im Mehrzonen-Modell um 39%. Die Auswirkung der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung für einzelne Gebäudebereiche zeigt Abbildung 56.

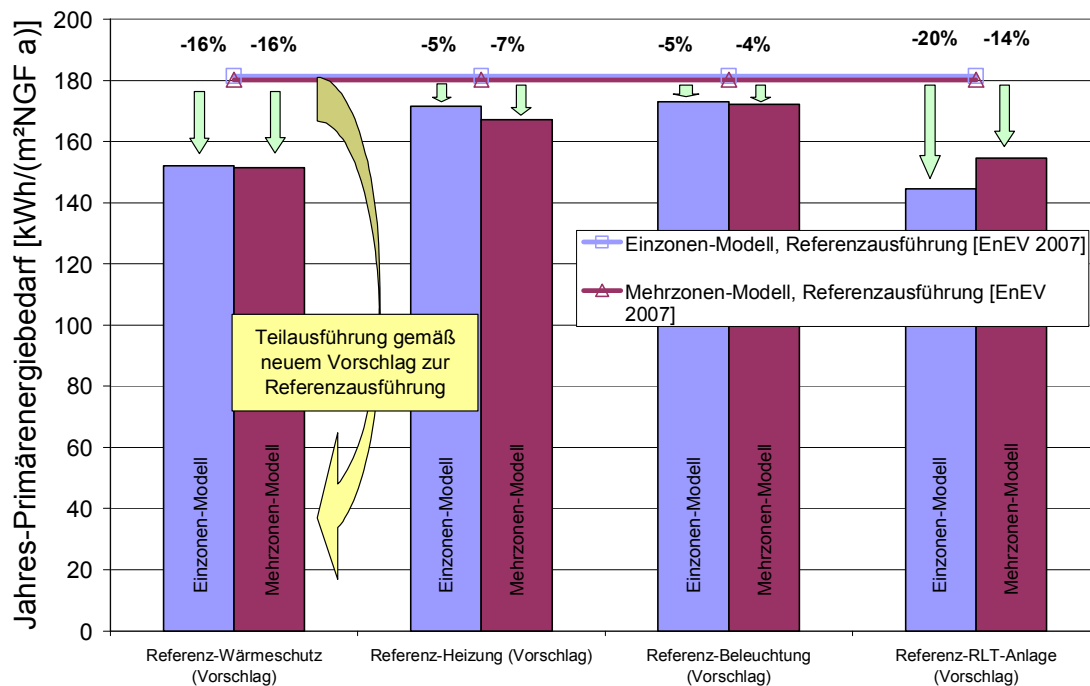


Abbildung 56 Einfluss der Zonierung auf den berechneten Primärenergiebedarf am Beispiel eines Schulgebäudes. Der Primärenergiebedarf in der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] ist für das Einzonen- und das Mehrzonen-Modell nahezu identisch. Werden Teilausführungen entsprechend den neuen Vorschlägen zur Referenzausführung geändert, so bleiben die Unterschiede im Primärenergie-Bedarf beim untersuchten Gebäude eher gering. Bei der Verbesserung der RLT-Anlage tritt in diesem Beispiel der größte Unterschied im Primärenergiebedarf auf. Was darauf zurückzuführen ist, dass der mittlere Luftwechsel im Schulgebäude (Mehrzonen-Betrachtung) geringer ist als der mittlere Luftwechsel in einem Klassenraum (im Einzonen-Modell wird dem Gesamtgebäude die Nutzung Klassenraum zugeordnet).

7.3.1 Beschreibung und Begründung der Referenzausführung

Der mittels der Referenzausführung definierte Baustandard muss technisch machbar und einzelwirtschaftlich rentabel sein. Aufgrund der Bandbreite der Nutzungen ist es offensichtlich, dass technisch machbare und ökonomisch interessante Lösungen bei einer „normalen“ Nutzung bestehen, bei spezifischen temporären Nutzungen hingegen nicht immer wirtschaftlich darstellbar sind. Hier besteht die Gefahr, dass sich die Referenzausführung eher an der ungünstigsten Nutzung orientiert und ein erhebliches, wirtschaftlich erschließbares Energieeinsparpotential verschenkt wird. Die vorgeschlagenen Ausführungen der Referenzvariante orientieren sich daher im folgenden an häufigen Nutzungsarten. Für davon abweichende Nutzungen sollte jeweils die tatsächliche Ausstattung im Referenzgebäude angesetzt werden, wobei Mindestanforderungen nicht unterschritten werden dürfen. Ausnahmen von, bzw. ein weiterer Detaillierungsbedarf der vorgeschlagenen Referenzausführung bei spezifischen Nutzungen, werden mit der jeweiligen Referenzausführung diskutiert.

Wärmeschutz

Das Wärmeschutz-Anforderungsniveau für Nichtwohngebäude wurde für die [EnEV 2007] aus dem Anforderungsniveau des Wohnbaus abgeleitet: die Anforderungen an den Wärmeschutz für Wohn- und Nichtwohngebäude wurden gleichwertig angesetzt. Dieser Ansatz sollte auch bei einer Novellierung der Energieeinsparverordnung beibehalten werden.

Aufgrund des Wirtschaftlichkeitsgebots muss das geforderte Wärmeschutz-Niveau einzelwirtschaftlich rentabel sein. Die Rentabilität des gewählten Wärmeschutzes wird durch das Raumtemperaturniveau und durch den Ausnutzungsgrad der freien Wärme und somit durch das Wärme-Gewinn/-Verlust-Verhältnis bestimmt. Das Raumtemperaturniveau ist in Nichtwohngebäuden überwiegend dem in Wohngebäuden sehr ähnlich und wird von der thermischen Behaglichkeit bestimmt. Ein verändertes Gewinn/Verlust-Verhältnis resultiert bei Nichtwohngebäuden aus den nutzungsabhängigen Beiträgen durch interne Wärmegewinne und durch Lüftungswärmeverluste. Werden häufige Nichtwohnnutzungen (wie z.B. Büros oder Schulen) betrachtet, dann unterscheiden sich die zeitlich und flächenmäßig gemittelten Beiträge nicht bedeutend von denen im Wohnbau.

Weiterhin ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass Nichtwohngebäude innerhalb der langen Nutzungsdauern von Wärmeschutz-Maßnahmen umgenutzt werden und aus einem Büro ggf. Wohnungen entstehen. Es erscheint auch deswegen gerechtfertigt, im Nichtwohnbau ein dem Wohnbau vergleichbares Wärmeschutz-Anforderungsniveau zu fordern.

Die Wärmeschutz-Referenzausführung im Nichtwohnbau wird aus den angeführten Gründen im Folgenden vergleichbar zum Wärmeschutz im Wohnbau angesetzt. Dabei orientiert sich der Wärmeschutz am einzelwirtschaftlich rentablen Dämmniveau der opaken Einzelbauteile kombiniert mit derzeit marktgängigen Fenstern. Zur Beschreibung der wärmetechnischen Ausführung der Gebäudehülle werden drei Verfahren diskutiert, welche sich an den Wärmeschutzanforderungen des Wohnbaus orientieren:

A: Definition der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle mittels des Transmissionswärmetransferkoeffizients H_T'

Im Nichtwohnbau wird die wärmetechnische Referenzausführung der Gebäudehülle gemäß [EnEV 2007] mittels des Transmissionswärmetransferkoeffizients H_T' definiert. Ein Vorschlag für ein neues H_T' wurde aus den Anforderungen im Wohnbau abgeleitet. Zur Kontrolle wurde der mittels des spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten H_T' definierte Wärmeschutz auf die Modellgebäude des Wohnbaus angewendet. Mit einer Referenzanlagentechnik (Brennwert-Kessel mit gebäudezentraler Trinkwassererwärmung) sollte der resultierende Jahres-Primärenergiebedarf der Wohngebäude etwa das vorgeschlagene, neue Anforderungsniveau für Wohngebäude erfüllen. Wie Abbildung 57 zeigt, ist die Referenzbedingung an den Wärmeschutz im Nichtwohnbau vergleichbar dem Anforderungsniveau im Wohnbau (die Primärenergiekennwerte der Wohnbau-Modellgebäude, welche auf den Wärmeschutz des Nichtwohnbaus eingestellt sind, liegen im Anforderungsniveau für den Wohnbau).

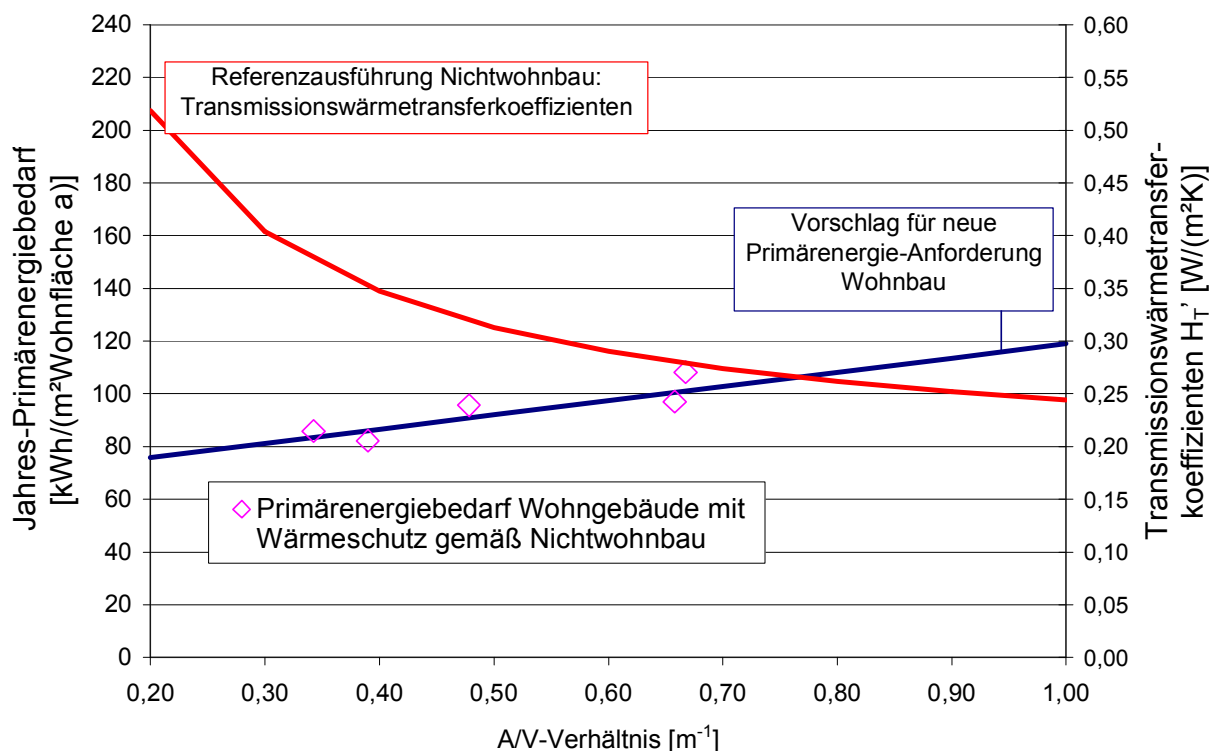


Abbildung 57: Die Referenzwärmeschutzanforderung im Nichtwohnbau ist vergleichbar mit dem geforderten Baustandard im Wohnbau. Die Wohnbau-Modellgebäude wurden auf die Wärmeschutzanforderung des Nichtwohnbaus eingestellt. Mit einer Referenzanlagentechnik werden Primärenergie-Anforderungswerte des Wohnbaus in etwa eingehalten. Der Primärenergiebedarf wurde gemäß DIN V 18599 berechnet.

Die folgenden Bestimmungsgleichungen beschreiben die Referenzausführung des Wärmeschutzes über die Festlegung von H_T' als Funktion des A/V_e -Verhältnis:

Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$ und Fensterflächenanteilen $\leq 30\text{ %}$:

$$H_T' = 0,068 / A/V_e + 0,176 \quad \text{in W/(m}^2 \text{ K)}$$

Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$ und Fensterflächenanteilen $> 30\text{ %}$:

$$H_T' = 0,068 / A/V_e + 0,182 \quad \text{in W/(m}^2 \text{ K)}$$

Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19 °C :

$$H_T' = 0,113 / A/V_e + 0,290 \quad \text{in W/(m}^2 \text{ K)}$$

Die Anforderung an Gebäude mit geringen Raumsolltemperaturen (zwischen 12 und 19 °C) wurde aus der Anforderung an Gebäude mit Raumsolltemperaturen $> 19\text{ °C}$ anhand des Verhältnisses der Heizgradstunden abgeleitet.

B: Definition der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle mittels eines äquivalenten Transmissionswärmetransferkoeffizients $H_{T',equi}$

In Abschnitt 1 wird eine neue Kenngröße zur Definition der Anforderung an den Wärmeschutz vorgeschlagen. Diese Kenngröße berücksichtigt auch den Einfluss der passiv-solaren Gewinne von Fenstern. Die folgenden Bestimmungsgleichungen definieren anhand der neuen Kenngröße äquivalenter Transmissionswärmetransferkoeffizienten $H_{T',equi}$ die Referenzausführung des Wärmeschutzes. Aufgrund der nur schwachen Abhängigkeit vom A/V_e -Verhältnis, kann die Anforderung über eine Konstante definiert werden:

Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$:

$$H_{T',equi, isotrop} = 0,30 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19 °C :

$$H_{T',equi, isotrop} = 0,47 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Mit der neuen Kenngröße $H_{T',equi}$ kann eine Unterscheidung nach dem Fensteranteil entfallen, da passiv-solare Gewinne über Fenster berücksichtigt werden.

C: Definition der wärmetechnischen Qualität der Gebäudehülle mittels Einzelanforderungen an Bauteile (Bauteilverfahren)

Bei diesem Verfahren wird die Referenzausführung über Einzelanforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und zusätzlich bei transparenten Bauteilen durch den Energiedurchlassgrad definiert. Die vorgeschlagenen Bauteilanforderungen sind bei Nichtwohngebäuden etwas weniger streng als das einzelwirtschaftlich optimale Wärmeschutzniveau. Der maximal zulässige Fensterflächenanteil der Referenzausführung sollte bei diesem Verfahren für niedrig beheizte Gebäudeteile begrenzt werden (vgl. Tabelle 77). Der überzählige Fensteranteil wird

bei der Ermittlung der Transmissionswärmeverluste als Referenzaußenwand angesetzt.

Tabelle 76: Vorschlag für wärmetechnische Einzelanforderungen an die Außenbauteile für Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall > 19 °C.

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient / Energiedurchlassgrad / Wärmebrückenzuschlag	
Oberer Gebäudeabschluss (Steildach, Flachdach bzw. oberste Geschossdecke)	$U_D = 0,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Außenbauteile gegen Außenluft außer solche gemäß „oberer Gebäudeabschluss“ (Außenwände, Geschossdecken gegen Außenluft)	$U_{AW} = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Unterer Gebäudeabschluss: Außenbauteile gegen Erdreich und gegen unbeheizte Kellerräume (Decken und Außenwände gegen Erdreich sowie Kellerdecken und Kellerwände gegen unbeheizte Kellerräume)	$U_G = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Fenster (einschließlich Türen mit $g = 0$)	$U_W = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	$g\text{-Wert} = 0,50$
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	

Tabelle 77: Vorschlag für wärmetechnische Einzelanforderungen an die Außenbauteile für Gebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19 °C.

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient / Energiedurchlassgrad / Wärmebrückenzuschlag	
Oberer Gebäudeabschluss (Steildach, Flachdach bzw. oberste Geschossdecke)	$U_D = 0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Außenbauteile gegen Außenluft außer solche gemäß „oberer Gebäudeabschluss“ (Außenwände, Geschossdecken gegen Außenluft)	$U_{AW} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Unterer Gebäudeabschluss: Außenbauteile gegen Erdreich und gegen unbeheizte Kellerräume (Decken und Außenwände gegen Erdreich sowie Kellerdecken und Kellerwände gegen unbeheizte Kellerräume)	$U_G = 0,40 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Fenster (einschließlich Türen mit $g = 0$)	$U_W = 2,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	$g\text{-Wert} = 0,50$
pauschaler Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	
Maximaler Fensteranteil (bezogen auf Gebäudehüllfläche)	42%	

Vorteil dieses Verfahrens ist einerseits die Transparenz der Anforderungen und andererseits, dass sichergestellt ist, dass der Wärmeschutz der Referenzausführung auch tatsächlich mit vertretbarem Aufwand ausführbar ist. Eine Gesamtanforderung

mittels eines Transmissionswärmetransferkoeffizienten kann bei ungünstigen Entwürfen und einem insgesamt verschärften Anforderungsniveau dazu führen, dass der erforderliche Wärmeschutz der Referenzausführung kaum mit einzelwirtschaftlich sinnvollen Dämmniveaus erzielt werden kann. Weiterhin stellt dieser Ansatz eine Vereinfachung gegenüber dem derzeitigen Verfahren dar, in welchem der Wärmeschutz zonenweise in Abhängigkeit von A/V_e ermittelt wird.

Es wird empfohlen, das Bauteilverfahren C zur Definition der Einzelanforderungen anzuwenden. Im folgenden wird die Referenzausführung mit diesem Verfahren berechnet. Da die drei Verfahren bei den untersuchten Modellgebäuden zu vergleichbaren Wärmeschutzanforderungen führen, werden die Ergebnisse zur Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung nicht beeinflusst. Abbildung 59 zeigt den neuen Vorschlag für die Referenzausführung des Wärmeschutzes von Nichtwohngebäuden. Die Bauteileinzelanforderungen und die Festlegung über eine Bestimmungsgleichung für H_T' führen zu gleichwertigen Anforderungen. Gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] sollte der Wärmeschutz deutlich verbessert werden.

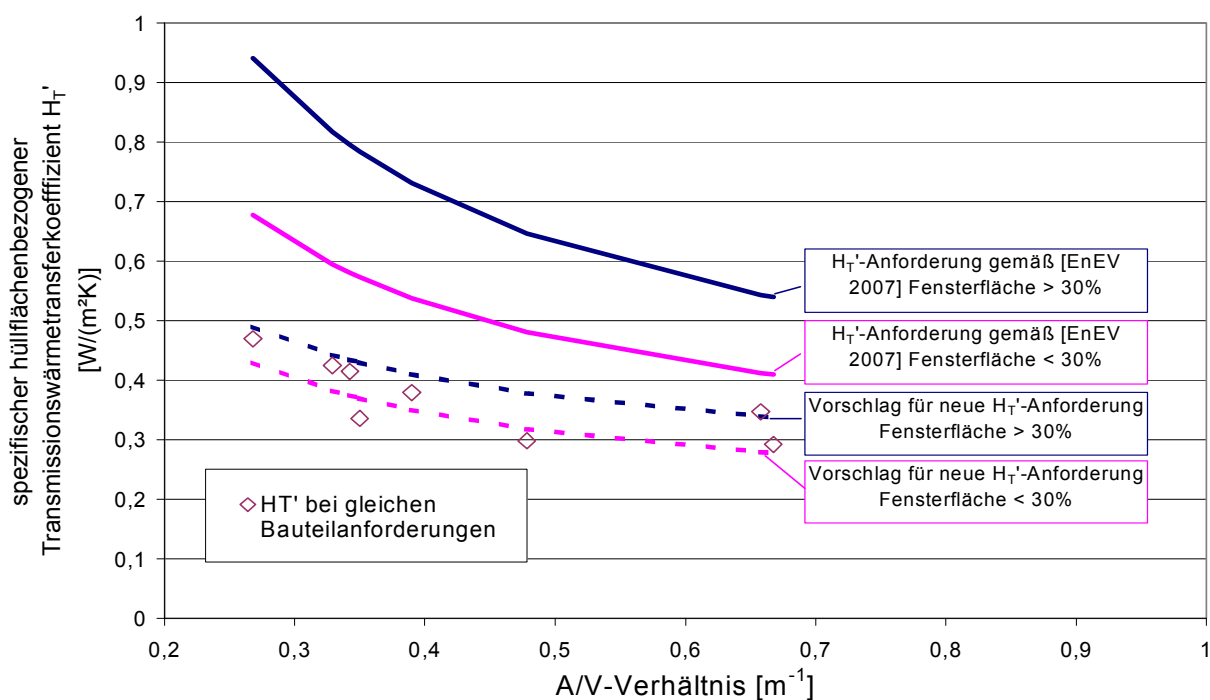


Abbildung 58: Vorschlag für neue Referenzausführung des Wärmeschutzes bei Nichtwohngebäuden. Dargestellt ist die vorgeschlagene neue H_T' -Anforderung und zusätzlich die resultierenden H_T' -Werte, wenn bei allen Modellgebäuden die gleichen Einzelbauteilanforderungen gelten. Die H_T' -Werte der Modellgebäude liegen im neu definierten H_T' -Anforderungsbereich (Fensteranteil > 30 % bis Fensteranteil < 30 %); der Neuverschlagn für eine Anforderungsdefinition über H_T' und der Vorschlag zur Definition über Einzelbauteilanforderungen sind gleichwertig. Gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] wird aufgrund der Rentabilität eines guten Wärmeschutzes eine deutliche Erhöhung des Anforderungsniveaus vorgeschlagen.

Beleuchtung

Eine direkte Beleuchtung mit stabförmigen Leuchtstofflampen wird weiterhin als Referenzausführung angenommen. Aufgrund der nicht nur wirtschaftlichen Vorteile werden jedoch elektronische Vorschaltgeräte (EVG) angesetzt. Diese erhöhen die Lichtausbeute der Leuchten und verlängern zusätzlich die Lebensdauern der Leuchtstofflampen. Diese Vorteile kompensieren die höheren Investitionskosten, wie bereits in Abschnitt 5.8 gezeigt wurde. Angesetzt wurde eine moderate Erhöhung der Lebensdauern der Leuchtstofflampen von 7.500 Betriebsstunden mit verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) auf 12.000 Stunden beim Betrieb mit EVG.

Dreibanden-Leuchtstofflampen mit EVG haben eine höhere Systemlichtausbeute als Leuchtstofflampen mit VVG (Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]). Wird die verringerte Anzahl an Leuchten je Raum aufgrund der besseren Lichtausbeute berücksichtigt, ist die tageslichtabhängige Beleuchtung bei den untersuchten Nutzungen (Klassenraum, Einzelbüro, Gruppenbüro) wirtschaftlich darstellbar.

Die vorgeschlagenen Standard-Randbedingungen für eine Berechnung der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung der Beleuchtung p_j (spezifische installierte Leistung) werden im Abschnitt 1 diskutiert. An dieser Stelle sollen die empfohlenen Randbedingungen nur zusammengefasst werden.

Tabelle 78: Empfohlene Referenzausführung Beleuchtung

Rechengröße		Referenzausführung
Beleuchtungsart		direkte Beleuchtung mit elektronischen Vorschaltgeräten und stabförmiger Leuchtstofflampe
Regelung der Beleuchtung	Präsenzkontrolle	Manuelle Kontrolle
	tageslichtabhängige Kontrolle	gedimmt, ausschaltend
Bestimmung der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung der Referenzausführung	Wartungsfaktor WF	WF = 0,8
	Systemlichtausbeute Leuchtmittels mit Betriebsgerät	$\eta_s = 85 \text{ lm/W}$
	Betriebswirkungsgrad Leuchte	$\eta_{LB} = 70 \%$
	Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe	gemäß DIN V 18599-10

Unterscheidung nach Nutzungen: Die Wirtschaftlichkeit insbesondere der tageslichtabhängigen Regelung ist von der Art und Dauer der Nutzung abhängig. Daher wird empfohlen entweder,

- a) bei stark von den hier betrachteten Nutzungen Büro und Klassenzimmer abweichenden Nutzungen eine weitere Differenzierung nach Nutzung (z. B. nach Nutzungsstunden im Jahr) durchzuführen,
- b) oder die Referenzausführung für Leuchten / Kontrollsystem nur für büroähnliche Nutzungen zu fordern (z. B. Nutzung 1, 2, 3, 4, 5, 8, 28). Bei Abweichenden

Nutzungen sollte die tatsächliche Anlage angesetzt werden. Wobei ein Mindeststandard nicht unterschritten werden darf (Mindeststandard: direkte Beleuchtung mit verlustarmen Vorschaltgerät und stabförmiger Leuchtstofflampe [wie EnEV 2007]).

Heizung

Als Referenzausführung wird ein Niedertemperaturheizsystem mit Brennwert-Nutzung empfohlen. Niedertemperatursysteme sind Stand der Technik. Wie in Abschnitt 5.1 belegt wurde, ist die Brennwerttechnik auch bei Öl-Heizkesseln einzelwirtschaftlich rentabel. Bei gasversorgten Heizkesseln werden im Bereich mit kleinerer Heizleistung z.T. nur noch Geräte mit Brennwertnutzung angeboten. Es wurde die Variante „Gas-Brennwert verbessert“ angesetzt, da diese Normwirkungsgrade den aktuellen Produkten entsprechen und die gesichteten Datenblätter durchweg höhere Wirkungsgrade aufwiesen.

Die Wärmeübergabesysteme bleiben gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] weitgehend unverändert. Heutige Nichtwohngebäude sind regelmäßig mit einer Gebäudeleittechnik und aufgeschalteten elektronischen Regelungen ausgerüstet. Gemäß diesem Trend wurde die Raumtemperaturregelung der Referenzsysteme überarbeitet und verbessert angesetzt.

Beim Referenzsystem „freie Heizflächen (Räumhöhe ≤ 4 m)“ ist eine Anordnung an der Außenwand sicher gebräuchlicher als die Anordnung vor einer Glasfläche mit Strahlungsschutz. Bei den untersuchten Gebäudemodellen liegt die resultierende Primärenergie-Einsparung unter 2%, der Einfluss ist damit eher untergeordnet. Eine Neudefinition wäre auch hier möglich, wurde allerdings in den Berechnungen aufgrund des geringen Einflusses nicht mehr berücksichtigt.

Es wird empfohlen den Ansatz von alternativen Systemen in der Gebäude-referenzausführung auf nicht anders praxisgerecht lösbare Anwendungen zu begrenzen. Wenn eine Wärmeübergabe mit freien Heizflächen nicht praxisgerecht oder auch technisch nicht lösbar ist, können die beiden alternativen Wärmeübergabesysteme Deckenstrahlheizung oder Umluftheizung in der Referenzausführung angesetzt werden.

Die Referenzausführung der Wärmeverteilung sollte gemäß [EnEV 2007] beibehalten werden. Die Ermittlung der Rohrleitungslänge gemäß [DIN V 18599] führt auf z.T. unrealistisch lange Rohrleitungen (vgl. auch Abschnitt 1). Es wird daher empfohlen, wenn im Referenzfall die Standardlängen gemäß [DIN V 18599] angesetzt werden, die betreffenden Verfahren der Normenreihe zu überarbeiten. Ist dies bis zur Novellierung der Energieeinsparverordnung nicht möglich, sollten alternativ im Referenzfall die Rohrleitungslänge und die Lage der Rohrleitungen wie beim zu errichtenden Gebäude angenommen werden.

Der Wärmelustkoeffizient der Verteilleitungen liegt gemäß den Standardrandbedingungen für Verteilleitungen bei 0,200 bzw. bei 0,255 W/(m K) für die Stränge. Auch bei Leitungsnennweiten von DN 100 und bei Einhaltung der Anforderungen gemäß [EnEV 2007] liegt der Verlustkoeffizient unter 0,220 W/(m K).

Es wird ein Wert von $0,160 \text{ W/(m K)}$ vorgeschlagen, der bis DN 100 mit DN x 150 % Wärmedämmung eingehalten wird. In Abschnitt 5.1 wurde ein wirtschaftliches Dämmniveau der Verteilungen von DN x 200 % als wirtschaftlich optimal belegt.

Tabelle 79: Empfohlene Referenzausführung Heizung

Rechengröße		Referenzausführung
Heizung	Wärmeerzeuger	<u>Brennwertkessel, verbessert</u> , Gebläsebrenner, Erdgas, Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle
	Wärmeverteilung bei statischer Heizung und Umluftheizung (dezentrale Nachheizung in RLT-Anlage)	Zweirohrnetz, außenliegende Verteilungen im unbeheizten Bereich, innenliegende Steigstränge, innenliegende Anbindeleitungen, Systemtemperatur $55/45 \text{ °C}$, hydraulisch abgeglichen, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, für den Referenzfall sind die Rohrleitungslängen nach DIN V 18599-5 : 2007-2 zu ermitteln, <u>Wärmeverlustkoeffizient der Verteilung</u> <u>$0,160 \text{ W/(m K)}$ bzw. gemäß Anforderungen der EnEV</u>
	Wärmeverteilung bei zentralem RLT-Gerät	Zweirohrnetz, Systemtemperatur $70/55 \text{ °C}$, hydraulisch abgeglichen, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, für den Referenzfall sind die Rohrleitungslänge und die Lage der Rohrleitungen wie beim zu errichtenden Gebäude anzunehmen. <u>Wärmeverlustkoeffizient der Verteilung</u> <u>$0,160 \text{ W/(m K)}$ bzw. gemäß Anforderungen der EnEV</u>
	Wärmeübergabe bei statischer Heizung und Raumhöhen $\leq 4 \text{ m}$	freie Heizflächen an der Außenwand mit Glasfläche mit Strahlungsschutz, <u>P-Regler (1K)</u> , keine Hilfsenergie.
	Wärmeübergabe bei statischer Heizung und Raumhöhen $> 4 \text{ m}$	Warmwasser-Deckenstrahlplatten, <u>P-Regler (1K)</u> , keine Hilfsenergie.
	Wärmeübergabe bei Umluftheizung (dezentrale Nachheizung in RLT-Anlage)	Regelgröße Raumtemperatur, <u>hohe Regelgüte</u>

Warmwasserbereitung

Zur Warmwassererzeugung in der Referenzausführung sind wie auch gemäß [EnEV 2007] eine zentrale und eine dezentrale Lösung vorgesehen. Es wird empfohlen, beide Lösungen primärenergetisch berechnen zu lassen und anschließend das System mit dem geringeren Primärenergiebedarf als Referenzausführung anzusetzen. Die Ausführung des Trinkwarmwassersystem kann mit dieser Alternativberechnung bezüglich der Bauaufgabe primärenergetisch optimiert werden und dem Planer wird ein Hinweis zur energetischen Optimierung gegeben. Da die Berechnung gemäß DIN V 18599 aufgrund des Umfangs ohnehin software-gestützt durchgeführt werden muss, entsteht hierdurch für den Planer kein bedeutender Mehraufwand.

Die Wärmeverluste des Trinkwarmwasserspeichers haben einen bedeutenden Einfluss auf die Effizienz der Trinkwarmwasserversorgung. Geringere Wärmeverluste des Standardspeichers in der Referenzausführung sind in der [DIN V 18599] nicht vorgesehen, wären aber wichtig (vgl. Abschnitt 1). Die vorgeschlagene Speicherdefinition bleibt daher unverändert.

Der Wärmeverlustkoeffizient der Verteilleitungen liegt derzeit gemäß den Standardrandbedingungen für Verteilleitungen bei 0,200 bzw. bei 0,255 W/(m K) für die Stränge. Auch bei Leitungsnennweiten von DN 100 und bei Einhaltung der Anforderungen gemäß [EnEV 2007] liegt der Verlustkoeffizient unter 0,220 W/(m K). Es wird ein Wert von 0,160 W/(m K) empfohlen, der bis DN 100 mit DN x 150 % Wärmedämmung eingehalten wird. Die Einzelwirtschaftlichkeit dieser Maßnahme wurde in Abschnitt 5.1 untersucht.

Tabelle 80: Empfohlene Referenzausführung Warmwasserbereitung

Rechengröße		Referenzausführung
Warmwasser / zentral	Wärme- erzeugung	gemeinsame Wärmeerzeugung mit Heizung
	Wärme- speicherung	indirekt beheizter Speicher (stehend), Aufstellung außerhalb der thermischen Hülle
	Wärme- verteilung	mit Zirkulation, Δp konstant, Pumpe auf Bedarf ausgelegt, für den Referenzfall sind die Rohrleitungslänge und die Lage der Rohrleitungen wie beim zu errichtenden Gebäude anzunehmen. <u>Wärmeverlustkoeffizient der Verteilleitung 0,160 W/(m K) bzw. gemäß Anforderungen der EnEV</u>
Warmwasser / dezentral		elektrischer Durchlauferhitzer, eine Zapfstelle pro Gerät, für den Referenzfall ist die Rohrleitungslänge wie beim zu errichtenden Gebäude anzunehmen

Raumluftechnik

Es wird eine spezifische Leistungsaufnahme einer Zu- und Abluft-Anlage von 1800 W/m³/s vorgeschlagen. Dieser Wert ist ehrgeizig, aber durch den deutlich reduzierten Strombedarf wirtschaftlich. Die Tabelle 81 zeigt Grenz- und Zielwerte der spezifischen Leistungsaufnahme aus der Literatur.

Der vorgeschlagene Anforderungswert liegt dabei zwischen dem Grenz- und Zielwert gemäß [VDI 3807-4]. Wobei dieser 20% strenger als der genannte Grenzwert und knapp 30% höher als der Zielwert gemäß [VDI 3807-4] angesetzt ist. Dem Grenzwert liegen Komponenten und Systeme zugrunde, welche dem Stand der Technik entsprechen. Diese Werte sollten auch bei Sanierungen eingehalten werden (vgl. [VDI 3807-4]). Der Zielwert kann im Neubau durch optimale Kombination von energetisch guten Komponenten erreicht werden (vgl. [VDI 3807-4]). Energieeffiziente Nichtwohngebäuden unterschreiten regelmäßig den vorgeschlagenen Referenzwert (vgl. z.B. [Oehler 2003], [Vallentin 2004], [Peper 2007]).

Effiziente Wohnungslüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und DC-Ventilatoren können gemäß [DIN 4107-10] mit einem Standardwert für die spezifische Leistungsaufnahme des Zentralgeräts von 1620 W/m³/s angesetzt werden. Der vorgeschlagene Referenzwert liegt im Bereich der Literaturangaben. Mit der Neuauflage der [DIN EN 13779] wurden die Standardwerte der spezifischen Stromaufnahme des Zuluftventilators entgegen des Trends effizienterer Motoren um eine Leistungsklasse angehoben, so dass nach derzeitigem Stand der vorgeschlagene Referenzwert knapp unterhalb des Wertebereichs der [DIN EN 13779] liegt.

Interessant ist auch ein Blick über die Grenzen: z. B. fordert der norwegische Gebäudestandard einen Höchstwert von nur 2000 W/m³/s bei Nichtwohngebäuden am Tag und bei reduzierten Volumenströme in der Nacht von 1000 W/m³/s.

Tabelle 81: Elektrische Leistungsaufnahme der Lüftung – Literaturwerte im Vergleich.

	elektrische Leistungsaufnahme P_{SFP} (Zu- & Abluft)	Gesamtdruckver- lust (Zu- & Abluft inkl. WRG)	Wirkungsgrad Ventilator / Motor / FU
	[W/m³/s]	[Pa]	[-]
Referenzanlage 18599 (EnEV 2007): Zu-/Abluftanlage	2850	1710	0,6
Vorschlag für neue Referenzanlage	1800	1170	0,65
VDI 3807-4 Grenzwert	2200	1400 bis 1600	0,65
VDI 3807-4 Zielwert	1300	900 bis 1200	0,65
Norwegische Bauordnung 2007 [Norway 2007]	2000 (tags) / 1000 (nachts)		
Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung / DC-Ventilatoren. Ansatz gemäß [DIN 4701-10]	1620		
DIN EN 13779:9-2007 (Lüftungsanlage ohne WRG / SFP 2 und SFP 3 / Standard-Wert)	1250 bis 2000		
DIN EN 13779:9-2007 (Klimaanlagen oder Lüftungsanlagen mit WRG / SFP 3 und SFP 4/ Standard-Wert)	2000 bis 3250		

Mit der Wärmerückgewinnung kann die reine Komfort-Komponente Zu-/Abluftanlage in eine Energiesparmaßnahme verwandelt werden; allerdings nur, wenn die Wärmerückgewinnung auch effizient ist. Wir schlagen eine Rückwärmzahl der Referenzanlage von 75 % vor. In Verbindung mit effizienten Lüftern (wie vorgeschlagen) können Arbeitszahlen im Bereich von 10 erzielt werden. D. h. mit dem Einsatz von einer kWh Strom können 10 kWh Wärme aus der Abluft rückgewonnen werden.

Wie sieht es mit der Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung aus? Abbildung 59 zeigt die jährlichen Gesamtkosten eines Bürogebäudes je m² NGF (Kapitaldienst, Betriebskosten, Energiekosten) als Funktion der Rückwärmzahl. Hierfür wurden die Investitionskosten des Lüftungsgeräts anhand der erforderlichen Wärmeübertragerfläche parametrisiert und mit Kostendaten zu realen Lüftungsgeräten abgeglichen (die Rückwärmzahl ist im wesentliche eine Funktion der Wärmeübertragerfläche).

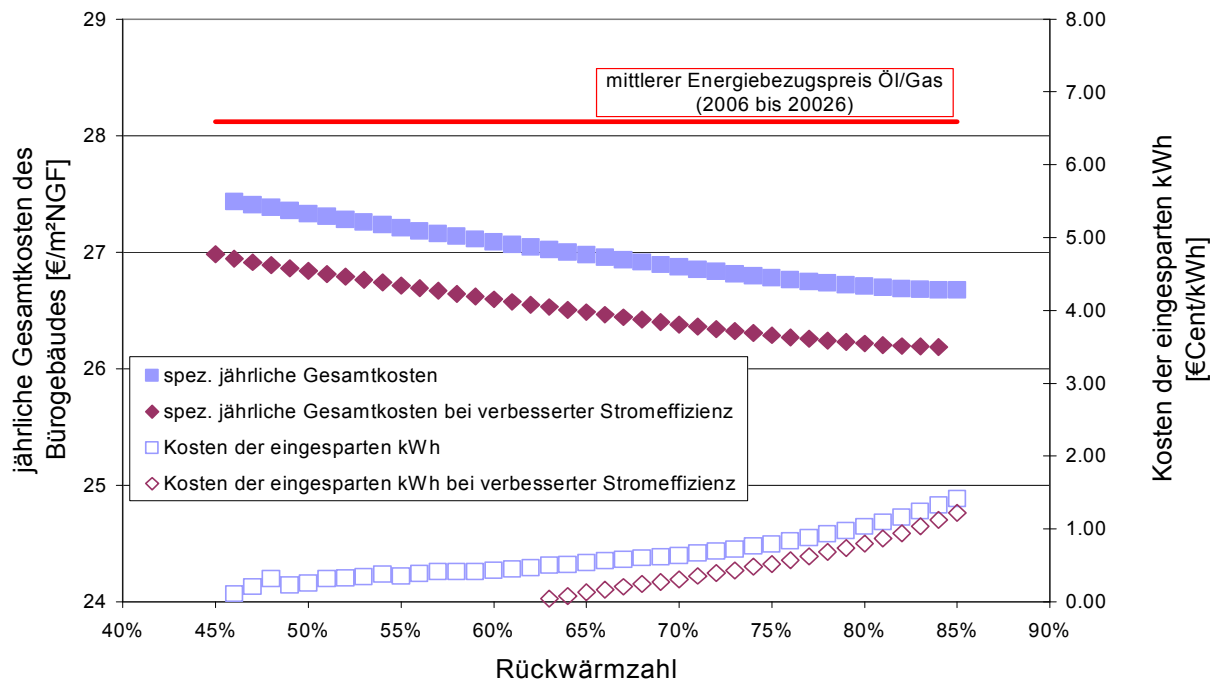


Abbildung 59: Verlauf der jährlichen Gesamtkosten zur Lüftung bei einem Bürogebäude bei verbesserter Rückwärmzahl des Wärmeübertragers. Die Verbesserung der Wärmerückgewinnung, sofern ohnehin ein Zentralgerät mit Wärmeübertrager vorgesehen ist, ist eine sehr wirtschaftliche Maßnahme (Kosten der eingesparten kWh Endenergie um 1 Cent/kWh; der Bezugspreis für Gas/Öl liegt über 6 Cent/kWh).

Wie die Kostenkurve zeigt, ist im dargestellten Bereich noch kein wirtschaftliches Optimum (Minimum der Jahreskosten) erreicht; mit zunehmender Rückwärmzahl nehmen die Jahreskosten ab. Die Kurven mit verbesserter Stromeffizienz beziehen sich auf den vorgeschlagenen Referenzwert für die spezifische Ventilatorleistung. Auch die verbesserte Stromeffizienz ist gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] wirtschaftlich.

Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie liegen um ein Cent/kWh bei einer Rückwärmzahl von 75 % im Vergleich zur Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] von 45 %. Die Wirtschaftlichkeit ist auch für hoch-effiziente Wärmeübertrager gegeben, doch wie sieht es mit der Marktverfügbarkeit aus?

In Abbildung 60 sind zusätzlich die vorhandenen Wärmerückgewinnungstechnologien und die zugehörigen Rückwärmzahl-Bereiche angegeben. Die empfohlene Rückwärmzahl von 75 % wird z. B. von mindestens drei wichtigen Technologien erreicht: Rotoren, Kreislauf-Verbund-Systeme (Gegenstrom) und Gegenstrom-Platten-Wärmeübertrager (bzw. gekoppelte Kreuzstrom-Platten-Wärmeübertrager). Soll das Gebäude gemäß der Referenzausführung ausgerüstet werden, so wird durch die Anforderung an die Rückwärmzahl die Systemauswahl auf hocheffiziente Wärmeübertrager beschränkt, die jedoch in ausreichender Zahl von unterschiedlichen Herstellern am Markt angeboten werden.

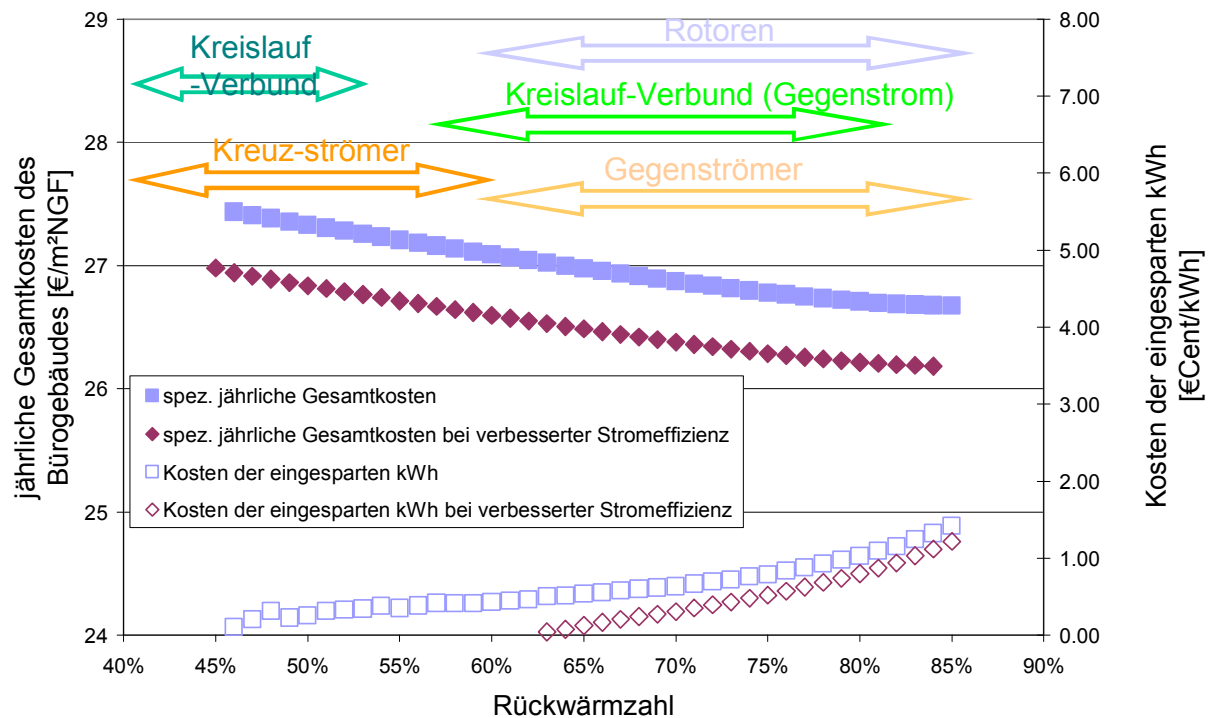


Abbildung 60: Technische Realisierbarkeit von hohen Rückwärmzahlen. Mindestens mit drei Wärmerückgewinnungs-Technologien kann die empfohlene Referenz-Anforderung von 75 % erreicht werden.

Als Referenzausführung wird bei Zu- und Abluftanlagen ohne Nachheiz- und Kühlfunktion eine Wärmerückgewinnung mittels eines Plattenwärmetauschers und einer Rückwärmzahl von 75% vorgeschlagen. Bei geregelter Luftkonditionierung sollte ein Kreislaufverbund Gegenstrom-Wärmetauscher angesetzt werden. Die Rückwärmzahl sollte für dieses System mit 70% etwas geringer als beim Gegenstrom-Plattenwärmetauscher angesetzt werden.

Tabelle 82: Empfohlene Referenzausführung Raumluftechnik

Rechengröße		Referenzausführung
Raumluf- technik	Abluftanlage	<u>spezifische Leistungsaufnahme Ventilator $P_{SFP} =$</u> <u>0,60 kW/m³/s</u>
	Zu- und Abluftanlage ohne Nachheiz- und Kühl- funktion	<u>spezifische Leistungsaufnahme Zuluftventilator $P_{SFP} =$</u> <u>1,00 kW/m³/s</u> <u>spezifische Leistungsaufnahme Abluftventilator $P_{SFP} =$</u> <u>0,80 kW/m³/s</u> <u>Wärmerückgewinnung über Plattenwärmetauscher:</u> <u>Rückwärmzahl $\eta_t = 0,75$</u>
	Zu- und Ab- luftanlage mit geregelter Luftkondi- tionierung:	<u>spezifische Leistungsaufnahme Zuluftventilator $P_{SFP} =$</u> <u>1,00 kW/m³/s</u> <u>spezifische Leistungsaufnahme Abluftventilator $P_{SFP} =$</u> <u>0,80 kW/m³/s</u> Wärmerückgewinnung über Kreislaufverbund-Gegenstrom- Wärmeaustauscher: <u>Rückwärmzahl $\eta_t = 0,70$,</u> <u>drehzahlgeregelte Pumpe</u> Zulufttemperatur: 18 °C Druckverhältniszahl $\pi = 0,4$ Luftkanalführung: innerhalb des Gebäudes Luftbefeuchtung: Dampfbefeuchter: Elektrodampfbefeuchter; Wasserbefeuchter: Hochdruckbefeuchter Nur-Luft-Klimaanlagen als Variabel-Volumenstrom-System: Druckverhältniszahl $\pi = 0,4$ Luftkanalführung: innerhalb des Gebäudes

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmerückgewinnung hängt unter anderem von den Nutzungsdauern ab. Abhängig von der Nutzung kann ein System unterschiedlich rentabel sein. Daher wird empfohlen entweder

- die Referenzausführung nach Nutzungen weiter zu differenzieren (z. B. nach Nutzungsstunden im Jahr),
- oder die vorgeschlagene Referenzausführung der Rückwärmzahl nur für büroähnliche Nutzungen festzuschreiben (z. B. Nutzung 1, 2, 3, 4, 5, 8, 28). Bei abweichenden Nutzungen wird die tatsächliche Anlage angesetzt, wobei ein Mindestwert von $\eta_t = 0,50$ nicht unterschritten werden sollte.

Raumkühlung

In den Abschnitten 5.9 und 16.2 wurde die Effizienz von Kühltechnologien untersucht. Wie sich zeigte, sind wirtschaftlich interessante und heute gebräuchliche Strategien noch nicht in der vollen Breite in der Normenreihe integriert. Kühltechnologien, wie z.B. die Betonkerntemperierung in Verbindung mit einem Solekreis, welche eine deutliche Effizienzverbesserung ermöglichen, fehlen.

Bei der energetischen Ermittlung des Energiebedarfs von konventioneller Kühltechnik gemäß [DIN V 18599] steht eine Bewertung unterschiedlicher Systeme im Vordergrund (vgl. [Erhorn 2005]). Betriebsparameter können definiert werden, allerdings finden konkrete Produktdaten von besonders effizienten Komponenten kaum Eingang. Es wird daher empfohlen, da der Spielraum bei den Betriebsparameter weitgehend ausgeschöpft ist, die konventionelle Referenzkühlung gemäß [EnEV 2007] bei Gebäuden mit zulässiger Kühlung im nächsten Schritt der Novellierung der Energieeinsparverordnung beizubehalten.

Es wird darüber hinaus empfohlen, weitere energieeffiziente Techniken zur Verbesserung des sommerlichen Komforts in die Rechenverfahren der [DIN V 18599] aufzunehmen. Hierzu zählen Strategien der passiven Kühlung (vgl. Abschnitt 16.2). Mit diesen Maßnahmen kann ggf. mit geringem Energieeinsatz dem Wunsch nach erhöhten Komfortansprüchen im Sommer Rechnung getragen werden. In einer beabsichtigten erneuten Novellierung der Energieeinsparverordnung sollte dann die Referenzkühltechnik erneut überprüft werden und dann ggf. durch eine effizientere Lösung ersetzt werden.

Tabelle 83: Empfohlene Referenzausführung Kühlung (unverändert gegenüber der [EnEV 2007])

Rechengröße		Referenzausführung
Kühlbedarf für Gebäudezone		Der Primärenergiebedarf für das Kühlsystem und die Kühlfunktion der raumluftechnischen Anlage ist bei den Nutzungen Nr. 1 bis 3, 8, 10, 16 bis 20, 31 bis 33 nach Tabelle 4 der DIN V 18599-10:2007-02 gleich null zu setzen. Räume mit einem erhöhten internen Wärmeeintrag (z.B. Technikräume) sind als gesonderte Zone auszuweisen.
Raumkühlung	Kältesystem	Kaltwasser Fan-Coil 14/18° C Kaltwassertemperatur; Brüstungsgerät
	Kaltwasserkreis Raumkühlung	10% Überströmung ⁴⁾ ; spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d, spez} = 35 \text{ W}_{el}/(\text{kW Kälte})$, hydraulisch abgeglichen, geregelte Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung
Kälteerzeugung	Erzeuger	Kolben/Scrollverdichter mehrstufig schaltbar, R134a, luftgekühlt, Kaltwassertemperatur 6/12°C
	Kaltwasserkreis Erzeuger inklusive RLT Kühlung	30% Überströmung ⁴⁾ ; spezifische elektrische Leistung der Verteilung $P_{d, spez} = 25 \text{ W}_{el}/(\text{kW Kälte})$, hydraulisch abgeglichen, ungeregelte Pumpe, Pumpe hydraulisch entkoppelt, saisonale sowie Nacht- und Wochenendabschaltung, Verteilung außerhalb der konditionierten Zone

Einen wesentlichen Einfluss auf den Primärenergiebedarf für Kühlung haben die internen Lasten. Daher sollte insbesondere die Reduzierung der Kühllasten stärker im Fokus stehen. Um hier Anreize zu schaffen, sollte die Möglichkeit bestehen die internen Lasten projektspezifisch zu belegen und entsprechend anzusetzen. Ist die projektspezifisch angesetzte Kühllast geringer als die moderat zu wählende Kühllast im Referenzfall, kann im Projekt ein primärenergetischer Spielraum gewonnen werden und ggf. kann sogar ganz auf eine aktive Kühlung verzichtet werden. Die internen Kühllasten müssen dokumentiert und mit dem Bauherren abgestimmt werden. Im Abschnitt 5.9.4.3 wurde hierzu ein Konzept vorgestellt.

Energieeffiziente Arbeitshilfen sind im Sinne der Primärenergieeinsparung und aus Sicht des Bauherrn auch zur Investitionskostenminimierung erstrebenswert. Nichtwohngebäude mit minimaler Kühlung bzw. Verzicht auf Klimatisierung werden erst durch Reduzierung der internen Wärmequellen möglich.

Anwendung ingenieurmäßiger Berechnungsverfahren

Die Berechnung einzelner Energiebedarfsanteile sollte bei Bedarf auch mit Hilfe von genaueren, ingenieurmäßigen Verfahren als gleichwertig anerkannt werden. Dies gilt insbesondere, wenn bestimmte Technologien noch nicht mit der Normenreihe der DIN V 18599 abgebildet werden können.

Anmerkung zum Referenzgebäudeverfahren

Die Nachweisführung mit dem Gebäudereferenzverfahren seit der [EnEV 2007] birgt aus Sicht der Autoren auch Nachteile. Die primärenergetischen Anforderungen folgen dem tatsächlichen Entwurf und der geplanten Nutzung. Dies kann beispielsweise dazu führen, dass für Gebäude gleicher Nutzung und nahezu gleichen Raumangebots deutlich unterschiedliche Primärenergieanforderungen gelten. In diesem Fall bekommt ein „energetisch kritischer Entwurf“ einen primärenergetischen Bonus. Weiterhin geht die Transparenz bei der Festsetzung des Anforderungsniveaus verloren. Die Primärenergieanforderung ergibt sich aus einer Vielzahl von Einflussgrößen und kann sich im Laufe der Planung auch noch ändern.

Vor diesem Hintergrund wäre ggf. eine erneute Überprüfung der Anforderungsmethodik wertvoll. In dem Gutachten „Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EU-Richtlinie“ [IEMB 2005] wurde zunächst ein Verfahren untersucht, bei dem für verschiedene Nutzungsbereiche für alle relevanten Bedarfsanteile Primärenergie-Anforderungswerte definiert werden. Dieses von den Autoren zunächst favorisierte Verfahren wurde unter anderem aufgrund der noch fehlenden Rechenalgorithmen wieder verworfen und es wurde letztlich das Referenzgebäudeverfahren entwickelt. Im Hinblick auf eine bessere Transparenz des Verfahrens und auf die Möglichkeit einer direkten Festlegung von Primärenergieanforderungswerten sollte diese Methodik nochmals überprüft werden. Mit DIN V 18599 liegt jetzt ein Verfahren vor, dass zumindest in Richtung auf eine solche Methodik ausgebaut werden kann.

Zur Frage der Referenzgebäudeverfahren im Wohnbau

Nach begründeter Auffassung der Autoren dieser Studie sollte im Wohnbau von einer Einführung eines dem Nichtwohnbau vergleichbaren Gebäudereferenzverfahrens abgesehen werden. Im Unterschied zum Nichtwohnbau ist die Nutzung innerhalb des Spektrums von Wohngebäuden nämlich vergleichbar.

Mit dem Referenzgebäudeverfahren geht hingegen die Transparenz des Primärenergie-Anforderungsniveaus verloren, da dieses von zahlreichen Einflussfaktoren abhängt und projektspezifisch ermittelt wird. Eine Kontrollfunktion im Berechnungsverfahren sollte daher zumindest die Plausibilität des Wertebereichs der Ergebnisse prüfen.

Bei Energiesparhäusern im Wohnbau kann insbesondere durch den Gebäudeentwurf der Primärenergiebedarf auf einen Anforderungswert hin optimiert werden. Das Optimierungspotential des Gebäudeentwurfs geht mit dem Referenzgebäudeverfahren in wesentlichen Teilen verloren. Das selbe Gebäude darf, wenn die

Hauptfassaden von Süd nach Nord gedreht werden, einen höheren Primärenergiebedarf aufweisen. Das selbe gilt für die Größe der Nordfenster. Mit zunehmender Fenstergröße wächst der zulässige Primärenergiebedarf. Auch das Optimierungspotential der Gebäudekompaktheit verliert an Bedeutung.

Das Gebäudereferenzverfahren wird nach Einschätzung der Autoren dieser Studie insbesondere bei einer weiteren Verschärfung des Primärenergie-Anforderungsniveaus zu einer deutlichen Streuung der zulässigen Primärenergie-Höchstwerte bei nahezu identischen Gebäuden führen. Damit geraten die eigentlichen Zielgrößen, die Primärenergie-Einsparung und der Klimaschutz aus dem Blickfeld. Zur Einhaltung eines wirtschaftlich gebotenen Primärenergiebedarfs sollten alle Lösungsansätze zur Energieeinsparung gleichwertig eingesetzt werden, um das Ziel eines möglichst umfassenden Klimaschutzes zu erreichen. Die wirtschaftliche Optimierung sollte dabei der Markt regeln.

Im Unterschied zu einem festgeschriebenen Primärenergie-Anforderungsniveau sind mit dem Gebäudereferenzverfahren nur stufige Anforderungsschritte entsprechend den Anlagenkonfigurationen möglich. Die architektonischen Mittel zur Zielsetzung einer möglichst wirtschaftlichen Verringerung des Primärenergieeinsatzes werden durch das Gebäudereferenzverfahren praktisch ausgenommen. Es wird somit eine im Durchschnitt über alle Neubauten deutlich geringere Primärenergieeinsparung erreicht als es vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit der gegebenen technischen Möglichkeiten möglich wäre.

7.3.2 Nachweis der Wirtschaftlichkeit anhand von Ausführungsvarianten

Energieeinspar-Maßnahmen auf Grundlage der Energieeinsparverordnung müssen einzelwirtschaftlich rentabel und technisch machbar sein. Anhand von drei Modellgebäuden werden im folgenden Ausführungsvarianten vorgestellt, welche einerseits die Primärenergie-Höchstwerte der vorgeschlagenen, neuen Referenzausführung einhalten und andererseits zu einer geringeren jährlichen Gesamtbelastung aus Kapital-, Betriebs- und Energiekosten für die Gemeinschaft aus Investor und Nutzer führen als Gebäude nach [EnEV 2007]. Die Modellgebäude in der Ausführung gemäß [EnEV 2007] sind in Abschnitt 7.1 dargestellt.

Den Modellgebäuden wurde zur Berechnung jeweils eine Hauptnutzung zugeordnet. Nutzungsprofile dieser Einzonen-Modelle wurden gemäß [EnEV 2007] angesetzt, d. h. Einzelbüro in den Bürogebäuden und Klassenraum in der Schule (vgl. auch Abschnitt 7.3). Es wurde weiterhin angenommen, dass die Gebäude mit einer Zu- und Abluftanlage ausgerüstet sind. Somit greifen alle Referenzausführungsdefinitionen; bei Büros und Schulen wird gemäß [EnEV 2007] kein Kühlbedarf angesetzt. Gemäß [EnEV 2007] kann beim vereinfachten Einzonen-Modell der Trinkwarmwasserbedarf für Büronutzungen vernachlässigt werden. Eine Referenzausführung ohne Lüftungsanlage würde gemäß [EnEV 2007] auf nahezu identische zulässige Primärenergie-Anforderungswerte bei den betrachteten Modellgebäuden führen (die max. Differenz der Anforderungswerte beträgt 3%) .

Abbildung 61 zeigt das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau und das Primärenergie-Anforderungsniveau gemäß [EnEV 2007]. Zu jedem Modellgebäude wurden 5 von der Referenzausführung abweichende Ausführungsvarianten definiert, welche die zulässigen neuen Primärenergie-Kennwerte einhalten. Die Ausführungsbeispiele sind im Vergleich zur Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] ökonomisch rentabel, wenn deren jährliche Gesamtkosten geringer sind, d. h. sich ein jährlicher Gewinn einstellt. Bei allen Ausführungsbeispielen ergibt sich ein jährlicher Gewinn als Differenz der jährlichen Gesamtkostenbelastung, dieser ist ebenfalls ausgewiesen.

Bei der Definition der Ausführungsbeispiele wurden möglichst unterschiedliche Lösungsansätze aus Anlagentechnik, Wärmeschutz und Beleuchtung kombiniert. Durch bessere Effizienz in Teilbereichen kann eine geringere energetische Qualität bei Einzelkomponenten kompensiert werden. D. h. es bleibt möglich, in Teilbereichen geringere Effizienz als in der Referenzausführung zu wählen. Die Spielräume zur Kompensation von weniger effizienten Einzelkomponenten sind bei der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung für Nichtwohngebäude jedoch deutlich geringer als gemäß [EnEV 2007]. Niedertemperaturkessel, Lüftungsgeräte mit mäßiger Wärmerückgewinnung oder eine Beleuchtungsanlage ohne Beleuchtungssteuerung können als Einzelkomponente kompensiert werden, eine Kombination von Komponenten ausschließlich mäßiger Effizienz wäre jedoch nicht möglich.

Zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete trägt insbesondere der Teilbereich Beleuchtung bei. Elektronische Vorschaltgeräte und Dreibandenerleuchtstofflampen sind inzwischen Stand der Technik und haben eine ganze Reihe von Vorteilen. Durch die erhöhte Lichtausbeute kann die Anzahl der Leuchten und Leuchtmittel verringert werden und überdies können die Lampen mit elektronischen Vorschaltgeräten deutlich länger betrieben werden. Auf die Investitionskosten wirkt sich günstig aus, dass die Anzahl der Leuchten gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] verringert werden kann. Die Betriebskosten sinken ebenfalls, da weniger Leuchtmittel seltener ausgetauscht werden müssen. Zusätzlich führt die höhere Lichtausbeute der Leuchten zu geringeren Energiekosten. Die Anzahl der Leuchten wurde gemäß der angesetzten Nutzungen auf Standardraumgrößen bezogen (vgl. Abschnitt 16.10). Die Anzahl der Leuchten könnte gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] etwa um 30 % verringert werden. Alternativ könnten auch Leuchten mit geringerer Lampenleistung der Einzelleuchte verwendet werden. Es wird die eher konservative Annahme getroffen, dass die Anzahl der Leuchten unverändert bleibt, diese aber mit geringerer Einzelleistung ausgestattet sind.

Die durchschnittliche Mehrinvestition der Ausführungsbeispiele liegt in diesem Fall bei 64 €/m²NGF). In Tabelle 84 bis Tabelle 86 sind die zusätzlichen Maßnahmen und Kosten gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] dokumentiert. Im Vergleich zur Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] wird mit den Ausführungsbeispielen ein durchschnittlicher jährlicher Gewinn von 2,30 €/m²NGF)

erzielt. Würde eine Reduzierung der Leuchtenanzahl angesetzt, ergäbe sich ein jährlicher Gewinn von durchschnittlich 2,80 €/m²NGF).

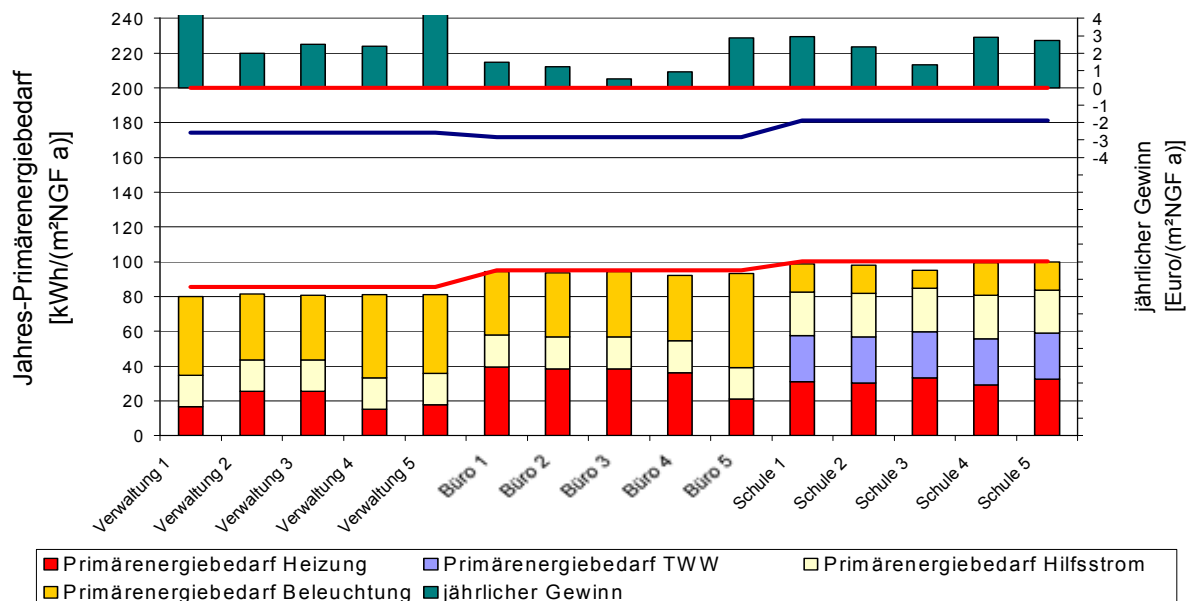


Abbildung 61: Jahres-Primärenergiebedarf berechnet gemäß [DIN V 18599] und Darstellung des jährlichen Gewinns (grüne Säulen oben und Skala rechts) der exemplarischen Ausführungsvarianten im Vergleich zu einer Referenzausführung der Modellgebäude gemäß [EnEV 2007]. Ist der Gewinn positiv (größer Null), dann ist das Maßnahmenpaket rentabel.

Welchen Einfluss hat der Energiepreis auf die Wirtschaftlichkeit der Ausführungsvarianten? Abbildung 62 zeigt den Äquivalentpreis der eingesparten kWh für die untersuchten Maßnahmenpakete. Alle Maßnahmen sind bereits zu heutigen Energiepreisen wirtschaftlich. Bei einigen Ausführungsbeispielen kompensieren bereits die geringeren Betriebskosten und die verringerten Stromkosten den höheren Kapitaldienst aufgrund der Mehrinvestition, die Kosten der eingesparten kWh Öl/Gas sind in diesen Fällen Null. Werden diese extrem günstigen Beispiele nicht einbezogen, beträgt der durchschnittliche Preis der eingesparten kWh 2,4 Cent/kWh.

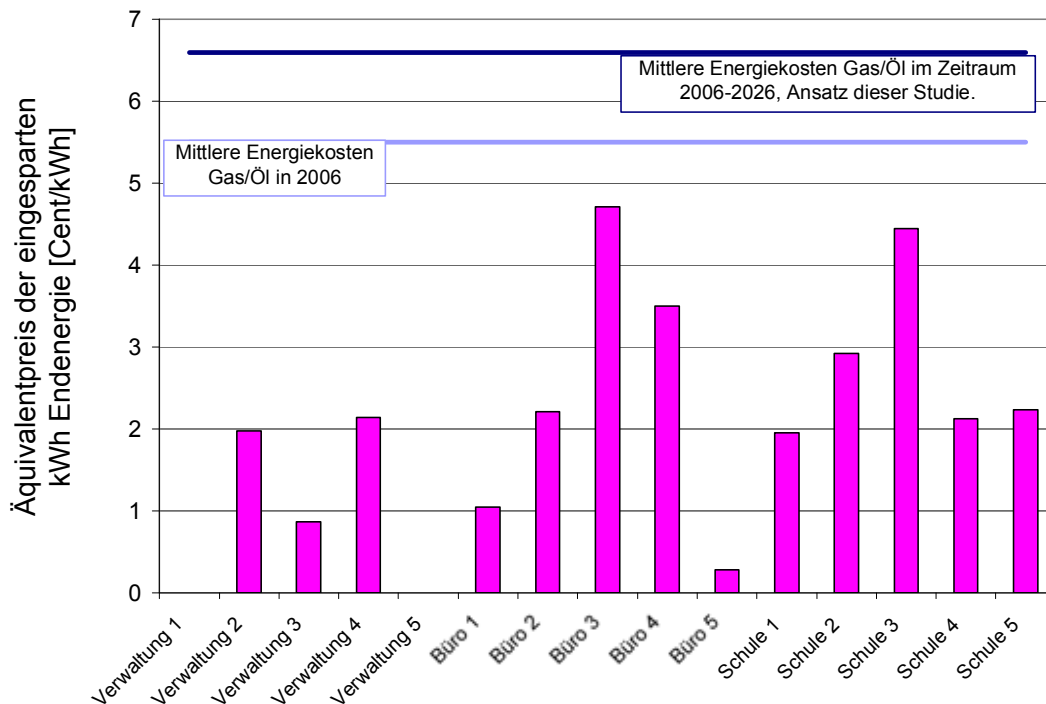


Abbildung 62: Einfluss des Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete. Dargestellt sind der Äquivalentpreis der eingesparten kWh und Vergleichspreise zur Alternative Energiebezug von Gas oder Öl. Zu allen Modellgebäuden gibt es Maßnahmenpakete, die bereits zu heutigen Endenergiepreisen rentabel sind. Bei den Ausführungsbeispielen mit dem Äquivalentpreis Null übersteigen bereits die reduzierten jährlichen Betriebs- und Stromkosten die zusätzlichen jährlichen Kapitalkosten der Energiesparmaßnahmen. Aufgrund des hohen Kostenanteils für Beleuchtung ist dies bei Nichtwohngebäuden möglich.

Welche Maßnahmen wurden angesetzt?

Verbesserung der Effizienz der Wärmeversorgung: Einsatz eines Gas-Brennwert- anstatt eines Gas-Niedertemperaturkessels.

Als Wärmeerzeuger wurden aktuelle Gas-Brennwertkessel herangezogen, kombiniert mit einem Niedertemperaturheizungssystem (Radiator / Systemtemperatur 55/45 °C). Diese Effizienz-Maßnahme wurde bereits für Wohngebäude in Abschnitt 5.1 diskutiert. Die Mehrinvestition für Gas-Brennwerttechnik wurde bei den großen Gebäuden mit 2900 € angesetzt. Die gleichzeitige Verbesserung des Wärmeschutzes kann bei Maßnahmenpaketen zu insgesamt geringeren Kosten des Wärmeversorgers mit Brennwerttechnik führen. Dies wurde vernachlässigt, um auf der sicheren Seite zu kalkulieren.

Verbesserte Effizienz der Lüftung: Reduzierung der Lüftungswärmeverluste über effizientere Wärmerückgewinnung und Senkung des Strombedarfs der Lüftung

Wie im Abschnitt 7.3.1 zur vorgeschlagenen Referenzausführung dargestellt, sind verbesserte Ventilatoren und Motoren eine wirtschaftliche Maßnahme. Die verbesserte Effizienz der Zu-/Abluft-Anlage wurde allen Varianten zugrunde gelegt. Die Mehrinvestition je Zentralgeräte liegt bei etwa 30 %.

Eine effizientere Wärmerückgewinnung, wenn ohnehin eine Wärmerückgewinnung vorgesehen ist, ist ebenfalls sehr rentabel (vgl. Abschnitt 7.3.1). Es wurden Zentralgeräte mit mäßiger Rückwärmzahl (45 % bis 60 %) und hoch-effiziente Wärmeübertrager (Rückwärmzahl ≥ 75 %) eingesetzt. Die Mehrkosten wurden anhand der erforderlichen Wärmeübertragerfläche parametrisiert und anhand von Listenpreisen abgeglichen. Bei hocheffizienten Wärmeübertragern wurden Mehrinvestitionen je Zentralgerät von 33 % gegenüber Geräten mit mäßiger Rückwärmzahl ermittelt.

Reduzierung der nicht nutzbaren Wärmeverluste von Trinkwarmwasser- und Heizwärmeversorgung

Warme Verteilungen haben Wärmeverluste. Wie im Abschnitt 7.2 zu den Wohngebäuden bereits diskutiert, ist auch eine bessere Wärmedämmung der Verteilungen wirtschaftlich (daneben sind aber vor allem kurze Leitungslängen angeraten). Es wurde ein verbesserter Wärmeverlustkoeffizient der Leitungen von 0,160 W/(m K) (vorher 0,20 W/(mK)) angenommen. Die Mehrinvestition liegt bei 3 €/m (vgl. Abschnitt 16.10). Es wurden grundsätzlich die Standardlängen der Versorgungsleitungen verwendet. Eine Optimierung der Heizwärmeverteilung (geringere Länge als im großzügig bemessenen Standardfall) würde noch zusätzliches Energiespar-Potential bieten.

Verbesserung des Wärmeschutzes der opaken Bauteile. Verbesserung der Wärmedämmung auf einzelwirtschaftlich optimale Dämmstärken.

Ebenfalls wirtschaftlich interessant ist die Verbesserung des Wärmeschutzes. Wärmedämm-Maßnahmen wurden im Abschnitt 5.4 bereits diskutiert. Bei den dargestellten Ausführungsbeispielen werden Dämmstärken entsprechend den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken im Neubau angesetzt bzw. Bauteile mit optimalen Dämmstärken kombiniert. Beispiele mit Plan-Wärmedämmziegeln werden ebenfalls ausgewiesen. Die genaue Ausführung ist in Abschnitt 16.11 dokumentiert. Die angesetzten Bauteilkosten sind in Abschnitt 16.10 dokumentiert. Die Dämm-Zusatzkosten (bezogen auf $\lambda = 0,040$ W/(mK)) liegen je nach Bauteil zwischen 0,70 bis 1,30 €/cm/(m²Bauteilfläche).

Verbesserung des Wärmeschutzes der Fenster: Einsatz von Dreischeiben-wärmeschutz-Verglasungen

Es werden zwei Holzfenster wie bereits im Abschnitt 7.2 zum Wohnbau, untersucht: Ein Holzfenster mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung (2WSV) und konventionellem Randverbund (Aluminium-Abstandhalter) sowie ein Holzfenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung (3WSV) mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund. Die Einzelmaßnahme Fenster wurde im Abschnitt 5.5 untersucht, wobei sich zeigte, dass die verbesserte Verglasung einzelwirtschaftlich rentabel ist.

- Holzfenster mit 2WSV: $U_W = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_W gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 65 %
- Holzfenster mit 3WSV: $U_W = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_W gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 50 %

Die vorgeschlagene Referenzausführung der Fenster liegt zwischen diesen beiden Fensterqualitäten ($U_W = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / g-Wert = 50 %).

Verbesserung des Wärmeschutzes: Optimierung der Anschlussdetails

Eine wärmetechnische Verbesserung der Anschlussdetails ist ebenfalls wirtschaftlich (vgl. Abschnitt 5.6). Es wird davon ausgegangen, dass bei den Nichtwohngebäuden mit vertretbarem Aufwand die Details gleichwertig zu DIN 4108 Beiblatt 2 ausgeführt werden können (pauschale Wärmebrückenberücksichtigung mit $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$). Hierfür wurden zwei Tagwerke Planungshonorar und gemäß den Anschlusslängen Materialkosten angesetzt. Für eine Variante wurde angenommen, dass die Wärmebrückenverluste der Anschlussdetails bei rechnerisch Null liegen. Zahlreiche ausgeführte Beispiele belegen, dass auch dies baupraktisch möglich ist. Die Mehrinvestitionskosten werden in Abschnitt 16.10.5 für die Ausführungsbeispiele ausgewiesen.

Reduzierung der Lüftungswärmeverluste: Prüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle

Die angesetzte Luftdichtheit der Gebäude mit Lüftungsanlage ist gegenüber der Ausführung der Referenzgebäude [EnEV 2007] unverändert.

Reduzierung des Strombedarfs für Beleuchtung: Optimierung der installierten Lampenleistung, effizientere Lampenbetriebsgeräte und Beleuchtungssteuerung

Bei Nichtwohngebäuden mit büroähnlicher Nutzung besteht insbesondere bei der Beleuchtung ein erhebliches Einsparpotential gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Gemäß der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung werden stabförmige Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) angesetzt. Diese Betriebsgeräte verlängern die Lampenlebensdauer. Die Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten ist bereits aufgrund der selteneren Lampenwechsel gegenüber einer Ausführung mit verlustarmen Vorschaltgeräten wirtschaftlich (12.000 Betriebsstunden mit EVG und 7.500 mit VVG).

Es wurde angenommen, dass mit Hilfe einer Lichtplanung und den EVG die installierte Lampenleistung (elektrische Bewertungsleistung) gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] verringert werden kann. Wie in Abschnitt

14.3 näher ausgeführt, gibt es eingeführte Kennwertverfahren (vgl. [LEE], [VDI 3807-4], [SIA 380-4]), welche Grenzwerte und Zielwerte der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung abhängig von der Nutzung definieren. Bei den Büros (Nutzung „Einzelbüro“) wurde angenommen, dass mit einer Fachplanung die Grenzwerte (also die Höchstwerte) gemäß [LEE] und [SIA 380-4] noch eingehalten werden (elektrische Bewertungsleistung 15 W/m^2). In einem Klassenraum beträgt der Grenzwert nach [LEE] $7,3 \text{ W/m}^2$. In Klassenräumen sind bei geeigneter Planung sogar noch geringere spezifische Leistungswerte möglich, wie Beispiele mit 6 W/m^2 aus Frankfurter Schulen zeigen (vgl. [Bretzke 2006]). Als Zusatzkosten wurde das Honorar für die Beleuchtungsfachplanung angesetzt. Neben dem Strombedarf reduziert sich mit dieser Maßnahme auch die absolute Anzahl an Lampen und damit der Wartungsaufwand. Wie weiter oben bereits beschrieben, wurde die eher konservative Annahme getroffen, dass die Anzahl der Leuchten unverändert bleibt, diese aber mit geringerer Einzelleistung ausgestattet sind.

Bei den Maßnahmenpaketen Verwaltung 1 und Verwaltung 5 wurden, anstatt einer Beleuchtungsregelung, eine energetisch optimierte Beleuchtungsplanung angesetzt. Damit kann die elektrische Bewertungsleistung gegenüber der vorgeschlagenen Referenzausführung nochmals reduziert werden. Es werden $12,5 \text{ W/m}^2$ anstatt 15 W/m^2 angesetzt, dieser Wert liegt bei der betrachteten Büronutzung (Einzelbüro) zwischen den geforderten Grenzwerten und Zielwerten der Kennwertverfahren. Zu den Auslegungsbeispielen für Büroräume in [AMEV 2006] werden sogar Werte um 9 W/m^2 angegeben. Mit der energetisch optimierten Beleuchtungsauslegung kann die Stromeinsparung der Beleuchtungsregelung im betrachteten Fall zum Großteil (zu 56 %) kompensiert werden.

Kurzdokumentation der Ausführungsvarianten, welche das neu vorgeschlagene Anforderungsniveau einhalten

Die mit dem vorgeschlagenen neuen Anforderungsniveau verträglichen Beispielausführungen der Modellgebäude werden zusammenfassend in Tabelle 84 bis Tabelle 86 dokumentiert. Im Anhang Abschnitt 16.11 werden Investitionskosten, Bauweise und Anlagentechnik ausführlich dargestellt.

Tabelle 84: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **Verwaltung**, welche das mit der vorgeschlagenen Referenzausführung resultierende Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind jeweils nur die Änderungen in der Ausführung gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Die einzelnen Ausführungsvarianten sind ausführlich im Anhang dokumentiert (vgl. Abschnitt 16.11)

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m²NGF]	jährlicher Gewinn [€/m²NGF]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m²NGF a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m²NGF a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m²NGF a)]	Statische Amortisationszeit [a]
VERWALTUNG 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung 12,5 W/m²	40,2	4,4	0,0	79,9	85,6	174,4	6
VERWALTUNG 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG60 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	74,9	2,0	2,0	81,5	85,6	174,4	11
VERWALTUNG 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 2WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	66,6	2,5	0,9	80,5	85,6	174,4	10
VERWALTUNG 4	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS hoch, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Tabellen-Verfahren	71,0	2,4	2,1	80,8	85,6	174,4	11
VERWALTUNG 5	Gas-NT, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS hoch, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung 12,5 W/m²	42,0	4,2	0,0	80,9	85,6	174,4	6

Anmerkung: Erläuterungen zu den Abkürzungen befinden sich in Tabelle 87.

Tabelle 85: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **Büro**, welche das mit der vorgeschlagenen Referenzausführung resultierende Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind jeweils nur die Änderungen in der Ausführung gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Die einzelnen Ausführungsvarianten sind ausführlich im Anhang dokumentiert (vgl. Abschnitt 16.11)

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m²NGF]	jährlicher Gewinn [€/m²NGF]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m²NGF a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m²NGF a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m²NGF a)]	Statische Amortisationszeit [a]
BÜRO 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS mäßig, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	63,0	1,5	1,0	94,4	95,0	171,6	11
BÜRO 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	71,1	1,2	2,2	93,4	95,0	171,6	13
BÜRO 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	84,3	0,5	4,7	94,3	95,0	171,6	15
BÜRO 4	Gas-NT, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG60 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	79,1	0,9	3,5	92,1	95,0	171,6	14
BÜRO 5	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K) / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung 15 W/m²	49,8	2,9	0,3	93,1	95,0	171,6	9

Anmerkung: Erläuterungen zu den Abkürzungen befinden sich in Tabelle 87.

Tabelle 86: Beschreibung der Ausführungsvarianten für das Modellgebäude **Schule**, welche das mit der vorgeschlagenen Referenzausführung resultierende Primärenergie-Anforderungsniveau einhalten. Dokumentiert sind jeweils nur die Änderungen in der Ausführung gegenüber der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]. Die einzelnen Ausführungsvarianten sind ausführlich im Anhang dokumentiert (vgl. Abschnitt 16.11)

Variante	Änderung von Anlagentechnik und Gebäudehülle gegenüber der Referenzausführung	Mehrinvestition [€/m²NGF]	jährlicher Gewinn [€/m²NGF]	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh] ¹⁾	Primärenergiebedarf [kWh/(m²NGF a)]	Primärenergie-Anforderung Vorschlag [kWh/(m²NGF a)]	PE-Anforderung g. [EnEV 2007] [kWh/(m²NGF a)]	Statische Amortisationszeit [a]
SCHULE 1	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K), TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WRG60 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Vergl. 3WSV, WB-Zuschlag: 0,00 / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung	53,0	2,9	1,9	98,7	100,2	181,4	9
SCHULE 2	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K), TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Ziegel (42,5), Vergl. 3WSV / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung 7,3 W/m²	65,5	2,4	2,9	98,0	100,2	181,4	12
SCHULE 3	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K), TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Ziegel (42,5), WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, gedimmt, ausschaltend, Verfahren: Fachplanung 7,3 W/m²	82,4	1,3	4,4	95,0	100,2	181,4	14
SCHULE 4	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K), TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, Tabellen-Verfahren	52,3	2,9	2,1	99,2	100,2	181,4	9
SCHULE 5	Gas-BW - verbessert, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle, P-Regler (1K), TWW-Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle / WRG80 %, elektr. Effizienz Lüftung verbessert / WS optimal, Ziegel (42,5), WB-Zuschlag: 0,05 / Leuchtstofflampe mit EVG, Verfahren: Fachplanung 7,3 W/m²	56,4	2,7	2,2	99,9	100,2	181,4	10

Anmerkung: Erläuterungen zu den Abkürzungen befinden sich in Tabelle 87.

Tabelle 87: Erläuterung zu den verwendeten Abkürzungen

Gas-BW – verbessert:	Gas-Brennwertkessel mit erhöhten Wirkungsgrad-Standardwerten
Gas-NT	Gas-Niedertemperaturkessel entspricht der Referenzanlage gemäß [EnEV 2007]
WS optimal	Wärmedämmung der opaken Bauteile mit den einzelwirtschaftlich optimalen Dämmstärken
WS mäßig:	Wärmedämmung vergleichbar der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]
Ziegel (42,5)	Plan-Wärmedämmziegel-Außenwand (U-Wert = 0,20 W/(m²K))
Vergl. 3WSV	Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung
WB-Zuschlag: 0,05	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, pauschale Berücksichtigung der Wärmebrücken, Details gleichwertig zu DIN 4108 Beiblatt 2
P-Regler (1K)	Raumtemperaturregelung, P-Regler (1K)
WRG80 %	Wärmeübertrager mit Rückwärmzahl = 80 %
WRG60 %	Wärmeübertrager mit Rückwärmzahl = 60 % / gegenüber Referenzausführung [EnEV 2007] leicht verbessert
elektr. Effizienz Lüftung verbessert	Elektrische Leistungsaufnahme der Lüftung gemäß der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung (1,8 kW/m³/s)
Leuchtstofflampe mit EVG	Direkte Beleuchtung mit stabförmigen Leuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten
gedimmt, ausschaltend	Tageslichtabhängige Kontrolle der Beleuchtung, tageslichtabhängig gedimmtes System, abschaltend
Verfahren: Fachplanung	Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistungen über eine Fachplanung, angesetzte elektr. Bewertungsleistungen
Tabellenverfahren	Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistungen mittels des Tabellenverfahrens

8 Nebenanforderung an den Wärmeschutz

Eine weitere Aufgabe besteht in der Ableitung einer neuen Kenngröße, die das bisherige H_T' ersetzen kann und den „Nettowärmeschutz“ der Gebäudehülle beschreibt. Die Kenngröße sollte neben den Transmissionswärmeströmen auch die passiv-solaren Gewinne durch Fensterflächen einbeziehen. Es wird vorgeschlagen, die Nebenanforderung an den Wärmeschutz mittels einer neuen Kenngröße $H_{T', \text{equi}}$ zu definieren. In einer vereinfachten Variante ist diese Kenngröße unabhängig von der Himmelsrichtung.

Richtungsunabhängige Bestimmung des spezifischen, äquivalenten Transmissionswärmeverlusts $H_{T', \text{equi}}$

Spezifischer, äquivalenter Transmissionswärmeverlust (richtungsunabhängig):

$$H_{T', \text{equi, isotrop}} = H_T' - f_{\text{win,e}} \cdot g \cdot F_F \cdot 1,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

- bei Wohngebäuden mit:

H_T' : spezifischer, auf die Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust

- bei Nichtwohngebäuden mit:

H_T' : spezifischer, auf die Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient

$f_{\text{win,e}}$: Fensterflächenanteil des Gebäudes; Fensterfläche bezogen auf die *Gebäudehüllfläche*.

g : Energiedurchlassgrad der vorgesehenen Verglasung bei senkrechtem Strahlungseinfall

F_F : Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil (Standardwert: 0,7)

Bei einer Umstellung der Rechenmethodik im Wohnbau auf die Verfahren der DIN V 18599 sollte für Wohn- und Nichtwohngebäude die dann gleiche Definition des spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten angesetzt werden.

Zur Ableitung der vorgeschlagenen neuen Kenngröße wurde die solare Einstrahlung des Referenzklimas Deutschland für die Orientierung Ost/West angesetzt. Es zeigte sich, dass der Einfluss des abnehmenden Ausnutzungsgrades der freien Wärme bei zunehmendem Fensteranteil in der Fassade für diese Orientierung vernachlässigbar ist. Es kann dann in guter Näherung für diese Aufgabe ein konstanter Ausnutzungsgrad angesetzt werden. Abbildung 63 zeigt die angesetzte Näherung und den Verlauf bei tatsächlichem Ausnutzungsgrad von $H_{T', \text{äqui, isotrop}}$. Dargestellt sind die Ergebnisse für Gebäude mit einem A/V-Verhältnis zwischen 0,8 und 0,3 m⁻¹ und einem Wärmeschutz gemäß den optimalen Wärmeschutz-Niveaus aus Abschnitt 5.4 (Wärmedämmung) und 5.5 (Fenster).

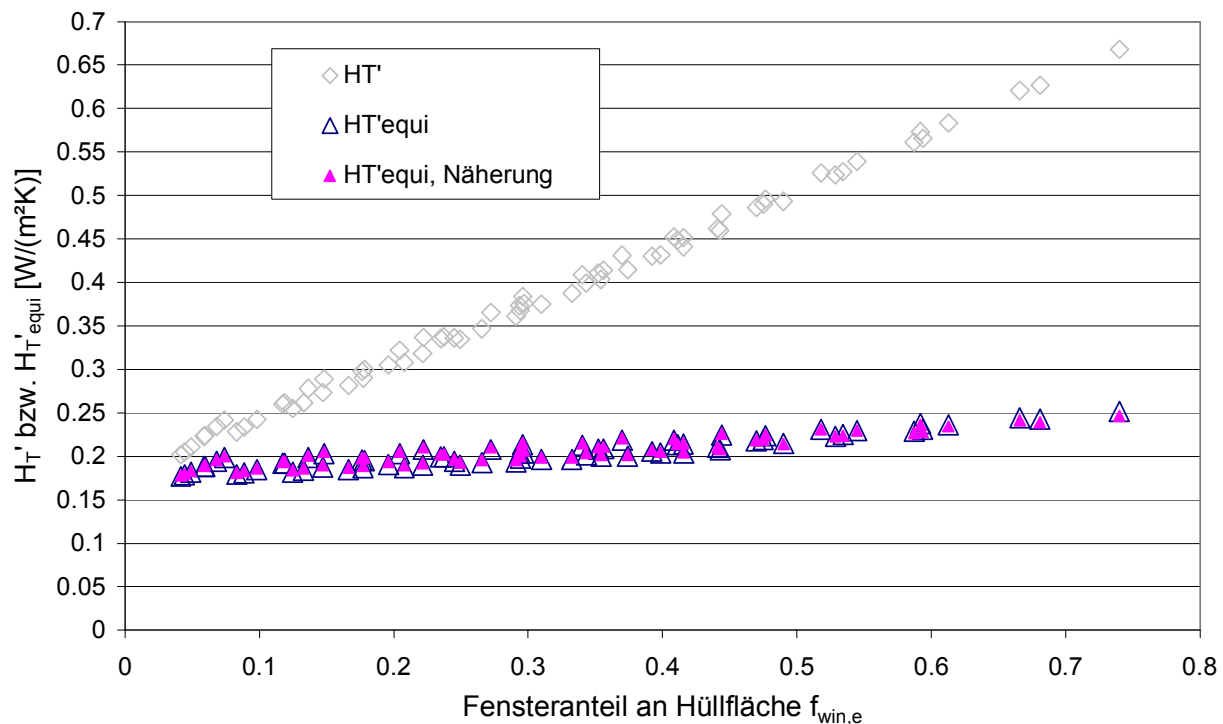


Abbildung 63: Darstellung der Ergebnisse für $H_{T', \text{isotrop}}$ und der vorgeschlagenen Näherung $H_{T', \text{isotrop, Näherung}}$. Der äquivalente Transmissionswärmeverlust ist in Abhängigkeit vom Fensteranteil aufgetragen. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile sind unverändert. Zusätzlich wurde die Kompaktheit des Modellgebäudes noch variiert im Bereich von 0,8 bis 0,3 m^{-1} . Die Datenpunkte ganz rechts entsprechen einem Gebäude mit vollständig verglasten Fassaden.

Richtungsabhängige Bestimmung des spezifischen, äquivalenten Transmissionswärmeverlusts $H_{T', \text{equi}}$

Die Abhängigkeit der solaren Gewinne von der Himmelsrichtung der Fensterflächen könnte bei der Bestimmung des spezifischen, äquivalenten Transmissionswärmeverlusts $H_{T', \text{equi}}$ ebenfalls berücksichtigt werden. Hierzu müssten die Fensteranteile an der Gesamtgebäudehüllfläche nach Orientierung unterschieden werden. Bei horizontal und nach Süden orientierten Fensterflächen können die passiv-solaren Gewinne nicht vollständig genutzt werden. Für diese Orientierungen wird ein mit zunehmendem Fensterflächenanteil abnehmender Ausnutzungsgrad berücksichtigt.

Für die Bestimmung des richtungsabhängigen spezifischen Transmissionswärmeverlusts (bzw. Transmissionswärmetransferkoeffizients) $H_{T',equi}$ wird die folgende Gleichung vorgeschlagen:

$$H_{T',equi,anisotrop} = H_T' - \{f_{Win,e,Ost/West} * g * F_F * 1,60 \text{ W/(m}^2\text{K)} + f_{Win,e,Nord} * g * F_F * 1,03 \text{ W/(m}^2\text{K)} + f_{Win,e,Süd} * g * F_F * 2,98 \text{ W/(m}^2\text{K)} * \eta_{Süd} + f_{Win,e,Süd} * g * F_F * 2,98 \text{ W/(m}^2\text{K)} * \eta_{Horizontal}\}$$

mit

$$\eta_{Süd} = 0,98 - 1,46 \text{ W/(m}^2\text{K)} * f_{Win,e,Süd} * g * F_F / H_T'$$

$$\eta_{Horizontal} = 0,98 - 1,22 \text{ W/(m}^2\text{K)} * f_{Win,e,Horizontal} * g * F_F / H_T'$$

g : Energiedurchlassgrad der vorgesehenen Verglasung bei senkrechtem Strahlungseinfall

F_F : Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil (Standardwert: 0,7)

$f_{win,e,Ost/West}$: Fensterflächenanteil Ost/West. Nach Ost und West orientierte Fensterflächen bezogen auf die *Gebäudehüllfläche*.

$f_{win,e,Nord}$: Fensterflächenanteil Nord. Nach Norden orientierte Fensterflächen bezogen auf die *Gebäudehüllfläche*.

$f_{win,e,Süd}$: Fensterflächenanteil Süd. Nach Süden orientierte Fensterflächen bezogen auf die *Gebäudehüllfläche*.

$f_{win,e,horizontal}$: Dachflächenfensteranteil. Fensterflächen mit einer Neigung unter 30° bezogen auf die *Gebäudehüllfläche*.

Abbildung 64 und Abbildung 65 zeigen den Einfluss der richtungsabhängigen Bestimmung des äquivalenten Transmissionswärmeverlusts. Dargestellt ist jeweils ein Doppelhaus mit dem wesentlichen Fensteranteil in Abbildung 64 nach Süden und in Abbildung 65 nach Norden. Bei der Erfüllung der Nebenanforderung an den Wärmeschutz kann derart eine ggf. energetisch vorteilhafte Orientierung des Gebäudes geltend gemacht werden.

Es wird empfohlen die Verwendung eines richtungsabhängigen $H_{T',equi,anisotrop}$ beim Nachweis der Nebenanforderung anzusetzen. Alternativ könnte auch das einfache (richtungsunabhängige) Verfahren für kleine Wohngebäude zugelassen werden.

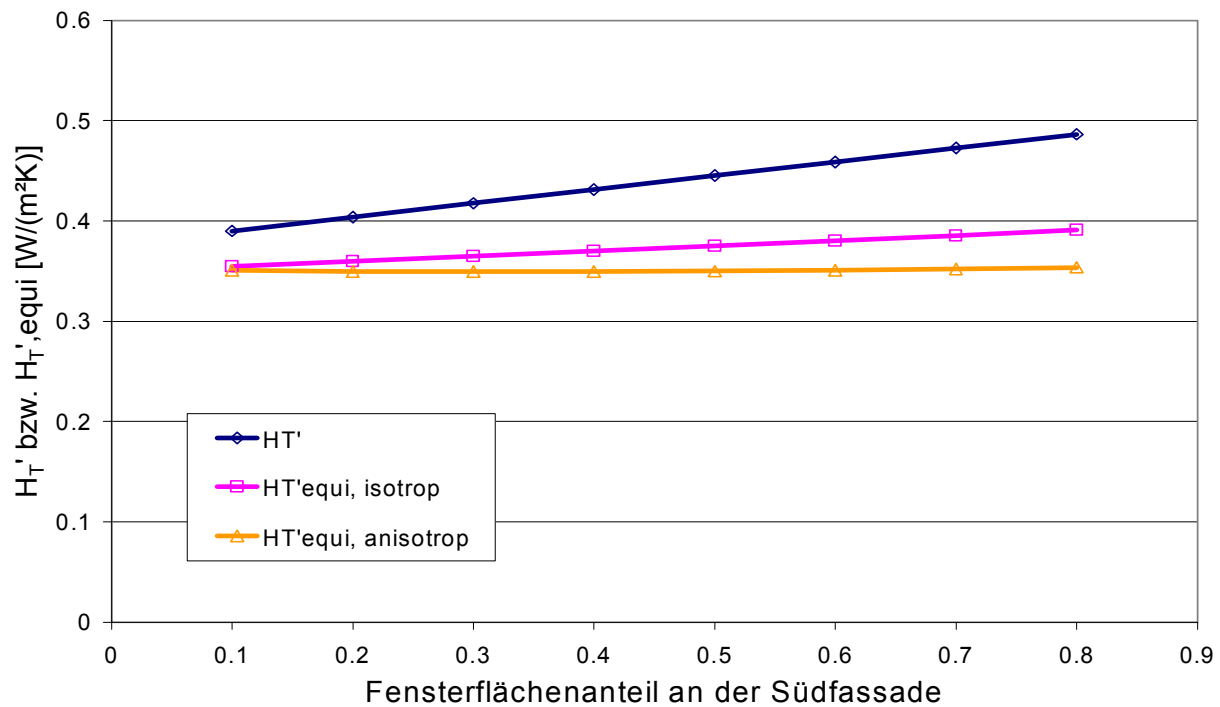


Abbildung 64: Darstellung von H_T' , $H_{T',equi, isotrop}$ (richtungsunabhängig) und $H_{T',equi, anisotrop}$ (richtungsabhängig) für ein Doppelhaus in Abhängigkeit vom Fensteranteil der Südfassade. Die Wärmedurchgangskoeffizienten sind für alle Bauteile unverändert. Durch günstige Südorientierung ergeben sich geringere $H_{T',equi}$ -Werte. Diese hängen kaum noch vom A/V-Verhältnis ab, wodurch sich Vereinfachungen bei den Anforderungen ergeben können.

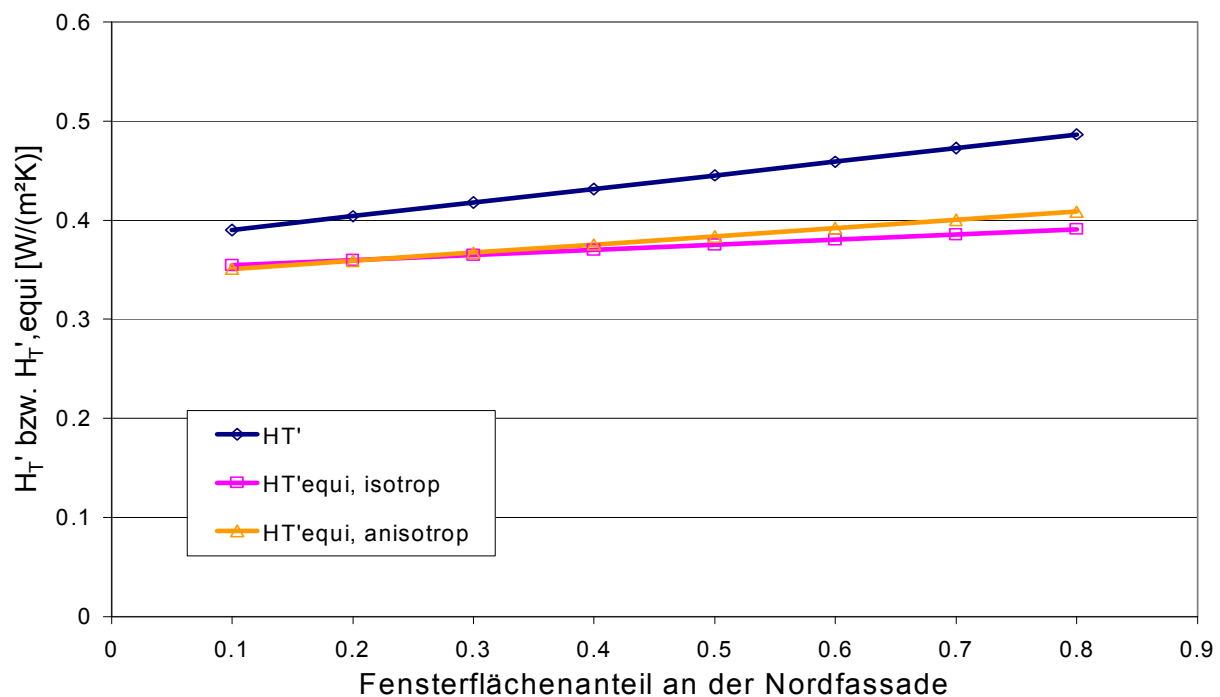


Abbildung 65: Darstellung von H_T' , $H_{T',equi, isotrop}$ (richtungsunabhängig) und $H_{T',equi, anisotrop}$ (richtungsabhängig) bei Nordorientierung der Hauptfassade. Gegenüber dem richtungsunabhängigen $H_{T',equi, isotrop}$ nimmt $H_{T',equi, anisotrop}$ wie zu erwarten etwas stärker zu. Die Nordorientierung führt zu geringeren solaren Gewinnen.

8.1 Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau an den Wärmeschutz

Bei Gebäude-Versorgungslösungen auf Basis von erneuerbaren Energien ist regelmäßig die primärenergetische Hauptanforderung an die Gebäudeeffizienz auch mit geringem Wärmeschutz erfüllbar. Da teilweise auch erneuerbare Energien wie z. B. Biomasse in ihrer Verfügbarkeit begrenzt sind, sichert eine Nebenbedingung an den Wärmeschutz eine Mindesteffizienz dieser Gebäude. Erst damit wird eine nachhaltige Versorgung möglich.

Im Zuge einer Anpassung des Primärenergie-Anforderungsniveaus an die veränderten ökonomischen Randbedingungen sollte auch die Nebenbedingung an den Wärmeschutz angeglichen werden. Das vorgeschlagene neue Mindestanforderungsniveau ist etwas geringer als der wirtschaftlich gebotene Wärmeschutz. Effiziente Versorgungslösungen z. B. auf Basis einer Sole-Wärmepumpe können mit dem Mindestwärmeschutz die Primärenergieanforderungen noch erfüllen. Für den Wohnbau wurde aus der neuen Primärenergieanforderung eine Anforderung für H_T' abgeleitet.

Für den Nichtwohnbau wurden drei Verfahren zur Definition des Referenzwärmeschutzes vorgestellt (vgl. Abschnitt 7.3.1). Die Nebenanforderung für den Mindestwärmeschutz im Nichtwohnbau sollte konsistent zum gewählten Verfahren für den Referenzwärmeschutz angesetzt werden. Der Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau an die Gebäudehülle wird daher bezüglich der Verfahren unterschieden. Empfohlen wurde das Verfahren „Vorschlag C“, wobei die Qualität des Wärmeschutzes in der Referenzausführung über Bauteileinzelanforderungen definiert wird. Wenn dieser Empfehlung gefolgt wird, dann sollte auch eine Mindestanforderung an den Wärmeschutz im Nichtwohnbau diesem Verfahren folgen. Der Mindestwärmeschutz ergibt sich dann durch Einzelbauteile, welche einen 25 % höheren Wärmeverlust aufweisen als das ökonomische Optimum. Die zugehörige Anforderung für H_T' ist weiter unten dargestellt. Durch den methodischen Wechsel ist H_T' im wesentlichen eine Funktion vom Fensterflächenanteil (Anteil der Fensterfläche bezogen auf die gesamte Gebäudehüllfläche).

Das neue Anforderungsniveau für die Nebenbedingung an den Wärmeschutz wird im folgenden über zwei Kenngrößen definiert:

- bezüglich der bisherigen Kenngröße H_T' (auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmetransferkoeffizient bzw. Transmissionswärmeverlust)
- und bezüglich der oben eingeführten neuen Kenngröße $H_{T',\text{equi}}$ (äquivalenter Transmissionswärmeverlust bzw. Transmissionswärmetransferkoeffizient)

Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau der Nebenbedingung $H_{T'}$:
Höchstwerte des spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten bzw.
Transmissionswärmeverlusts

- Wohngebäude sowie Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$ und Fensterflächenanteilen $\leq 30\text{ %}$
$$H_{T'} = 0,25 + 0,10 / (A/V_e) \quad \text{in W/(m}^2\text{K)}$$
- Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$ und Fensterflächenanteilen $> 30\text{ %}$
$$H_{T'} = 0,25 + 0,17 / (A/V_e) \quad \text{in W/(m}^2\text{K)}$$
- Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von $12\text{ bis } < 19\text{ °C}$
$$H_{T'} = 0,39 + 0,15 / (A/V_e) \quad \text{in W/(m}^2\text{K)}$$

Die Anforderung an gering beheizte Gebäude wurde anhand des Verhältnisses der Heizgradstunden zu normal beheizten Gebäuden gebildet.

Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau der Nebenbedingung: $H_{T',\text{equi}}$:
Höchstwerte des spezifischen äquivalenten
Transmissionswärmetransferkoeffizienten bzw. Transmissionswärmeverlusts

Die neue Kenngröße $H_{T',\text{equi}}$ ist weiter oben definiert.

- Wohngebäude sowie Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$
$$H_{T',\text{equi}} = 0,43\text{ W/(m}^2\text{K)}$$
- Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von $12\text{ bis } < 19\text{ °C}$
$$H_{T',\text{equi}} = 0,67\text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Vorschlag für ein neues Anforderungsniveau der Nebenbedingung H_T' für Nichtwohnbau (basiert auf Bauteileinzelanforderungen): Höchstwerte des spezifischen Transmissionswärmetransferkoeffizienten als Funktion des Fensterflächenanteils

Die folgende Bestimmungsgleichung sollte bei Nichtwohngebäuden angesetzt werden, sofern das Bauteilverfahren zur Beschreibung des Wärmeschutzes in der Referenzausführung verwendet wird. Das Bauteilverfahren (vgl. Abschnitt 7.3.1) wird vom Autor für das Referenzgebäudeverfahren empfohlen.

- Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19\text{ °C}$

$$H_T' = f_{\text{win}} \cdot 1,45 + 0,26 \text{ in W/(m}^2\text{K) mit}$$

$H_T' \leq 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; Dieser Zusatz begrenzt H_T' bei extrem hohen, praktisch kaum realisierbaren, Fensterflächenanteilen f_{win} .

$$f_{\text{win}} = \text{Fensterfläche des Gebäudes} / \text{Gebäudehüllfläche}$$

- Nichtwohngebäude und Gebäudeteile mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19 °C

$$H_T' = f_{\text{win}} \cdot 2,42 + 0,47 \text{ in W/(m}^2\text{K) mit}$$

$H_T' \leq 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; Die Begrenzung von H_T' greift, wenn mit der Referenzbauteilausführung (gering beheiztes Gebäude) ein auf die Gebäudehüllfläche bezogener maximaler Fensterflächenanteil von 42 % überschritten wird.

$$f_{\text{win}} = \text{Fensterfläche des Gebäudes} / \text{Gebäudehüllfläche}$$

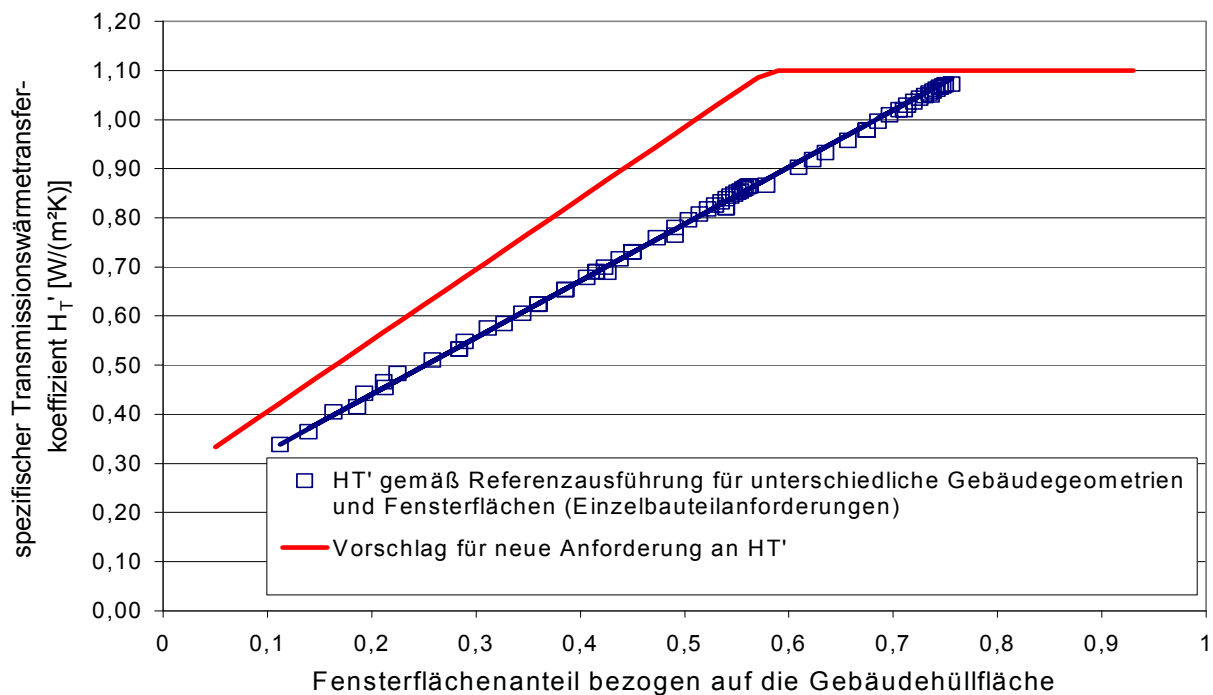


Abbildung 66: Nebenbedingung für Nichtwohngebäude mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $> 19^\circ\text{C}$. Diese Anforderung an H_T' sollte verwendet werden, wenn zur Beschreibung der Referenzausführung das Bauteilverfahren angesetzt wird.

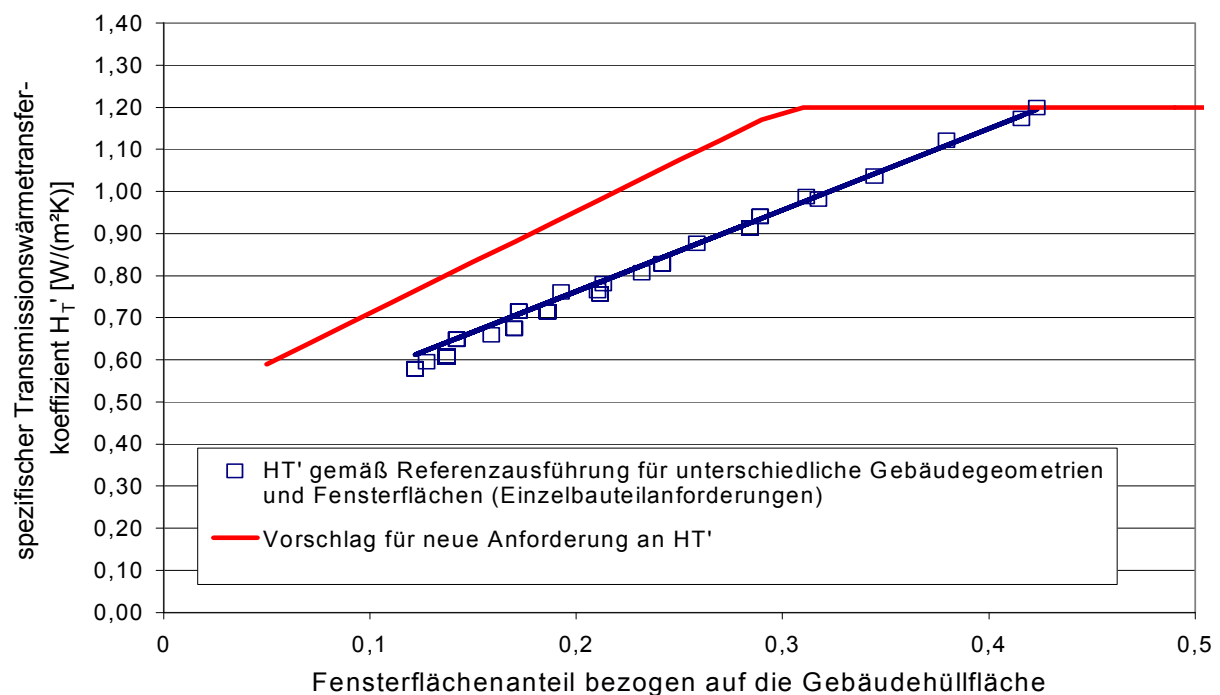


Abbildung 67: Nebenbedingung für Nichtwohngebäude mit Solltemperaturen im Heizfall von 12 bis 19°C . Diese Anforderung an H_T' sollte verwendet werden, wenn zur Beschreibung der Referenzausführung das Bauteilverfahren angesetzt wird.

Die vorgeschlagenen neuen Bestimmungsgleichungen führen auf eine durchschnittliche Verschärfung der Nebenbedingung im A/V_e -Wertebereich von $0,2$ bis $1,0\text{ m}^{-1}$ für Neubauten um 35% .

9 Kriterien für eine KfW-Förderung im Neubau

Anhand der untersuchten Modellgebäude wurden unterschiedliche Realisationsmöglichkeiten zur Erreichung eines weiterführenden förderungsfähigen Standards ermittelt, sowie die zugehörigen baulichen und anlagentechnischen Investitionen und die eingesparten Energiekosten. Es stellt sich heraus, dass das Niveau sich am Energiesparhaus 40 der KfW orientieren sollte. Dabei sollte die Rechenmethodik der [DIN V 18599] angewendet werden. Als Energiebezugsfläche wird gemäß [DIN V 18599] die Wohnfläche angesetzt. Aufgrund der abweichenden Rechenmethodik und des geänderten Flächenbezugs sind die so bestimmten Energiekennwerte deutlich höher als mit der Normenkombination [DIN 4701-10], [DIN 4108-6] ermittelt.

Bezogen auf die Rechenmethodik der [DIN V 18599] wird ein neues Förderniveau für Energiesparhäuser der KfW von

$$65 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{Wohnfläche a})$$

vorgeschlagen. Dann entspricht das Förderniveau in etwa der energetischen Qualität des Energiesparhaus 40. Ein Förderniveau entsprechend dem Energiesparhaus 60 der KfW kann entfallen, da die vorgeschlagenen neuen Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs der Energieeinsparverordnung für neu zu errichtende Wohngebäude bereits in diesem Bereich liegen. Abbildung 68 zeigt das vorgeschlagene neue Förderniveau im Vergleich zum empfohlenen Anforderungsniveau im Neubau.

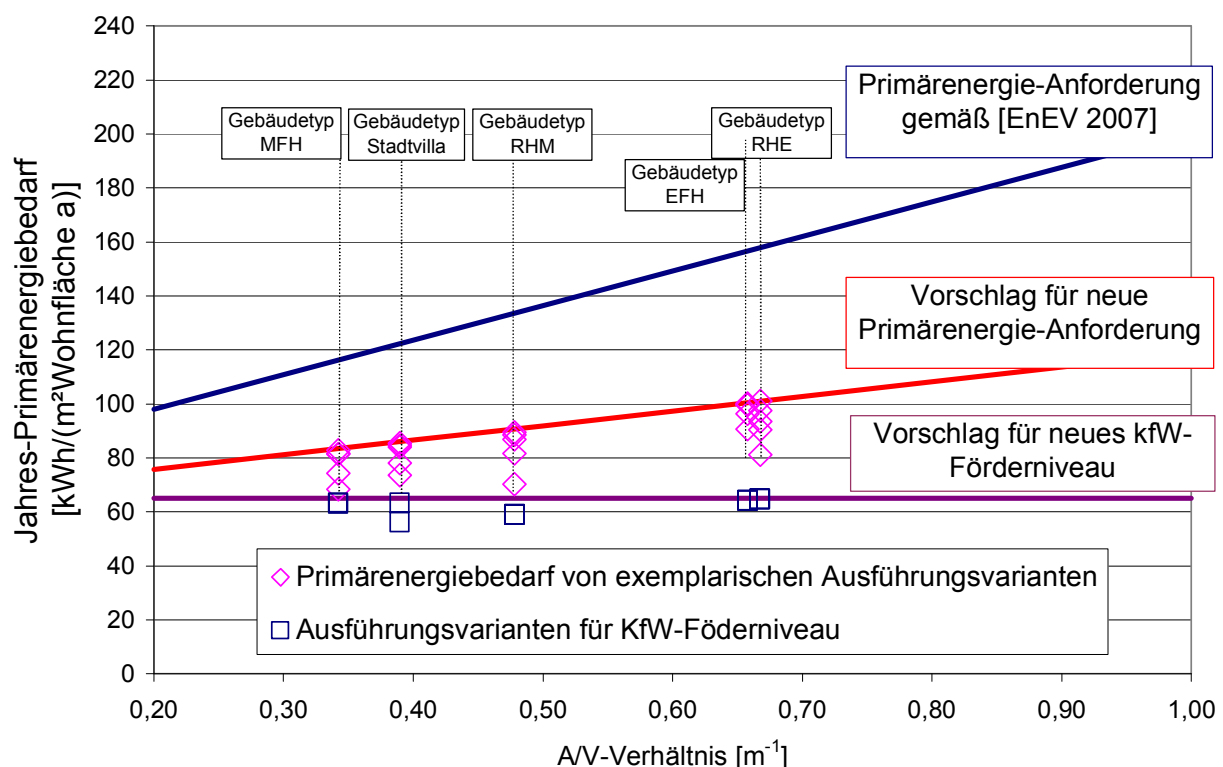


Abbildung 68: Vorschlag für ein neues Förderniveau der KfW-Bank. Primärenergiebedarfswerte der Ausführungsbeispiele wurden mit dem Rechenverfahren gemäß [DIN V 18599] bestimmt.

Bezogen auf die Nutzungsdauer sind diese weitergehenden Baustandards bei derzeitigen Energiepreisen nicht immer einzelwirtschaftlich rentabel. Die Differenz zu einem einzelwirtschaftlichen rentablen Betrieb wird als Grundlage für die Förderbedingungen herangezogen. Das vorgeschlagene neue Förderniveau ist andererseits mit angemessenen Maßnahmen erzielbar, so dass zugleich auch die Rentabilität aus Sicht der Volkswirtschaft gewährleistet bleibt.

Der Barwert der Förderung sollte etwa 30 €/m²Wohnfläche betragen. Für eine Wohneinheit mit 120 m² liegt der empfohlene Förderungsbarwert bei 3.600 €.

Neben finanzieller Förderung könnten auch spezielle Regelungen in den Bauordnungen Anreize für verbesserte Energiestandards schaffen. Beispielsweise werden in Südtirol lediglich 30 cm der Außenmauer zur urbanistischen Kubatur gerechnet, sofern der Energiestandard „Klimahaus A“ eingehalten wird (vgl. <http://www.klimahaus.info/>).

10 Kriterien für eine KfW-Förderung im Altbau

Im Abschnitt 1 wurde der privatwirtschaftliche Nutzen von Einzel-Maßnahmen betrachtet. Neben der jeweils wirtschaftlich optimalen Effizienz einer Maßnahme, wurde noch ein Standard mit verbesserter Effizienz bestimmt. Dieser Standard ist nahe an der Einzelwirtschaftlichkeit. Mit einer geringen Mehrbelastung wird eine weitere Verbesserung des Baustandards erzielt und die Abhängigkeit von der Energiepreisentwicklung wird nachhaltig verringert.

Es besteht nun die Möglichkeit, die geringe Mehrbelastung durch ein Förderprogramm auszugleichen und so Anreize zu weitergehenden Energiesparmaßnahmen zu bieten. Im Abschnitt 5.10 sind zu den Einzelmaßnahmen jeweils zwei Effizienzniveaus angegeben. Es wird empfohlen, das weiterführende Niveau z. B. für Förderprogramme der KfW aufzugreifen.

Für Bestandsgebäude bietet die KfW auch Förderungen an, sofern energetische Gesamtgebäudeanforderungen erfüllt werden. Nach Auffassung der Autoren, sollte mit einem solchen Förderniveau auch das wirtschaftlich erschließbare Energieeinsparpotential ausgeschöpft werden. Die Gesamtgebäude-Anforderungsniveaus sollten sich daher bei der anstehenden Verschärfungsstufe weiterhin am Neubau-Niveau der Energieeinsparverordnung orientieren. Das Neubau-Niveau minus 30% („EnEV minus 30%“) ist mit geeigneten Einsparmaßnahmen auch noch erreichbar. Neben der Primärenergie-Anforderung sollte, wie bisher, auch die Nebenanforderung an den Wärmeschutz eingehalten werden.

Bei der Umsetzung von energetisch anspruchsvollen Sanierungen gewinnt insbesondere die Qualitätssicherung an Bedeutung. Daher sollten Förderprogramme auch qualitätssichernde Maßnahmen entsprechend unterstützen; die derzeitigen Programme sollten ggf. noch bzgl. weiterer Maßnahmen überprüft werden.

11 Randbedingungen

Die Methodik der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde in Abschnitt 4 eingeführt. Die Rentabilität einer Energiesparmaßnahme wurde jeweils über einen **Kalkulationszeitraum** von **20** Jahren untersucht. Die angenommenen Lebensdauern der Komponenten sind teilweise höher, entsprechend wurde den Maßnahmen nach Ablauf des Betrachtungszeitraums noch ein Restwert zugeordnet (vgl. Abschnitt 4).

Zur Bewertung der Energiesparmaßnahmen wurden zu erwartende mittlere Lebensdauern angesetzt. Dies entspricht dem Ansatz bei Baumaßnahmen nachhaltige Lösungen anzustreben und jeweils den gesamten Lebenszyklus zu betrachten (vgl. [BMVBS 1]). Abweichend von [BMVBS 1] wurden für Wärmedämmstoffe längere Lebensdauern angesetzt. Untersuchungen an Flachdächern zeigen z.B., dass bei einer Erneuerung der Dachabdichtung die alte Wärmedämmung im Dachaufbau verbleiben kann. Dies gilt sogar, selbst wenn diese durchnässt ist (vgl. [Spilker 2003]). Eine zusätzliche Dämmlage kann bei dieser Maßnahme einfach auf die alte Dämmlage aufgelegt werden. Der übliche Erneuerungszyklus von Dachabdichtungen liegt im Bereich von 30 Jahren. Die Wärmedämmung kann aber im Dachaufbau verbleiben: die anzusetzende Lebensdauer der Wärmeschutz-Maßnahme ist also länger als die der Dachabdichtung.

Weitere Gutachten belegen zusätzlich, dass die Funktionstüchtigkeit von Dämm-Maßnahmen in der Praxis auch nach 18 bzw. 31 Jahren keine messbaren Änderungen aufweist (vgl. [Riechle 1984], [Wolf 1986]). Die 1986 nach 31 Jahren untersuchte Wärmedämmung in einem Flachdach ist inzwischen über 50 Jahre ohne Funktionseinschränkung im Dachaufbau. Für gebräuchliche Dämmstoffe werden in der Normung und bei europäisch technischen Zulassungen Lebensdauern von 50 Jahren angenommen (vgl. [EN ISO 10456], [EOTA], [Hamann 1999]). Entsprechend wird für reine Wärmeschutz-Maßnahmen eine Lebensdauer von 50 Jahren angesetzt, sofern am Bauteil anfallende Instandsetzungsarbeiten mit kürzeren Erneuerungszyklen die Wärmeschutz-Maßnahme nicht betreffen. Weitere Literaturangaben ([VDI 2067], [BMVBS 1]) wurden mit plausiblen eigenen Annahmen ergänzt. Die angesetzten Lebensdauern sind in Tabelle 88 zusammengefasst.

Tabelle 88: Lebensdauern von Komponenten

Wärmeschutz-Maßnahmen	[Jahre]
Wärmedämmung-Dach	50
Wärmedämmung-Außenwand	50
Wärmedämmung oberste Geschossdecke	50
Wärmedämmung-Kellerdecke	50
Innendämmung	50
Fenster: Verglasung	30
Fenster: Rahmen	40
Anlagentechnik	
Lüftungszentralgerät	25
Kanalnetz	50
Wärmeerzeuger, Wärmepumpe	20
TWW-Speicher, Pufferspeicher	20
Solarkollektor	20
Erdsonde	40
Öltank, Pellets-Tank	30
Wärmeverteilnetz / Wärmeübergabe (Heizkörper, etc.)	30
Wärmedämmung Verteilleitung	30
Gasanschluss	50
Abgasanlage	50
Leuchten & Vorschaltgeräte	20

Dem angesetzten Zinssatz liegen die folgenden Annahmen zugrunde (vgl. Tabelle 89).

Tabelle 89: Annahmen zum Zinssatz

Inflationsrate	1,7 %
Nominalzins	5,03 %
Realzins	3,27 %

Die Energiepreise sind real inkl. aller Steuern und Abgaben angesetzt. Diese beinhalten nur die variablen Preisanteile, die Grundpreise gehen in die Entscheidung zu einer Energiesparmaßnahme nicht ein, da sie „sowieso“ bezahlt werden. Bei den Gesamtmaßnahmen an Gebäudemodellen werden die Grundpreise (z. B. bei einem Erdgas-Anschluss) als Betriebskosten angesetzt.

Zur Vereinfachung wurde mit einem mittleren Endenergiepreis für Öl und Gas gerechnet (die Abschätzung der künftigen Entwicklung ist weit unsicherer als der Unterschied zwischen den Energieträgern heute). Eine Parallelberechnung aller Baudaten mit verschiedenen Werten für Öl und Gas ist auch deshalb nicht sinnvoll,

weil eine Umstellung im konkreten Projekt leicht möglich ist. Der Energiepreis für Gas / Öl ist auf den Brennwert bezogen angegeben. Entsprechend haben die Endenergieangaben bei Wärmeerzeugern auf Basis von Gas oder Öl auch Brennwertbezug.

Bei den Holzpellets wurde die Annahme verwendet, dass die absolute Preissteigerung des Pelletpreises dem von Öl/Gas entspricht. Diese Steigerung ist nicht durch Kostensteigerungen bei der Produktion bestimmt, sondern im Grunde ein "windfall-"profit. Dass die Märkte etwa so reagieren, zeigen die Preisentwicklungen der letzten beiden Jahre.

Die Energiepreisannahmen dieser Studie wurden anhand von Schätzungen zur Energiepreisentwicklung unabhängiger Institute abgeglichen und mit dem BMWi abgestimmt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde der Hilfsstrombedarf bei der Untersuchung der Wärmeschutz-Einzelmaßnahmen (vgl. Abschnitt 1) soweit sinnvoll pauschal angesetzt. Dabei wird die elektrische Hilfsenergie mit 2% des Wärmebedarfs berücksichtigt und die Hilfsstromkosten werden dem mittleren Endenergiepreis Öl/Gas zugeschlagen. Dies ist beim Energiekostenansatz mit „mittlere Energiekosten inkl. Hilfsstromanteil (Gas/Öl)“ vermerkt.

Tabelle 90: Annahmen zum Energiepreis

	heutige Energiekosten	Mittlere Energiekosten, Mittel 2006-2026
	Cent/kWh	Cent/kWh
Öl/Gas	5,50	6,59
Öl/Gas inkl. Hilfsenergieanteil		6,8
Holzpellets	3,60	4,69
Strom, Privathaushalte	17,00	18,00
Strom, Gewerbe	17,00	18,00
Strom, Wärmepumpen	14,00	15,00

Die Investitionskosten basieren, sofern bei den Einzeluntersuchungen nicht näher ausgeführt, auf vom Autor ausgewerteten Daten aus abgerechneten Bauvorhaben. Kostenstand ist das Jahr 2006. Die Kostenansätze enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer.

Teil 2: Überprüfung und Ergänzung von Rechenregeln zur energetisch ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden mit besonders niedrigem Energiebedarf. Basis sind die Rechenregeln

12 Vergleich mit bereits durchgeführten Feldmessungen

Zur Überprüfung des technischen Regelwerkes bei hocheffizienten Gebäuden wurde ein Vergleich mit Verbrauchswerten aus Feldmessungen durchgeführt. Die durchschnittlichen Verbrauchswerte sollten dabei mit den Rechenergebnissen des entsprechend kalibrierten Regelwerkes vereinbar sein.

12.1 Validierung an Hand von Messergebnissen aus gebauten Passivhaus-Siedlungen als Feldversuche

Die überzeugendste Überprüfung von Rechenmethoden ist nach wie vor durch eine sorgfältige messtechnische Validierung in praktisch realisierten Objekten gegeben. Diese Methode ist letztendlich das einzig unbestreitbar stichhaltige Überprüfungsverfahren. Dieses Verfahren erweist sich aber nach den vorliegenden Ergebnissen als sehr aufwändig, weil die allgemein vorhandenen großen Streuungen beim Nutzerverhalten regelmäßig weit größeren Einfluss entfalten als die jeweils eigentlich zu untersuchenden Fragestellungen [Dipper 2001][Bach 1988], [Fichtner 1993]. Das entbindet aber dennoch nicht von der Verpflichtung, methodisch auf anderem Weg, nämlich auf der Basis theoretisch abgesicherter Verfahren, erzielte Erkenntnisse an entscheidenden Stellen doch wieder durch Feldversuche zu überprüfen.

Genau diese Überprüfungsfunktion für die theoretischen Methoden kommt dem Feldversuch zu; eine messtechnische Überprüfung der Nutzungseigenschaften einzelner Komponenten (wie z. B. bestimmter Regeleinrichtungen) überfordert dagegen den Feldversuch vor allem aus ökonomischen Gründen – für jede Variante müssten entsprechend der Nutzerstatistik eine Mindestanzahl $n_{\min}$ von ansonsten baugleichen Objekten untersucht werden. Bei einer gewünschten Fehlergrenze von 10 % läge $n_{\min}$ bei mehr als 20 Einheiten. Die Ursache hierfür liegt in der notwendigerweise sehr großen Streuung auf Grund der nutzungsbedingten Einflüsse (z. B. Raumtemperaturniveau, Lüftungsverhalten, Einflüsse des Nachbarn), wie es die im folgenden dargestellten Ergebnisse noch präzisieren werden.

12.2 Überprüfung durch Feldmessungen

12.2.1 Separation der systematischen von den zufälligen Einflüssen

Die Datenlage ist heute (2007) dadurch erheblich verbessert, dass statistisch gesicherte gemessene Verbrauchsdaten aus mehreren Siedlungen mit einer ausreichend hohen Zahl von baugleichen Gebäuden und gleicher Gebäudetechnik vorliegen. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus diesen Feldmessungen vergleichend dargestellt. Auch in Bezug auf die Analysewerkzeuge gibt es Fortschritte und neue Erkenntnisse. In [Schnieders/Feist 2001] wurden die Verteilungen der mit Wärmezählern gemessenen Verbrauchswerte von drei Bauprojekten im ersten Betriebswinter untersucht. Mittels Chi-Quadrat-Test und Kolmogoroff-Smirnov-Test wurde in dieser Untersuchung gezeigt, dass die Hypothese "die gemessenen Verbrauchswerte sind normalverteilt" mit der gemessenen Verteilung verträglich ist. Die zu den Messwertreihen mit Mittelwert μ und Streuung σ gebildete Normalverteilung mit der Dichtefunktion

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

stellt regelmäßig eine gute Approximation an die Messwerte x_i dar; dabei werden als Schätzwerte aus den Messwerten der Mittelwert

$$\mu = \sum x_i / n$$

und das Quadrat der Streuung (Varianz)

$$\sigma^2 = 1/(n-1) \sum (x_i - \mu)^2$$

gebildet. Die statistische Analyse erlaubt es, die systematischen Einflüsse (Qualität der Bausubstanz, insbesondere Dämmstandard und Qualität der Anlagentechnik) von den zufälligen Einflüssen (insbesondere Nutzerverhalten) zu separieren:

- Die Mittelwerte μ werden von den zufälligen Einflüssen (vor allem des Nutzerverhaltens) umso weniger abhängig, je größer die zugrunde liegende Gesamtheit ist. Die Streuung des Mittelwertes ist, setzt man die Hypothese einer Normalverteilung voraus, durch $\sigma n^{-1/2}$ gegeben. Damit reduziert sich der zufällige Fehler bei Feldmessungen mit der Wurzel aus der Zahl der gemessenen Objekte.
- Die Streuung σ ist ein Maß für die zufälligen Einflüsse auf die Werte der Einzelmessungen; auch σ lässt sich in einer größeren gemessenen Gesamtheit genauer bestimmen. In [Feist 2004] wurde die These belegt, dass die Streuung σ der Wärmezählermessungen des Heizwärmeverbrauches bei Niedrigenergie- und Passivhäusern in guter Näherung durch

$$\sigma = 17 \% \cdot (Q_T + Q_V)$$

gegeben ist.

- Dabei sind Q_T der (rechnerische) Jahrestransmissionswärmeverlust, Q_V der (rechnerische) Jahreslüftungswärmeverlust, wobei die durch Wärmerückgewinnung zurück gewonnene Wärme bei Q_V bereits abgezogen ist. Statt der absoluten Werte können auch auf eine Energiebezugsfläche A_{Bezug} bezogene Werte verwendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die gleiche Bezugsfläche verwendet wird, die auch zur Bestimmung der spezifischen individuellen Messwerte der Wärmezählermessung verwendet wurde. Im Folgenden wird grundsätzlich auf die **beheizte Wohnfläche** (berechnet nach II. Berechnungsverordnung) bezogen.

Danach ist die Streuung der individuellen Werte proportional zu den Wärmeverlusten einer Gebäudegesamtheit mit gleichem baulichen und anlagentechnischen Standard. Die absolute Höhe der Streuung nimmt daher mit besser werdendem Dämmstandard proportional ab. Weil der Heizwärmebedarf (und bei korrektem Rechengang auch der Heizwärmeverbrauch) wegen der verfügbaren freien Wärme stärker abnimmt, nimmt die Streuung relativ zum Heizwärmebedarf bei besser werdendem Dämmstandard (geringfügig) zu.

12.3 Vergleichsgesamtheit I: Belgiersiedlung in Kassel

Abbildung 70 zeigt die aufsteigend geordneten Jahresheizwärmemesswerte dieser Häuser (individuelle Daten aus [AKKP 09]). Die Grafik zeigt, dass die Approximation der Messwerte durch eine Normalverteilung in diesem Fall überzeugend ausfällt. Der Mittelwert ergibt sich zu $\mu = 158,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (mittlerer Verbrauch), die Streuung zu $\sigma = 39,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (nutzungsbedingte Abweichungen). Der aus 98 Wohnungen bestimmte Verbrauchsmittelwert ist mit einem zufälligen Fehler (Standardabweichung) von $39,2 / 98^{1/2} \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 4,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bestimmbar. Für die Reihenhäuser der Belgiersiedlung beträgt der statistische Fehler der Messung des Energieverbrauches damit etwa 2,5 % des Mittelwertes.



Abbildung 69: Foto - Belgiersiedlung in Kassel

Für die Altbauten der Belgiersiedlung liegt keine Aufnahme der baulichen und anlagentechnischen Daten vor. Daher gibt es bisher auch keine rechnerische Energiebilanz, so dass ein Vergleich zwischen Mess- und Rechenwerten hier leider nicht möglich ist. Dennoch sind die Messwerte als Vergleichsbasis verwendbar und für die Einstufung der weiteren Ergebnisse hilfreich.

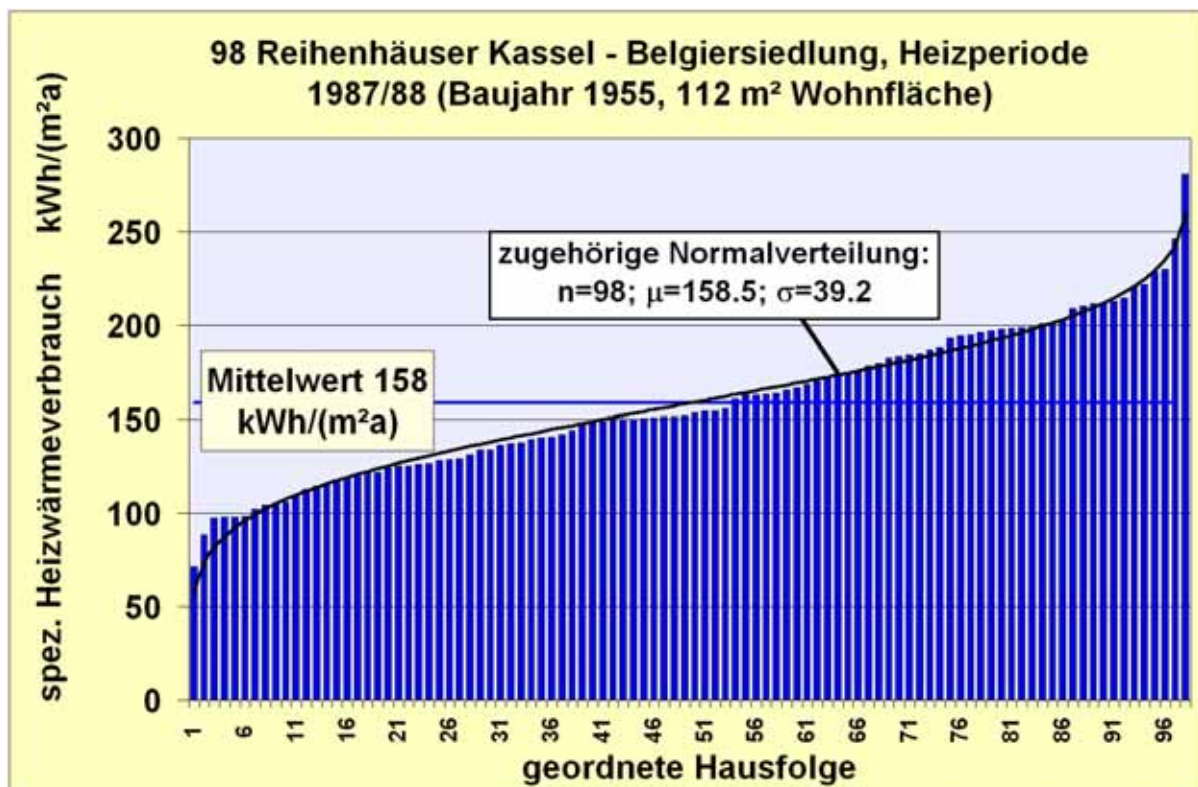


Abbildung 70: Individuelle Heizwärmeverbrauchswerte von 98 Altbau-Reihenhäusern der Belgiersiedlung in Kassel und zugehörige Normalverteilung.

12.4 Vergleichsgesamtheit II: Niedrigenergiehaussiedlung "Distelweg" in Niedernhausen

Es handelt sich um die erste deutsche Niedrigenergiehaussiedlung im Hessischen Niedernhausen (Baujahr 1991/92, Architekten Gitter/Hamacher, Brackrock und Baufrösche, Koordination Rasch&Partner). Die Siedlung wird in [Loga 1997] eingehend beschrieben; aus dieser Publikation wurden auch die analysierten Verbrauchswerte des Jahres 1994 entnommen.



Abbildung 71: Luftbild der Niedrigenergiehaus-Siedlung in Niedernhausen (aus [Loga 1997])

In Abbildung 72 sind die Wärmehöhenmesswerte des Jahres 1994 für die Heizwärme dieser Niedrigenergiehäuser dokumentiert; zwei Ausreißer fallen deutlich aus der Verteilung heraus. Bei diesen Objekten liegen besondere, systematische Gründe für die erhöhten Wärmeverbrauchswerte vor: In einem Fall wird der (wenig gedämmte) Keller zusätzlich beheizt, im anderen Fall gibt es eine entscheidende Abweichung bei der technischen Ausstattung. Die Grafik zeigt, dass die Approximation der Messwerte

(ohne die Ausreißer) durch eine Normalverteilung gut zutrifft. Der Mittelwert ergibt sich für die Niedrigenergiehäuser zu $\mu = 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (mittlerer Verbrauch), die Streuung zu $\sigma = 13,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (nutzungsbedingte Abweichungen). Der aus 41 Wohnungen bestimmte Verbrauchsmittelwert ist mit einem zufälligen Fehler (Standardabweichung) von $13,6 / 41^{1/2} \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 2,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bestimmbar. Für die Niedrigenergie-Reihenhäuser beträgt der statistische Fehler der Messung des Energieverbrauches damit etwa 3,2 % des Mittelwertes, die Streuung der individuellen Messwerte liegt dagegen bei etwa 21 % des Mittelwertes.

Für die Siedlung in Niedernhausen liegt eine genaue thermische Analyse der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik vor. In [Loga 1997] wurde die Energiebilanz nach dem "Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung" [Ebel 1990] berechnet und der Jahresheizwärmebedarf zu $68 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bestimmt. Der Mittelwert der Messungen liegt um etwa 4 % unter dem berechneten Bedarf; diese Abweichung liegt innerhalb der Rechen- und Messgenauigkeit – Die Verbrauchswerte sind somit bei diesem Projekt ganz im Gegensatz zur Überschrift des Artikels nicht höher als die korrekt bestimmten Rechenwerte.

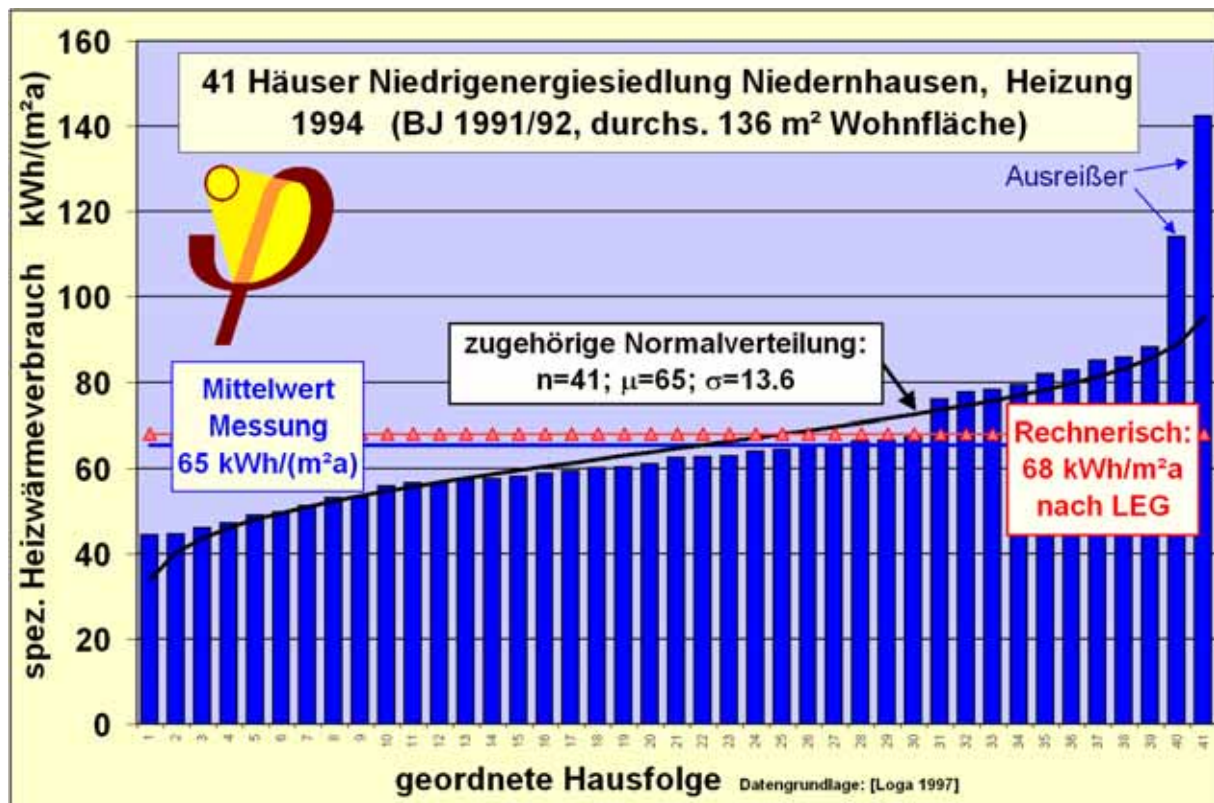


Abbildung 72: Individuelle Heizwärmeverbrauchswerte von 41 Niedrigenergie-Reihenhäusern der Siedlung in Niedernhausen (inkl. zweier Ausreißer) und die zugehörige Normalverteilung im Vergleich zum rechnerischen Wert nach [EN 832].

Der rechnerische Wärmeverlust der Niedrigenergie-Reihenhäuser in Niedernhausen liegt bei

$$(Q_T + Q_V) / A_{\text{Bezug}} = 90 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}.$$

Damit gilt für die darauf bezogene Streuung der Einzelmesswerte

$$\sigma A_{\text{Bezug}} / (Q_T + Q_V) = 13,6 / 90 = 15,1 \text{ \%}.$$

12.5 Passivhaussiedlung "Lummerlund" in Wiesbaden/Dotzheim

Bei diesem Projekt handelt es sich um die erste deutsche Passivhaussiedlung (Baujahr 1997, Bauträger Rasch&Partner). Diese Siedlung wurde im Rahmen der ersten Phase des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser durch das Passivhaus Institut wissenschaftlich begleitet. Im Auftrag von Rasch&Partner wurde 1997 eine Qualitätssicherung inkl. Drucktest und Thermographie durchgeführt, die zugehörige Publikation enthält auch wesentliche Teile der baulichen Dokumentation [Schnieders/Such 1998]. Die in diesem Abschnitt verwendeten Daten sind den Publikationen [Ebel 2003] [Feist/Loga/Großklos 2000] entnommen.



Abbildung 73: Eine Gebäudezeile der Passivhaussiedlung Wiesbaden

In Abbildung 74 sind die Wärmezählermesswerte der Heizperiode 1998/99 für die Passivhaussiedlung Wiesbaden dokumentiert (Heizung). Auch in diesem Fall ist eine Approximation der Messwerte durch eine Normalverteilung möglich. Der Mittelwert ergibt für die Passivhäuser $\mu = 13,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (mittlerer Verbrauch), die Streuung beträgt $\sigma = 5,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ (nutzungsbedingte Abweichungen). Der aus 22 Wohnungen bestimmte Verbrauchsmittelwert ist mit einem zufälligen Fehler (Standardabweichung) von $5,3 / 22^{1/2} \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 1,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ versehen. Für die

Passivhaussiedlung Wiesbaden beträgt der statistische Fehler der Messung des Energieverbrauches damit etwa 8,2 % des Mittelwertes, die Streuung der individuellen Messwerte liegt dagegen bei etwa 40 % des Mittelwertes.

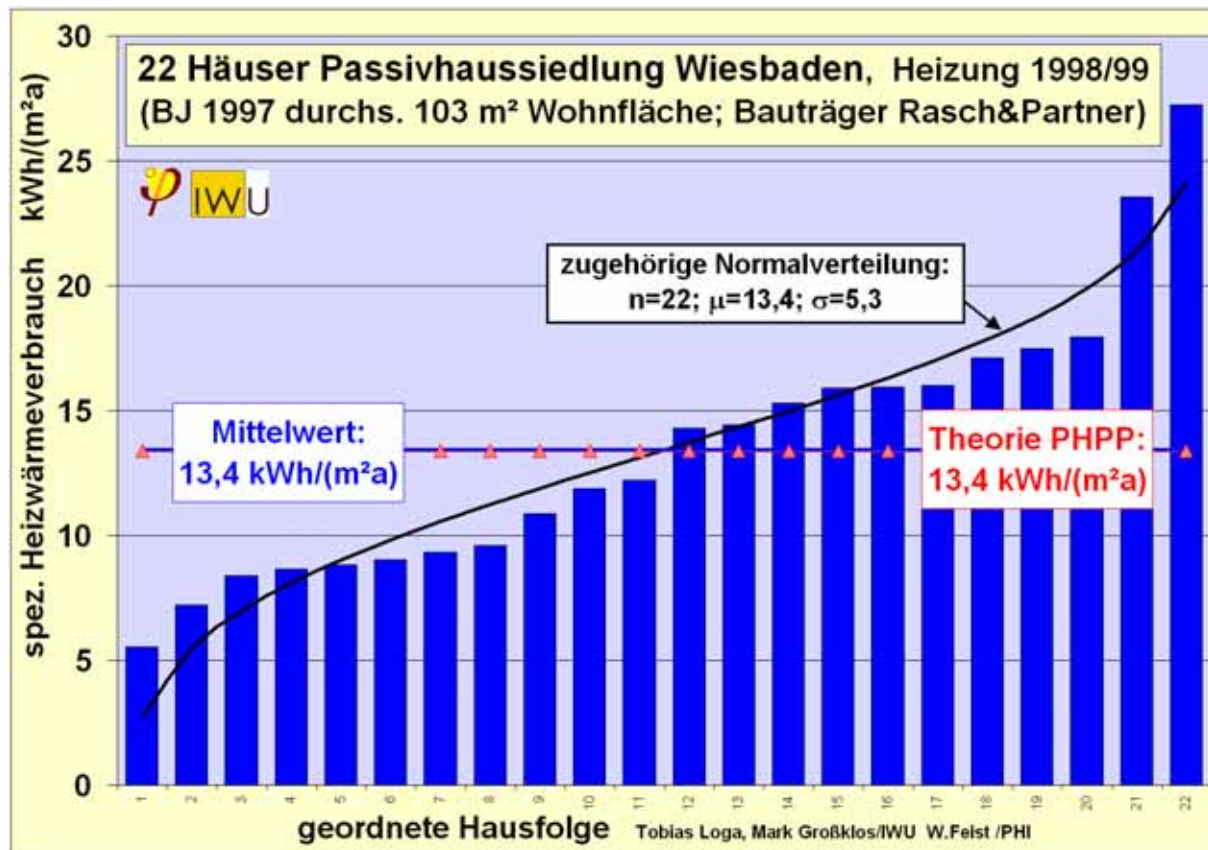


Abbildung 74: Individuelle Heizwärmeverbrauchswerte der 22 Passivreihenhäuser der Siedlung in Wiesbaden, die zugehörige Normalverteilung und der Rechenwert im Vergleich.

Für die Siedlung in Wiesbaden gibt es eine detaillierte Datenaufnahme und individuelle gerechnete Energie-Bilanzen der Einzelhäuser [Feist 2001]. Der Jahresheizwärmebedarf wurde im Mittel über alle 22 Häuser auf 13,4 kWh/(m²a) bestimmt. Dieser Mittelwert der Messungen liegt (zufällig für dieses Betriebsjahr) sehr genau beim berechneten Bedarf: auch hier gibt es keine Überschreitung der Rechenwerte.

Der rechnerische Wärmeverlust der 22 Passivhäuser liegt bei

$$(Q_T + Q_V) / A_{\text{Bezug}} = 38 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}.$$

Damit gilt für die darauf bezogene Streuung der Einzelmesswerte

$$\sigma A_{\text{Bezug}} / (Q_T + Q_V) = 5,3 / 38 = 14,1 \text{ \%}.$$

12.6 Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg

Die Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg besteht aus 32 in den entscheidenden Baukomponenten und der Gebäudetechnik baugleichen Passiv-Reihenhäusern in Mischbauweise.



Abbildung 75: Eine von vier Reihenhausszeilen der Passivhaus-siedlung in Hannover

Die Siedlung wurde 1998/99 errichtet; alle Einzelhäuser sind (mit [PHPP]) projektiert und vom Passivhaus Institut zertifiziert worden. Es handelt sich um die erste Passivhaussiedlung, in welcher ein kostensparendes Konzept der Beheizung allein über die Zuluft realisiert wurde - Heizkörper gibt es in dieser Siedlung nur in den Bädern. Heizwärme und Warmwasser werden über eine Fernwärmeversorgung bereitgestellt; die Verteilung erfolgt in einer im Dachboden innerhalb der thermischen Hülle verlegten Fernwärmeleitung. Im Rahmen von CEPHEUS [Schnieders/Feist 2001] wurde eine Qualitätssicherung für diese Siedlung durchgeführt. Die baulichen und

anlagentechnischen Details der Siedlung sind in [Feist/Peper 2001] bis ins Detail dokumentiert. Angaben zur Gebäudehülle, dem Wärmebedarf und zur Gebäudetechnik beziehen sich auf diese Publikation.

Diese Siedlung wurde innerhalb des Projektes CEPHEUS 2001 mit Mitteln der Stadtwerke Hannover und Förderung durch das EU-Thermie Programm mit einer zentralen Messdatenerfassung ausgestattet und systematisch in Bezug auf thermische Behaglichkeit, Performance der Haustechnik und gemessene Energiebilanz ausgewertet.

Die Energieverbrauchswerte wurden über insgesamt drei Messjahre kontinuierlich aufgezeichnet [Peper/Feist 2001] [Peper/Feist 2002]. Die mit Wärmezählern gemessenen Verbrauchsmittelwerte aller bewohnten Passivhäuser der Siedlung sind

1. Heizperiode 1999/2000: 14,9 kWh/(m²a)
2. Heizperiode 2000/2001: 13,3 kWh/(m²a)
3. Heizperiode 2001/2002: 12,8 kWh/(m²a).

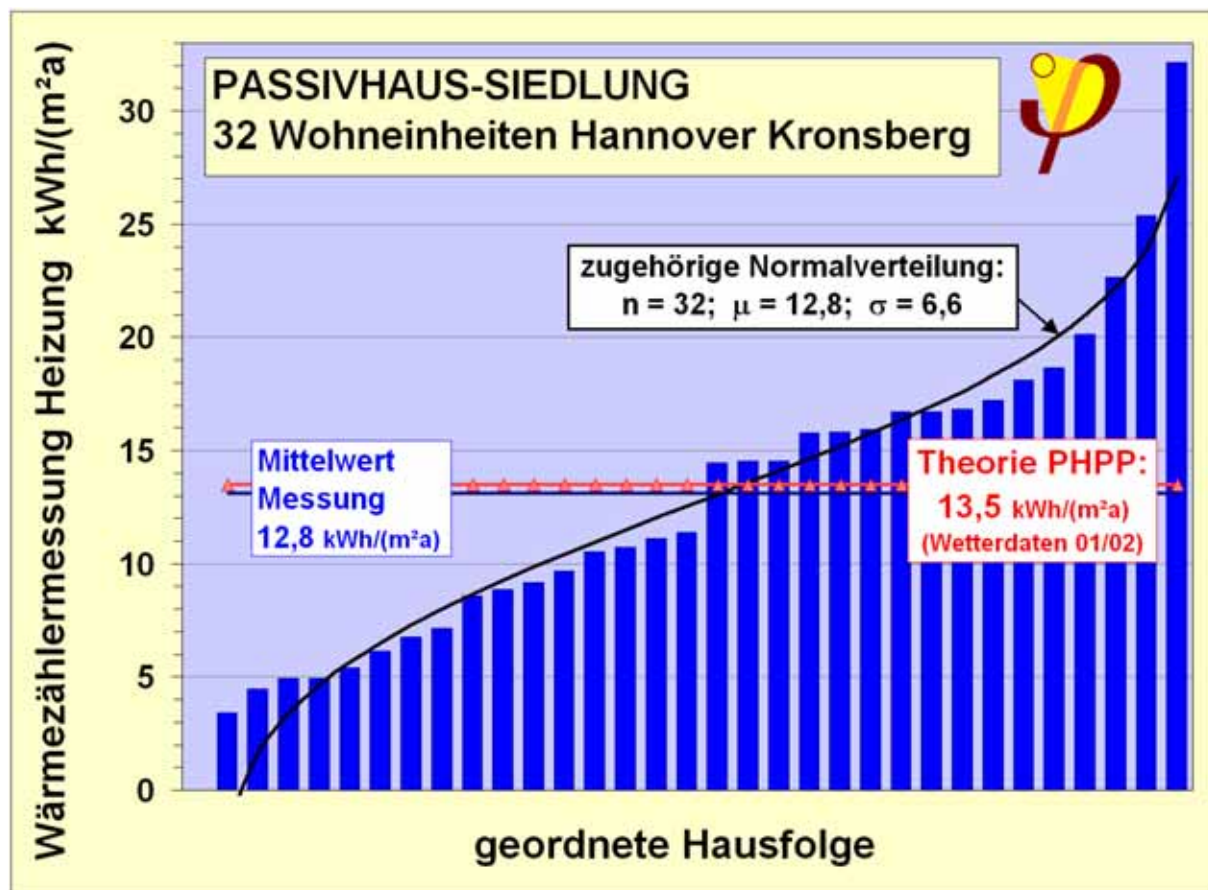


Abbildung 76: Statistik der Einzelmessungen (Wärmezähler Heizung) in den 32 Passivhäusern der Siedlung Hannover-Kronsberg in der 3. Heizperiode 2001/2002, zugehörige Normalverteilung und mit EN 832 bestimmter Rechenwert unter Verwendung der gemessenen Wetterdaten 2001/2002.

Die folgenden Analysen stützen sich auf die Ergebnisse der 3. Heizperiode; zu dieser wurde in [Peper/Feist 2002] eine Auswertung auch bzgl. der individuellen Verbrauchswerte und der Ursachen der nutzungsbedingten Streuung durchgeführt. Danach beträgt der mit dem Monatsverfahren nach Europäischer Norm [EN 832] berechnete mittlere Jahresheizwärmebedarf 2001/2002 unter Berücksichtigung der individuell gemessenen Innentemperaturen und auch der Querwärmeströme zwischen den Häusern 13,5 kWh/(m²a). Die mittlere quadratische Abweichung zwischen den individuell berechneten Einzelbedarfswerten und der gemessenen Statistik beträgt $\pm 3,6$ kWh/(m²a), das Bestimmtheitsmaß zwischen Einzelmessungen und Einzelberechnungen wurde zu $r^2 = 75$ % ermittelt.

Abbildung 76 zeigt die Wärmezählermesswerte der Heizperiode 2001/2002 dieser Passivhaussiedlung. Die Approximation der Messwerte durch eine Normalverteilung ist durch die Kurve ohne Symbole dargestellt. Der Mittelwert ergibt sich zu $\mu = 12,8$ kWh/(m²a), die Streuung beträgt $\sigma = 6,6$ kWh/(m²a). Der aus 32 Wohnungen bestimmte Verbrauchsmittelwert ist mit einem zufälligen Fehler (Standardabweichung) von $6,6 / 32^{1/2}$ kWh/(m²a) = 1,2 kWh/(m²a) versehen. Für die Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg beträgt der statistische Fehler der Messung des Energieverbrauches damit etwa 9,4 % des Mittelwertes, die Streuung der individuellen Messwerte liegt dagegen bei etwa 51 % des Mittelwertes.

Für Hannover-Kronsberg gibt es individuelle gerechnete Bilanzen aller Einzelhäuser [Peper/Feist 2002]. Der Jahresheizwärmebedarf wurde für den Wetterdatensatz des Jahres 2001/2002 im Mittel über alle 32 Häuser zu 13,5 kWh/(m²a) bestimmt. Der Mittelwert der Messungen liegt um 0,7 kWh/(m²a) oder etwa 5 % unter dem berechneten Bedarf.

Der rechnerische Wärmeverlust der 32 Passivhäuser liegt bei

$$(Q_T + Q_V) / A_{\text{Bezug}} = 35,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}).$$

Damit gilt für die darauf bezogene Streuung der Einzelmesswerte

$$\sigma A_{\text{Bezug}} / (Q_T + Q_V) = 6,6 / 35,1 = 18,8 \text{ \%}.$$

Bei der Wärmezählermessung des Verbrauches für Heizung wird ein evtl. vorhandener Wärmeübergabeverlust *mitgemessen*. Das bedeutet, dass in den Messwerten nach dem Diagramm evtl. Verluste der Wärmeübergabe bereits enthalten sind.

An Hand der Messungen, Energiebilanzrechnungen und der Fehlerbertrachtung zur Passivhaussiedlung in Hannover Kronsberg kann damit der folgende Schluss gezogen werden:

Für zusätzliche Wärmeverluste, die nicht in der Heizwärmebilanz nach EN 832 enthalten sind, besteht nach den Wärmezählermessungen im Heizungsstrang der Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg nur im Rahmen der Fehlerrechnung ein Spielraum in einer Größenordnung von maximal $\pm 2,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Ein Ansatz von "0" für die Summe aller solchen zusätzlichen Wärmeverluste ist mit den Messergebnissen am besten verträglich.

12.7 Passivhaussiedlung Stuttgart Feuerbach

Die Passivhaussiedlung Stuttgart Feuerbach ("Schelmenäcker Weg") mit insgesamt 52 Reihen- und Doppelhäusern wurde im Jahr 2000 vom Architekturbüro Rudolf fertiggestellt. Die massivgebauten Reihenhäuser haben eine durchschnittliche Wohnfläche von 121 m² und sind in den wesentlichen Parametern (U-Werte, Verglasungstypen, Gebäudetechnik) baugleich.



Abbildung 77: Passivhaus-Siedlung Stuttgart Feuerbach (Architekturbüro Rudolf)

Für die gesamte Siedlung wurde vom Ingenieurbüro ebök jedes Einzelhaus individuell mit PHPP gemäß [EN 832] berechnet; es ergab sich ein durchschnittlicher Jahresheizwärmebedarf von 13,5 kWh/(m²a) (bezogen auf die Wohnfläche). Die baulichen Details ähneln denen der Passivhäuser des gleichen Architekten in Viernheim, die in [AkkP 21] detailliert dokumentiert sind. Die Haustechnik (Frischluftheizung mit Wärmepumpenkompacktaggregat) wurde ebenfalls von ebök geplant. Die hier zu Grunde

gelegten Berechnungen wurden im Jahr 2000 durch das Passivhaus Institut geprüft, die Häuser wurden als qualitätsgeprüfte Passivhäuser zertifiziert.

Die Siedlung wurde mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) innerhalb des Forschungsvorhabens "Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach" wissenschaftlich vom Fraunhofer- ibp ausgewertet [Reiß/Erhorn 2003].

Die Statistik der Heizwärmeverbrauchswerte nach den dort publizierten Daten sind in Abbildung 78 in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Es ergibt sich im Mittel ein Jahresheizwärmeverbrauch aller 52 Häuser von 14,3 kWh/(m²a). Die deutlich erkennbare Abweichung der größten fünf Messwerte in Abbildung 78 gegenüber einer Standardverteilung weisen auf spezifische Ursachen bei den fünf betroffenen Häusern hin. Diese Ausreißer wurden für die statistische Untersuchung korrigiert. Die Approximation der Messwerte durch eine Normalverteilung ist durch die Kurve ohne Symbole dargestellt. Der um die Ausreißer korrigierte Mittelwert ergibt sich zu $\mu = 12,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, die Streuung beträgt $\sigma = 5,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der aus 52 Wohnungen bestimmte Verbrauchsmittelwert ist mit einem zufälligen Fehler (Standardabweichung) von $5,5 / 52^{1/2} \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 0,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ versehen. Für die Passivhaussiedlung Stuttgart-Feuerbach beträgt der statistische Fehler der Messung des Energieverbrauches damit etwa 6,3 % des Mittelwertes, die Streuung der individuellen Messwerte liegt dagegen bei etwa 43 % des Mittelwertes.

Der Mittelwert der Messungen liegt unkorrigiert um 0,8 kWh/(m²a) über, um die Ausreißer korrigiert aber um 0,7 kWh/(m²a) unter dem mit PHPP im voraus berechneten und zertifizierten Bedarf [ebök 2000]. Auch hier passen rechnerischer Heizwärmebedarf nach dem Passivhaus Projektierungspaket und gemessene Wärmeabgabe der Kompaktgeräte zuzüglich der Direktheizung sehr gut zusammen.

Der rechnerische spezifische Wärmeverlust der 52 Passivhäuser liegt bei

$$(Q_T + Q_V) / A_{\text{Bezug}} = 37 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}).$$

Damit gilt für die darauf bezogene Streuung der Einzelmesswerte

$$\sigma A_{\text{Bezug}} / (Q_T + Q_V) = 5,5 / 37 = 14,9 \, \%.$$

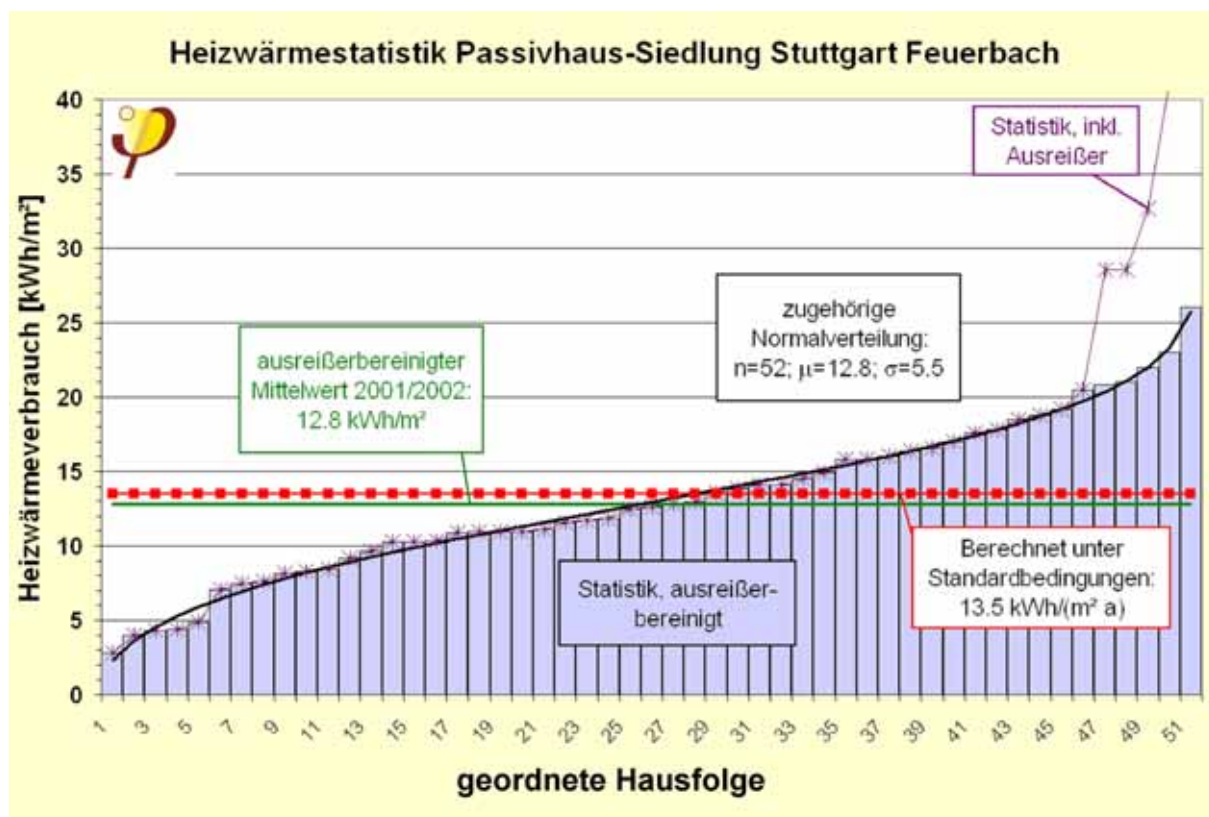


Abbildung 78: Statistik der gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte in 52 Häusern der Passivhaus-siedlung Stuttgart Feuerbach [Reiß/Erhorn 2003] (*-Symbol). Die Säulengrafik wurde um die fünf Ausreißer korrigiert [Feist 2004]. Die durchgezogene Linie kennzeichnet die zugehörige Normalverteilung.

Auch bei dieser Siedlung wird bei der Messung des Verbrauches für die Heizung ein evtl. vorhandener Wärmeübergabeverlust *mitgemessen*. Das bedeutet, dass in den Messwerten nach Abbildung 78 evtl. Verluste der Wärmeübergabe bereits enthalten sind.

12.8 Übersicht zu den Verbrauchsstatistiken: BESTAND, NEH und PASSIVHÄUSER im Vergleich

In Abbildung 79 ist der Vergleich der zuvor einzeln behandelten Verbrauchsstatistiken für Gruppen jeweils baugleicher Reiheneinheiten dargestellt:

- links die 98 Altbauten der Belgiersiedlung mit durchschnittlich 158 kWh/(m²a);
- in der Mitte 41 Niedrigenergiehäuser Niedernhausen, Durchschnitt 66 kWh/(m²a);
- rechts die drei Passivhaussiedlungen (zusammen 106 WE) mit 13 kWh/(m²a).

Die Einsparung im Heizwärmeverbrauch (inkl. evtl. Wärmeübergabeverluste) vom Altbau zum Passivhaus beträgt daher mehr als 90 %; diese Einsparung ist statistisch gesichert (89 % < Einsparung < 94 %). Die erzielten Heizwärmeeinsparungen entsprechen den Erwartungen nach den Berechnungen mit PHPP oder übertreffen diese sogar geringfügig. Zusätzliche sog. „Wärmeübergabeverluste“ oder „Fensterlüftungsverluste“ erweisen sich nach dieser Überprüfung durch statistisch signifikante Feldmessungen in Passivhäusern als im Rahmen der Messgenauigkeit vernachlässigbar.

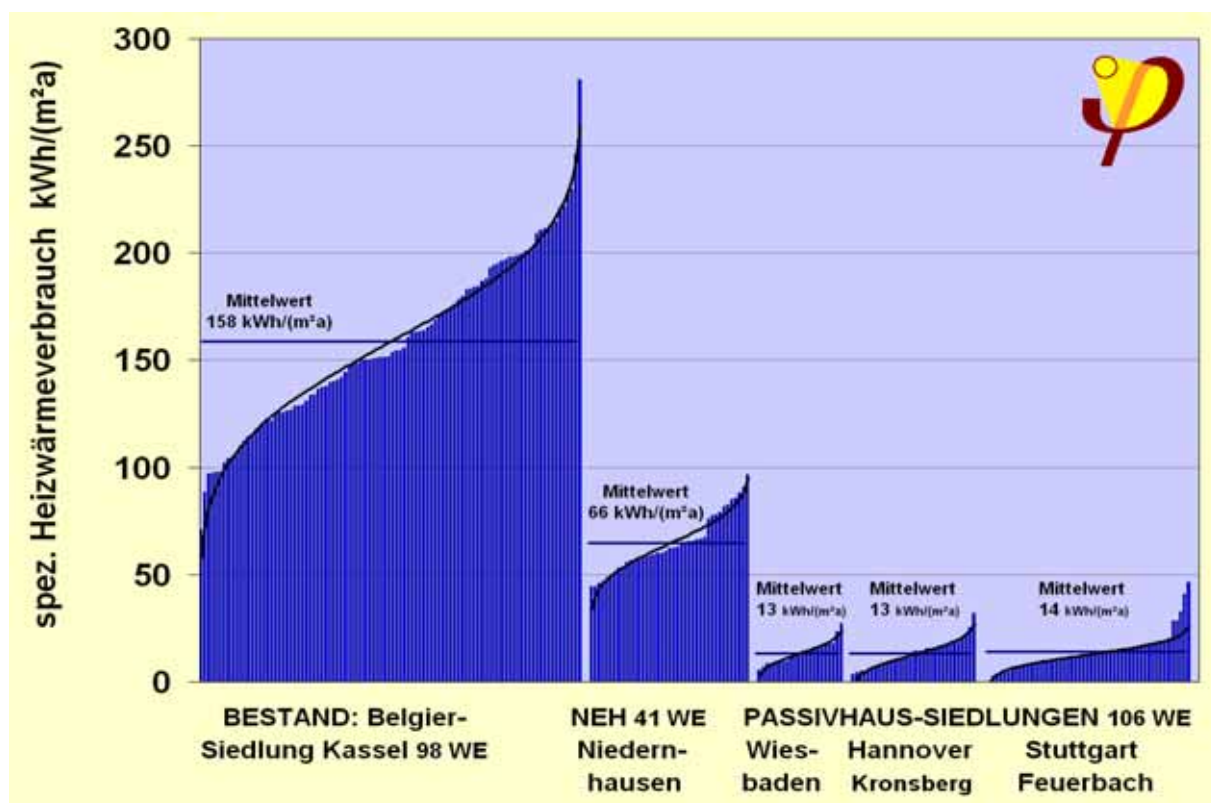


Abbildung 79: Vergleich der Verbrauchsstatistik für Gruppen jeweils baugleicher Reiheneinheiten; links: 98 Altbauten; in der Mitte 41 Niedrigenergiehäuser in Niedernhausen; rechts drei Passivhaussiedlungen mit insgesamt 106 Wohneinheiten. Die Verbrauchsmittelwerte betragen: 158 kWh/(m²a) bei den Altbauten, 66 kWh/(m²a) für die Niedrigenergiehäuser und etwa 13 kWh/(m²a) für die Passivhäuser.

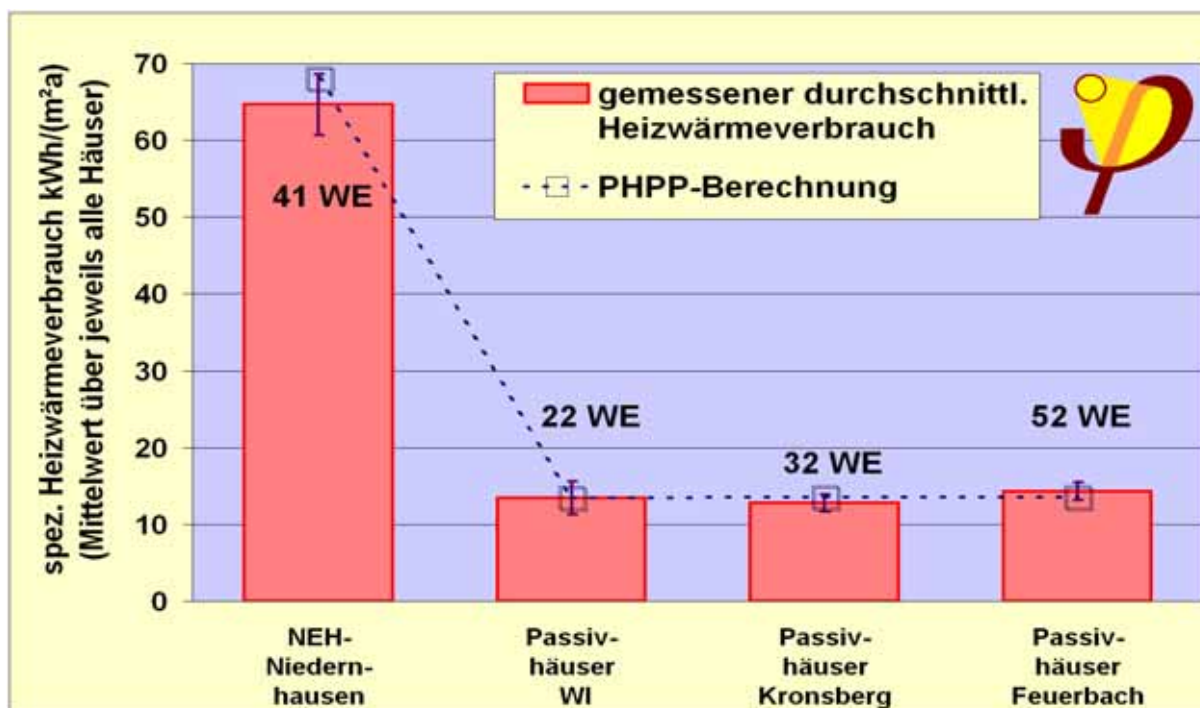


Abbildung 80: Vergleich der gemessenen Verbrauchsmittelwerte mit den Berechnungen des Jahresheizwärmebedarfs (Monatsverfahren [EN 832][PHPP]) der Niedrigenergie- und Passivhaussiedlungen mit Angabe der statistischen Fehlergrenzen.

	mittlere Wohnfläche je WE	Zahl WE	Messwert Heizwärmeverbrauch Mittelwert	Std-Abw. innerhalb der Stichprobe	Rechenwert Heizwärmebedarf PHPP	spez. Wärmeverlust (Rechenwert)	Std-Abw. zu Wärmeverlust	Standard-Abw. des Mittelwertes
	m²		μ	σ	q_h	$q_v + q_T$	$\sigma / (Q_v + Q_T)$	$\sigma / n^{1/2}$
			kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	%	kWh/(m²a)
Belgiersiedlung (Altbau)	112,0	98	158,5	39,2	n. b.	n. b.		4,0
NEH-Niedernhausen	136,0	41	64,7	13,6	68,0	90,0	15,1 %	2,1
Passiv-Häuser WI	104,3	22	13,4	5,3	13,4	38,0	14,1 %	1,1
Passiv-häuser Kronsberg	111,8	32	12,8	6,6	13,5	35,1	18,8 %	1,2
Passiv-Häuser S Feuerbach	120,8	52	14,3	5,5	13,5	37,0	14,9 %	0,8

12.9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Projektierung energieeffizienter Gebäude bedarf es zuverlässiger und in der Praxis bewährter Methoden. Das Vertrauen in die Planungsmethoden muss sich in der Baupraxis erweisen.

Methodisch stellt sich durch die hier vorgestellten Messergebnisse erschwerend heraus, dass die nutzungsbedingte Streuung gerade des Heizwärmeverbrauchs sehr groß ist. Diese Streuung lässt sich jedoch in statistisch ausreichend großen Stichproben „herausmitteln“, da die Messergebnisse (von Ausreißern abgesehen) in guter Näherung normalverteilt sind. Soll eine Genauigkeit von etwa 10 % bei der Verbrauchserhebung erreicht werden, so ist eine Mindestzahl von etwa 20 bau- und anlagengleichen Wohneinheiten erforderlich. Das illustriert zugleich, warum die Wirkung einzelner „Spartechiken“ in Feldversuchen oft nicht überzeugend nachweisbar ist.

Durch umfassende Messkampagnen in einer hinreichend großen Stichprobe aus dem inzwischen über 10.000 Wohneinheiten zählenden Passivhaus-Standard wurden drei voneinander unabhängige Stichproben des Wärmeverbrauchs durch drei unterschiedliche Institute erhoben. Diese Daten sind im Detail inkl. der jeweiligen Messmethodik in den zitierten Einzelberichten publiziert.

Die Messergebnisse aller drei untersuchten Passiv-Reihenhaussiedlungen wurden hier zusammengestellt. Sie betragen für den mittleren Heizwärmeverbrauch inkl. Wärmeübergabeverluste und inkl. aller weiteren evtl. Verluste (z. B. solcher der Fensteröffnung durch die Nutzer) 12,8 sowie 13,4 und 14,3 kWh/(m²Wohnfläche a). Dabei handelt es sich um im Vergleich zu üblichen Verbrauchswerten im Bestand (um 160 kWh/(m²a)) und selbst gegenüber durchschnittlichen Neubauten (um 80 kWh/(m²a)) um extrem niedrige Verbrauchswerte. Auf Grund der Größe der Stichprobe ist der verbleibende statistische Fehler der bestimmten Mittelwerte mit um 1 kWh/(m²a) sehr gering. Dieser Messfehler ist kleiner als der auf Grund nicht überwindbarer Bestimmungsgenauigkeiten bei Berechnungen jeder Art zu erwartende Fehler in Bezug auf die Wahl der Randbedingungen [Feist 2001a].

Der Vergleich mit Messdaten aus Reihenhäusern im Baubestand ergibt (ohne Bezug auf die Berechnungen) eine statistisch gesicherte Heizwärmeeinsparung durch den Passivhausstandard von über 90 %. Diese Einsparung kann zunächst nicht im Einzelnen den Maßnahmen Wärmedämmung, Dreischeiben-Verglasungen und Wärmerückgewinnung zugeordnet werden. Würde jedoch nur eine dieser drei entscheidenden Maßnahmen deutlich schlechtere Ergebnisse bewirken als projiziert, so wäre die verbrauchssteigernde Wirkung so groß, dass kein denkbarer verbrauchsmindernder Effekt in der Lage wäre, dies zu kompensieren. Das Ergebnis belegt damit gleichzeitig, dass die genannten Maßnahmen in der Summe die erwartete Wirkung entfalten.

Es ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den nach dem Monatsbilanzverfahren der Europäischen Norm EN 832 (bzw. ISO 13 790) berechneten Jahresheizwärmebedarfswerten und den Messergebnissen. Dies ist

eine gute Voraussetzung für die Umsetzung energieeffizienter Gebäude, da die Handhabung dieses Rechenverfahrens einfach und transparent ist. Die Validierung zeigt insbesondere, dass die in der Fassung [PHPP] verwendeten Randbedingungen zu den durchschnittlichen Nutzungsgewohnheiten bei Wohngebäuden passen. Diese Randbedingungen führen wir hier noch einmal auf:

- Für die inneren Wärmequellen sind bei Wohngebäuden mit effizienten Hausgeräten in der Heizperiode Werte um $2,1 \text{ W/m}^2$ ($\pm 0,3$) realistisch (und nicht 5 W/m^2 wie von manchen Verfahren angenommen. Der inzwischen in DIN V 18599 verwendete Ansatz ($2,08 \text{ W/m}^2$) stimmt mit damit recht gut überein). Zu hoch angenommene innere Wärmequellen führen zu der Illusion, dass sehr niedrige Energieverbrauchswerte oder sogar Nullheizenergiehäuser schon bei mäßigen Baustandards möglich wären.
- Für die mittlere Raumtemperatur ist derzeit ein Wert von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eine praxisgerechte Annahme (und nicht, wie oft angenommen, $19 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Für die Solargewinne sind realistische Verschattungsfaktoren und Ansätze für die immer vorhandene Verschmutzung zu berücksichtigen. Werden diese Werte zu optimistisch angesetzt, ergeben sich gerade bei Häusern mit niedrigem Wärmebedarf irreführende Ergebnisse.
- Auch für die Ausrichtung der Fensterflächen in Azimut und Neigung zur Horizontalen ist die Verwendung von kontinuierlich interpolierten Daten sinnvoll.
- Die pauschalen Temperaturkorrekturfaktoren werden oft für gut gedämmte Gebäude zu niedrig angesetzt (auch in [DIN 4108] und [DIN V 18599]). Z. B. für Dachgeschossdecken liegen realistische Werte nicht bei 0,8 sondern bei 1,0.
- Der Ansatz für eine "zusätzlichen Luftwechselrate infolge Undichtheiten und Fensteröffnen" beträgt bei der EnEV pauschal $0,15 \text{ h}^{-1}$ bei Abluftanlagen und $0,2 \text{ h}^{-1}$ für balancierte Anlagen mit Wärmerückgewinnung - jeweils viel zu hohe Werte. Korrekt muss, wie in EN 832, von der erreichten Luftdichtheit, d. h. dem gemessenen n_{50} -Wert ausgegangen werden und daraus die Infiltration während der Heizzeit bestimmt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass es im Rahmen der statistisch gesicherten Genauigkeit keine bedeutenden über die Bilanz nach EN 832 hinausgehenden Zusatzwärmeverluste, insbesondere keine hohen Zusatz-Fensterlüftungsverluste sowie Zusatz-Wärmeübergabeverluste gibt. Zusatzverluste durch diese Terme waren jedoch im bisher eingeführten Rechengang nach DIN 4108/Teil 6 und DIN 4701/Teil 10 enthalten. Hier schlagen wir eine Korrektur vor, zumal die bestehenden Rechenvorgaben die Weiterentwicklung beim energieeffizienten Bauen behindern, indem sie die Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung artifiziell reduzieren.

Selbstverständlich ist es hingegen, dass unvollständige Berechnungen (die z. B. Wärmebrücken nicht berücksichtigen oder mit $19 \text{ }^\circ\text{C}$ Innentemperatur bzw. mit zu hohen inneren Wärmequellen oder mit zu optimistischen Annahmen bzgl. der Verschattung arbeiten) den tatsächlichen Bedarf oft signifikant unterschätzen. Sind

die Abweichungen zu Messwerten größer als die durch die Statistik vorgegebenen Fehlergrenzen, so empfiehlt sich eine sorgfältige Fehlersuche – sowohl kann der Rechengang falsch sein, als auch können Ausführungsabweichungen von der Planung vorliegen. Nach Kontrolle von mehr als Tausend Bauprojekten im Laufe der Zertifizierung zeigt die Erfahrung des Autors, dass eine unabhängige Durchsicht der Projektierung (Vier-Augen-Prinzip) immer zu empfehlen ist – ebenso wie eine verantwortungsbewusste Bauleitung. Auf welche Gesichtspunkte die Bauleitung besonders achten muss, wird in der einschlägigen Literatur genau beschrieben [Kaufmann 2004]. So ist für besonders energieeffiziente Gebäude zu empfehlen:

- Eine Prüfung auf Wärmebrücken an Hand der Planung.
- Eine Kontrolle des fachgerechten, insbesondere luftdichten Einbaus der Fenster und Außentüren.
- Die Fachgerechte Ausführung der Wärmedämmung. Hierbei ist insbesondere auf ausreichende Winddichtheit und auf das vermeiden von Dämmücken zu achten.
- Die Durchführung eines Gebäude-Luftdichtheits-Tests.
- Eine sorgfältige Kontrolle der Luftführung schon während der Planung.
- Eine Einstellung der Haustechnischen Systeme auf die projektierten Werte.

Und: Selbstverständlich ist eine Information der Nutzer über die verwendeten Komponenten und ihre bestimmungsgemäße Bedienung erforderlich. Dazu steht z. B. die im Zuge einer BBR-Förderung entstandene Manuskriptvorlage (Nutzerhandbuch Passivhaus) [Pfluger 2001] zur Verfügung.

12.10 Vergleich der Messdaten von vier Passivhausprojekten mit den Ergebnissen der DIN V 18599

Anhand der Projekte „Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg“, „Passivhaus-siedlung Stuttgart Feuerbach“, „Passivhaussiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden/Dotzheim und dem „Mehrfamilien-Passivhaus St. Jakob“ in Frankfurt, die messtechnisch begleitet wurden, soll festgestellt werden, ob sich der Heizwärmebedarf mit den Berechnungen nach DIN V 18599 mit hinreichender Genauigkeit abbilden lässt. Hierzu wurde der Heizwärmebedarf nach DIN V 18599 berechnet und mit den Ergebnissen der Messungen verglichen. Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse ist, dass in beiden Fällen identische Randbedingungen angenommen werden. Dies gilt zum Einen für die Bilanzgrenze zum Anderen aber auch für die Klimarandbedingungen.

Den Berechnungen liegt der Standard-Klimadatensatz für Deutschland nach DIN V 4108-6 Anhang A zugrunde, so dass die Messwerte nicht ohne weiteres mit den Berechnungen verglichen werden können. Daher wurden die Messergebnisse auf das Standardklima umgerechnet. Bei dieser Korrektur wird der Heizwärmebedarf nach DIN EN ISO 13790 mit dem Standardklimadatensatz und den tatsächlichen gemessenen Randbedingungen berechnet. Der Quotient beider Werte ergibt einen Faktor mit dem der Heizwärmeverbrauch beaufschlagt wird. Anhand dieser Korrektur kann eine Aussage getroffen werden, welcher Verbrauch vorläge, wenn die Messung unter Standardklima-Randbedingungen stattgefunden hätte. Die klimakorrigierten Messwerte sind in Tabelle 91 zusammengefasst.

Tabelle 91: Heizwärmeverbrauch, originale und klimabereinigte Messwerte

	Hannover Kronsberg	Stuttgart- Feuerbach	Wiesbaden Dotzheim	Frankfurt St. Jakob
Messwert [kWh/(m²a)]	12,8	12,8	10,5	14,5
Quelle	[Peper/Feist 2002]	[Reiß/Erhorn 2003]	[Ebel 2003]	[Peper/Feist/ Pfluger 2002]
Korrektur	1,18	1,29	1,49	1,14
Messewert, klimabereinigt [kWh/(m²a)]	15,1	16,5	15,7	16,5

Gemessen wurde in allen Fällen die Wärmemenge die zur Beheizung der Räume zugeführt wurde. Das bedeutet, dass zum Vergleich die unregelmäßigen Wärmeeinträge, die den Heizwärmebedarf beeinflussen (z. B. Zirkulationsverluste der TWW- und Heizungsleitungen oder Speicherverluste), sowie Übergabeverluste mit einbezogen werden müssen. Als Vergleichswert wurde daher die Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem nach DIN V18599 ($Q_{h,outg}$) gewählt.

Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Warmwasser- und Heizungsverteilung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung haben. Der berechnete Heizwärmebedarf (ermittelt nach dem Monatsverfahren) wird in allen vier Beispielen durch die unregelmäßigen Wärmeeinträge reduziert. Die Höhe dieser Reduktion hängt vom Versorgungskonzept des Gebäudes

ab. Bei den Beispielen Hannover-Kronsberg und Stuttgart-Feuerbach sinkt die Erzeugernutzwärmeabgabe deutlicher als bei den Projekten Wiesbaden-Dotzheim und Frankfurt St. Jakob.

Tabelle 92: Bedarfswerte nach DIN V 18599 und klimakorrigierte Messwerte im Vergleich

	Hannover Kronsberg [kWh/(m²a)]	Stuttgart- Feuerbach [kWh/(m²a)]	Wiesbaden Dotzheim [kWh/(m²a)]	Frankfurt St. Jakob [kWh/(m²a)]
Heizwärmebedarf nach DIN V 18599 ¹	14,5	13,1	17,2	15,9
Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem $Q_{h,outg}$ nach DIN V 18599	10,6	12,3	16,6	15,4
Differenz	3,9	0,8	0,6	0,5
Heizwärmeverbrauch klimakorrigiert	15,1	16,5	15,7	16,5

Während die Letztere eine gute Übereinstimmung zwischen Erzeugernutzwärmeabgabe und klimakorrigiertem Messwert aufweist, kann beim ersten Projekte eine deutlichere Abweichung festgestellt werden. Allerdings muss hierbei festgehalten werden, dass bereits der errechnete Heizwärmebedarf unter dem tatsächlich gemessenen Wert liegt. Dennoch ist die Reduzierung des Heizwärmebedarfes bei „Hannover-Kronsberg“ mit 3,9 kWh/(m²a) so groß, dass ein genauerer Blick auf die Verteil- und Speicherverluste erforderlich ist:

Tabelle 93: Versorgung Heizung und Warmwasser

	Hannover Kronsberg	Stuttgart Feuerbach	Wiesbaden Dotzheim	Frankfurt St. Jakob
Erzeuger innerhalb der thermischen Hülle	nein (Nahwärme)	(ja) (Wärmepumpe)	nein (Nahwärme)	nein (Erzeuger außerhalb der Zone)
WW-Speicher	ja (300 l)	ja (190 l)	nein	nein
WW-Verteileitungen mit Zirkulation	ja (19,0 m) ja	nein nein	ja (14,0 m) ja	ja (81 m) ja
WW- Einzelleitungen	ja (17,5 m)	ja (20 m)	ja (11,9 m)	ja (48 m)
Summe der ungeregelten Wärmeeinträge [kWh/(m²a)]	18	6,7	5,5	5,8

¹ ohne unregelmäßige Wärmeeinträge durch Warmwasser- und Heizungsverteilung, -Speicherung, Erzeugung usw.

Die Summe der unregulierten Wärmeeinträge nach DIN V 18599 wird beim Projekt „Hannover-Kronsberg“ besonders hoch berechnet. Grund sind hier zum Einen die Wärmeverluste des relativ großen Speichers sowie die sehr langen Verteilleitungen. Diese Reduzierung kann durch die Messwerte allerdings nicht betätigt werden. Beim Projekt Stuttgart Feuerbach wurde ein Wärmepumpenkompaktgerät eingesetzt. Die Berücksichtigung der unregulierten Erzeugerwärmeabgaben für Wärmepumpen ist im Rahmen der DIN V 18599 nicht vorgesehen. Daher wurde kein Erzeuger innerhalb der betrachteten Zone ausgewählt. Die Reduzierung der Erzeugernutzwärmeabgabe läge bei korrekter Eingabe der unregulierten Wärmeeinträge durch den Erzeuger etwas höher als $0,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Parametervariationen

Das Mehrfamilienwohnhaus St. Jakob wurde 2002 in Frankfurt-Bockenheim errichtet. Es besteht aus zwei Blöcken mit insgesamt 19 Wohneinheiten. Der Block B wurde mit großen Glasflächen nach Norden orientiert und messtechnisch erfasst. Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Heizzentrale in Block A und eine Warmwasserzirkulationsleitung in alle Wohneinheiten. Diese versorgt sowohl das Heizregister als auch den Warmwasserkreislauf in den Wohnungen mit Wärme.



Anhand dieses Gebäudes wurde der Einfluss verschiedener Eingabeparameter genauer untersucht. Faktoren wie interne Wärmegewinne, Nachtab senkung bzw. -schaltung sowie die Genauigkeit bei der Fenstereingabe haben einen wesentlichen Einfluss auf die projektierte Erzeugernutzwärmeabgabe. Wird diese stark unterschätzt, so kann es bei der Projektierung von Niedrigstenergie- und Passivhäusern

durchaus zu Fehlplanungen kommen, die die Funktionalität der Gebäude in Frage stellen. Eine Überschätzung des Heizwärmebedarfes ist in dieser Hinsicht unkritischer, führt aber zu unnötigen Überdimensionierungen. In Tabelle 94 ist der nach DIN V 18599 berechnete Heizwärmebedarf der verschiedenen Varianten zusammengestellt:

Tabelle 94: Heizwärmebedarf des MFH St. Jakob - Parametervariation

Variante	Erzeugernutzwärmeabgabe nach DIN V18599 [kWh/(m²a)]	Abweichung zum klimabereinigten Messwert	IWQ [Wh/(m²d)]	tägliche Betriebsstunden Heizung [h/d]	zusätzliche Fensterlüftung	Fensterparameter		
						Rahmenanteil FF	Reduktionsfaktor solare Einstrahlung FS	U-Wert
V 1	7,1	- 57 %	100	24	n	genaue Eingabe		
V 2.1	14,2	- 14 %	50	17	n	genaue Eingabe		
V 2.2	15,4	- 7 %	50	24	n	genaue Eingabe		
V 3.1	11,8	- 28 %	50	24	n	0,7	Standard-Werte	genaue Eingabe
V 3.2	12,6	- 23 %	50	24	n	genaue Eingabe	Standard-Werte	genaue Eingabe
V 3.3	14,9	- 9 %	50	24	n	0,7	genaue Eingabe	genaue Eingabe
V 3.4	18,1	+ 10 %	50	24	n	genaue Eingabe	genaue Eingabe	U=0,9
V 4	22,7	+ 38 %	50	24	j	genaue Eingabe		

Die für Mehrfamilienwohnhäuser vorgesehenen höheren internen Wärmegewinne von 100 statt 50 Wh/(m²d) führen zu einer deutlichen Unterschätzung des Heizwärmebedarfes (V1). Im vorliegenden Fall führt diese überhöhte Annahme zu einer Verringerung der Erzeugernutzwärmeabgabe um 57 % gegenüber dem klimakorrigierten Messwert.

Die Variation der Betriebsstunden der Heizung (Nachtabsenkung) hat dagegen geringe Auswirkung auf den Heizwärmebedarf (V 2.1 und V 2.2). Die Ergebnisse bei Nachtabsenkungen von sieben Stunden unterschätzen den Bedarf um 14 % während der Betrieb ohne Nachtabsenkung hier nur 7 % die geringste Abweichung vom Messwert aufweist (s. Tabelle 91).

Eine genauere Betrachtung erforderte die Eingabe der Fensterparameter. Wird der Rahmenanteil (F_F) und die Verschattung (F_S) nicht genau ermittelt und stattdessen mit Standardwerten gerechnet, so führt dies zu einer Unterschätzung des Heizwärmebedarfes um 28 % (V 3.1) (im betrachteten Fall liegt der Fensterrahmenanteil bei 0,65). In den meisten Fällen wird allerdings der Rahmenanteil bekannt sein, sodass lediglich beim Verschattungsfaktor mit Standardwerten gerechnet wird (V 3.2). Auch diese Variante führt zu einer Unterschätzung von 23 %. Wird dagegen der Fenster-U-Wert anhand der EN ISO 10077-1 Abhang F mit Hilfe von Tabellenwerten ermittelt, so führt dies zu einer 10 %igen Überschätzung der Erzeugernutzwärmeabgabe (V 3.4).

Die DIN V 18599 bringt grundsätzlich einen Fensterluftwechsel in Ansatz, selbst wenn die Belüftung vollständig durch eine Zu- und Abluftanlage gewährleistet wird. Dieser zusätzliche Fensterluftwechsel erhöht die Erzeugernutzwärmeabgabe um 38 % (V4). Das liegt außerhalb der Fehlergrenze der messtechnisch bestimmten Werte.

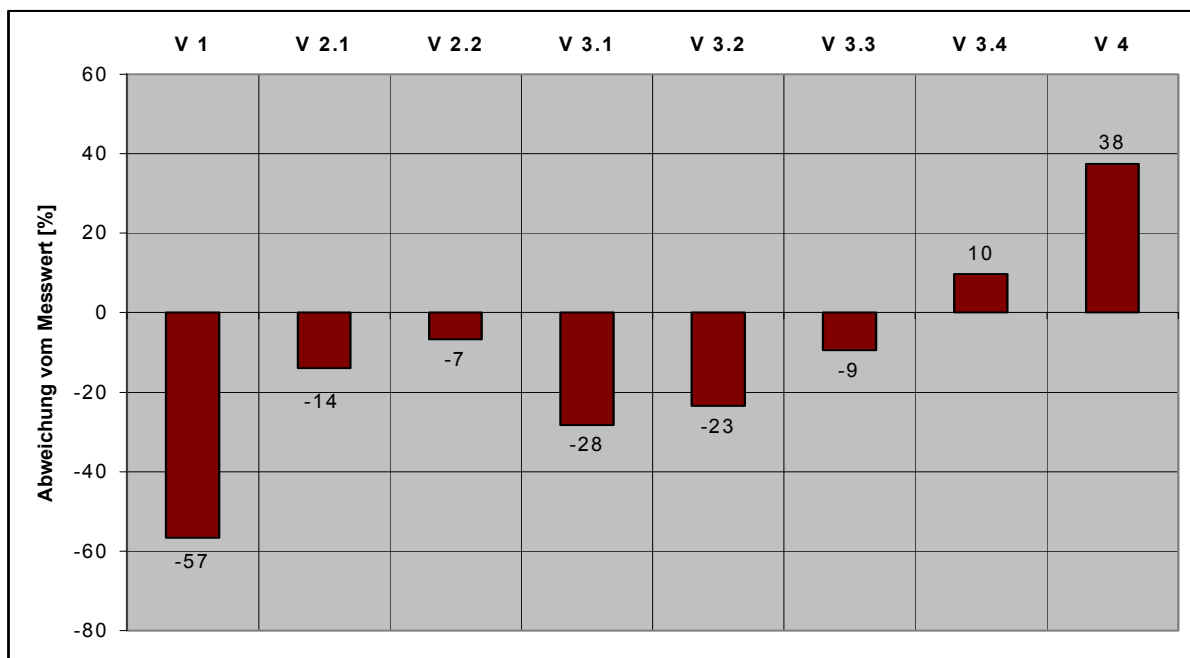


Abbildung 81: Abweichung der Varianten vom Messwert in kWh/(m²a)

Zusammenfassung

Die Berechnung der Erzeugernutzwärmeabgabe nach DIN V 18599 erfolgt unter Berücksichtigung ungeregelter Wärmeeinträge durch das Warmwasser- und Heizungsverteilsystem. Der Vergleich mit den Messergebnissen zeigt aber, dass je nach Versorgungskonzept diese Wärmeeinträge zu einer weitgehenden Unterschätzung des erforderlichen Heizwärmebedarfes führen können. Die genauere Betrachtung einzelner Parameter am Beispiel des Projekts St. Jakob führte zu folgenden Ergebnissen und Schlussfolgerungen:

- Die für Mehrfamilienwohnhäuser in Ansatz zu bringenden internen Wärmegewinne von 100 Wh/(m²d) führen zu einem viel zu geringen Energiebedarf. Gerade vor dem Hintergrund, dass Wärmeeinträge aus Warmwasser- und Heizungsverteilungsverluste noch zusätzlich berücksichtigt werden, kann es hier zu irreführend niedrigen Ergebnissen kommen. Die sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung mit internen Wärmegewinnen von 50 Wh/(m²d), weist auf eine realistische Größenordnung dieser Wärmegewinne hin.
- Die pauschale Annahme eines Rahmenanteils von 30 %, sowie der optimistische Ansatz pauschaler Verschattungs-Reduktionsfaktoren führen zu einer Überschätzung der solaren Gewinne. Wie an anderer Stelle bereits gefordert, sollten diese pauschalen Ansätze erhöht werden.
- Der Ansatz eines Fensterluftwechsels auch bei Einsatz einer maschinellen Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung erhöht den Heizwärmebedarf drastisch. Eine derartige pauschale Erhöhung steht im Widerspruch zu den Messwerten.

13 Parameterstudie anhand eines validierten Simulationsmodells

Anhand eines Modellgebäudes wurden zusätzlich Parameterstudien zum Energiebedarf bei unterschiedlichen Dämmstandards, zu verschiedenen Gebäudegrößen, zu unterschiedlichen Anlagenausstattungen und unterschiedlichen Randbedingungen ausgeführt. Die Berechnungen wurden mit einem zuvor validierten dynamischen Gebäudesimulationsprogramm durchgeführt (vgl. [Feist 1994]). Es wurde ein Gebäude betrachtet, damit eine differenzierte Analyse der unterschiedlichen Effizienzmaßnahmen und der Auswirkungen der einzelnen Parameter möglich war.

Die Ergebnisse der Parameterstudie wurden systematisch ausgewertet und mit den Ergebnissen der Rechenverfahren der DIN V 18599 verglichen.

13.1 Beispielgebäude

Das hier untersuchte Reihenendhaus im Passivhausstandard hat eine Wohnfläche von 119,5 m²; auf diesen Wert werden alle Ergebnisse bezogen. Die Hauptfassade ist mit 15° Abweichung nach Süden orientiert. Details über die realisierten Gebäude finden sich z. B. in [Peper 2001] und [Feist 2001].

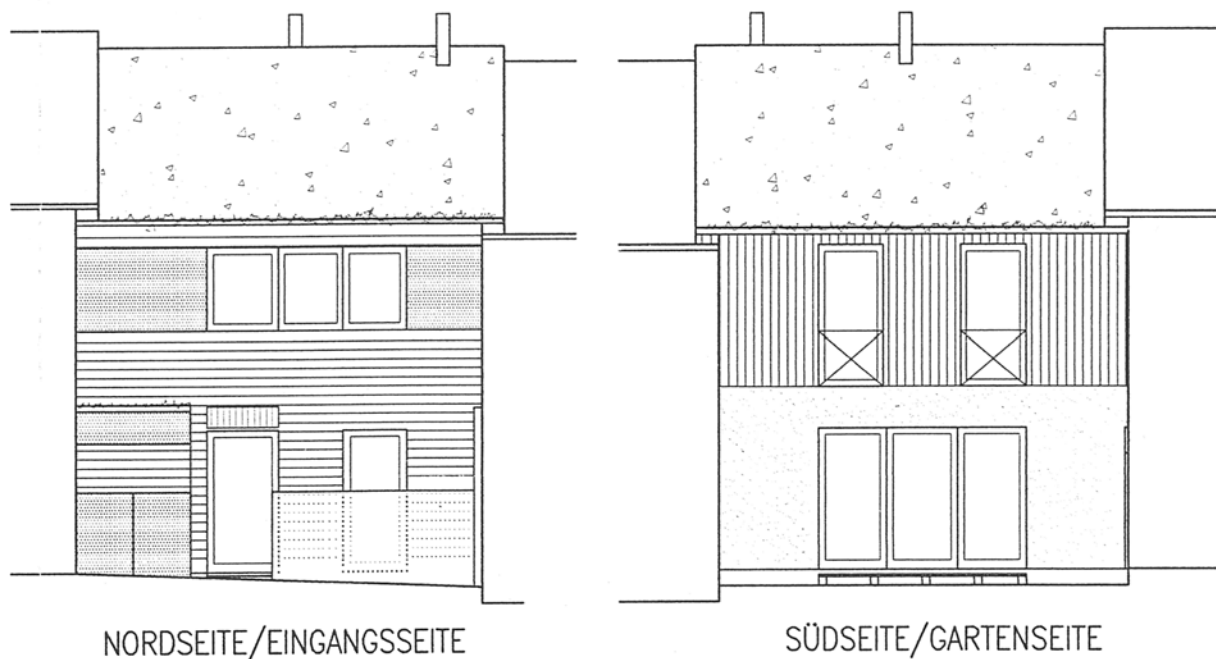


Abbildung 82: Nord- und Südfassade eines Reihenmittelhauses. Aus [Schnieders 1998]

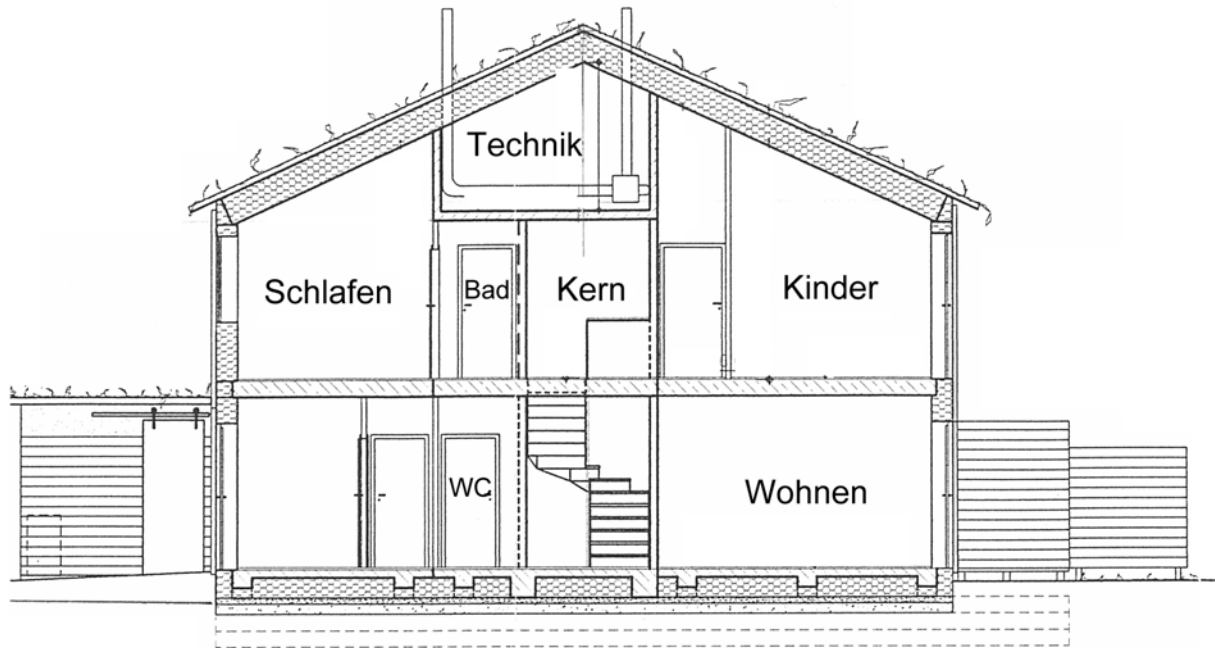


Abbildung 83: Schnitt. Aus [Schnieders 1998]

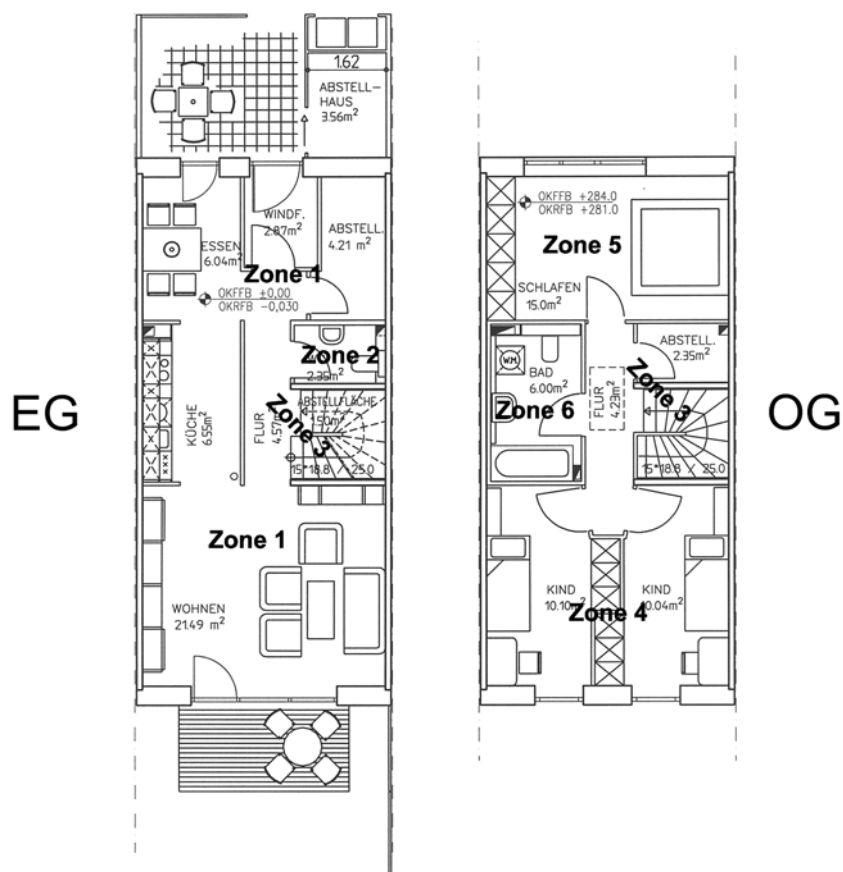


Abbildung 84: Grundrisse und Zonierung, hier für einen schmalen Haustyp. Aus [Schnieders 1998]

13.2 Rechenmodelle

Die nachfolgend dargestellten Berechnungen verwenden drei verschiedene Programme: Das dynamische Simulationsprogramm DYNBIL, das Passivhaus Projektierungs Paket [PHPP] und den in [Höttges 2006] implementierten Algorithmus der DIN V 18599.

Die DYNBIL-Simulationsrechnungen basieren auf einem existierenden Simulationsmodell für das Reihenendhaus in Hannover-Kronsberg. Das Modell selbst ist detailliert in [Schnieders 1998] beschrieben. Für die Durchführung der hier dokumentierten Parameterstudien wurde das Modell in einigen Punkten angepasst. Dabei wurden sowohl Fortschritte in der Gebäudesimulation bzw. in den Rechenalgorithmen als auch die Erfordernisse der durchzuführenden Parameterstudie berücksichtigt. Das vorhandene PHPP-Modell des Gebäudes wurde etwas vereinfacht; beispielsweise wurden Wärmebrücken durch geeignete Ersatzflächen repräsentiert, der im realisierten Objekt vorhandene Höhenversatz der Häuser wurde nicht mehr berücksichtigt etc. Da die DIN V 18599 auch die Ermittlung des Kühlenergiebedarfs erlaubt, wurde angenommen, dass das Gebäude im Sommer aktiv gekühlt wird.

Insgesamt verändern diese Anpassungen die verschiedenen Arten der Wärme-
gewinne bzw. Verluste während der Heizperiode um weniger als 10 %.

Im DYNBIL-Modell wurden die Flächen und thermischen Kennwerte der Außenbauteile, die Verschattungssituation, mechanischer Luftwechsel, Infiltration, Orientierung etc. geringfügig angepasst, so dass sie mit dem PHPP-Modell so genau wie möglich übereinstimmen.

Die Erdreich-Wärmeverluste wurden mithilfe des PHPP-Erdreichblatts (d. h. unter Verwendung einer korrigierten Fassung der EN 13370, vgl. [Schnieders 2004]) ermittelt und in die Simulation eingesetzt.

Für das DIN V 18599-Verfahren wurde in den Parametervariationen zusätzlich eine vom PHI vorgeschlagene, korrigierte Variante verwendet, die realistischere Ergebnisse liefert. Hierfür wurden einige Änderungen am Rechenverfahren der DIN V 18599 vorgenommen:

- Für Gebäude mit Lüftungsanlage wird der zusätzliche Fensterluftwechsel mit einem empirisch begründbaren Wert von $0,01 \text{ h}^{-1}$ angesetzt.
- Entgegen DIN V 18599-2:2007-02, S. 79, wird die Wärmerückgewinnung bei der Berechnung des Ausnutzungsgrades der freien Wärme berücksichtigt. Dieses Vorgehen entspricht demjenigen der europäischen Normung (DIN EN ISO 13790).
- Entgegen der Vorgabe aus DIN V 18599-2 wird die Innentemperatur für den Kühlfall nicht um 2 K gegenüber dem Sollwert reduziert. Hierin weicht DIN V 18599-2 von DIN EN ISO 13790 ab, die im Normentwurf angegebene Begründung ist nicht nachvollziehbar.

- Für die Fensterteilungen werden keine Pauschalwerte, sondern die tatsächlichen Rahmenanteile verwendet.

In DIN V 18599-2:2007-02 heißt es ferner (6.1.2): “Für Wochenendbetrieb und Ferienzeiten ist üblicherweise kein Betrieb der Lüftungsanlage und der Kühlanlage gegeben. Der Kühlbedarf für diesen Zeitraum ist in diesem Fall null.” Die implizite Folgerung, dass nur der Kühlbedarf während der Nutzungszeit berechnet werden müsse, ist offenkundig falsch: Eine etwaige Aufheizung des Gebäudes außerhalb der Nutzungszeiten muss vor Beginn der Nutzung wieder ausgeglichen werden; daher muss auch außerhalb der Nutzungszeit eine Bilanzierung der Energieströme stattfinden. In den hier untersuchten Fällen wird das Gebäude kontinuierlich genutzt, so dass dieser Aspekt sich in den Ergebnissen nicht niederschlägt.

13.3 Varianten

13.3.1 Referenzfall

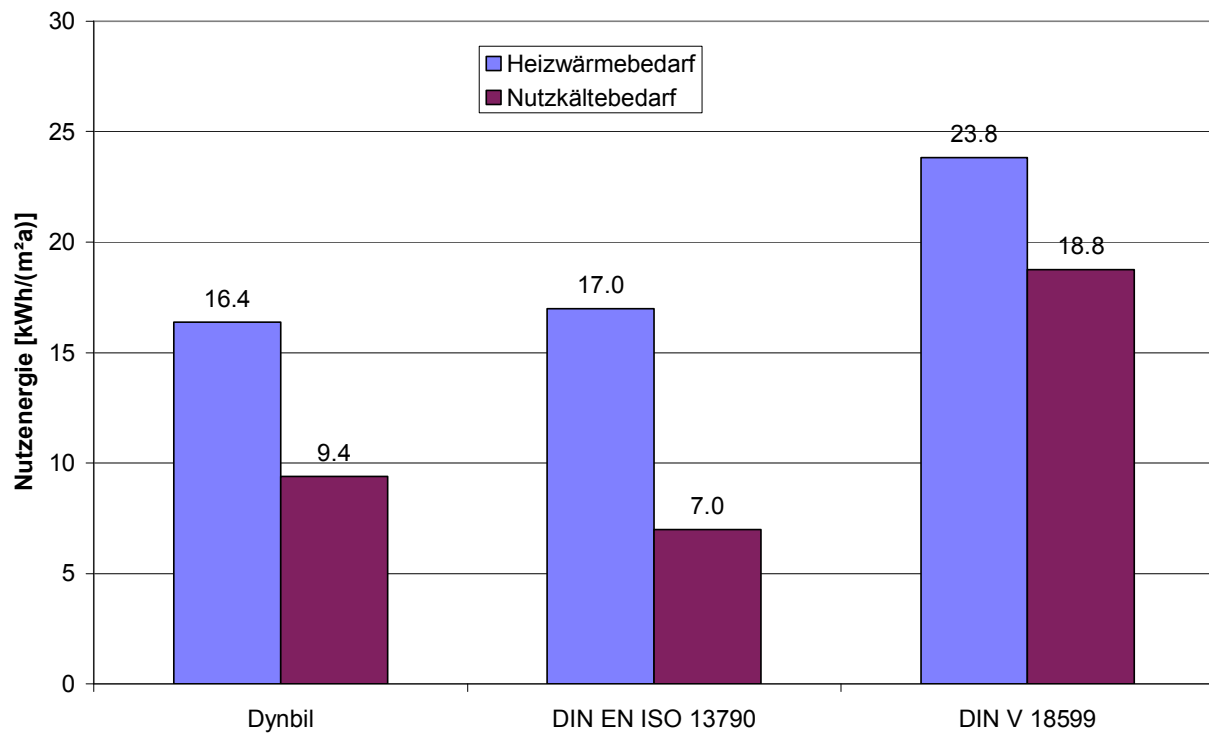
13.3.1.1 Beschreibung

Im Referenzfall wird das Passiv-Reihenendhaus in der oben beschriebenen, leicht vereinfachten Form nach den oben beschriebenen Verfahren berechnet, dabei wurde die ursprüngliche Abweichung von der Südorientierung von 15° berücksichtigt. Für die Berechnung nach DIN V 18599 werden im Folgenden stets, soweit nicht ausdrücklich anders erwähnt, die Randbedingungen der Norm verwendet.

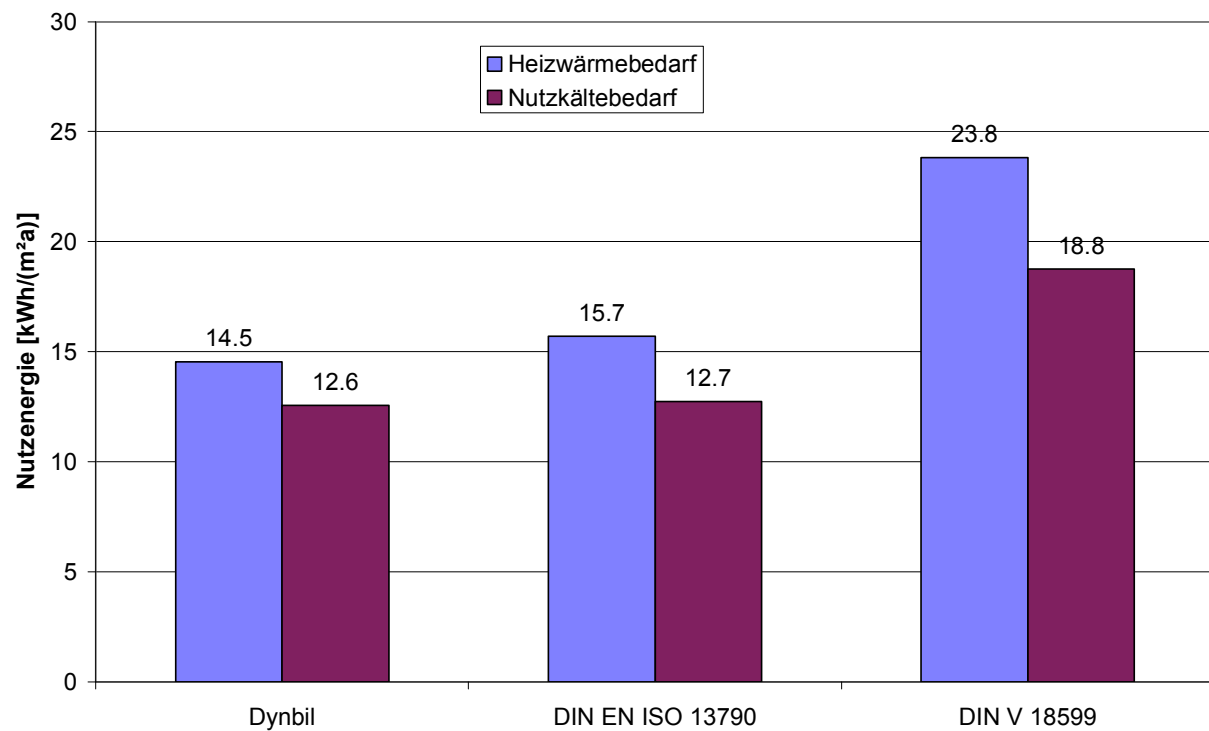
Die Berechnung wurde zweimal durchgeführt, einmal für den Klimadatensatz von Hannover und einmal für das nachfolgend stets verwendete deutsche Standardklima (Würzburg). Die 18599-Berechnung erfolgt in beiden Fällen mit dem Standardklima von Würzburg, da DIN V 18599-10 nur Klimadaten für das Referenzklima Deutschland angibt und auch in [Höttges 2006] die Klimadaten nicht verändert werden können. Der Fall Würzburg (jedoch mit strikter Südorientierung) wird nachfolgend stets als Referenzfall verwendet.

13.3.1.2 Ergebnisse

Hannover



Würzburg



13.3.1.3 Diskussion

Der Heizwärmebedarf wird im Fall Hannover von der dynamischen Gebäudesimulation und der PHPP-Berechnung nach dem Monatsverfahren mit einem Unterschied von nur 0,6 kWh/(m²a) wiedergegeben. Aufgrund der Änderungen am Gebäudemodell wird ein etwas höherer Heizwärmebedarf als im realisierten Objekt ermittelt. Bei Würzburger Klima sind die Unterschiede der beiden Verfahren etwas größer, sie liegen knapp über 1 kWh/(m²a).

Das 18599-Verfahren ergibt einen für den Basisfall um 65 % höheren Heizwärmebedarf als die Simulation.

Auch im Kühlfall liegen die Ergebnisse der 18599 erheblich über denen der Simulation, das Monatsverfahren von ISO 13790 zeigt eine bedeutend bessere Übereinstimmung.

Die Unterschiede, die sich aufgrund der verschiedenen Klimata ergeben, sind trotz der noch relativ ähnlichen Standorte nicht vernachlässigbar. Dies gilt in besonderem Maße für den Kühlbedarf.

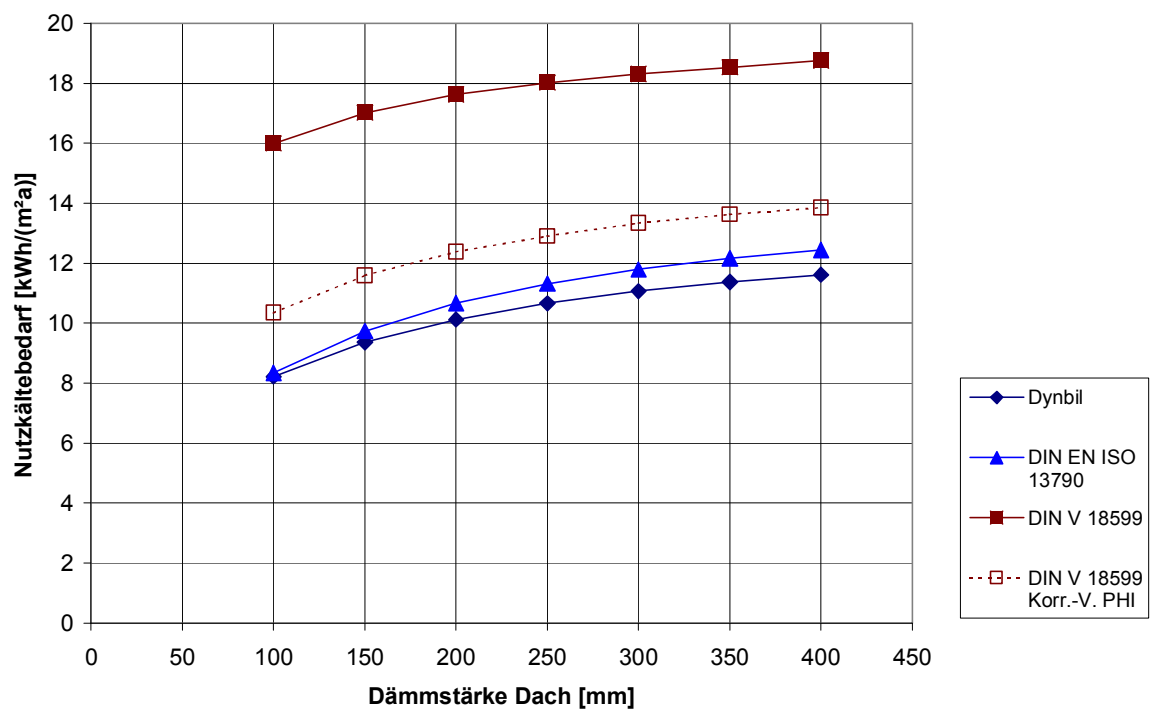
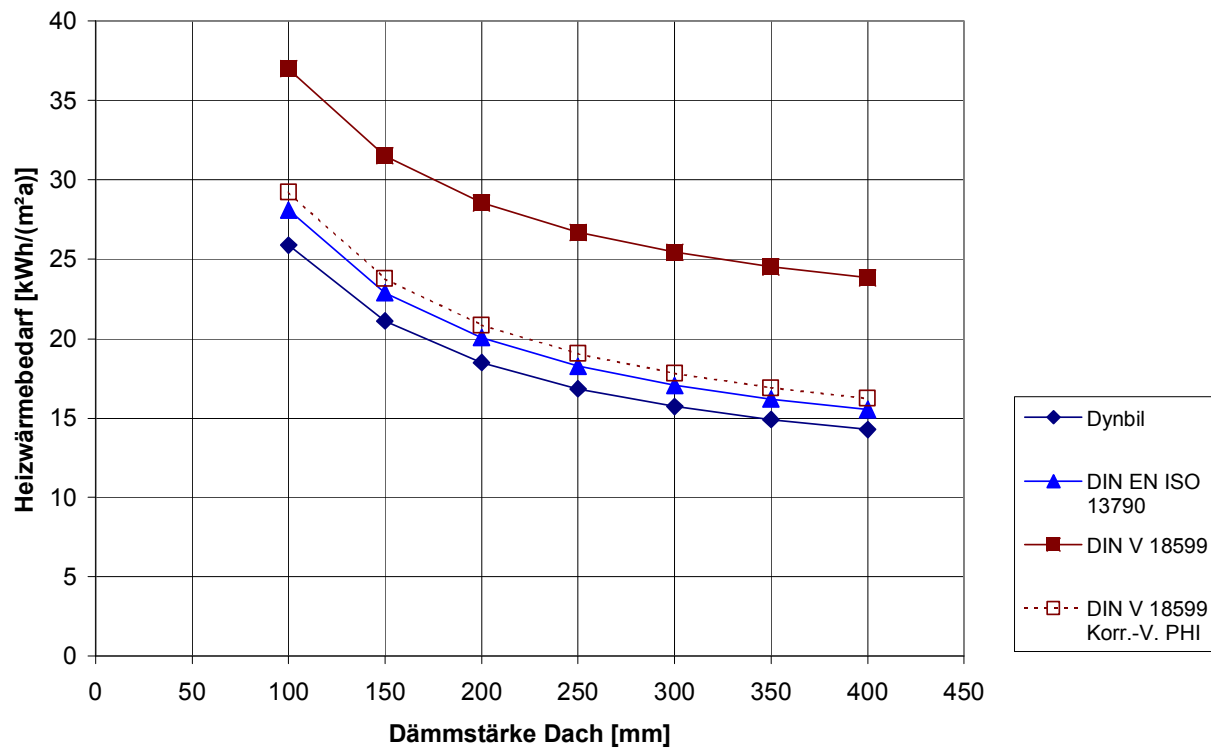
Empfehlung: Die DIN V 18599 sollte die Berechnung mit verschiedenen deutschen Klimaten ermöglichen.

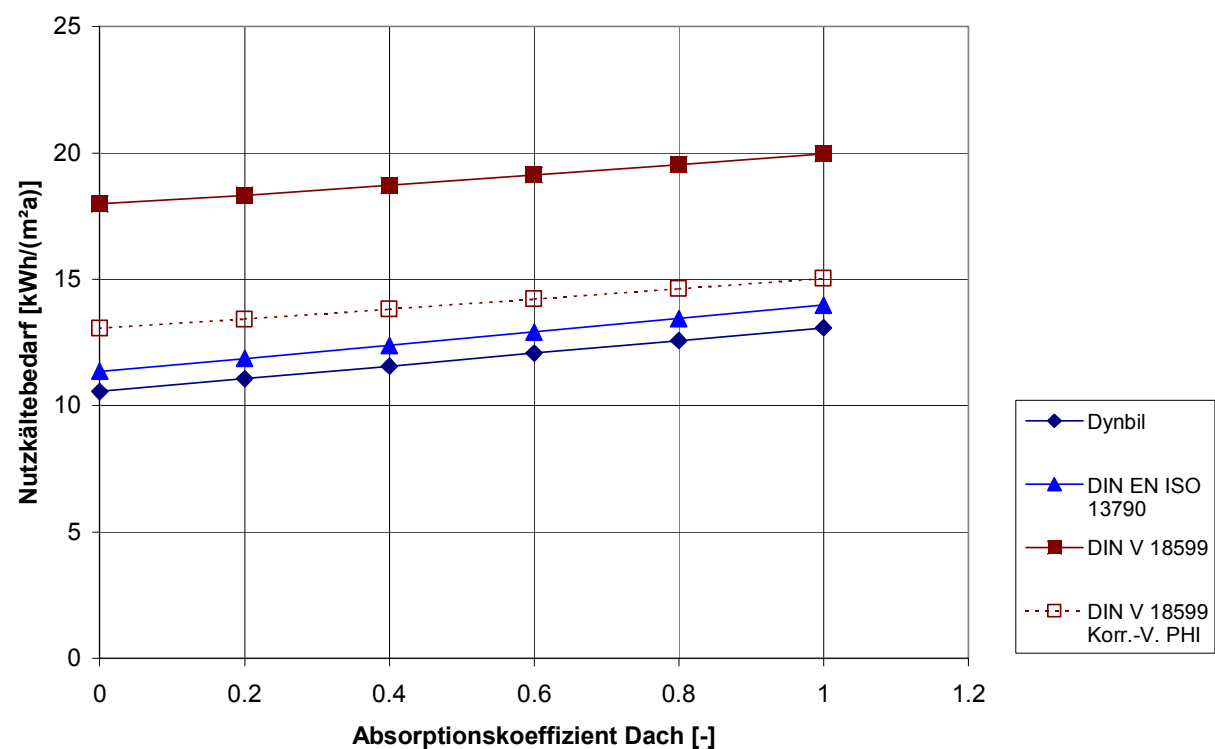
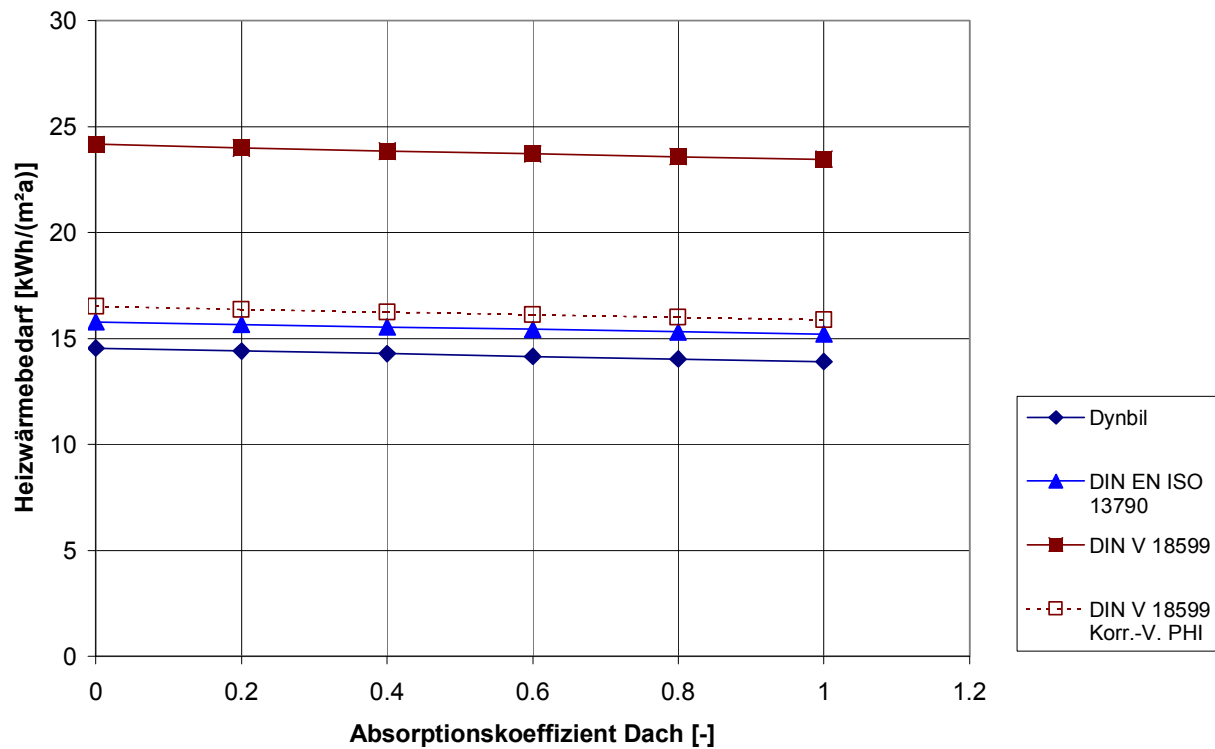
13.3.2 Opake Außenbauteile – Dach

13.3.2.1 Beschreibung

Für das Passivhaus im Referenzfall werden verschiedene Dämmstoffstärken und verschiedene solare Absorptionskoeffizienten des Daches betrachtet.

13.3.2.2 Ergebnisse





13.3.2.3 Diskussion

Die Simulation und die Berechnungen nach dem EN 13790-Verfahren liegen sehr nah beieinander. Dabei fällt der mit dem vereinfachten Verfahren berechnete Heizwärmebedarf etwas höher aus, wie man es von vereinfachten Verfahren erwarten sollte. Die Ergebnisse nach 18599 liegen ca. 9 kWh/(m²a) höher, mit den vorgeschlagenen Korrekturen stimmt der nach 18599 berechnete Heizwärmebedarf dagegen gut mit den übrigen Ergebnissen überein.

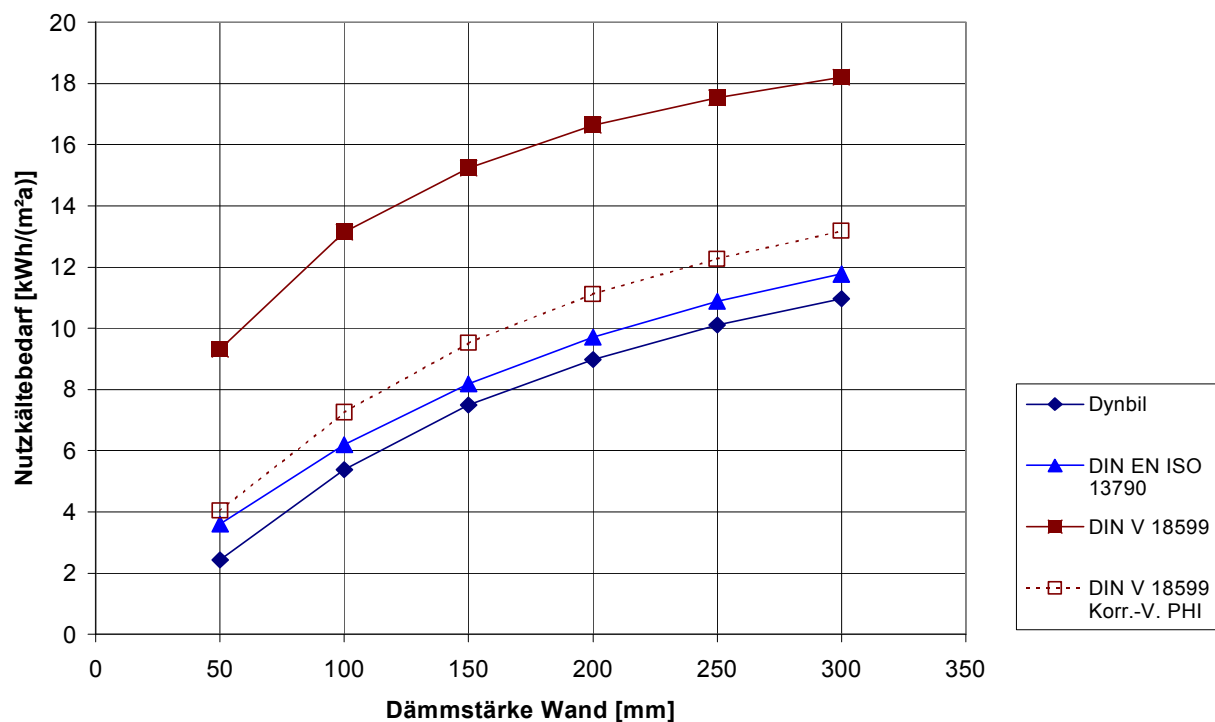
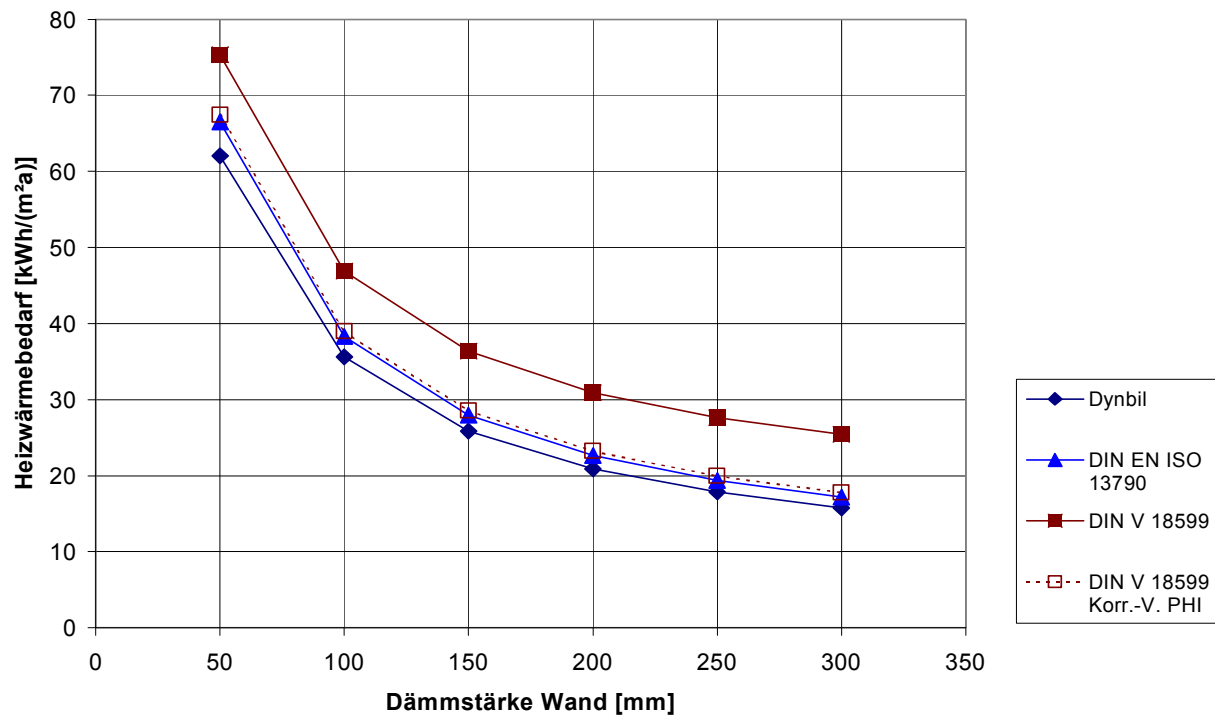
Ähnlich stellt sich die Situation für den Nutzkältebedarf dar. Dieser liegt für die Berechnung nach DIN V 18599 ca. 7 kWh/(m²a) über dem Simulationsergebnis, während die Ergebnisse des EN 13790-Verfahren nur geringfügig über dem Simulationsergebnis liegen. Das korrigierte Verfahren nach DIN V 18599 weicht nur noch wenig von den übrigen Ergebnissen ab.

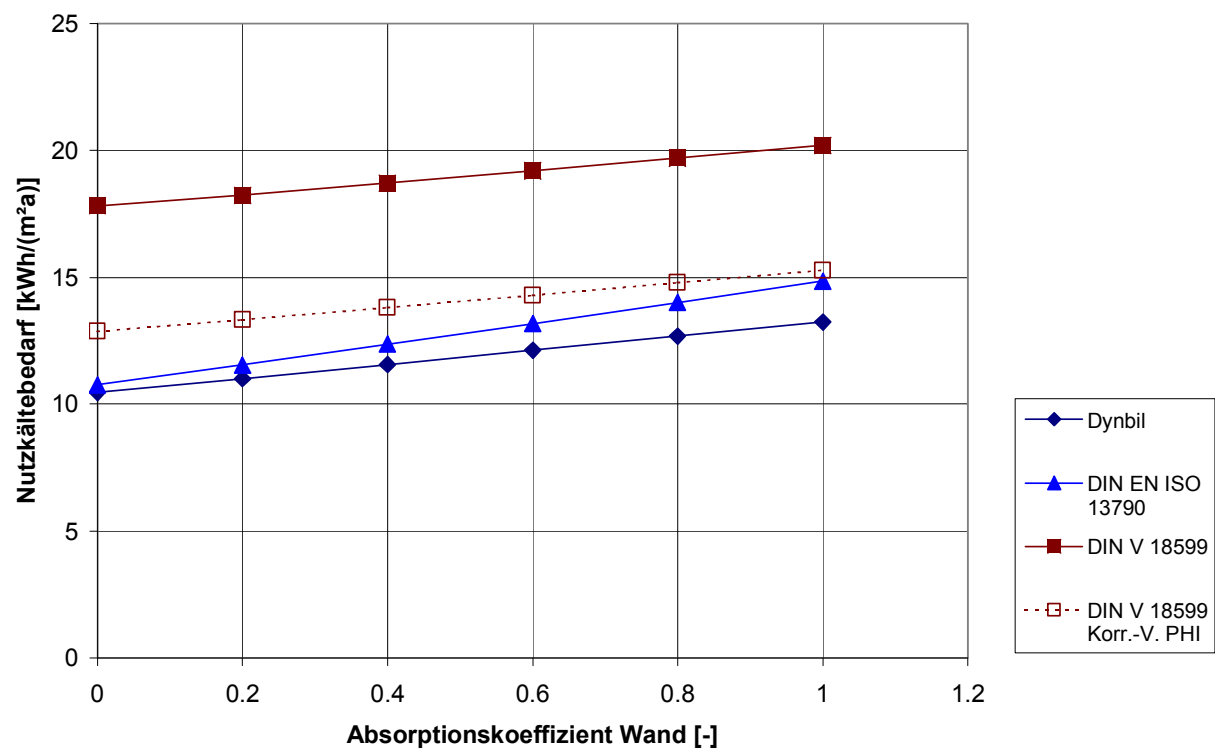
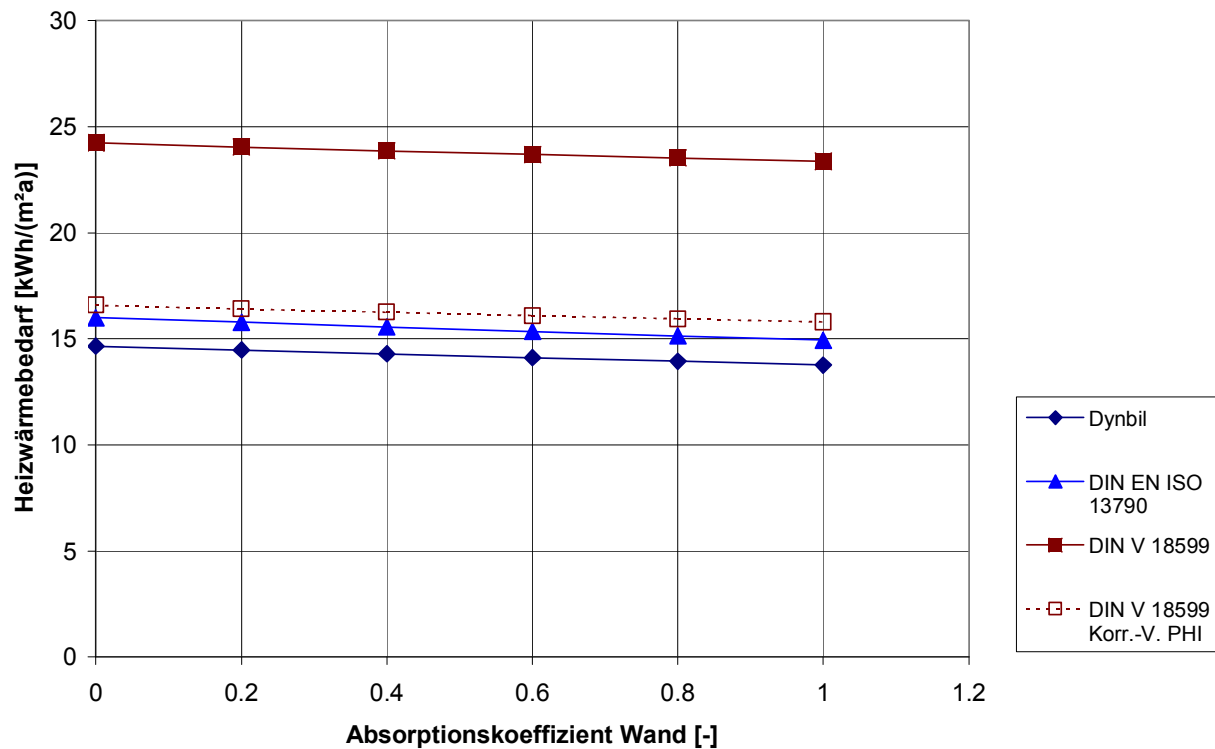
13.3.3 Opake Außenbauteile – Wand

13.3.3.1 Beschreibung

Für das Passivhaus im Referenzfall werden verschiedene Dämmstoffstärken und verschiedene solare Absorptionskoeffizienten der Außenwände betrachtet.

13.3.3.2 Ergebnisse





13.3.3.3 Diskussion

Die Simulation und die Berechnungen nach dem EN 13790-Verfahren liegen sehr nah beieinander. Dabei fällt der mit dem vereinfachten Verfahren berechnete Heizwärmebedarf etwas höher aus, wie man es von vereinfachten Verfahren erwarten sollte. Die Ergebnisse nach 18599 liegen ca. 9 kWh/(m²a) höher, mit den vorgeschlagenen Korrekturen stimmt der nach 18599 berechnete Heizwärmebedarf dagegen gut mit den übrigen Ergebnissen überein.

Ähnlich stellt sich die Situation für den Nutzkältebedarf dar. Dieser liegt für die Berechnung nach DIN V 18599 ca. 7 kWh/(m²a) über dem Simulationsergebnis, während die Ergebnisse des EN 13790-Verfahren geringfügig über dem Simulationsergebnis liegen. Das korrigierte Verfahren nach DIN V 18599 weicht nur noch wenig von den übrigen Ergebnissen ab.

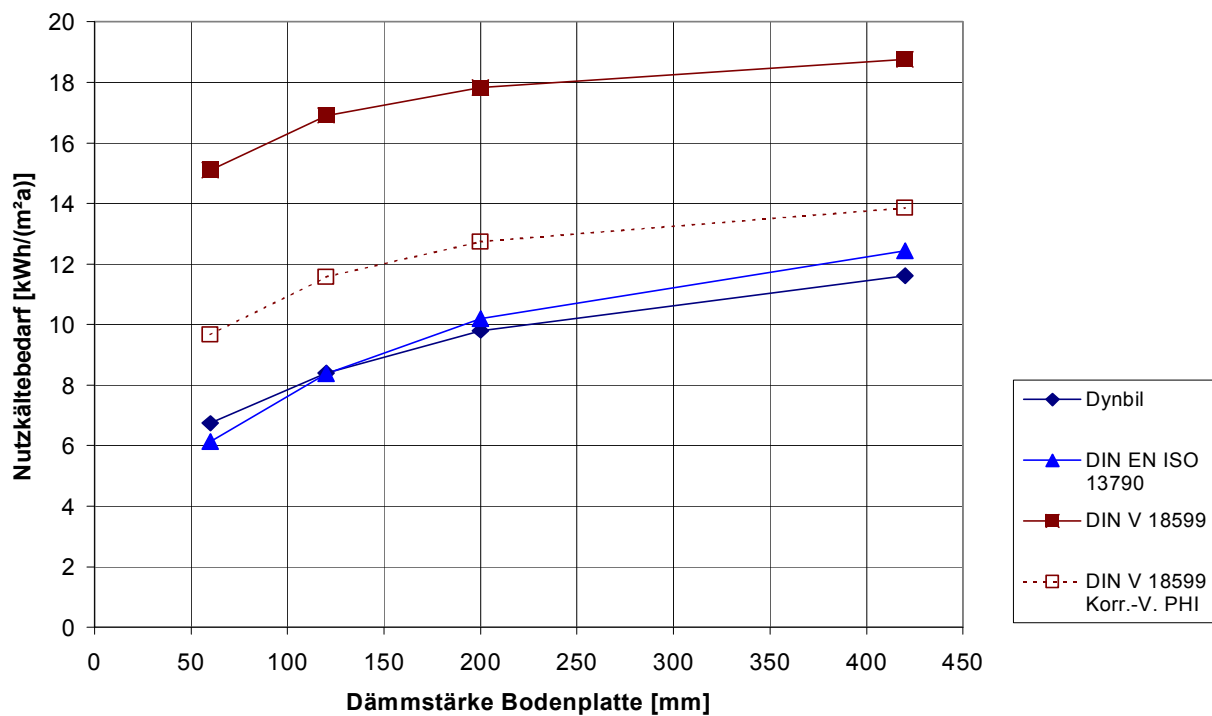
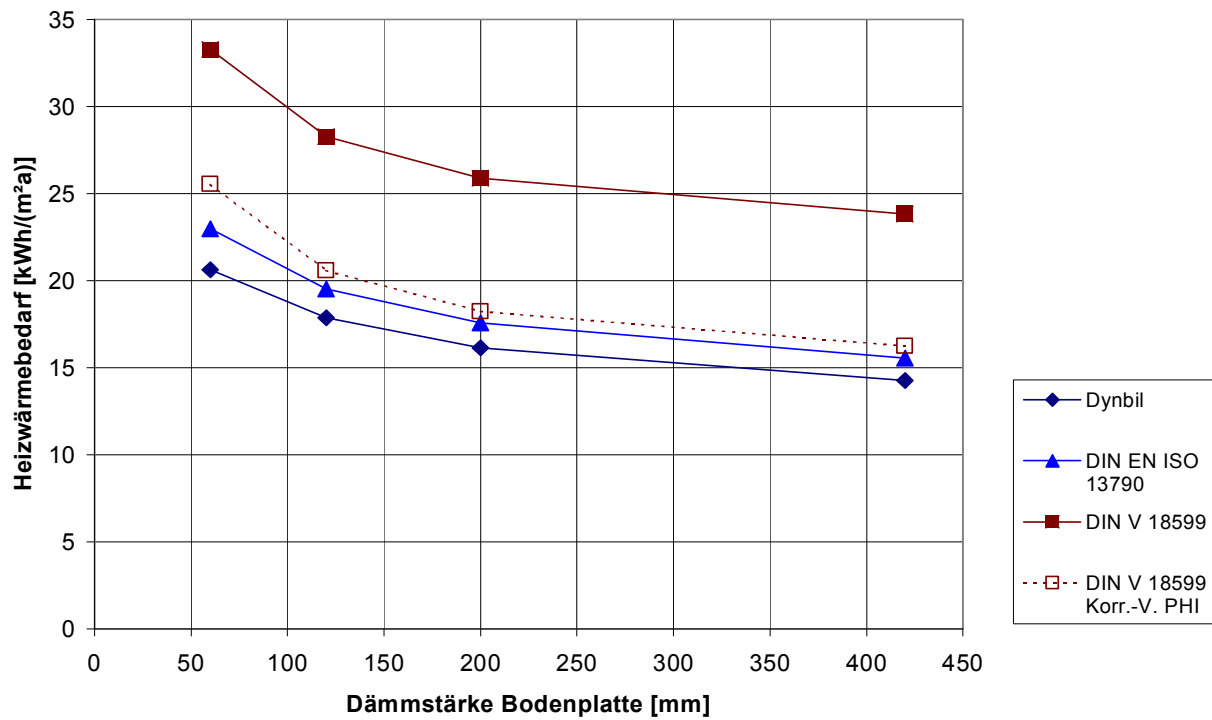
Der Einfluss des Absorptionskoeffizienten der Wand ist in der Simulation etwas geringer als in den vereinfachten Verfahren. Dies macht sich insbesondere im Sommer, bei höherer solarer Einstrahlung, bemerkbar. Ursache sind unterschiedliche Annahmen über die auf der Wandoberfläche verfügbare Solarstrahlung.

13.3.4 Opake Außenbauteile – Bodenplatte

13.3.4.1 Beschreibung

Für das Passivhaus im Referenzfall werden verschiedene Dämmstoffstärken der Bodenplatte betrachtet.

13.3.4.2 Ergebnisse



13.3.4.3 Diskussion

Die Simulation und die Berechnungen nach dem EN 13790-Verfahren liegen sehr nah beieinander. Dabei fällt der mit dem vereinfachten Verfahren berechnete Heizwärmebedarf etwas höher aus, wie man es von vereinfachten Verfahren erwarten sollte. Die Ergebnisse nach 18599 liegen ca. 9 kWh/(m²a) höher, mit den vorgeschlagenen Korrekturen stimmt der nach 18599 berechnete Heizwärmebedarf dagegen gut mit den übrigen Ergebnissen überein. Lediglich für schlecht gedämmte Bodenplatten wächst das Ergebnis der Berechnung nach DIN V 18599 gegenüber den übrigen beiden Verfahren geringfügig an.

Ähnlich stellt sich die Situation für den Nutzkältebedarf dar. Dieser liegt für die Berechnung nach DIN V 18599 ca. 7 kWh/(m²a) über dem Simulationsergebnis, während die Ergebnisse des EN 13790-Verfahren geringfügig über dem Simulationsergebnis liegen. Das korrigierte Verfahren nach DIN V 18599 weicht nur noch wenig von den übrigen Ergebnissen ab, wobei die Differenz bei schlechterer Dämmung der Bodenplatte größer wird.

Der Heizwärmebedarf sinkt mit verbesserter Dämmung der Bodenplatte, während der Nutzkältebedarf ansteigt.

In DIN V 18599 werden anstelle der aufwendigeren Berechnung nach DIN EN ISO 13370 Reduktionsfaktoren für die Erdreichwärmeverluste vorgeschlagen. Dies erscheint aufgrund des relativ geringen Einflusses akzeptabel. Irritierend sind jedoch die Unstetigkeiten im Wärmeverlust, die bei Überschreitung der Fallgrenzen, etwa bei Änderungen in der Größe der Bodenplatte, auftreten.

Fehler entstehen ferner im Kühlfall, wenn die Raumtemperatur höher als 20 °C ist. Die Verwendung von Reduktionsfaktoren kann dann zu unrealistisch hohen Erdreichtemperaturen führen. Dies macht sich besonders für die gering gedämmte Bodenplatte bemerkbar.

Empfehlung: Die Reduktionsfaktoren für die Wärmeverluste durch das Erdreich in DIN V 18599 sollten stetig von den Parametern B' und R abhängen. Eine einfache Interpolationsformel ist ausreichend. Bei Verwendung von Reduktionsfaktoren ist die Bezugs-Innentemperatur anzugeben.

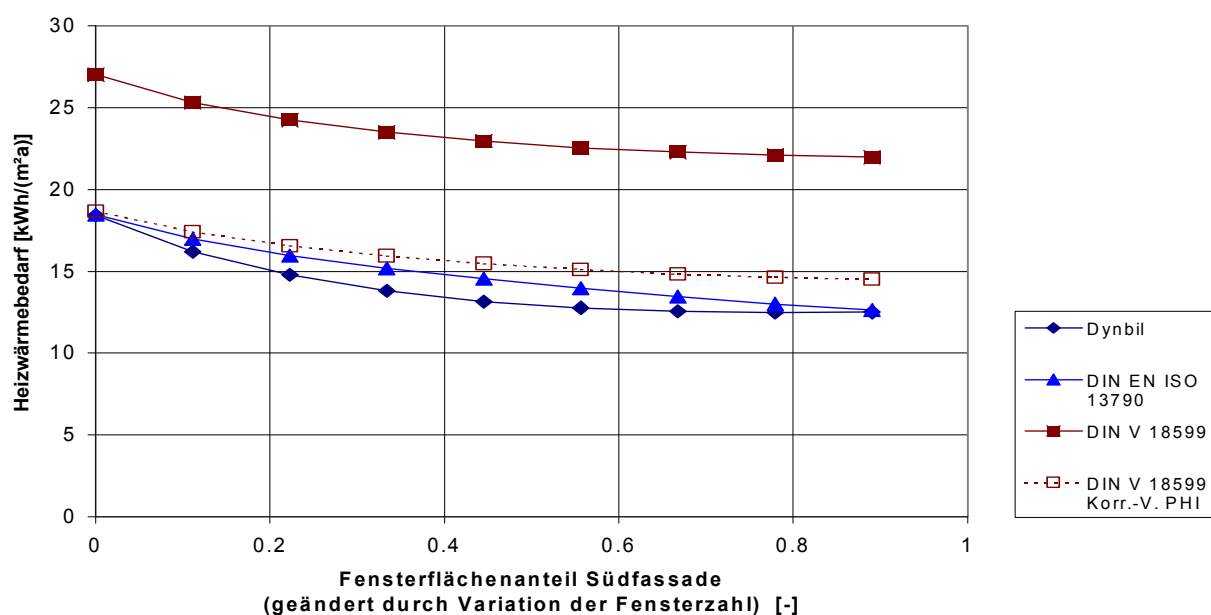
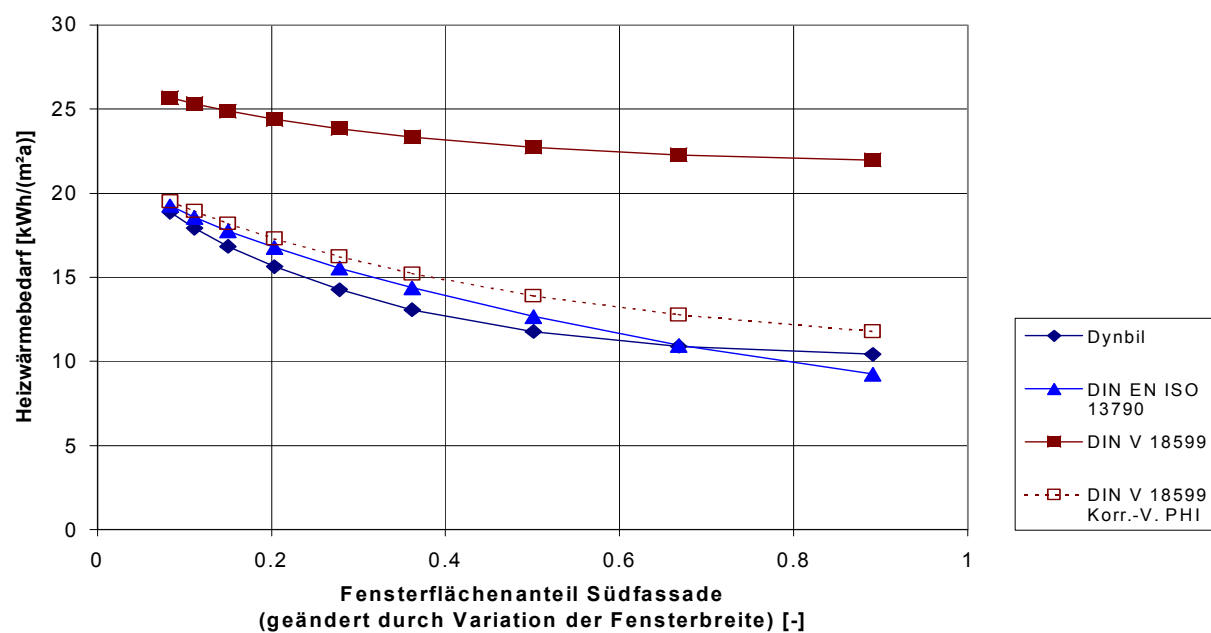
13.3.5 Fenster

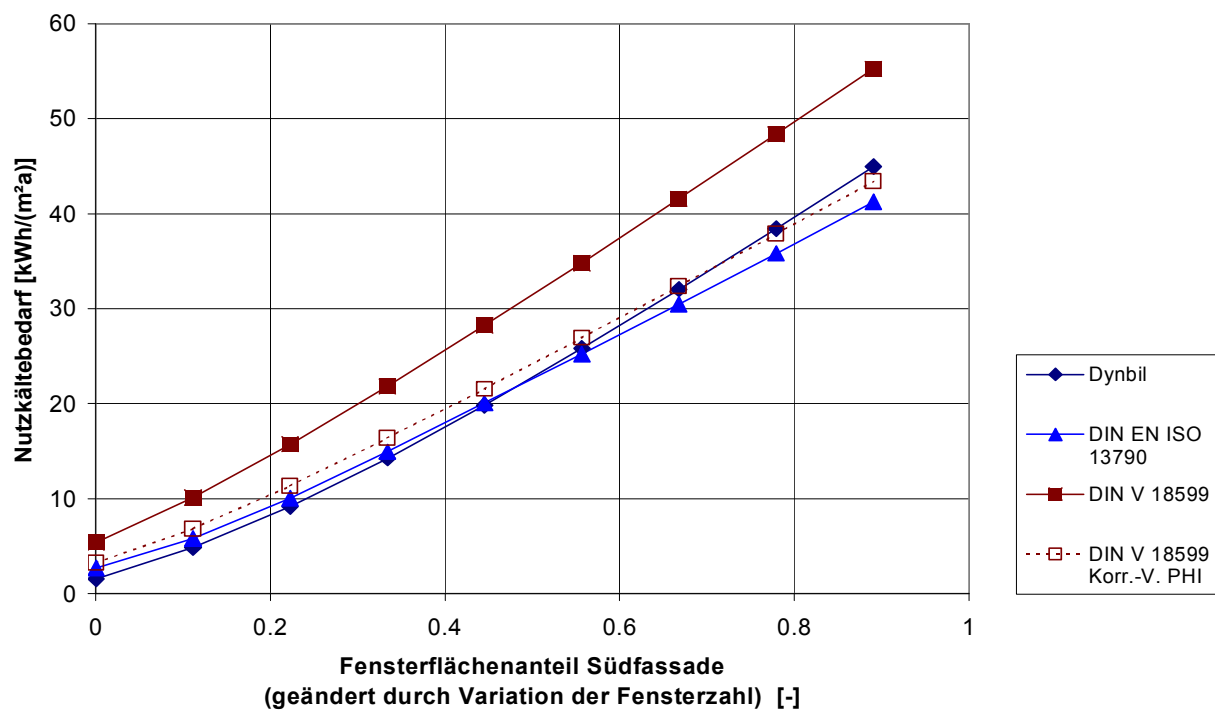
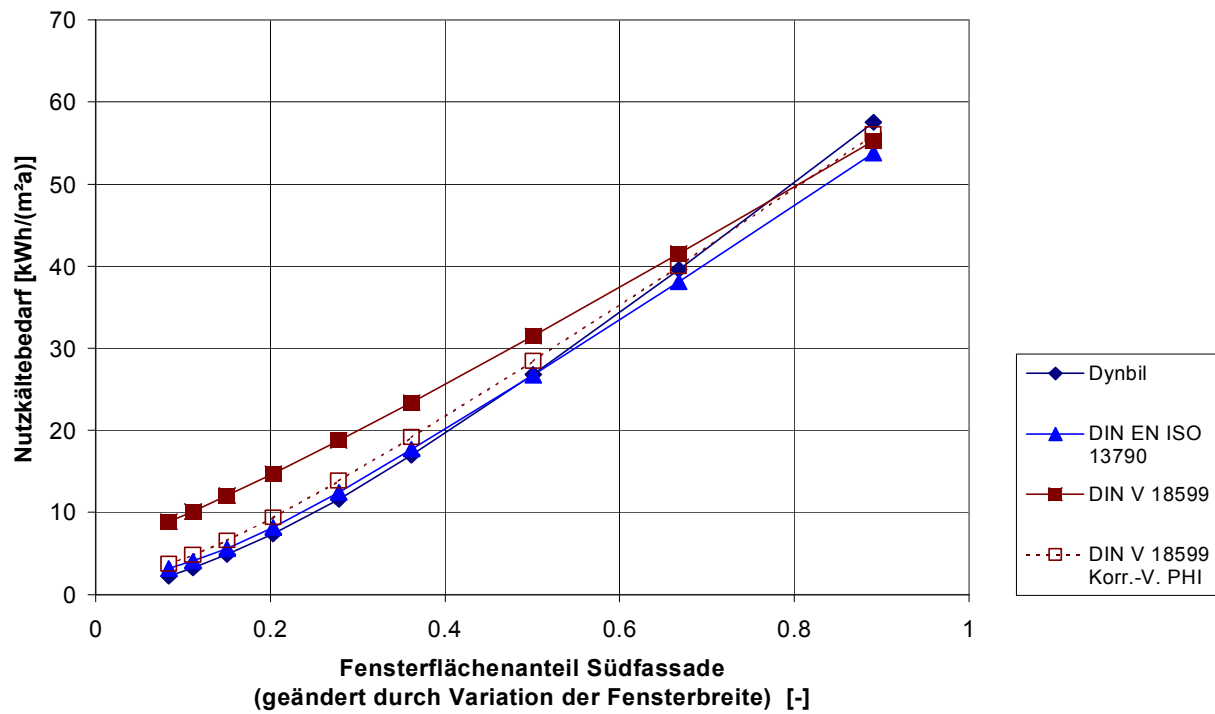
13.3.5.1 Südfensterfläche

Beschreibung

Für das Passivhaus im Referenzfall werden verschiedene Fensterflächen auf der Südseite betrachtet. Dabei werden zwei Fälle unterschieden: Zum einen wird die Breite der einzelnen Fenster variiert; Anzahl, Höhe und Teilung bleiben unverändert. Zum anderen wird die Anzahl der Fenster variiert; die Fläche des einzelnen Fensters und der Rahmenanteil bleiben unverändert.

Ergebnisse





Diskussion

Die Simulation und die Berechnungen nach dem EN 13790-Verfahren liegen nahe beieinander. Die Ergebnisse nach 18599 liegen gewöhnlich bedeutend über den Simulationsergebnissen; die modifizierte Variante ergibt eine bedeutend bessere Übereinstimmung.

Für sehr große Glasflächen sinkt der nach DIN V 18599 berechnete Nutzkältebedarf unter das Simulationsergebnis.

Der Heizwärmebedarf sinkt mit wachsender Fensterfläche langsam ab, der Nutzkältebedarf steigt erheblich an.

Abhängig von der Fensterteilung können sich Heizwärme- und vor allem Nutzkältebedarf eines Gebäudes mit sehr geringem Energiebedarf erheblich ändern. Eine korrekte Berechnung der Wärmeverluste durch die Fenster (die in einem Passivhaus gewöhnlich ca. 50 % der gesamten Transmissionsverluste ausmachen) und der Reduktion des Strahlungseintrags aufgrund des tatsächlichen Rahmenanteils ist daher unerlässlich.

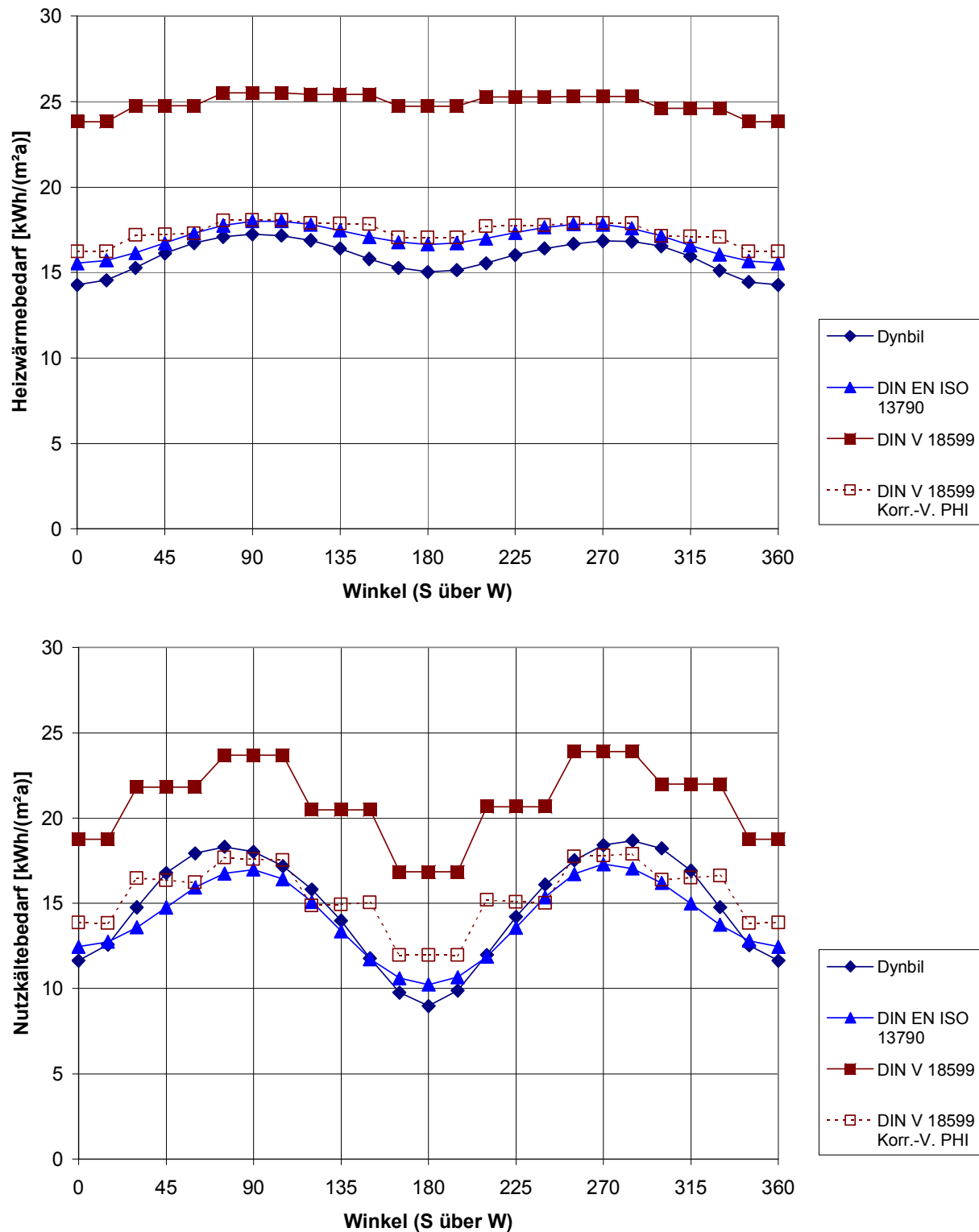
Empfehlung: Die Fenster einschließlich der Einbau-Wärmebrücken müssen nach DIN EN ISO 10077 berechnet werden. Eine pauschale Annahme des Rahmenanteils, wie sie in DIN V 18599 zulässig ist, reicht für die korrekte Berechnung von Gebäuden mit hohem solarem Deckungsanteil am Heizwärmebedarf nicht aus und führt im Sommerfall zu bedeutenden Fehlern in der Berechnung.

13.3.5.2 Orientierung

Beschreibung

Das Referenzgebäude wurde in verschiedene Himmelsrichtungen gedreht.

Ergebnisse



Diskussion

Aufgrund der Änderungen in den solaren Gewinnen mit der Orientierung ergibt sich eine deutliche Änderung von Heizwärme- und Nutzkältebedarf. Die Ergebnisse nach 18599 liegen in allen Fällen bedeutend über den Simulationsergebnissen, mit den vorgeschlagenen Korrekturen stimmen die nach 18599 berechneten Werte dagegen etwa mit den übrigen Ergebnissen überein.

Da in der DIN V 18599 nur nach 8 verschiedenen Himmelsrichtungen unterschieden wird, entstehen bei bestimmten Orientierungen Sprünge in den Ergebnissen.

Empfehlung: Die Solarstrahlung sollte sich stetig mit der Orientierung der Fläche verändern. Hierfür hat sich eine einfache Fourier-Interpolation als ausreichend genau und leicht handhabbar erwiesen (vgl. [Feist 1998a]).

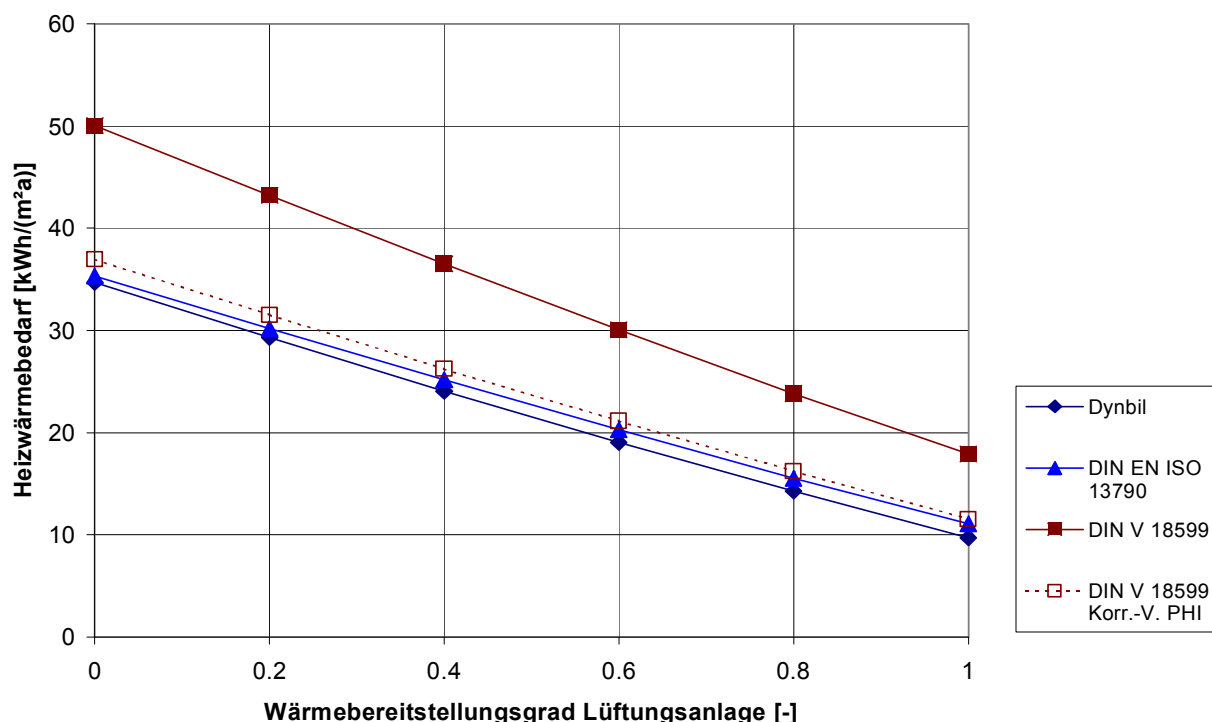
13.3.6 Lüftung

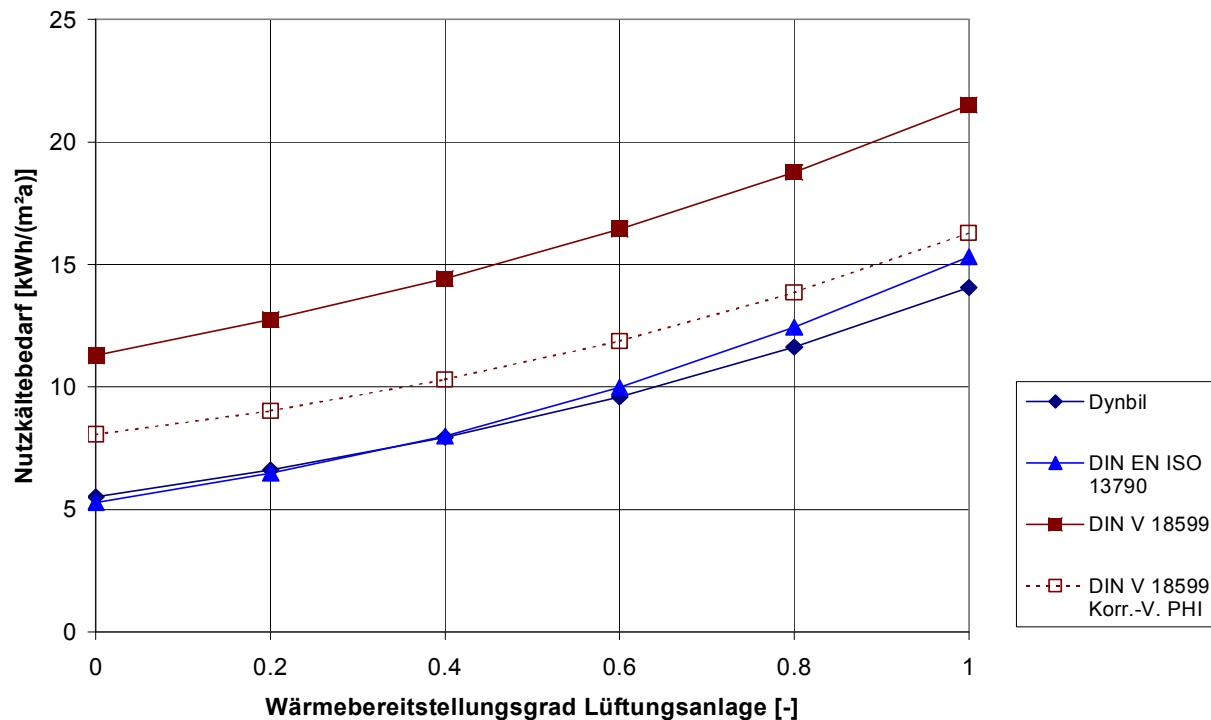
13.3.6.1 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Beschreibung

Der Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungswärmerückgewinnung wurde variiert.

Ergebnisse





Diskussion

Mit wachsendem Wärmebereitstellungsgrad sinkt der Heizwärmebedarf nahezu linear ab, der Nutzkältebedarf wächst. Dieses Verhalten zeigen alle Rechenverfahren. Die Ergebnisse nach 18599 liegen erneut bedeutend über den Simulationsergebnissen, mit den vorgeschlagenen Korrekturen stimmen die Ergebnisse nach 18599 dagegen in den meisten Fällen mit ausreichender Genauigkeit mit den übrigen Ergebnissen überein. Lediglich für geringe Wärmebereitstellungsgrade und im Kühlfall liegen die Ergebnisse der DIN V 18599 um ca. 2,5 kWh/(m²a) über denen der Simulation und der DIN EN ISO 13790.

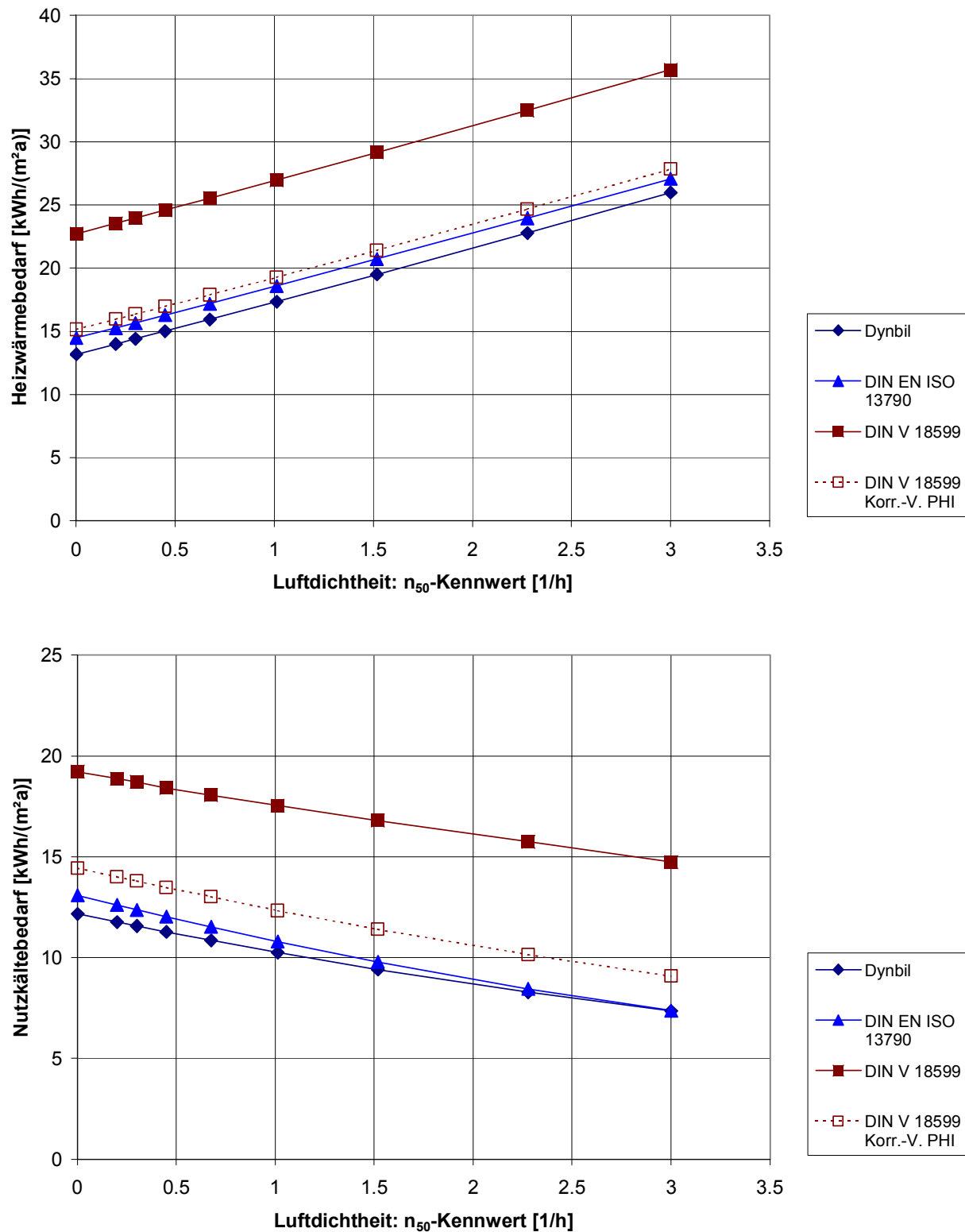
Der Anstieg des Nutzkältebedarfs ist darauf zurückzuführen, dass im Rechenmodell kein Bypass und keine Regelung des Wärmeübertragers während der Kühlperiode vorgesehen ist. Bei geeigneter Regelung lassen sich durch die Wärmerückgewinnung auch im Sommer Einsparungen erzielen.

13.3.7 Luftdichtheit

13.3.7.1 Beschreibung

Das Drucktestergebnis bei 50 Pa und die entsprechende Infiltration wurden variiert.

13.3.7.2 Ergebnisse



13.3.7.3 Diskussion

Mit wachsender Infiltration steigt der Heizwärmebedarf bei allen Rechenverfahren linear an, der Nutzkältebedarf sinkt aufgrund der besseren thermischen Kopplung an die Außenluft im Sommer. Das Ergebnis für den Sommerfall ist irreführend: Würden die Modelle eine geeignete sommerliche Lüftungsstrategie – wie sie in der Praxis regelmäßig stattfindet – berücksichtigen, würde sich bessere Luftdichtheit positiv auswirken.

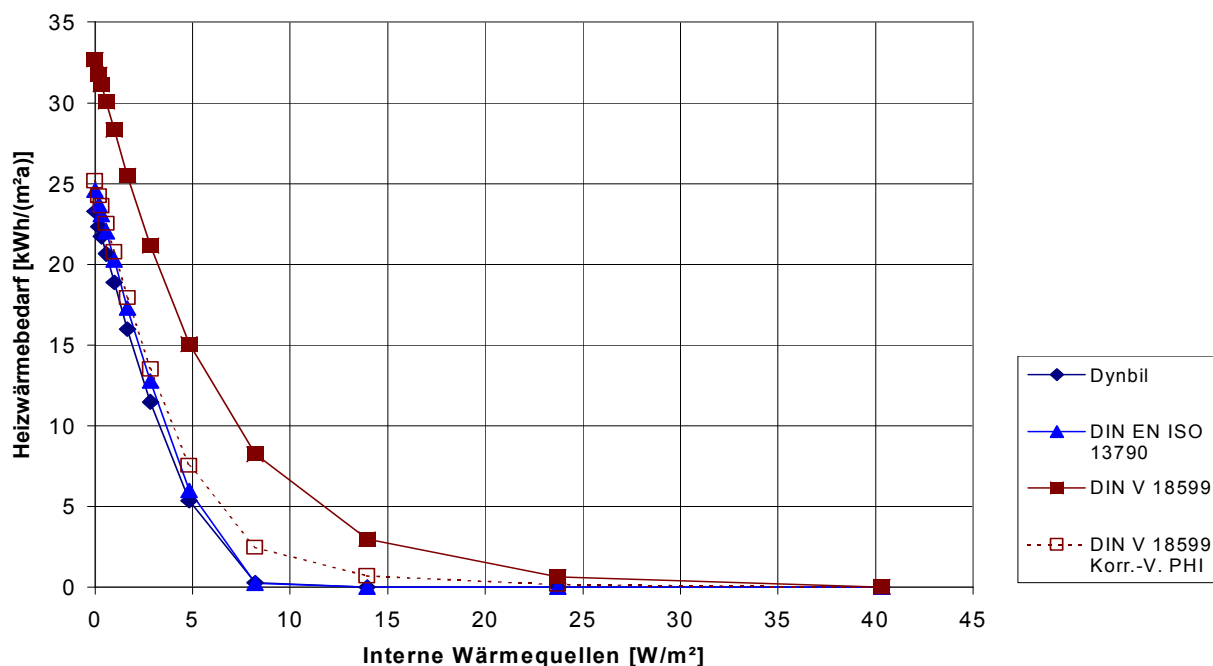
13.3.8 Interne Wärmegewinne

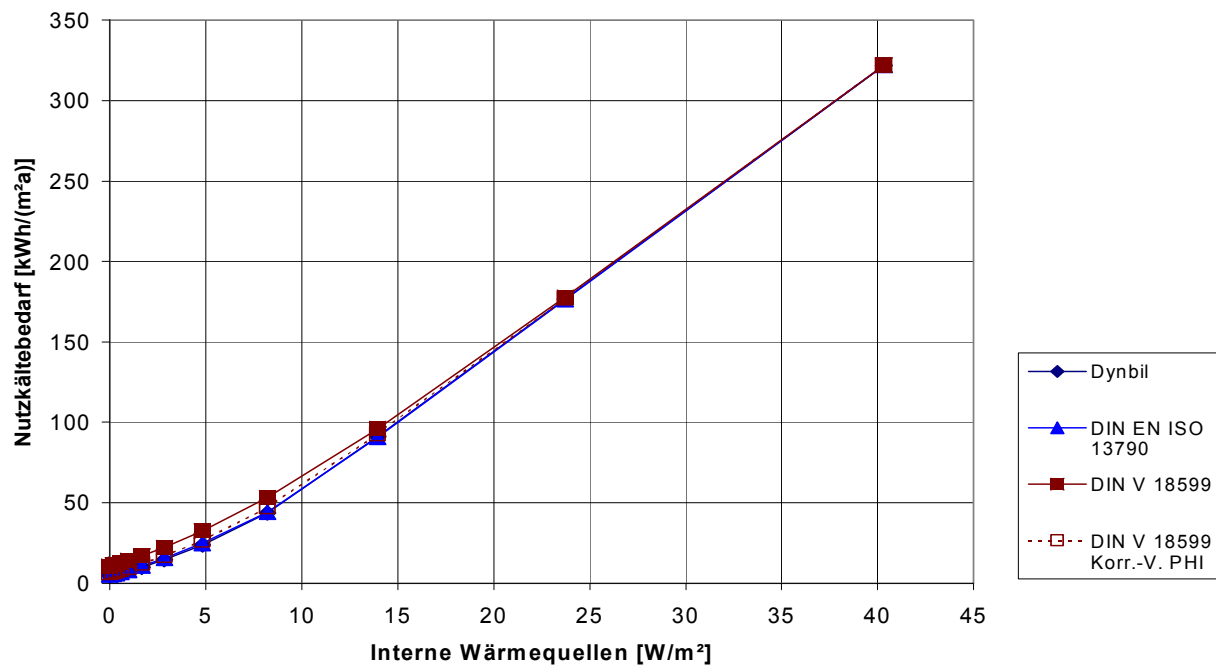
13.3.8.1 Höhe der internen Gewinne

Beschreibung

Die Höhe der internen Gewinne wurde zwischen 0 und 40 W/m² variiert.

Ergebnisse



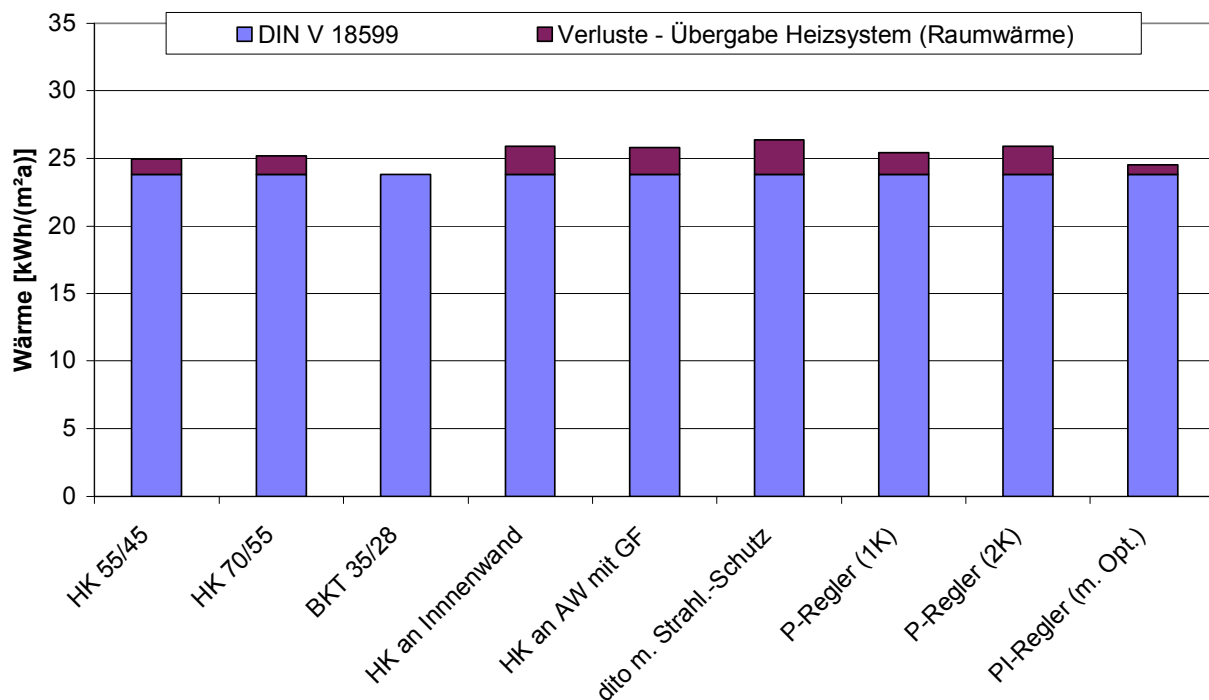


Diskussion

Mit wachsenden internen Gewinnen sinkt der Heizwärmebedarf. Die Simulation und das EN 13790-Verfahren weisen dabei einen nahezu identischen Verlauf auf. Die DIN V 18599 liegt wesentlich höher, so dass der nach DIN V 18599 berechnete Heizwärmebedarf erst bei weit höheren internen Gewinnen auf einen Wert nahe Null fällt. Die modifizierte Variante der DIN V 18599 liefert Ergebnisse, die bedeutend näher an der Simulation liegen.

Der Nutzkältebedarf wächst mit steigenden internen Gewinnen. Oberhalb einer Wärmeleistung von ca. 15 W/m^2 wird er nur noch durch die internen Wärmequellen bestimmt.

13.3.9 Verluste der Wärmeübergabe im Raum



Legende: BKT: Bauteilintegrierte Warmwasserheizung; HK: freie Heizflächen; AW; Außenwand; GF: Glasfassade. Die erste Säule entspricht dem Referenzfall: Heizkörper 55/45 an Außenwand, PI-Regler ohne Optimierung.

Die Wärmeübergabeverluste sind für Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf gegenüber dem Rechenverfahren der EnEV bedeutend kleiner geworden. Sie erreichen damit eine Größenordnung, die vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus [Schnieders 2004a] nicht mehr völlig unrealistisch erscheint. Mit den dort durchgeführten Simulationen waren auch Wärmeübergabeverluste von Null verträglich; es konnte sogar gezeigt werden, dass die Wärmeübergabeverluste in bestimmten Fällen negativ werden können. Entscheidend ist hier, dass die Wärmeübergabeverluste in Relation zum Heizwärmebedarf nicht mehr bedeutend sind.

Unklar bleibt jedoch, warum ausgerechnet für die schlecht regelbare Bauteiltemperierung keine Wärmeübergabeverluste angerechnet werden. Unklar ist auch, warum die Übergabeverluste von Heizkörpern vor Glasfassaden *mit* Strahlungsschutz höher sind als *ohne* Strahlungsschutz. Hier liegt in [Höttges 2006] möglicherweise eine Verwechslung vor.

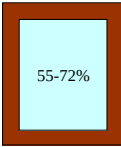
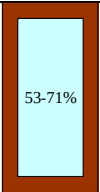
Empfehlung: Die Wärmeübergabeverluste sind – wenn sie überhaupt existieren – von untergeordneter Bedeutung, die Ermittlungsgrundlagen sind intransparent. Wir schlagen daher einen Verzicht auf die Berücksichtigung von Wärmeübergabeverlusten in der Norm vor.

14 Überprüfung von zusätzlichen Berechnungsergebnissen der DIN 18599

14.1 Fenster: Standard-Annahme des Verglasungsanteils

Aus Angaben des Verbands der Fenster und Fassadenhersteller wurde ein mittlerer Verglasungsanteil bei Fenstern von etwa 62 % abgeschätzt. Die Standard-Annahme gemäß [DIN V 18599], [EnEV 2007] liegt bei 70 %!

Tabelle 95: Abschätzung des durchschnittlichen Verglasungsanteils eines Fensters für zwei typische Fensterformate

	Fenster 1,40 m x 1,20 m	Fenster 1,80 m x 0,94 m		
	Verglasungsanteil	Verglasungsanteil		
Sehr schmaler Rahmen (Festverglasung): 96 mm Ansichtsbreite	72 %	71 %		
Mittlere Rahmenbreite: 134 mm Ansichtsbreite	63 %	61 %		
Breiter Rahmen: 167 mm Ansichtsbreite	55 %	53 %		

Insbesondere bei hocheffizienten Gebäuden haben die solaren Gewinne einen bedeutenden Einfluss auf den Heizenergiebedarf. Als Standard-Wert sollte eine realistisch Annahme getroffen werden, welche ggf. durch eine auch mögliche genauere Berechnung verbessert wird. Es wird empfohlen die Standard-Annahme bezüglich des Verglasungsanteils auf einen Wert um 62 % zu reduzieren.

14.2 Standardlänge der Wärmeverteilungen

Die Normenreihe der DIN V 18599 umfasst auch ein Verfahren zur Bestimmung einer Standardlänge der Wärmeverteilung aus Gebäudegeometriedaten. Ein Vergleich der mit dem Verfahren der DIN V 18599 ermittelten Heizungsrohrängen führte auf eine Überschätzung der tatsächlichen Leitungslängen bei den betrachteten Modellgebäuden von bis zu 80% (vgl. Tabelle 127). Es wird daher empfohlen das Verfahren zur Ableitung der Standardrohrleitungslänge zu überarbeiten.

14.3 Beleuchtung

Bei Nichtwohngebäuden hat insbesondere die Beleuchtung einen wesentlichen Anteil am Primärenergiebedarf. Im Folgenden werden die Verfahren zur Bestimmung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Beleuchtung [DIN V 18599-4] mit Verfahren aus der Literatur verglichen.

14.3.1 Bestimmung der spezifischen installierten Leistung der Leuchten (bzw. spezifischen elektrischen Bewertungsleistung) für die empfohlene Referenzausführung

Als Referenzausführung der Beleuchtung wird im Abschnitt 7.3.1 eine direkte Beleuchtung mit elektronischen Vorschaltgeräten und stabförmiger Leuchtstofflampe empfohlen. Die erforderliche elektrische Lampenleistungen (inkl. Betriebsgerät) beeinflusst den Primärenergiebedarf für Beleuchtung erheblich und soll im folgenden mit unterschiedlichen Verfahren ermittelt und berechnet werden. Raumgeometrie und Nutzungsanforderung werden gemäß dem Nutzungsprofil **Einzelbüro** der [DIN V 18599-10] angesetzt.

Zum Vergleich wurden die Grenz- und Zielwerte gemäß [VDI 3807-4], Leitfaden Energieeinsparung im Hochbau [LEE] und [SIA 380-4] herangezogen. Gegenüber den Zielwerten liegen die ermittelten installierten Leistungen mit den Verfahren und Annahmen gemäß [DIN V 18599-4;10] bis zu 70 % höher (vgl. Abbildung 85).

Elektrische Leistungskennwerte für Beleuchtung, wie sie durch die Grenzwerte von [VDI 3807-4], [LEE] (Leitfaden Energieeinsparung im Hochbau) und [SIA 380-4] definiert werden, haben sich in der Praxis bewährt und können durch eine Fachplanung auch eingehalten werden (bzw. deutlich unterschritten werden; vgl. [Bretzke 2006]). Wie in Abschnitt 5.8 gezeigt wurde, ist sogar eine zusätzliche Fachplanung rentabel, wenn die installierte Leistung der Leuchten vom Ansatz der [DIN V 18599-4] auf die Grenzwerte dieser Verfahren verringert werden kann.

Zur Ermittlung der spezifischen installierten Leistung im Referenzgebäudeverfahren wird daher empfohlen, das Wirkungsgradverfahren mit geeigneten Standard-Annahmen als Referenzausführung festzuschreiben. In Abbildung 85 ist zusätzlich der mit den empfohlenen Standard-Annahmen und dem Wirkungsgradverfahren (WKV) resultierende Wert dargestellt (dritte Säule von links, orange). Dieser Wert liegt im Bereich der Grenzwerte der Vergleichsverfahren.

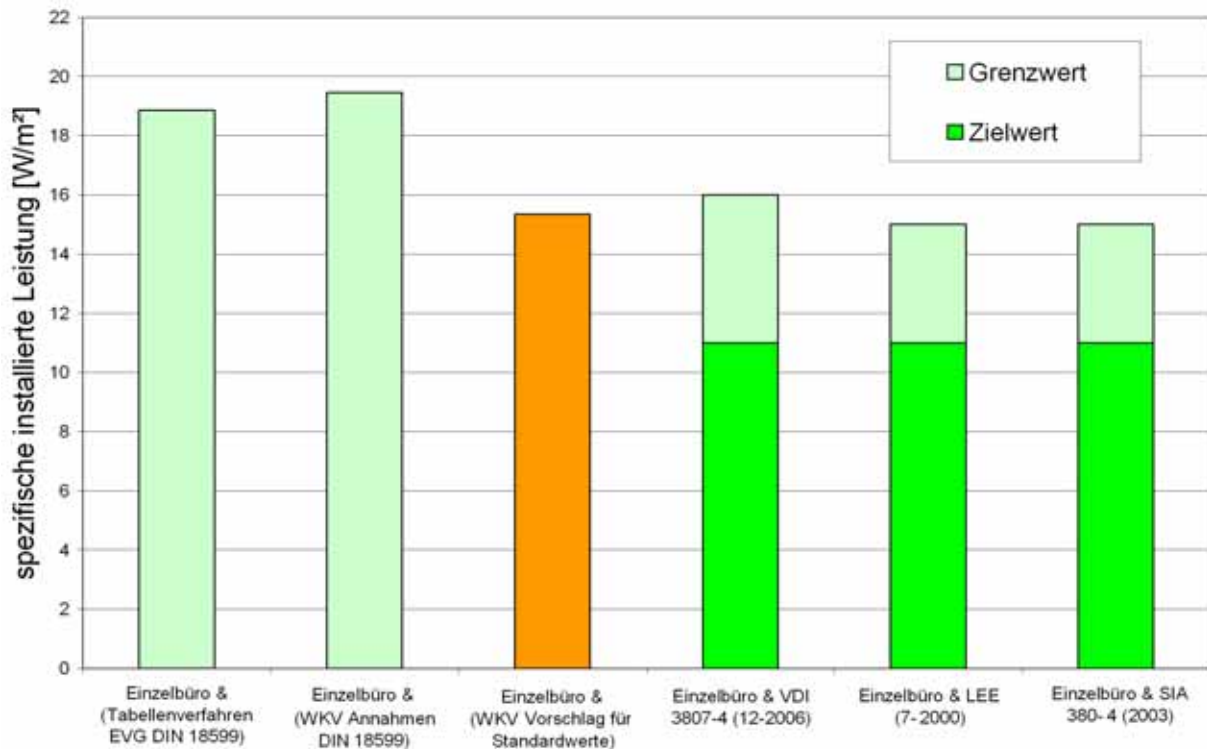


Abbildung 85: Dargestellt ist die erforderliche spezifische installierte Leistung für ein Einzelbüro gemäß [DIN V 18599-10] (Geometrie, Beleuchtungsstärke, etc.) ermittelt nach unterschiedlichen Verfahren.

14.3.2 Bestimmung der spezifischen installierten Leistung mit dem Wirkungsgradverfahren

Für das Wirkungsgradverfahren werden im Folgenden neue Standard-Annahmen für die Referenzausführung

- direkte Beleuchtung mit elektronischen Vorschaltgeräten und stabförmiger Leuchtstofflampe

bestimmt. Diese Standardannahmen sollen an dieser Stelle diskutiert werden, da Lampen und Leuchten technisch weiterentwickelt wurden und wie einzelwirtschaftliche Betrachtungen bereits gezeigt haben, eine zusätzliche Beleuchtungsfachplanung sogar rentabel ist, sofern die Grenzwerte gemäß [LEE] damit eingehalten werden können.

Für die Referenzausführung wird daher angestrebt, diese realisierbaren und ökonomisch gebotenen Lampenleistungen auch mit den Verfahren gemäß [DIN V 18599] definieren zu können.

Wartungsfaktor

Der Wartungsfaktor sollte zu 0,80 angesetzt werden. Dies entspricht den Empfehlungen der [AMEV 2006]. In Räumen mit starker Staubbelastung wie z. B. Werkstätten empfiehlt die AMEV nicht mehr Leuchtenleistung, sondern häufigeres

Reinigen. Weiterhin wird im ZVEI-Leitfaden zur DIN EN 12464-1 angemerkt, dass die in der [CIE 97] veröffentlichten Angaben zum Wartungsfaktor in den einschlägigen Fachkreisen der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V ebenfalls kritisch bewertet werden:

„In den einschlägigen Fachkreisen der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V. (LiTG) sind die in der CIE-Publikation 97 angegebenen Referenzkurven für Lampen und Leuchten intensiv diskutiert worden. Neuere Messungen an Lampen und Leuchten aus bestehenden Anlagen haben die CIE-Leuchten-Wartungswerte nur in wenigen Fällen bestätigt, die meisten Messergebnisse ergaben höhere Lampen- und Leuchtenwartungsfaktoren, also ein besseres Betriebsverhalten als die den CIE-Werten zugrunde gelegten. Die CIE aktualisiert derzeit ihre Schrift.“

Systemlichtausbeute

Lampen und Leuchten wurden weiter entwickelt; es wird eine Systemlichtausbeute von 85 lm/W empfohlen. Dies entspricht dem Grenzwert (Mindestanforderung) der EU-Effizienzklasse A bei stabförmiger 58W-Leuchtstofflampe.

Leuchten Betriebswirkungsgrad

Der Vorschlag für den Referenzwert liegt weiterhin bei 70 %, um unterschiedlichen Beleuchtungsanforderungen gerecht zu werden.

Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe:

Wie in DIN V 18599-4 geregelt.

Mit dem Wirkungsgradverfahren unter den o. g. angesetzten Standard-Randbedingungen resultieren auch für weitere untersuchte Raumgeometrien und Nutzungsanforderungen (Klassenraum, Gruppenbüro) spezifische installierte Lampenleistungen im Bereich der Grenzwerte der oben diskutierten Vergleichsverfahren (vgl. Abschnitt 16.12).

14.3.3 Bestimmung der Betriebsstunden der Beleuchtung

Der Primärenergiebedarf für Beleuchtung wird maßgeblich durch die Anzahl der Vollbetriebsstunden bestimmt. Die Plausibilität der Verfahrensergebnisse der [DIN V 18599-4] soll daher anhand von Literaturverfahren überprüft werden. Untersucht wurde wiederum ein Einzelbüro (Geometrie und Anforderungen gemäß [DIN V 18599-10]). Dabei wurde der Einfluss des Tageslichtangebots (Variation des Fensterflächenanteils bezogen auf die Bodenfläche) und die Bedeutung der Beleuchtungssteuerung untersucht. Die Eingabedaten der Verfahren unterscheiden sich, gleichwohl wurde auf weitgehende Konsistenz der Eingaben für alle Verfahren geachtet.

Abbildung 86 zeigt die berechneten Vollbetriebsstunden der Beleuchtung in einem Einzelbüro für unterschiedliche Fensterflächenanteile und zwei Beleuchtungssteuerungsansätze (Handabschaltung bzw. „manuelle“ Beleuchtungsregelung /

tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung „gedimmt, ausschaltend“). Aufgrund der unterschiedlichen theoretischen Berechnungsansätze weichen die Verfahren erwartungsgemäß deutlich von einander ab. Die Größenordnung der ermittelten Betriebsstunden ist allerdings vergleichbar.

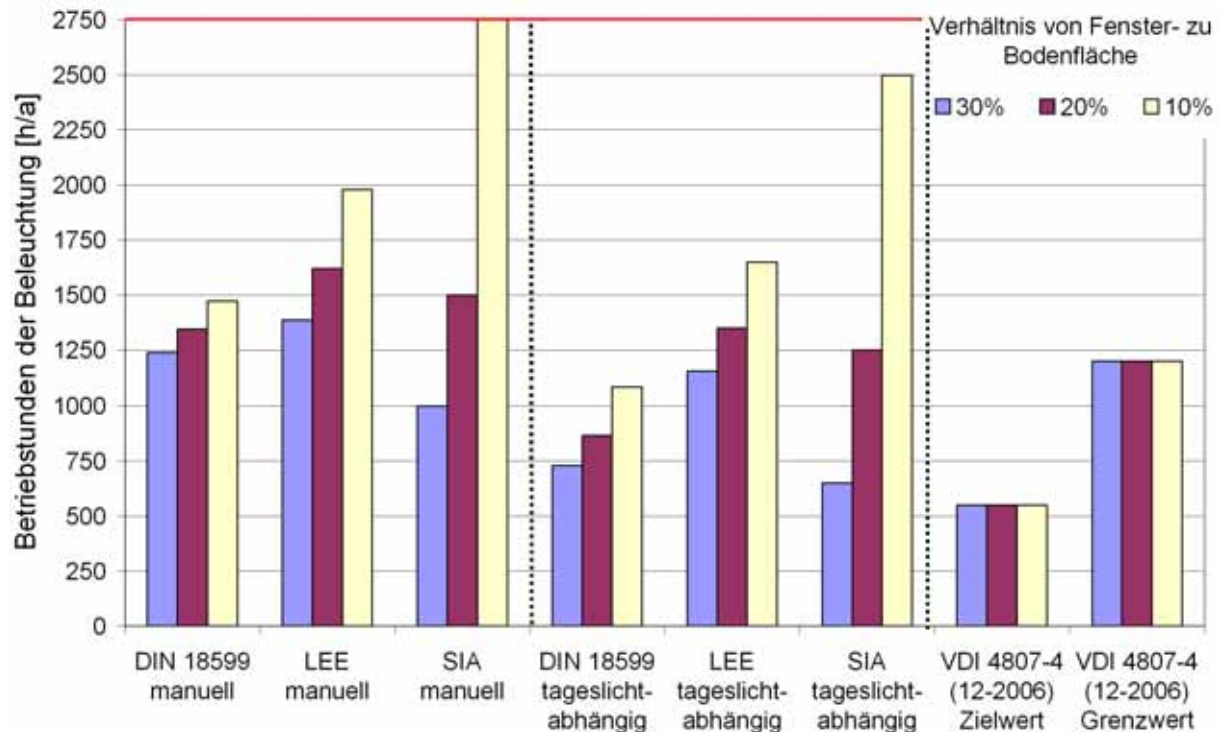


Abbildung 86: Vollbetriebsstunden der Beleuchtung dargestellt für ein Einzelbüro und ermittelt gemäß [DIN V 18599] und drei weiteren Verfahren. Die Größenordnung der Vollbetriebsstunden ist vergleichbar, wobei die verschiedenen Verfahren erwartungsgemäß deutlich von einander abweichen. Die rote Linie markiert die jährlichen Nutzungsstunden in einem Einzelbüro.

In Abbildung 87 ist der relative Einfluss des Tageslichtangebots dargestellt. Angegeben ist die Reduzierung der Beleuchtungsbetriebsstunden, wenn der Fensterflächenanteil bezogen auf die Raumgrundfläche von 10 % auf 30 % erhöht wird. Wie auch schon in Abbildung 86 erkennbar, ist der Einfluss des Tageslichtangebots mit dem Verfahren gemäß DIN V 18599 geringer.

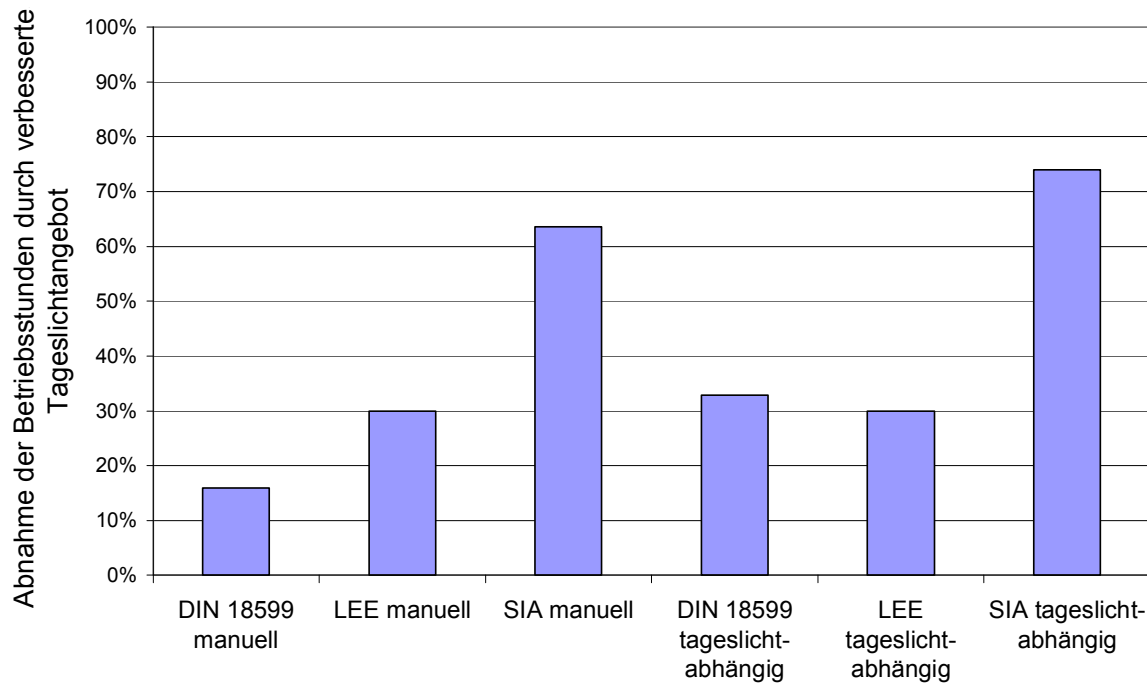


Abbildung 87: Relativer Einfluss des Tageslichtangebots

In Abbildung 88 ist der relative Einfluss des Beleuchtungsregelungssystems dargestellt. Mit der tageslichtabhängigen Regelung (gedimmt, ausschaltend) verringern sich die Betriebsstunden bei dem Verfahren nach DIN V 18599 deutlicher.

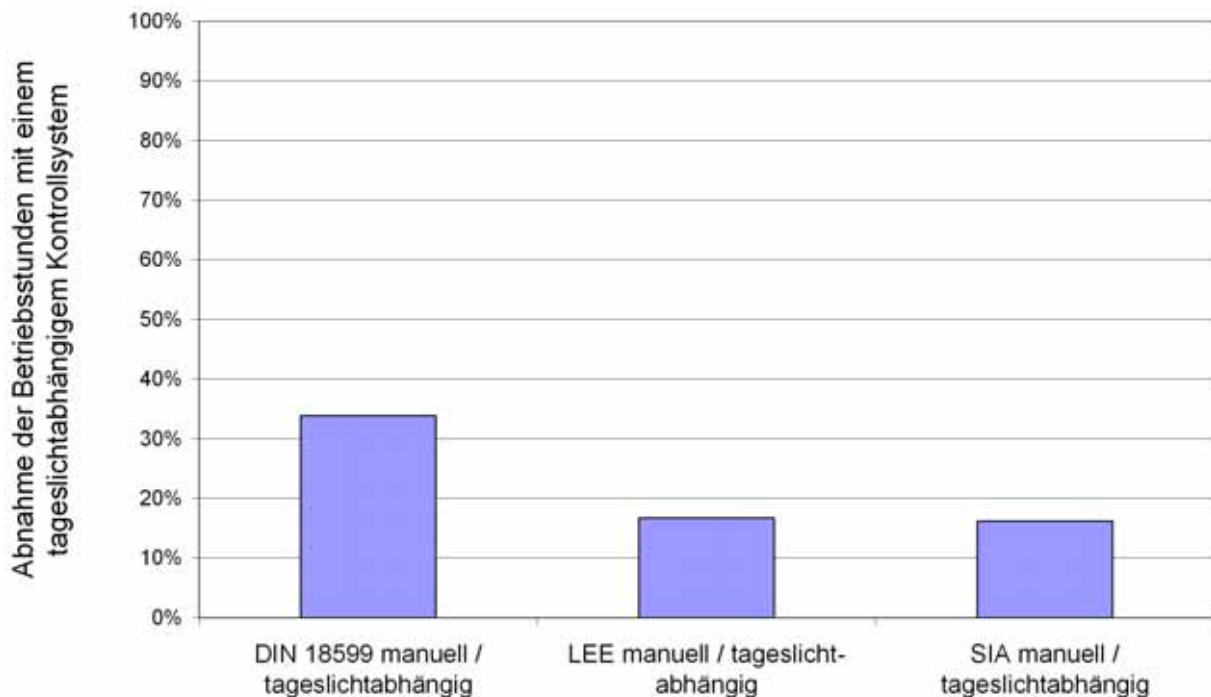


Abbildung 88: Relativer Einfluss der Beleuchtungssteuerung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die mit dem Verfahren der [DIN V 18599-4] ermittelten Vollbetriebsstunden vergleichbar mit den ausgewerteten Literaturverfahren sind. Die Werte erscheinen insoweit plausibel. Die Abweichungen der Einzelwerte deuten darauf hin, dass bezüglich der Einzeleinflüsse (Tageslichtangebot im Zusammenspiel mit der Beleuchtungsregelung) noch ggf. Untersuchungsbedarf besteht.

Im Vergleich der Verfahren ergab sich weiterhin, dass der Einfluss des Tageslichtangebots bei dem Verfahren nach [DIN V 18599-4] eher geringer und der Einfluss des Kontrollsystems nach [DIN V 18599-4] eher höher bewertet wird.

Zur Ergänzung der [DIN V 18599-4] wird weiterhin vorgeschlagen, dass die Unterteilung in zwei Leuchtengruppen aktiv ausgewählt werden kann. Derzeit wird implizit angenommen, dass zwei Leuchtengruppen vorhanden sind. Im Verfahren der DIN V 18599 wird der Raum in zwei bezüglich des Tageslichtangebots unterschiedliche Bereiche unterteilt. Dabei wird implizit angenommen, dass die Bereiche unabhängig voneinander geschaltet werden können. Dies könnte als weitere Abfrage dem Algorithmus hinzugefügt werden, da diese Maßnahme zu erheblichen Strom-Einsparungen führt.

15 Ergänzungs- und Änderungsvorschläge zum Rechenverfahren gemäß DIN 18599

Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung

Die [DIN V 18599-2] (S.79) berücksichtigt die Wärmerückgewinnung bei der Berechnung des Ausnutzungsgrades der freien Wärme nicht. Dieses Vorgehen entspricht nicht demjenigen der [DIN EN ISO 13790]. Die Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung führt zu einer deutlich bessere Übereinstimmung mit Simulationsergebnissen (s. Kapitel 13.2), sodass hier das Vorgehen analog zur europäischen Norm [DIN EN ISO 13790] empfohlen wird.

Innentemperatur im Kühlfall

Entgegen der [DIN EN ISO 13790] wird die Innentemperatur gegenüber dem Sollwert um 2 K reduziert. Auch hier wird das Verfahren nach der europäischen Norm [DIN EN ISO 13790] empfohlen, welches keine Reduzierung vorsieht (s. Kapitel 13.2).

Wochenendbetrieb und Ferienzeiten

In [DIN V 18599-2] heißt es (6.1.2): "Für Wochenendbetrieb und Ferienzeiten ist üblicherweise kein Betrieb der Lüftungsanlage und der Kühlanlage gegeben. Der Kühlbedarf für diesen Zeitraum ist in diesem Fall null." Die implizite Folgerung, dass nur der Kühlbedarf während der Nutzungszeit berechnet werden müsse, ist offenkundig falsch: Eine etwaige Aufheizung des Gebäudes außerhalb der Nutzungszeiten muss vor Beginn der Nutzung wieder ausgeglichen werden; daher muss auch außerhalb der Nutzungszeit eine Bilanzierung der Energieströme stattfinden. In den hier untersuchten Fällen wird das Gebäude kontinuierlich genutzt, so dass dieser Aspekt sich in den Ergebnissen nicht niederschlägt.

Reduktionsfaktoren gegen Erdreich

In [DIN V 18599] werden anstelle der aufwendigeren Berechnung nach [DIN EN ISO 13370] Reduktionsfaktoren für die Erdreichwärmeverluste vorgeschlagen. Irritierend sind hier die Unstetigkeiten im Wärmeverlust, die bei Überschreitung der Fallgrenzen, etwa bei Änderungen in der Größe der Bodenplatte, auftreten. Fehler entstehen ferner im Kühlfall, wenn die Raumtemperatur höher als 20 °C ist.

Die Reduktionsfaktoren für die Wärmeverluste durch das Erdreich in [DIN V 18599] sollten stetig von den Parametern B' und R abhängen. Eine einfache Interpolationsformel ist ausreichend. Bei Verwendung von Reduktionsfaktoren ist die Bezugs-Innentemperatur anzugeben.

Standard-Annahme Abminderung Fensterrahmen F_F und Verschattung F_S

Mit einem Standardwert sollte eine realistische Annahme getroffen werden, welche ggf. durch eine auch mögliche genauere Berechnung verbessert wird. Es wird empfohlen, die Abminderung Fensterrahmen F_F gemäß typischer Fensterformate und Rahmenbreiten zu überarbeiten. Als neue Standard-Annahme werden 62 % empfohlen (s. Kapitel 14.1). Die zur Zeit verwendeten Standardwerte F_F von 70 % und F_S nach Tabellen A.1 bis A.3 der [DIN V 18599-2] führen zu einer Überschätzung der solaren Gewinne (s. Kapitel 12.10). Auch für F_S (Verschattung) wird ein geringerer Standardwert empfohlen, welcher typische Verschattungssituationen berücksichtigt.

Bei besonders energieeffizienten Gebäuden sollten Fenster-Wärmedurchgangskoeffizienten U_w detailliert nach [DIN EN ISO 10077] anhand der tatsächlichen Abmessungen berechnet werden. Eine pauschale Annahme des Rahmenanteils reicht für die korrekte Berechnung von Gebäuden mit hohem solarem Deckungsanteil am Heizwärmebedarf nicht aus (s. Kapitel 13.2).

Fensterluftwechsel bei Lüftungsanlagenbetrieb

Der Ansatz eines Fensterluftwechsels auch bei Einsatz einer maschinellen Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung erhöht den Heizwärmebedarf drastisch. Eine derartige pauschale Erhöhung steht im Widerspruch zu den ausgewerteten Messprojekten (s. Kapitel 12.10). Für Gebäude mit Lüftungsanlage sollte der zusätzliche Fensterluftwechsel höchstens $0,01 \text{ h}^{-1}$ betragen (s. Kapitel 13.2).

Interne Wärmegewinne

Die für Mehrfamilienwohnhäuser in Ansatz zu bringenden internen Wärmegewinne von $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ führen zu einem zu geringen Energiebedarf (s. Kapitel 12.10). Die sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung mit internen Wärmegewinnen von $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$, weist auf eine realistische Größenordnung dieser Wärmegewinne hin. Wir schlagen daher einheitliche interne Wärmegewinne für Wohnnutzung vor, zumal die Luftwechselraten in dichter belegten Geschosswohnbauten nicht angepasst werden.

Ungeregelte Wärmeeinträge

Die Berechnung der Erzeugernutzwärmeabgabe nach [DIN V 18599] erfolgt unter Berücksichtigung ungeregelter Wärmeeinträge durch das Warmwasser- und Heizungsverteilsystem. Der Vergleich mit den Messergebnissen (s. Kapitel 12.10) zeigt aber, dass je nach Versorgungskonzept diese Wärmeeinträge zu einer weitgehenden Unterschätzung des erforderlichen Heizwärmebedarfes führen können. Hier wird ein weiterer Untersuchungsbedarf gesehen.

Wärmeverluste des Standard-Trinkwarmwasserspeichers

Die Wärmeverluste des Trinkwarmwasserspeichers haben einen bedeutenden Einfluss auf die Effizienz der Trinkwarmwasserversorgung. In der [DIN V 18599] sollten für den Standard-Speicher unterschiedliche thermische Qualitäten definiert werden, so dass diese zumindest auch beim Referenzgebäudeverfahren angesetzt werden können.

Standardlängen der Wärmeverteilung

Im Nichtwohnbau sollte in der Referenzausführung die Standardlänge der Wärmeverteilung angesetzt werden (vgl. Abschnitt 7.3.1). Wie sich zeigte, überschätzen die Algorithmen gemäß [DIN V 18599-5] z.T. deutlich die tatsächlichen Rohrleitungslängen (vgl. Abschnitt 14.2). Dies kann zu unrealistisch hohen Wärmeverlusten in der Referenzausführung führen. Es wird empfohlen dieses Verfahren zu überarbeiten.

Wärmeübergabeverluste

Die Wärmeübergabeverluste sind – wenn sie überhaupt existieren – von untergeordneter Bedeutung, die Ermittlungsgrundlagen sind intransparent. Wir schlagen daher einen Verzicht auf die Berücksichtigung von Wärmeübergabeverlusten in der Norm vor (s. Kapitel 13.3).

Luftdichtheit

Eine Entwärmung des Gebäudes durch verstärkte Lüftung während der Nacht, unter Ausnutzung der niedrigeren Umgebungstemperaturen, wird bisher nicht berücksichtigt. Damit sind aber insbesondere bei Bürogebäuden mit hohen internen Lasten bedeutende Einsparungen erzielbar. Ohne realistische Berücksichtigung der Sommerlüftung kann es zu Fehlinterpretationen bezüglich des Einflusses anderer Parameter wie z. B. der Luftdichtheit kommen (s. Kapitel 13.3).

Berücksichtigung von Leuchtengruppen

Im Verfahren der [DIN V 18599-4] wird der Raum in zwei bezüglich des Tageslichtangebots unterschiedliche Bereiche unterteilt. Dabei wird implizit angenommen, dass die Bereiche unabhängig voneinander geschaltet werden können. Dies sollte als tatsächliche Abfrage dem Algorithmus hinzugefügt werden, da diese implizit angenommene Maßnahme zu erheblicher Stromeinsparung führt.

Ergänzung der Raumkühlungsstrategien

Wie sich in den Abschnitten 5.9 und 16.2 zeigte, sind heute gebräuchliche und wirtschaftlich interessante Strategien zur Raumkühlung noch nicht in voller Breite in der Normenreihe der [DIN V 18599] integriert. Es wird empfohlen, neben der konventionellen Kühltechnik weitere energieeffiziente Techniken zur Verbesserung des sommerlichen Komforts in das Rechenverfahren aufzunehmen. Hierzu zählen insbesondere die Bauteilkühlung in Verbindung mit Erdsonden und die Nachtlüftung (vgl. Abschnitt 16.2).

16 Anhang

16.1 Anhang: Wärmebrückenwirkung bei Innendämmung

Innendämm-Maßnahmen führen dazu, dass das außen liegende Mauerwerk stärker abkühlt, da von den beheizten Innenoberflächen weniger Wärme nach außen dringt. Werden nur einzelne Wohnngen in einem größeren Gebäude mit Innendämmung ausgestattet, dann taucht die Frage auf, ob dieser Effekt in einer angrenzenden Nachbarwohnung ohne Innendämmung zu einer kritischen Verringerung der Innenoberflächentemperaturen führen würde im Vergleich zum Zustand ganz ohne Innendämmung.

Auch ohne Innendämmung (vgl. Abbildung 89) sind die Temperaturen an Innenoberflächen von Bestandsgebäude im ursprünglichen Zustand schon als kritisch einzustufen, da sie in der Fläche mit 8,1 °C und in der Wandkante mit 10 °C deutlich unter 13 °C liegen.

Randbedingungen: ungedämmtes Mauerwerk, Außentemperatur -5 °C, Raumtemperatur 20 °C, 50 % r.F. und Wärmeübergangswiderstand erhöht, bzw Wärmeübergang reduziert auf nur 4 W/m²K.

Eine Innendämmung in einer angrenzenden Nachbarwohnung (vgl. Abbildung 90) führt dazu, dass die Temperatur in der Wandkante nun ebenfalls auf 8,7°C absinkt. Im Vergleich zur Ausgangssituation ist dies eine leichte Verschlechterung einer aber vorher schon als sehr kritisch einzustufenden Ausgangssituation.

Aus diesem Sachverhalt kann der einen Partei nicht verwehrt werden, auf eine Innendämmung zu verzichten, es muss vielmehr darauf hingewiesen werden, dass beide Parteien in jedem Falle tunlichst eine bauphysikalisch einwandfreie (Feuchteschutz: raumseitig luft- und dampfdicht) Wärmdämm-Maßnahme realisieren sollten.

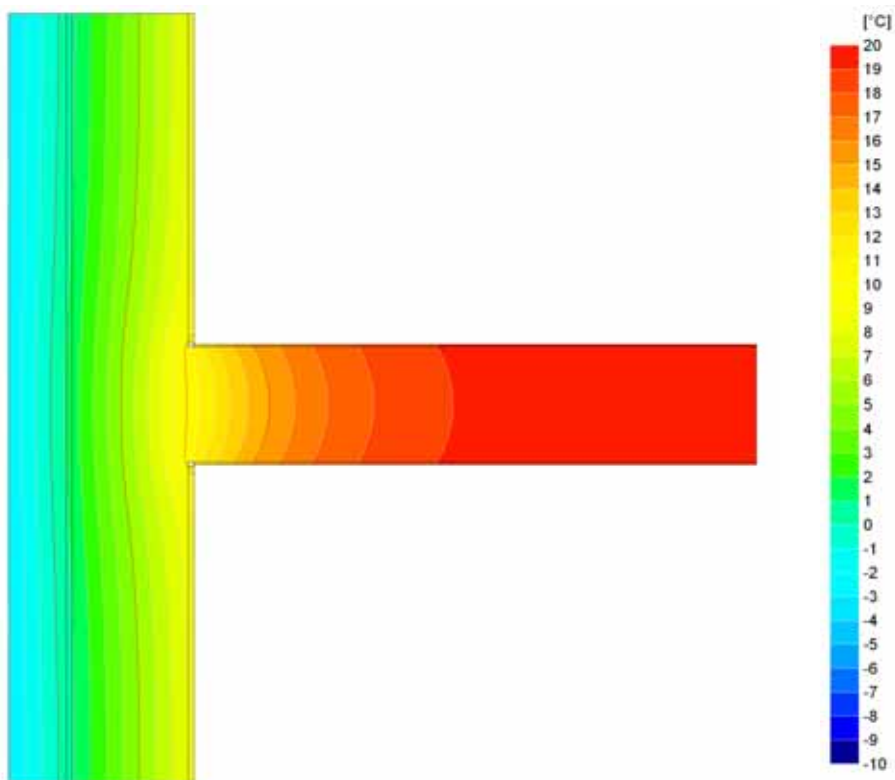


Abbildung 89: Innenwand grenzt an Außenwand. Auf beiden Seiten der Innenwand unzureichende Wärmedämmung.

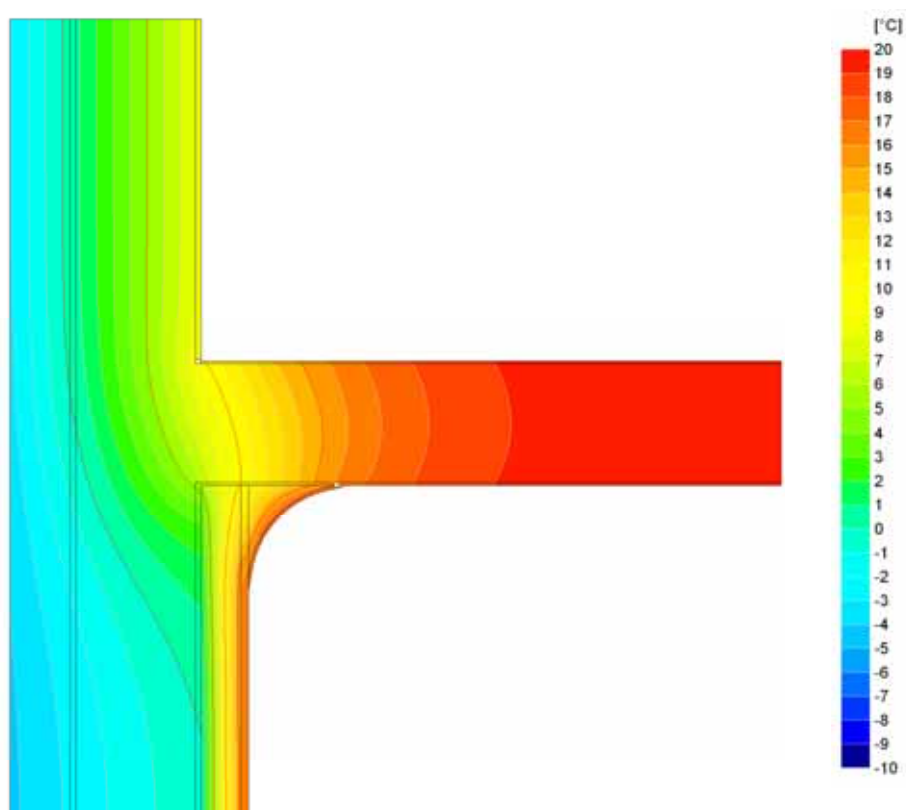


Abbildung 90: Innenwand grenzt an Außenwand. Eine Seite mit Innendämmung ausgestattet.

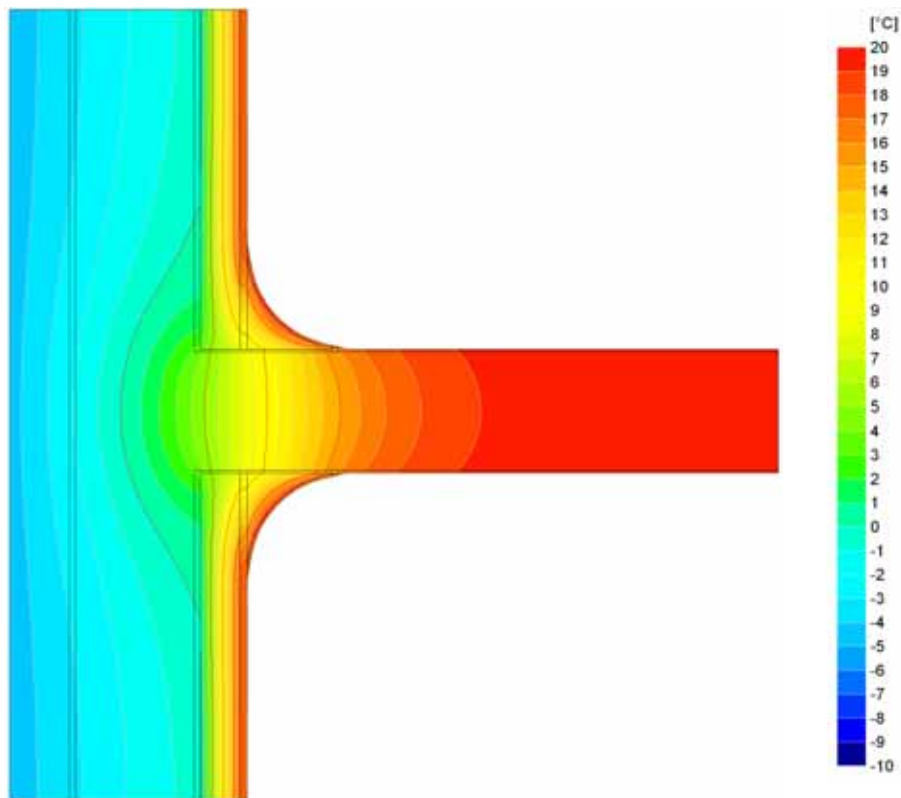


Abbildung 91: Innenwand grenzt an Außenwand. Beide Seiten mit Innendämmung ausgestattet

16.2 Anhang zum Abschnitt 5.9: Möglichkeiten und Grenzen der Nachtlüftung und der adiabaten Kühlung

In diesem Abschnitt werden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, passive, hybride und aktive Technologien angeführt, welche zum Teil ergänzend bzw. in Kombination zur energieeffizienten Raumkühlung Anwendung finden können. Die vollständigen Untersuchungen und Ergebnisse hierzu finden sich in [AKKP 31], an dieser Stelle wird hauptsächlich auf freie Kühlung und adiabate Kühlung eingegangen.

Unter der Voraussetzung einer stringenten Minimierung der internen Wärmequellen, können sich die Maßnahmen zur Verbesserung des Sommerkomforts auf die Kühlung der Zuluft sowie Nachtlüftung beschränken. Damit verbunden sind potentiell hohe Investitionskosteneinsparungen, weil auf die ohnehin vorhandene Zuluftverteilung zurückgegriffen werden kann und keine zusätzlichen Kühlflächen installiert werden müssen.

16.2.1 Passive und hybride Kühlsysteme

Rein passive Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas im Sommer wurden in [AK 22] untersucht und vereinfachte Berechnungsverfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels [Schnieders 2003] bei gegebener Öffnung von Fenstern oder Lüftungsklappen bereitgestellt. Unter rein passiven Maßnahmen sind bauliche Vorkehrungen zu verstehen, welche ohne mechanischen Antrieb zur Kühlung des Gebäudes gezielt beitragen, also insbesondere die natürliche Belüftung sowie Beschattung. Die reine Fensterlüftung über manuelle Betätigung der Fensterflügel erbringt häufig nicht den gewünschten Effekt, sondern wirkt sich zum Teil sogar kontraproduktiv aus, wenn Fenster in Zeiträumen geöffnet werden, welche Außenlufttemperaturen über den Raumlufttemperaturen aufweisen. Abhilfe schaffen hier motorisch angetriebene Fensterflügel bzw. Lüftungsklappen, welche über eine Regelung angesteuert auf- bzw. zugefahren werden. Bei Verwaltungs-, Büro- und Funktionsgebäuden ist die nächtliche Fensterlüftung aus Gründen des Einbruchsschutzes häufig nicht möglich. Hier können spezielle Lüftungsklappen mit vorgestelltem Gitter (mit möglichst großen Öffnungsquerschnitten) eingesetzt werden. Darüber hinaus sollen möglichst große Öffnungswinkel realisiert werden, die für eine effektive Nachtkühlung (hohe Volumenströme) notwendig sind.

Am effektivsten ist prinzipiell die Lüftung über mehrere Stockwerke, in der Praxis je nach Grundrissgestaltung, Nutzung und Eigentumsverhältnissen nicht immer realisierbar. Mittels Querlüftung ist aber ebenfalls eine gute Nachtauskühlung zu erreichen. Technisch stellt sich hier die Frage der Überströmung in den Flurbereich. Diese kann entweder über spezielle Lüftungsklappen oder über die Zimmertüren selbst (ggf. mit motorischem Antrieb) erfolgen. Eine Einbindung in das Brandschutzkonzept ist in jedem Falle notwendig.



Abbildung 92: Motorisch angetriebene wärmegeädämmte Lüftungsklappen zur freien Kühlung mit Einbruchsschutz

Neben diesen rein **passiven Maßnahmen** ermöglichen sogenannte **hybride Kühlsysteme** mit haustechnischen Installationen natürliche Kältesenken (kühles Erdreich, kalte Nachtluft etc.) zu nutzen, indem sie gezielt Wärme abführen und Speichereffekte nutzen. Solche Systeme reichen von der einfachen mechanischen Nachtlüftung bis hin zu Betonkernkühlung [Zimmermann 99].

Um behagliches Raumklima in den Sommermonaten zu gewährleisten, sind nicht nur die Raumlufttemperaturen gering zu halten, sondern es ist auch die Raumluftfeuchte in Grenzen zu halten, um Schwüle zu vermeiden. Hier bieten sich zunächst ebenfalls rein passive Maßnahmen der Feuchtepufferung an, bei stärkeren Feuchtebelastungen bieten sich unterstützende aktive Entfeuchtungsmaßnahmen in Kombination mit Sorptionsrotoren an.

16.2.2 Freie Kühlung als hybrides Kühlsystem

Unter freier Kühlung versteht man generell den Austausch von warmer Raumluft durch Außenluft geringerer Temperatur. Welche Potentiale hier zur Verfügung stehen, lässt sich aus Abbildung 93 für die Wetterregion Würzburg abschätzen. Während an 66 Tagen die Tages-Mitteltemperatur 20 °C überschreitet, liegen die Nachtmittelwerte an fast allen Tagen unter 18 °C. Die spezifische mittlere Kühlleistung in den Nachtstunden beträgt ca. 1,5 bis 2 W/(m³/h).

Dabei ist es zunächst unerheblich, auf welche Weise der Luftvolumenstrom gefördert wird. Nächtliche Fensterlüftung bzw. Öffnung von Lüftungsklappen ist auf Winddruckkräfte und Temperaturdifferenzen (Stackeffekt) angewiesen. Gegenüber einseitiger Lüftung kann durch Querlüftung mit entsprechenden Öffnungsquerschnitten auf gegenüberliegenden Gebäudeseiten und geöffneten Innentüren wesentlich effektivere Nachtlüftung betrieben werden.

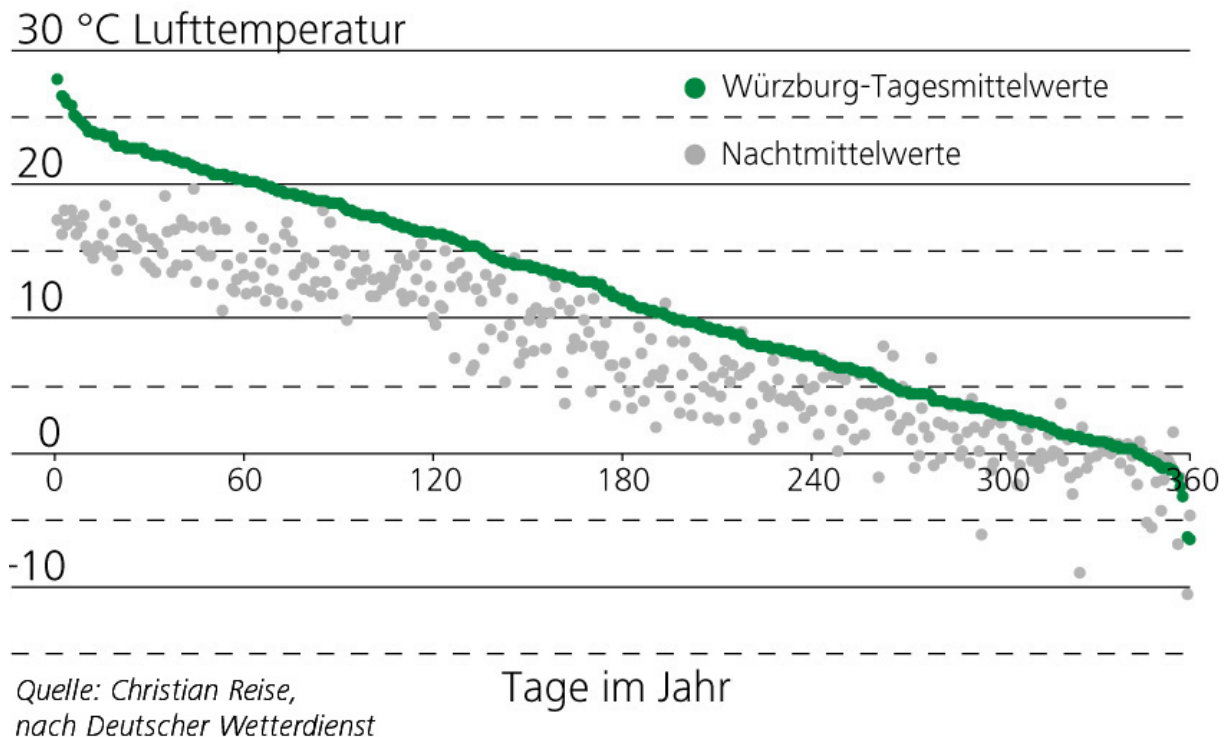


Abbildung 93: Sortierte Tages-Mittelwerte (8-18 Uhr) und Nachtmittelwerte (22-8 Uhr) der Lufttemperatur für ein typisches Jahr in Würzburg (Quelle: Christian Reise nach Deutscher Wetterdienst, DWD)

Die Abhängigkeit von Windkräften ist insbesondere in den Hitzeperioden von Nachteil, weil gerade in den entscheidenden Zeiträumen (nachts wenn es draußen relativ kühl ist) die Windgeschwindigkeit selten über 2 m/s wächst [Schnieders 2003]. Optimal wären Öffnungen in unterschiedlichen Stockwerken zur Nutzung des temperaturgetriebenen Luftwechsels, aber diese Methode ist wie bereits erwähnt, in der Praxis noch schwieriger umzusetzen.

Freie Kühlung mit Wind- bzw. Temperaturantriebskräften weist damit zwar den Vorteil auf, dass keine Primärenergie für die Luftförderung eingesetzt werden muss, in der Praxis ist sie jedoch einigen Einschränkungen unterworfen. Da hocheffiziente Bürogebäude ohnehin mit einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluftversorgung ausgestattet sind, liegt der Einsatz zur mechanischen Nachtlüftung nahe.

Nach Arbeitsstättenverordnung sind für überwiegend sitzende Tätigkeit 20 bis 40 m³/h Außenluft pro Person in Arbeitsräumen mit RLT-Anlage zur Verfügung zu stellen. Geht man bei der Auslegung und Dimensionierung der Anlage von dieser Größenordnung aus, so stellt sich die Frage, ob die Kanalquerschnitte auch für die Nutzung der freien Kühlung im Sommer ausreichen.

Für die Förderung der Luft wird eine elektrische Leistung von

$$P_{el} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta P}{\eta_{hydr} \cdot \eta_{el}}$$

benötig, welche primärenergetisch zu Buche schlägt und zumindest im Falle des Zuluftventilators als zusätzliche Kühllast voll anzurechnen ist. Aus diesem Grund wird die Nachtlüftung erst ab einer Mindesttemperaturdifferenz zwischen Außenluft und Raumluft in Betrieb genommen. Wie hoch diese Mindestdifferenz ausfällt, hängt einerseits von der Effizienz des gesamten Lüftungssystems und andererseits von der Mindestleistungszahl ab, welche man aus primärenergetischen Gründen nicht unterschreiten möchte. Setzt man z. B. eine spezifische Förderleistung von $0,4 \text{ Wh/m}^3$ an, so müssen mindestens $0,6 \text{ K}$ Temperaturdifferenz herrschen, damit überhaupt eine Kühlung erreicht wird, weil die Abwärme des Zuluftventilators in die Gebäudehülle eingetragen wird. Für eine Leistungszahl von 1 sind mindestens $1,8 \text{ K}$ Temperaturdifferenz notwendig, für eine Leistungszahl von 2 mindestens $3,0 \text{ K}$. Derart geringe Leistungszahlen sind selbst mit ineffizienten Kältemaschinen erreichbar. Hinsichtlich der Investitionskosten ist aber zu bedenken, dass die freie Kühlung über Ventilatoren bei vorhandener Lüftungsanlage als kostenneutral zu werten ist. Kann man auf eine Kältemaschine verzichten, kann es daher durchaus sinnvoll sein auch geringere Leistungszahlen in Kauf zu nehmen, d. h. die freie Kühlung über Ventilatoren schon bei geringen Temperaturdifferenzen in Betrieb zu nehmen.

16.2.3 Geregelter Wärmeübertrager

Die Nutzung der freien Kühlung, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, kann nur dann voll wirksam werden, wenn der kalte Außenluftvolumenstrom nicht über die Wärmerückgewinnung geleitet wird. Ansonsten würde er (im Falle $T_{\text{Abluft}} > T_{\text{Außenluft}}$) durch die warme Abluft vorerwärmt werden. Bei kleineren Wohnungslüftungsanlagen wird der Wärmeübertrager über die Sommermonate ausgebaut und durch eine „Sommerkassette“ ersetzt, oder die Luft wird über einen Bypass am Wärmeübertrager vorbeigeführt. Bei größeren Anlagen bzw. Anlagen für Bürogebäude kann es sinnvoll sein, über geregelte Bypassklappen den Wärmeübertrager gezielt zu nutzen bzw. zu umgehen. Voraussetzung hierfür sind motorisch angetriebene Klappen sowie eine entsprechende Steuerung und die Messung der Ab- und Außenlufttemperatur.

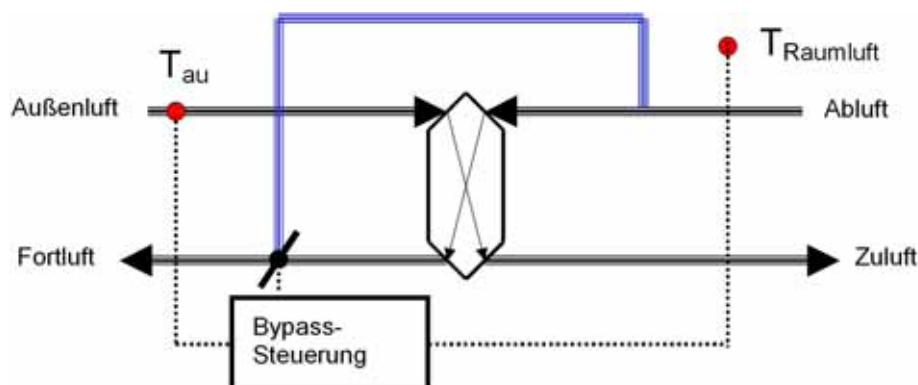


Abbildung 94: Temperaturgesteuerter Bypass im Abluft-/Fortlufttrakt

Neben der „Abschaltung“ der Wärmeübertragung hat der Bypass auch eine Verringerung des Druckabfalls zur Folge, weil der Wärmeübertrager durch ein freies Kanalstück „ersetzt“ wird. In Abbildung 94 ist nur der Abluft-/Fortlufttrakt mit einem

Bypass ausgestattet. Diese Variante wird häufig dann eingesetzt, wenn der Zuluftventilator abgeschaltet werden soll. In diesem Fall ist der Temperatursensor für die Bypass-Steuerung nicht im Abluftkanal anzuordnen, sondern im Referenzraum.

Sollen sowohl Zu- als auch Abluftventilator betrieben werden (Fenster geschlossen), empfiehlt es sich den Wärmeübertrager komplett zu umgehen (siehe z. B. Abbildung 95). Der Temperatursensor für die Steuerung kann in diesem Fall im Abluftkanal angeordnet werden (kostengünstiger als ein Raumluftsensor).

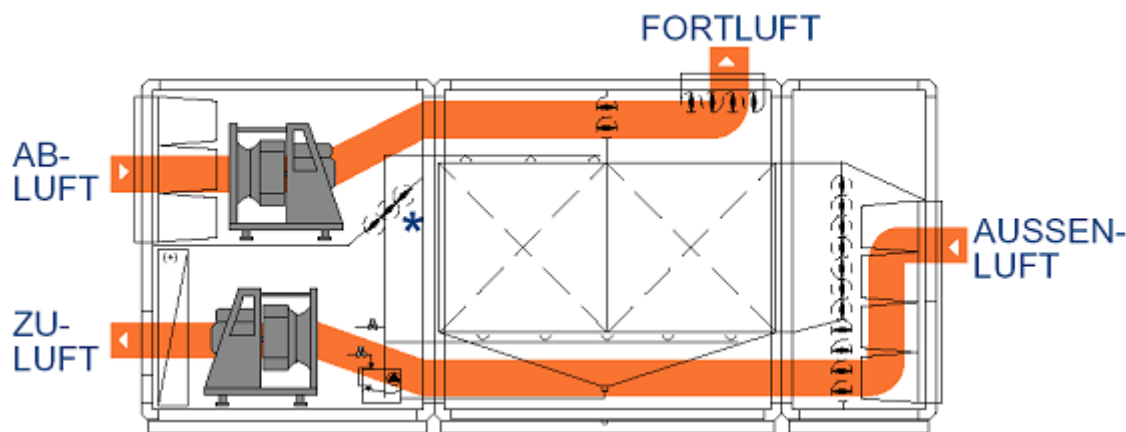


Abbildung 95: Bypass im Außen-/Zuluft und Ab-/Fortlufttrakt (Quelle: Menerga)

Im Falle $T_{\text{Abluft}} < T_{\text{Außenluft}}$ kann es sinnvoll sein, den Bypass wieder außer Betrieb zu nehmen, um die Außenluft mittels der kälteren Abluft vorzukühlen. In diesem Fall ist die Entscheidung von der Mindesttemperaturdifferenz zwischen Abluft und Außenluft abhängig zu machen, weil der Betrieb des Wärmeübertragers mit höherem Druckabfall „erkauft“ wird. Wie bereits im Beitrag über die Klimarandbedingungen in diesem Band erläutert, tritt dabei höchstens in extremen Ausnahmefällen Kondensat im Wärmeübertrager auf, weil die maximale Sättigungstemperatur der Außenluft bei 18-20 °C liegt, die Ablufttemperatur aber gerade in den kritischen Zeiträumen über 20 °C liegt, wenn keine aktive Kühlung mit hoher Leistung (Klimaanlage) installiert ist.

16.2.4 Simulationsergebnisse zur freien Kühlung

Mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation wurden im Rahmen des [AKKP 31] folgende Maßnahmen

- optimierte (geregelte) Wärmerückgewinnung,
- hocheffizienter Erdwärmeübertrager und
- freie Kühlung durch Nachtlüftung

rechnerisch verglichen, die Ergebnisse der Raumtemperatur wurden in Form einer Dauerlinie als kumulierte Werte in Abbildung 96 eingetragen (Voraussetzung: Büroausstattung mit hocheffizienten Arbeitshilfen). Nach DIN 4108-2 2003-7 sind maximal 10 % der Aufenthaltszeit (d. h. im Bürogebäude 260 h) mit einer Raumtemperatur über 27 °C (im Falle der Klimaregion C) zulässig. Diese Anforderung wird mit den genannten Maßnahmen sogar unter den Randbedingungen

TRY12_Extrem eingehalten. Mit Hilfe eines hocheffizienten Erdwärmeübertragers und zusätzlicher Nachtlüftung können darüber hinaus sogar noch deutliche Komfortgewinne erzielt werden.

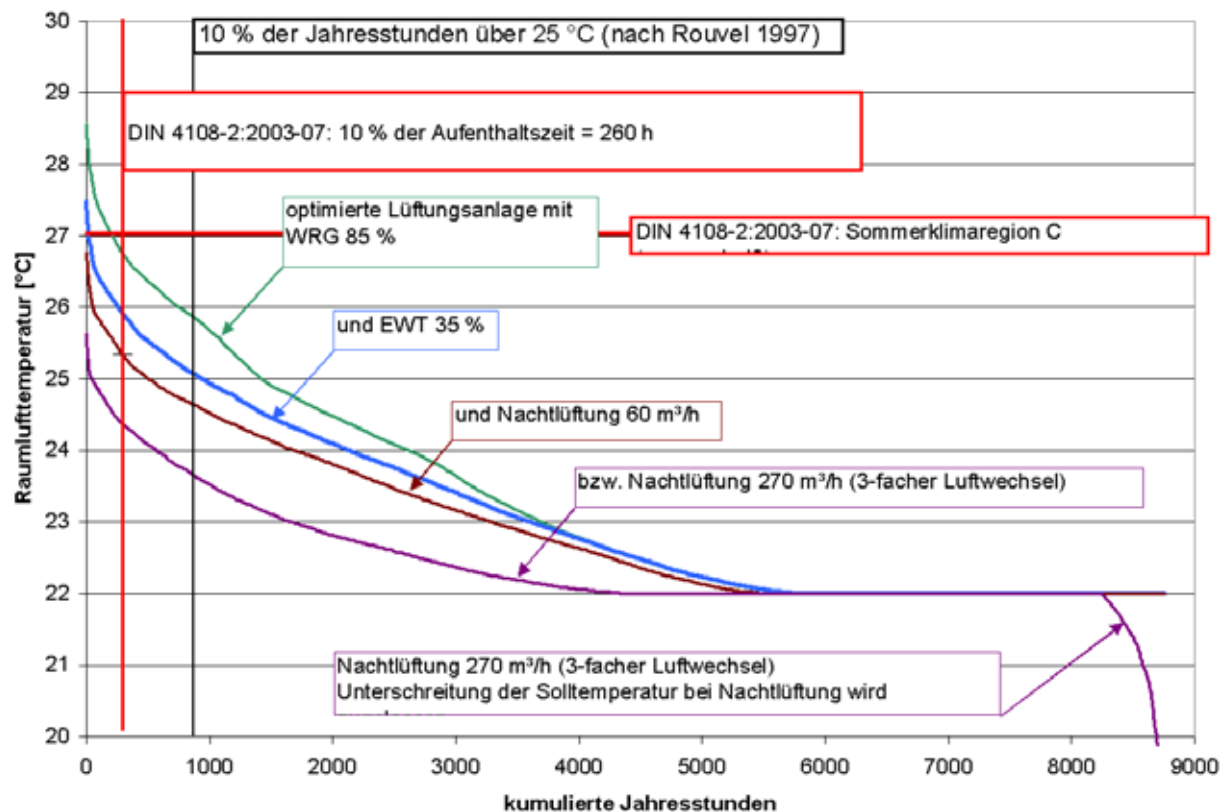


Abbildung 96: Simulationsergebnisse der Raumtemperaturen bei unterschiedlichen Kühlmaßnahmen (Randbedingung TRY12_Extrem, Raummodell nach [AKKP 31])

16.2.5 Adiabatische Kühlung

Die Verdunstungskühlung (auch adiabatische Kühlung) kann in unseren Breiten sinnvoll nur indirekt durch Verdunstung im Abluft-Fortlufttrakt genutzt werden, weil im mitteleuropäischen Klima die Zuluftfeuchte und damit die Raumluftfeuchte unbehaglich hoch ausfallen würde. Es handelt sich dabei um eine Befeuchtung der Abluft in Kombination mit einer Rückgewinnung der Kälte durch einen Wärmeübertrager, welcher im hocheffizienten Passivhaus-Bürogebäude ohnehin vorhanden ist. Die Kühlleistung hängt aber maßgeblich von der Abluftfeuchte ab, das Verfahren eignet sich damit nur, wenn keine besonderen Feuchtequellen im Gebäude vorhanden sind.

Als Befeuchtungssysteme werden Luftwäscher, Kontaktbefeuchter und Kaltdampfgeneratoren eingesetzt. Die Systeme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Effizienz im Hilfsenergieaufwand für die Befeuchtung und die Luftförderung. Der Kaltdampfgenerator weist dabei relativ geringen Hilfsenergieverbrauch für die Befeuchtung auf, stellt aber einen relativ hohen Druckabfall für den Luftstrom dar. Leistungszahlen über 40 werden von der Kombination aus Kontaktbefeuchter und Platten WRG erreicht (siehe Tabelle 96).

Tabelle 96: Effektive Leistungszahlen für verschiedene Verdunstungskühlsysteme (nach [Zweifel 1996])

Komponenten-Kombination	Leistungszahl (eingesparte Kühlenergie/ elektrische Hilfsenergie)
Platten-WRG mit Kontaktbefeuchter	≈ 44
Platten-WRG mit Kaltdampf übersättigt	≈ 18
Platten-WRG mit Kaltdampfgenerator	$\approx 13,5$
Rotations-WRG mit Kontaktbefeuchter	≈ 9
Kreislauf-Verbundsystem mit Kontaktbefeuchter	$\approx 8,5$
Kreislauf-Verbundsystem mit Kaltdampfgenerator	$\approx 8,5$
Rotations-WRG mit Luftwäscher	$\approx 2,5$
Kreislauf-Verbundsystem mit Luftwäscher	$\approx 8,5$

Eine weitere Möglichkeit der Befeuchtung besteht darin, die Abluft direkt im Wärmetauscher zu befeuchten, z. B. mittels feiner Wasserstrahlen mit hohem Druck in den Wärmetauscher gespritzt bzw. durch Berieselung des Wärmetauschers. Ist der Wärmeübertrager in mehrere Teilabschnitte aufgeteilt, kann eine höhere Kühlleistung pro gefördertem Kubikmeter Luft erreicht werden, weil die Abluft durch die Erwärmung mittels Außenluft zusätzlich mit Feuchte beladen werden kann. Bei einer Ablufttemperatur von 26 °C und 55 % r.F. (Außenluft 32 °C) können z. B. etwa 3 W/(m³/h) an spezifischer Kühlleistung erbracht werden. Darin enthalten ist aber bereits die sensible „Kälterückgewinnung“ von ca. 1,5 W/(m³/h), welche auch ohne Feuchteinbringung erreicht würde. Die Kühlleistung der adiabaten Kühlung beträgt damit ebenfalls ca. 1,5 W/(m³/h).

16.2.6 Reversibler Betrieb von Wärmepumpen

Der Einsatz von aktiver Kühlung mittels reversibel betriebener Wärmepumpen, welche auf den Heizlastbedarf im Winter dimensioniert werden, wird an anderer Stelle behandelt. An dieser Stelle soll das Verfahren nur zu Vergleichszwecken hinsichtlich der zu erwartenden Potentiale aufgenommen werden. Wie in der vergleichenden Übersicht (Abschnitt 16.2.7, Abbildung 97) erkennbar, liegen die zu erwartenden Kühlleistungen etwa im gleichen Bereich wie die freie Kühlung bzw. die Kühlung über Erdwärmetauscher, wenn mit den gleichen Volumenströmen gefahren wird und die untere Grenztemperatur von 18 °C nicht unterschritten wird.

16.2.7 Zusammenfassung

Bürogebäude, welche durch hocheffiziente Arbeitshilfen und Beleuchtung sowie außenliegender Verschattung die Summe aus externen und internen Lasten auf Werte unter $150 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ reduzieren, können allein durch Kühlung über die Zuluft bzw. durch die Nutzung der freien Kühlung auf komfortablen sommerlichem Raumtemperaturen gehalten werden. Die spezifische Kälteleistung, welche damit zur Verfügung gestellt werden kann, liegt bei ca. $1,5$ bis $2,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$. Je nach Luftwechselrate liegt die flächenspezifische Kälteleistung damit bei 3 bis $7 \text{ W}/\text{m}^2$. Die Leistungszahlen variieren relativ stark, die in Abbildung 97 eingetragenen Daten sind nur als Anhaltswerte zu verstehen. Die Arbeitszahl von 4 für die freie Kühlung wurde mit einer spezifischen Förderleistung von $0,4 \text{ Wh}/\text{m}^3$ berechnet. Die hohe Leistungszahl des Erdwärmeübertragers ist nur erreichbar, wenn auf geringen Druckabfall des Systems geachtet wird. Die Arbeitszahl für die adiabatische Kühlung ist ebenfalls nur für hocheffiziente Systeme repräsentativ (siehe Abschnitt 16.2.5, Tabelle 96).

Neben der Nachtlüftung mittels motorisch öffnbarer Lüftungsklappen kann mit Hilfe der ohnehin vorhandenen Lüftungsanlage bereits bei Luftwechselraten von ca. $0,7$ bis $1,3$ ausreichende Kühlung erzielt werden. Als einzige Zusatzinvestition wird die differenztemperaturgesteuerte Bypassführung notwendig. Die Fenster können in der Nacht (Einbruchsschutz) geschlossen bleiben, Investitionskosten für Lüftungsklappen, Motorantriebe und Steuerung entfallen. Hocheffiziente Ventilatoren und ausreichend groß dimensionierte Querschnitte der Kanäle sind Voraussetzung zur Minimierung zusätzlichen Wärmeeintrags durch die Leistung für die Luftförderung. Erdwärmeübertrager können die Kühlung zusätzlich unterstützen, sind aber aufgrund der meist hohen Kosten für den Aushub kaum wirtschaftlich einsetzbar.

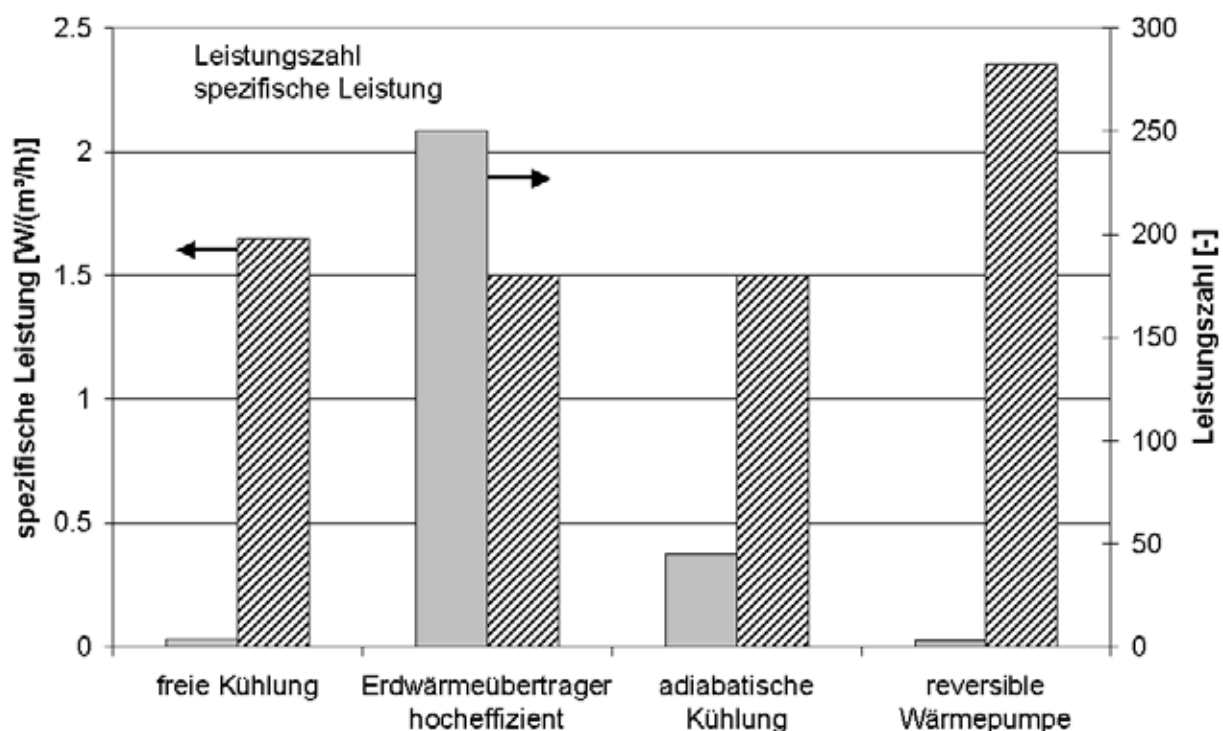


Abbildung 97: Übersicht über die spezifischen Leistungen und Leistungszahlen

Soll in Zeiträumen, in welchen die Außenlufttemperatur die Zulufttemperatur übersteigt, hygienisch notwendiger Luftwechsel gefahren werden, so kann bei Betrieb des Wärmeübertragers die durch warme Zuluft verursachte Kühllast reduziert werden („Kälterückgewinnung“). Zusatzkosten entstehen nicht, wenn eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung für die Heizperiode ohnehin vorausgesetzt wird.

Alle hier angesprochenen Maßnahmen der Raumkühlung führen letztlich nur zu einer Reduzierung der Raumtemperatur, aktive Entfeuchtung tritt nicht auf, weil bei der Kühlung der Zuluft der Taupunkt nicht unterschritten wird. Um sommerliche Feuchtespitzen abzupuffern eignen sich hygrysch speicherfähige Wandbaustoffe und Materialien, welche in der Lage sind Feuchte aufzunehmen und zeitversetzt wieder an die Raumlufte abzugeben. Durch jahres- und tageszeitlichen Ausgleich der Feuchte können bei üblichen Feuchtequellen der normalen Büronutzung komfortable Raumklimabedingungen eingehalten werden. Darüber hinaus eingesetzte aktive Entfeuchtungsmaßnahmen, z. B. mittels Kondensation an einer Wasserwand verbessern den Komfort zusätzlich und sind auch primärenergetisch in Kombination mit Sorptionsrotoren vertretbar.

16.3 Anhang zum Abschnitt 5.2 Thermische Solaranlagen: Tabellen zur Erläuterung verschiedener Konfigurationen

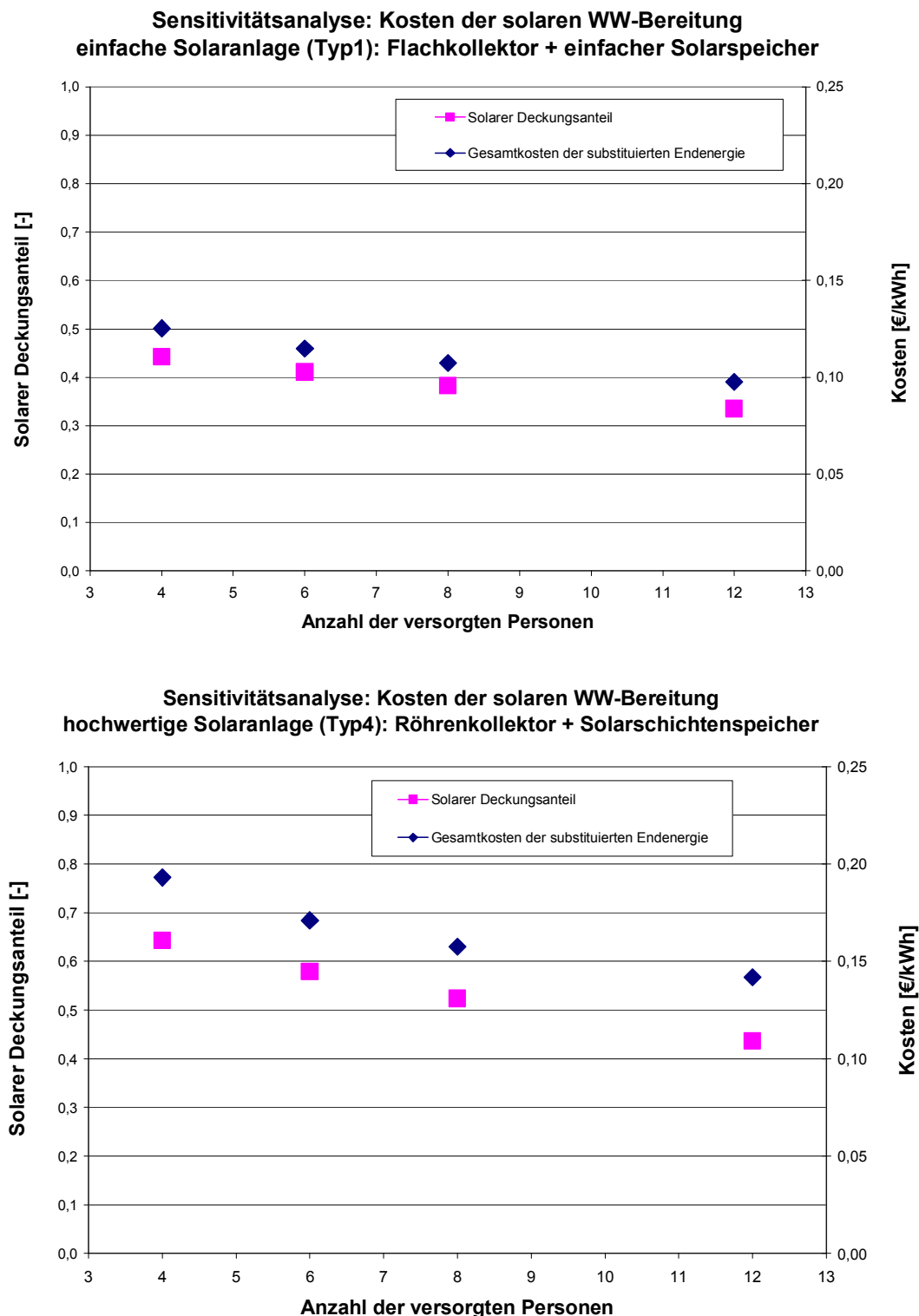


Abbildung 98: Sensitivitätsanalyse erhöhter WW-Bedarf bei konstanter Anlagengröße, siehe Tabelle 97 und Tabelle 98

Tabelle 97: erhöhter WW-Bedarf für Anlage Typ 1

Sensitivitätsanalyse: kleine thermische Solaranlage höhere Personenzahl / Verbrauch

	Anlage Typ1	Anlage Typ1	Anlage Typ1	Anlage Typ1
Kommentar:	kleine kostengünstige Solaranlage, kleines Einfamilienhaus	kleine kostengünstige Solaranlage, großes Einfamilienhaus	kleine kostengünstige Solaranlage, Zweifamilienhaus	kleine kostengünstige Solaranlage, Dreifamilienhaus
Anlagen Kurzbezeichnung:	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.				
Nettogrundfläche (Wohrfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	120,0 m²	180,0 m²	240,0 m²	360,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	4	6	8	12
Energiebedarf TWW pro Jahr	1440 kWh/a	2160 kWh/a	2880 kWh/a	4320 kWh/a
Wärmeverluste Verteilung	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	1364 kWh/a	1364 kWh/a	1364 kWh/a	1364 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	4003 kWh/a	4723 kWh/a	5443 kWh/a	6883 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	4,5 m²	4,5 m²	4,5 m²	4,5 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	einfacher Solarspeicher	einfacher Solarspeicher	einfacher Solarspeicher	einfacher Solarspeicher
Speicherinhalt (total)	300 Liter	300 Liter	300 Liter	300 Liter
Speicherinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	300 Liter	300 Liter	300 Liter	300 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	3,16 kWh/d	3,16 kWh/d	3,16 kWh/d	3,16 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,
langenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	40,00 m	40,00 m	40,00 m	40,00 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage *)	1768 kWh/a	1938 kWh/a	2080 kWh/a	2304 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,44 -	0,41 -	0,38 -	0,33 -
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarpumpe+Regler)	157 kWh/a	165 kWh/a	172 kWh/a	183 kWh/a
Investitionskosten:				
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	3456 €	3456 €	3456 €	3456 €
spezifische Investitionskosten [€/m²(Kollektorfläche)]	618 €/m²	618 €/m²	618 €/m²	618 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	3456 €	3456 €	3456 €	3456 €
Abzug Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	674 €	674 €	674 €	674 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	2782 €	2782 €	2782 €	2782 €
Annuität der Investkosten für Solaranlage:				
Stromverbrauchskosten jährlich	192 €/a	192 €/a	192 €/a	192 €/a
Wartungskosten jährlich	28 €/a	30 €/a	31 €/a	33 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	290 €/a	292 €/a	293 €/a	295 €/a
Aufwandszahl Brennwert-Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 -	1,31 -	1,31 -	1,31 -
	2317 kWh/a	2539 kWh/a	2725 kWh/a	3018 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,125 €/kWh	0,115 €/kWh	0,107 €/kWh	0,098 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.				
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmezeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant				
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:			
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh	
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh	
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20			
Annuität	6,89%			

Tabelle 98: erhöhter WW-Bedarf für Anlage Typ 4

Sensitivitätsanalyse: kleine hochwertige Solaranlage, höhere Personenzahl / Verbrauch				
	Anlage Typ4	Anlage Typ4	Anlage Typ4	Anlage Typ4
Kommentar:	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus im großen EFH	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus im Zweifamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus im Dreifamilienhaus
Anlagen Kurzbezeichnung:	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.				
Nettogrundfläche (Wohlfäche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	120,0 m²	180,0 m²	240,0 m²	360,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	4	6	8	12
Energiebedarf TWW pro Jahr	1440 kWh/a	2160 kWh/a	2880 kWh/a	4320 kWh/a
Wärmeverluste Verteilung	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	2783 kWh/a	3503 kWh/a	4223 kWh/a	5663 kWh/a
Kollektor-Typ:	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	5,2 m²	5,2 m²	5,2 m²	5,2 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher
Speicherinhalt (total)	313 Liter	313 Liter	313 Liter	313 Liter
Speicherinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	135 Liter	135 Liter	135 Liter	135 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmedämmte Rohrleitungen,
langenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	40,00 m	40,00 m	40,00 m	40,00 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage **)	1788 kWh/a	2028 kWh/a	2211 kWh/a	2468 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,64 -	0,58 -	0,52 -	0,44 -
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarpumpe+Regler)	97 kWh/a	109 kWh/a	118 kWh/a	131 kWh/a
Investitionskosten:				
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	6146 €	6146 €	6146 €	6146 €
spezifische Investitionskosten [€/m²(Kollektorfläche)]	1018 €/m²	1018 €/m²	1018 €/m²	1018 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	6146 €	6146 €	6146 €	6146 €
Abzug Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	854 €	854 €	854 €	854 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	5292 €	5292 €	5292 €	5292 €
Annuität der Investkosten für Solaranlage:				
Stromverbrauchskosten jährlich	365 €/a	365 €/a	365 €/a	365 €/a
Wartungskosten jährlich	17 €/a	20 €/a	21 €/a	24 €/a
	70 €/a	70 €/a	70 €/a	70 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	452 €/a	454 €/a	456 €/a	458 €/a
Aufwandszahl Brennwert-Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 -	1,31 -	1,31 -	1,31 -
	2342 kWh/a	2657 kWh/a	2896 kWh/a	3233 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,193 €/kWh	0,171 €/kWh	0,157 €/kWh	0,142 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.				
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmezeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant				
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:			
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh	
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh	
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20			
Annuität	6,89%			

Tabelle 99: größere thermische Solaranlage für Zweifamilienhaus

Energiesparmaßnahme: thermische Solaranlage, Zweifamilienhaus			
	Anlage Typ9	Anlage Typ10	Anlage Typ11
Anlagen Kurzbezeichnung:	große kostengünstige Solaranlage für Zweifamilienhaus	große hochwertige Solaranlage für Zweifamilienhaus	große hochwertige Solaranlage für Zweifamilienhaus
	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung und Solar-Schichten-Speicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.			
Nettogrundfläche (Wohnfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	270,0 m²	270,0 m²	270,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	9	9	9
Energiebedarf TWW pro Jahr	3240 kWh/a	3240 kWh/a	3240 kWh/a
Wärmeverluste Verteilung	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	1754 kWh/a	196 kWh/a	196 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	6192 kWh/a	4634 kWh/a	4634 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung
Kollektorfläche (Brutto)	9,0 m²	10,4 m²	10,4 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	einfacher Solarspeicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher
Speicherinhalt (total)	500 Liter	490 Liter	490 Liter
Speicherinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	500 Liter	220 Liter	220 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	4,06 kWh/d	1,01 kWh/d	1,01 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,
längenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	40,00 m	40,00 m	40,00 m
Jahresenergieertrag Solaranlage - kleine Anlage **)	3154 kWh/a	2897 kWh/a	3065 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,51 -	0,63 -	0,66 -
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarkreispumpe+Regler)	245 kWh/a	155 kWh/a	163 kWh/a
Investitionskosten:			
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	5630 €	6202 €	6596 €
spezifische Investitionskosten [€/m²(Kollektorfläche)]	522 €/m²	498 €/m²	528 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	5630 €	6202 €	6596 €
Abzug Sowiesokosten für TWW-Speicher	-944 €	-1103 €	-1103 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowiesokosten für TWW-Speicher	4694 €	5179 €	5493 €
Annuität der Investkosten für Solaranlage:			
Stromverbrauchskosten jährlich	324 €/a	357 €/a	379 €/a
Wartungskosten jährlich	44 €/a	28 €/a	29 €/a
	70 €/a	70 €/a	70 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	438 €/a	455 €/a	478 €/a
Aufwandszahl Brennwert Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 -	1,31 -	1,31 -
	4132 kWh/a	3795 kWh/a	4015 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,106 €/kWh	0,120 €/kWh	0,119 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.			
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmeerzeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant			
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:		
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20		
Annuität	6,83%		

Tabelle 100: größere thermische Solaranlage für Dreifamilienhaus

Energiesparmaßnahme: thermische Solaranlage, Dreifamilienhaus			
	Anlage Typ12	Anlage Typ13	Anlage Typ14
Anlagen Kurzbezeichnung:	große hochwertige Solaranlage für Dreifamilienhaus Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	große hochwertige Solaranlage für Dreifamilienhaus Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung und Solar-Schichten-Speicher	große hochwertige Solaranlage für Dreifamilienhaus Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher + TW Wärmetauscher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.			
Nettogrundfläche (Wohnfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	390,0 m²	390,0 m²	450,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	13	13	15
Energiebedarf TWW pro Jahr	4680 kWh/a	4680 kWh/a	5400 kWh/a
Wärmeverluste Verteilung	1198 kWh/a	1198 kWh/a	1198 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	218 kWh/a	218 kWh/a	104 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	6097 kWh/a	6097 kWh/a	6702 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung	Flachkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	15,7 m²	15,7 m²	12,1 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher + TW Wärmetauscher
Speicherinhalt (total)	755 Liter	755 Liter	738 Liter
Speicherinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	310 Liter	310 Liter	221 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	1,23 kWh/d	1,23 kWh/d	0,80 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,	mittelmäßig lange und mäßig wärmegeädämmte Rohrleitungen,
längenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	40,00 m	40,00 m	40,00 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage **)	4052 kWh/a	4286 kWh/a	3717 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,66 -	0,70 -	0,55 -
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarkreispumpe+Regler)	214 kWh/a	225 kWh/a	191 kWh/a
Investitionskosten:			
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	9348 €	9819 €	14395 €
spezifische Investitionskosten [€/m²(Kollektorfläche)]	489 €/m²	519 €/m²	907 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	9348 €	9819 €	14395 €
Abzug SowiesoKosten für TWW-Speicher	-1666 €	-1666 €	-3436 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne SowiesoKosten für TWW-Speicher	7682 €	8153 €	10958 €
Annuität der Investkosten für Solaranlage:	530 €/a	562 €/a	755 €/a
Stromverbrauchskosten jährlich	38 €/a	41 €/a	34 €/a
Wartungskosten jährlich	70 €/a	70 €/a	70 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	638 €/a	673 €/a	860 €/a
Aufwandszahl Brennwert-Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 - 5308 kWh/a	1,31 - 5615 kWh/a	1,31 - 4870 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,120 €/kWh	0,120 €/kWh	0,177 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.			
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmeerzeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant			
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:		
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20		
Annuität	6,89%		

Tabelle 101: Sensitivitätsanalyse, Abhängigkeit von der Güte des Wärmeverteilsystems.

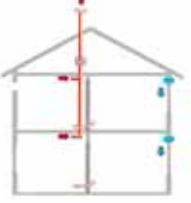
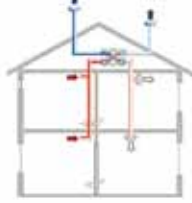
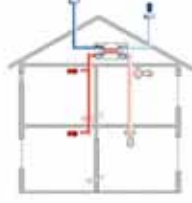
Sensitivitätsanalyse: Güte des WW-Verteilsystems				
	Anlage Typ2	Anlage Typ2	Anlage Typ2	Anlage Typ2
Kommentar:	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus
Anlagen Kurzbezeichnung:	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.				
Nettogrundfläche (Wohrfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m²/Person)	120,0 m²	120,0 m²	120,0 m²	120,0 m²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	15,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a	12,0 kWh/m²a
Zahl der Personen im Haushalt	4	4	4	4
Energiebedarf TWW pro Jahr	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a
Wärmeverluste Verteilung	382 kWh/a	1376 kWh/a	2127 kWh/a	2283 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	2327 kWh/a	2960 kWh/a	3712 kWh/a	3667 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	5,2 m²	5,2 m²	5,2 m²	5,2 m²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher
Speicherinhalt (total)	313 Liter	313 Liter	313 Liter	313 Liter
Speicherinhalt (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	135 Liter	135 Liter	135 Liter	135 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung				
optimiertes Wärmeverteilsystem: kurze Rohrleitungen, gut wärmegeleitet		mittelmäßig lange und mäßig wärmegeleitet	sehr schlecht gedämmte Rohrleitungen	Annahmen gemäß DIN 18599: viel zu lange Rohrleitungen, mittelmäßige Wärmedämmung
langenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,15 W/m²K	0,30 W/m²K	0,50 W/m²K	0,26 W/m²K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	20,00 m	40,00 m	40,00 m	75,20 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage *)	1387 kWh/a	1617 kWh/a	1820 kWh/a	1855 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,60 -	0,55 -	0,49 -	0,48 -
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarpumpe+Regler)	77 kWh/a	88 kWh/a	98 kWh/a	100 kWh/a
Investitionskosten:				
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	3910 €	3910 €	3910 €	3910 €
spezifische Investitionskosten [€/m²(Kollektorfläche)]	588 €/m²	588 €/m²	588 €/m²	588 €/m²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	3910 €	3910 €	3910 €	3910 €
Abzug Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	854 €	854 €	854 €	854 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	3056 €	3056 €	3056 €	3056 €
Annuität der Investitionskosten für Solaranlage:				
Stromverbrauchskosten jährlich	211 €/a	211 €/a	211 €/a	211 €/a
Wartungskosten jährlich	14 €/a	16 €/a	18 €/a	18 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	294 €/a	297 €/a	298 €/a	299 €/a
Aufwandszahl Brennwert-Kessel durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1,31 -	1,31 -	1,31 -	1,31 -
	1818 kWh/a	2118 kWh/a	2384 kWh/a	2430 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,162 €/kWh	0,140 €/kWh	0,125 €/kWh	0,123 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.				
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmezeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant				
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:			
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh	
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh	
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20			
Annuität	6,89%			

Tabelle 102: Anlagenauswahl wie Tabelle 13 – kleine Solaranlage für Einfamilienhaus – jedoch mit optimierten Wärmeverteilungen.

Energiesparmaßnahme: thermische Solaranlagen für EFH, verschiedene Qualitäten				
	Anlage Typ1	Anlage Typ2	Anlage Typ3	Anlage Typ4
Kurze Anlagenbeschreibung:	kleine kostengünstige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus	kleine hochwertige Solaranlage für Einfamilienhaus
Komponenten der Anlage:	Flachkollektor in Aufdachmontage und einfacher Solarspeicher	Flachkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung und Solar-Schichten-Speicher	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage und Solar-Schichten-Speicher
Randbedingungen, Gebäude, Belegung etc.				
Nettogrundfläche (Wohrfläche bzw. EBF, Annahme: 30 m ² /Person)	120,0 m ²	120,0 m ²	120,0 m ²	120,0 m ²
spezifischer Energiebedarf TWW pro Jahr	12,0 kWh/m ² a	12,0 kWh/m ² a	12,0 kWh/m ² a	12,0 kWh/m ² a
Zahl der Personen im Haushalt	4	4	4	4
Energiebedarf TWW pro Jahr	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a	1440 kWh/a
Wärmeverlustrate Verteilung	382 kWh/a	382 kWh/a	382 kWh/a	382 kWh/a
jährlicher Bereitschafts-Wärmeverlust Trinkwasserspeicher	1364 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a	145 kWh/a
jährlicher Wärmebedarf Trinkwassererwärmungsanlage	3186 kWh/a	1967 kWh/a	1967 kWh/a	1967 kWh/a
Kollektor-Typ:	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage	Flachkollektor in Aufdachmontage, Kollektorabdeckung mit Antireflex-Beschichtung	Vakuumröhrenkollektor in Aufdachmontage
Kollektorfläche (Brutto)	4,5 m ²	5,2 m ²	5,2 m ²	5,2 m ²
Ausrichtung des Kollektorfeldes (Standardwert = -20°)	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °	-20,0 °
Neigung des Kollektorfeldes (Standardwert = 30°)	30,0 °	30,0 °	30,0 °	30,0 °
Speicher-Typ	einfacher Solarspeicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher	Solar-Schichten-Speicher
Speichereinheit (total)	300 Liter	313 Liter	313 Liter	313 Liter
Speichereinheit (bei Solar-Schichten-Speichern nur Bereitschaftsteil)	300 Liter	136 Liter	136 Liter	136 Liter
Bereitschaftswärmeverluste Speicher *)	3,16 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d	0,78 kWh/d
Eigenschaften der Wärmeverteilung	optimiertes Wärmeverteilsystem: kurze Rohrleitungen, gut wärmeisoliert	optimiertes Wärmeverteilsystem: kurze Rohrleitungen, gut wärmeisoliert	optimiertes Wärmeverteilsystem: kurze Rohrleitungen, gut wärmeisoliert	optimiertes Wärmeverteilsystem: kurze Rohrleitungen, gut wärmeisoliert
längenbez. Wärmedurchgangskoeffizient der Rohrleitungen	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
gesamte Länge aller Rohrleitungen	20,00 m	20,00 m	20,00 m	20,00 m
Jahresenergieeintrag Solaranlage - kleine Anlage **)	1526 kWh/a	1221 kWh/a	1292 kWh/a	1400 kWh/a
Solarer Deckungsanteil	0,48	0,62	0,66	0,71
Stromverbrauch Hilfsenergie (Solarzirkulationspumpe+Regler)	145 kWh/a	68 kWh/a	72 kWh/a	77 kWh/a
Investitionskosten:				
Paketpreis für Komponenten & Zubehör & Montagekosten	3456 €	3910 €	4067 €	6146 €
spezifische Investitionskosten [€/m ² Kollektorfläche]	618 €/m ²	588 €/m ²	618 €/m ²	1018 €/m ²
Summe der Investitionskosten für Solaranlage	3456 €	3910 €	4067 €	6146 €
Abzug Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	674 €	854 €	854 €	854 €
Maßnahmenbezogene Investitionskosten für Solaranlage ohne Sowieso-Kosten für TWW-Speicher	2782 €	3056 €	3213 €	5292 €
Annuität der Investkosten für Solaranlage:				
Stromverbrauchskosten jährlich	192 €/a	211 €/a	221 €/a	365 €/a
Wartungskosten jährlich	26 €/a	12 €/a	14 €/a	14 €/a
Gesamte jährliche maßnahmenbezogene Kosten für Solaranlage	288 €/a	293 €/a	304 €/a	449 €/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie				
Aufwandszahl Brennwert-Kessel	1,31	1,31	1,31	1,31
durch Solarenergie substituierte Endenergie **)	1999 kWh/a	1600 kWh/a	1692 kWh/a	1834 kWh/a
Gesamtkosten der substituierten Endenergie	0,144 €/kWh	0,183 €/kWh	0,180 €/kWh	0,245 €/kWh
*) Bei Solarschichtenspeichern mit ausgeprägter Temperaturschichtung müssen nur die Wärmeverluste des (oberen) Bereitschaftsteils angerechnet werden.				
**) nicht der Jahresenergieertrag, sondern die um die Aufwandszahl des Wärmeerzeugers höhere Menge der substituierten Endenergie ist für die Wirtschaftlichkeit relevant				
Annahmen und Daten zur Kapitalwertberechnung:	Beschaffungskosten Endenergie:			
Realzins	3,27%	mittl. Strompreis (Hilfsenergie) 2006 bis 2026	0,180 €/kWh	
Kalkulationszeitraum [a]	20	mittl. Endenergiekosten Gas/Öl 2006 bis 2026	0,066 €/kWh	
Lebensdauer des Bauteils / Komponente [a]	20			
Annuität	6,89%			

16.4 Anhang zum Abschnitt 5.3: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Tabelle 103: Wohnungsweise Lüftungsanlage bei großer Wohnungsgröße (135 m²)
(DC-Ventilatoren, Anlagenluftwechsel 0,4 1/h, n₅₀=1,5 1/h, Fensterluftw. 0,1 1/h)

ohne Förderung			
Energiesparmaßnahme: Lüftungsanlage; Lüftungsanlage mit WRG			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Abluftanlage			
Fensterlüftung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Effizienzverbesserung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Mindest-Empfehlung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Empfehlung
Wärmebereitstellungsggrad: 0% Ventilator: ohne 	Abluftanlage 0% Ventilator DC 	Lüftungsanlage mit WRG 84% Ventilator DC 	Lüftungsanlage mit WRG 86% Ventilator DC 
Stromeffizienz der Anlage:	0.12 Wh/m ³	0.45 Wh/m ³	0.38 Wh/m ³
Zulufttemp. bei -10 °C Außenluft:	-10.0 °C	16.3 °C	16.8 °C
Feuchteschutz:	erfüllt	gesichert	gesichert
Bauliche Investitionskosten:	32 €/m ²	58 €/m ²	61 €/m ²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		26 €/m ²	29 €/m ²
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 25 J. Lebensdauer:		14%	14%
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 50 J. Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		10 €/m ²	2 €/m ²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		16 €/m ²	27 €/m ²
Jährliche Kosten für die Energiesparmaßnahme			
Annuitätische Wartungs- und Hilfsstromkosten:		0.80 €/m ² a	0.72 €/m ² a
Annuitätische Kapitalkosten (Marktzins):		1.08 €/m ² a	1.84 €/m ² a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		1.64 €/m ² a	1.68 €/m ² a
jährlicher Gewinn:		-0.23 €/m ² a	-0.88 €/m ² a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		24.0 kWh/(m ² a)	24.6 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		56%	57%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		7.8 Cent/kWh	10.4 Cent/kWh
zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas):		5.5 Cent/kWh	5.5 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		25 kWh/(m ² a)	26 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins: 3.27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6.9% p.a. Heizgradstunden: 78 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0.0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0.0684 €/kWh		

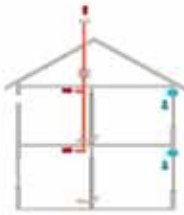
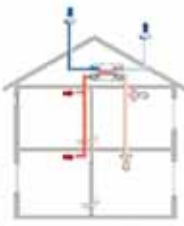
Die untersuchte Maßnahme ist beim zugrundegelegten Energiepreis mit Marktzins nicht wirtschaftlich.

Tabelle 104: Wohnungsweise Lüftungsanlage bei großer Wohnungsgröße (135 m²)
(DC-Ventilatoren, Anlagenluftwechsel 0,4 1/h, n₅₀=1,5 1/h, Fensterluftw. 0,1 1/h)

mit Förderung

Energiesparmaßnahme: Lüftungsanlage; Lüftungsanlage mit WRG

Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Abluftanlage

Bauteil alt	Ohnehin - Maßnahme	wirtschaftlich gebotene Lüftungsanlage
Fensterlüftung Wärmebereitstellungsgrad: 0% Ventilator: ohne 	Abluftanlage 0% Ventilator DC 	Lüftungsanlage mit WRG 86% Ventilator DC 
Stromeffizienz der Anlage:	0.12 Wh/m ³	0.40 Wh/m ³
Zulufttemp. bei -10 °C Außenluft:	-10.0 °C	16.8 °C
Feuchteschutz:	erfüllt	gesichert
Bauliche Investitionskosten:	32 €/m ²	54 €/m ²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		22 €/m ²
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 25 J. Lebensdauer:		17%
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 50 J. Lebensdauer:		49%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		11 €/m ²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		12 €/m ²
Jährliche Kosten für die Energiesparmaßnahme		
Annuitätische Wartungs- und Hilfsstromkosten:		0.59 €/l(m ² a)
Annuitätische Kapitalkosten (Marktzins):		0.70 €/l(m ² a)
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		1.68 €/l(m ² a)
jährlicher Gewinn:		0.39 €/l(m ² a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		24.6 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		57%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		5.3 Cent/kWh
zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas):		5.5 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		26 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins: 1.80% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6.0% p.a.	Heizgradstunden: 78 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0.0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0.0684 €/kWh

Die untersuchte Maßnahme ist beim zugrundegelegten Energiepreis mit Förderzins wirtschaftlich.

Tabelle 105: Zentrale Lüftungsanlage bei mittlerer Wohnungsgröße (85 m²)
(DC-Ventilatoren, Anlagenluftwechsel 0,4 1/h, n₅₀=1,5 1/h, Fensterluftw. 0,1 1/h)

ohne Förderung

Energiesparmaßnahme: Lüftungsanlage; Lüftungsanlage mit WRG

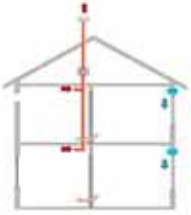
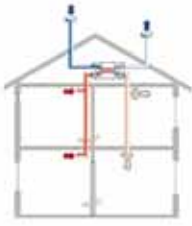
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Abluftanlage

	Fensterlüftung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Effizienzverbesserung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Mindest-Empfehlung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmerückgewinnung nach Empfehlung
	Fensterlüftung	Abluftanlage	Lüftungsanlage mit WRG	Lüftungsanlage mit WRG
Wärmebereitstellungsgrad:	0%	0%	86%	86%
Ventilator:	ohne	Ventilator DC	Ventilator DC	Ventilator DC
				
Stromeffizienz der Anlage:		0.12 Wh/m ³	0.31 Wh/m ³	0.38 Wh/m ³
Zulufttemp. bei -10 °C Außenluft:		-10.0 °C	16.8 °C	16.8 °C
Feuchteschutz:		erfüllt	gesichert	gesichert
Bauliche Investitionskosten:		32 €/m ²	62 €/m ²	61 €/m ²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme				
= Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:				
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 25 J. Lebensdauer:			31 €/m ²	29 €/m ²
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 50 J. Lebensdauer:			14%	14%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:			41%	41%
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:			12 €/m ²	8 €/m ²
Jährliche Kosten für die Energiesparmaßnahme			18 €/m ²	21 €/m ²
Annuitätische Wartungs- und Hilfsstromkosten:			0.27 €/m ² a	0.36 €/m ² a
Annuitätische Kapitalkosten (Marktzins):			1.27 €/m ² a	1.48 €/m ² a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)			1.68 €/m ² a	1.68 €/m ² a
jährlicher Gewinn:			0.14 €/m ² a	-0.16 €/m ² a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:			24.6 kWh/(m ² a)	24.6 kWh/(m ² a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:			57%	57%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:			6.3 Cent/kWh	7.5 Cent/kWh
zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas):			5.5 Cent/kWh	5.5 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):			26 kWh/(m ² a)	26 kWh/(m ² a)
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl):	0.0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh

Die untersuchte Maßnahme ist beim zugrundegelegten Energiepreis mit Marktzins wirtschaftlich.

Tabelle 106: Zentrale Lüftungsanlage bei mittlerer Wohnungsgröße (85 m²)
(DC-Ventilatoren, Anlagenluftwechsel 0,4 1/h, n₅₀=1,5 1/h, Fensterluftw. 0,1 1/h)

mit Förderung

Energiesparmaßnahme: Lüftungsanlage; Lüftungsanlage mit WRG			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Abluftanlage			
Bauteil alt	Ohnehin - Maßnahme	wirtschaftlich gebotene Lüftungsanlage	
Fensterlüftung	Abluftanlage	Lüftungsanlage mit WRG	
Wärmebereitstellungsgrad: 0%	0%	87%	
Ventilator: ohne	Ventilator DC	Ventilator DC	
			
Stromeffizienz der Anlage:	0.12 Wh/m ³	0.28 Wh/m ³	
Zulufttemp. bei -10 °C Außenluft:	-10.0 °C	17.0 °C	
Feuchteschutz:	erfüllt	gesichert	
Bauliche Investitionskosten:	32 €/m ²	64 €/m ²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		32 €/m ²	
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 25 J. Lebensdauer:		17%	
Restwert d. Energiesparmaßnahme bei 50 J. Lebensdauer:		49%	
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		16 €/m ²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		17 €/m ²	
Jährliche Kosten für die Energiesparmaßnahme		0.23 €/m ² a	
Annuitätische Wartungs- und Hilfsstromkosten:		1.00 €/m ² a	
Annuitätische Kapitalkosten (Marktzins):		1.70 €/m ² a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		0.47 €/m ² a	
jährlicher Gewinn:		24.9 kWh/(m ² a)	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		58%	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		5.0 Cent/kWh	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie: zum Vergleich: heutige Bezugskosten für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas):		5.5 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		26 kg/(m ² a)	
ANNAHMEN	Realzins:	1.80% p.a.	Heizgradstunden: 78 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad: 90%
	Annuität:	6.0% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0.0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0.0684 €/kWh

Die untersuchte Maßnahme ist beim zugrundegelegten Energiepreis mit Förderzins wirtschaftlich.

16.5 Anhang zum Abschnitt 5.3: Positionspapier zur Bestimmung der Referenzvarianten zur Wohnungslüftung im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Kontrollierte Wohnungslüftung – unverzichtbarer Bestandteil bei Bestandsmodernisierung und Neubau

Positionspapier zur Bestimmung der Referenzvarianten zur Wohnungslüftung im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Forschungsprogramm: Zukunft Bau

Forschungsprojekt: Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung

Aktenzeichen: 10.08.17.7-06.13

Aktenzeichen: 10.08.17.7-06.13

Autoren: Dr. Wolfgang Feist, Dr.-Ing. Rainer Pfluger

Datum: 20.12.06

Kontrollierte Wohnungslüftung – unverzichtbarer Bestandteil bei Bestandsmodernisierung und Neubau

Wohnungslüftung und Feuchteschutz

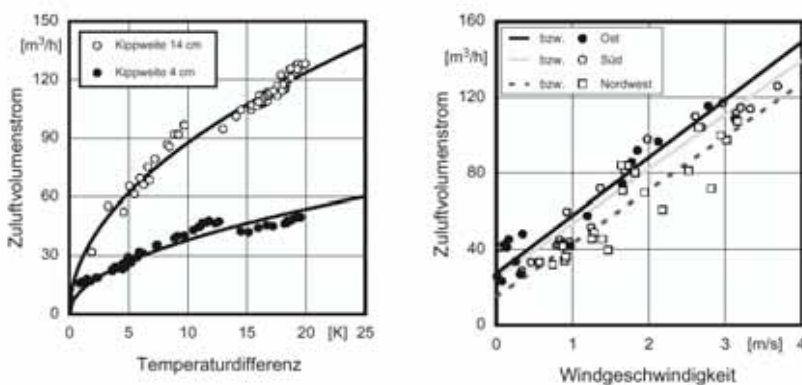
Unbestritten ist die luftdichte Bauweise heute sowohl im Neubau als auch im modernisierten Altbau aus Komfortgründen, zur Vermeidung von Bauschäden und zur Heizwärmeeinsparung notwendig und sinnvoll und wird damit auch künftig fester Bestandteil der baulichen Anforderungen bei Neubau und Sanierung bleiben. Allerdings hat gerade der Einbau neuer, gut dichtender Fenster in Wohngebäuden im Bestand häufig ursächlich zu Schäden geführt.

Dabei ist die Wirkungskette hinreichend bekannt: Der ursprüngliche Altbau mit alten Fenstern und hohen Infiltrationsluftwechseln, häufig unterstützt durch Unterdruck, welcher durch Einzelöfen oder Etagenheizungen erzeugt wurde, ist in der Regel schadensfrei, weil die Luftwechsel selbst ohne Fensterlüftung ausreichend hoch sind, um die relative Feuchte in der Heizperiode im unkritischen Bereich zu halten. Durch die Reduzierung des Fugenluftwechsels beim Einbau der neuen Fenster steigt die relative Raumluftfeuchtigkeit im Winter bei unverändertem Nutzerverhalten auf Werte über 45 %. Die für das Wachstum von Schimmelpilz kritische Wasseraktivität² von 80 % wird damit insbesondere im Bereich von Wärmebrücken der alten Gebäudehülle, Gebäudekanten, hinter Schränken, an Stürzen, Deckenanschlüssen und Fensterlaibungen überschritten. Selbst in nachträglich gedämmten Altbauten können, wie die Berechnungen [AkkP 24] gezeigt haben, hinter Möbeln und an den Kanten zur Kellerdecke kritische Temperaturen auftreten. Dass diese Schäden tatsächlich in großem Umfang in der Praxis auftreten, zeigen die Ergebnisse einer repräsentativen Studie [Brasche 2003] unter Federführung der Friedrich-Schiller-Universität Jena: Mehr als 15 Millionen Bundesbürger leben mit Schimmelpilz und Feuchtigkeit. Das entspricht etwa sieben Millionen Wohnungen. Für die Studie hatten etwa 400 Bezirksschornsteinfeger bundesweit rund 30 000 Räume in 5 530 Wohnungen, die nach dem Zufallsprinzip ausgewählt worden waren, überprüft. Dabei sind Mieter und Eigentümer auf freiwilliger Basis befragt worden. 22 Prozent der Wohnungen hatten demnach Schäden durch Feuchtigkeit und Schimmelpilz.

² Schimmel kann auch schon mit nur kapillar gebundenem Wasser auskeimen und wachsen. Die Sporenbildung und ein evtl. Myzelwachstum ist abhängig vom Medium, der Wasseraktivität (messbar als rel. Luftfeuchte eines Luftraums, der im hygrischen Gleichgewicht steht mit dem Medium) und der Temperatur. Siehe hierzu: Sedlbauer, K.; Gabrio, Th.; Krus, M.: Schimmelpilze – Gesundheitsgefährdung und Vorhersage; Gesundheitsingenieur 123(2002) Heft 6, S. 285ff.

Kritik an der Neufassung der DIN 1946-6 zur freien Lüftung

In gut gedämmten Gebäuden ist das Risiko zwar deutlich geringer, aber ein gewisser Mindestluftaustausch ist auch in diesem Fall für die Feuchteregulierung notwendig. In Wohnungen, die nicht mit einer kontinuierlichen Lüftung ausgestattet sind, tritt dagegen regelmäßig eine zu hohe Raumlufffeuchtigkeit auf [Münzenberg 2001]. In der Neufassung der DIN 1946-6 wurde zu den bisher bestehenden 3 Lüftungsstufen, eine weitere Lüftungsstufe, die „Lüftung zum Feuchteschutz“ definiert. Durch diese Lüftungsstufe wird für die Heizperiode eine *Dauerlüftung* gefordert. Damit soll auf die vielen in den letzten Jahren in Neubauten und in sanierten Bauten in der Praxis aufgetretenen Probleme mit Schimmelpilzen und Feuchteschäden reagiert werden, allerdings wird nach E-DIN 1946-6 als Mindestanforderung eine freie Lüftung vorgesehen. Nach diesem Normentwurf sind hierfür die notwendigen Außenluftvolumenströme für die Lüftung zum Feuchteschutz in der Heizperiode durch die Undichtheiten in der Gebäudehülle sicherzustellen. Wenn die in der Gebäudehülle vorhandenen Undichtheiten dies nicht gewährleisten, sind zusätzliche Außenluftdurchlässe (ALDs) einzuplanen. Diesen Vorschlag sehen wir als nicht vertretbar bzw. unpraktikabel an, weil damit undichte Gebäudehüllen bzw. der Einbau von ALDs ohne zugehörigen Abluftventilator gefordert wird. Im ersten Fall würden wieder zahlreiche Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall durch Fugenlüftung entstehen, aber auch im zweiten Fall ist unzureichender Feuchteschutz und unzureichende Luftqualität zu erwarten, weil ALDs nicht für freie Lüftung sondern für Abluftanlagen, also den Betrieb mit Unterdruck geeignet sind. Die Antriebskräfte für freie Lüftung sind ausschließlich Winddruckkräfte und Dichteunterschiede durch Temperaturdifferenzen (siehe nachfolgende Abbildungen). Diese hängen von den jeweils aktuellen lokalen meteorologischen Verhältnissen und der Raumlufftemperatur ab. Sie stehen also mit den eigentlichen Anforderungen bzgl. Feuchteschutz und Raumluffqualität nicht im Zusammenhang. Im Gegenteil können Sturmböen zu Unbehaglichkeit und Zugserscheinungen führen oder andererseits ungünstige Windrichtungen oder Windstille zu mangelhafter Be- und Entlüftung der Räume führen. Die Auftriebsströmung (Dichteunterschiede durch Temperaturdifferenzen) führt in den Obergeschossen zu mangelnder Entfeuchtung, weil hier feuchte Raumluff von unten nachströmt. Darüber hinaus stellt sich bei freier Lüftung keineswegs eine gerichtete Durchströmung ein, sondern es kann z. B. auch Luft aus den Funktionsräumen (Bad, Küche, WC) in die Aufenthaltsräume gedrückt werden.



Quelle: Anton Maas, Dissertation, Kassel, 1995

Wie unsere Untersuchungen im Arbeitskreis 23 [AkkP 23] in Übereinstimmung mit den Arbeiten anderer Wissenschaftler gezeigt haben, ist eine zuverlässige Lösung nur durch einen dauerhaft sichergestellten Antrieb möglich. Dies entspricht auch den Erfahrungen in der Praxis von Wohnungsbaugesellschaften in Deutschland [Köhler 2004] und insbesondere in Österreich, die vielfach bei der Modernisierung grundsätzlich zum Einbau von Lüftungssystemen, bevorzugt mit Wärmerückgewinnung, übergegangen sind.

Wohnungslüftung und Raumluftqualität

Die Aufgabe der Wohnungslüftung ist grundsätzlich die Bereitstellung einer guten Luftqualität. Sie dient direkt der Gesundheit der Bewohner und ist damit entsprechend dem primären Grundsatz der Bauordnung Artikel 3 umzusetzen: „Bauten sind so zu errichten, dass sie das Leben oder die Gesundheit und die natürliche Lebensgrundlage nicht gefährden“.

Neben der bereits angesprochenen Vermeidung von Schimmelpilz nimmt die kontrollierte (ventilatorgestützte) Lüftung auch in Bezug auf die Schadstoffabfuhr von Formaldehyd, VOC, mittel- und schwerflüchtigen organischen Verbindungen, lungengängigen Stäuben sowie Radon eine Schlüsselrolle ein [Münzenberg 2002]. Die durch Baustoffe und Einrichtungsgegenstände in die Raumluft gelangenden Schadstoffe sollten nach dem Vermeidungsprinzip möglichst gering gehalten werden, aber auch dann ist eine ausreichende Mindestaußenluftzufuhr unbedingt erforderlich, um Gesundheitsrisiken zu vermeiden. Bei Abwesenheit der Bewohner ist dies effektiv nur mit kontrollierter Wohnungslüftung zu erreichen.

Freie Lüftung kann Feuchteschutz und Luftqualität nicht sicherstellen

Trotz dieser bekannten Zusammenhänge wird immer wieder behauptet, ein ausreichender Luftwechsel könne auch mit Hilfe der Fensterlüftung sichergestellt werden. Theoretisch ist dies in der Tat möglich. Unter praktischen Gesichtspunkten ist es allerdings unrealistisch, weil sich herausgestellt hat, dass zwei Lüftungsvorgänge am Tag nicht ausreichend sind, zumal die Nutzer die Fenster wieder schließen werden, wenn die Raumtemperatur zu weit abgesunken ist. Untersuchungen von J. Schnieders [AkkP 23] haben gezeigt, dass ausreichende Luftqualität nur durch 4-mal täglich Stoßlüftung in möglichst gleichmäßigen Abständen erreicht werden kann. Diese Forderung ist aber im Alltag, insbesondere bei berufstätigen Nutzern im Wohnungsbau realistisch nicht überall umsetzbar – was heute bei Streitfällen zwischen Mietern und Wohnungsbaugesellschaften seitens der Rechtssprechung genau so gesehen wird. Nach baulichen Veränderungen wie dem Einbau von dichten Fenstern sind Vermieter verpflichtet, Mieter über neue Anforderungen ans Heizen und Lüften zu informieren³. Übertriebenen Vorschriften im Mietvertrag, nach denen ein Mieter alle zwei Stunden zu lüften hat, erteilen die Gerichte aber eine Absage. Zwei bis dreimaliges Stoßlüften pro Tag muss genügen (OLG Frankfurt, AZ 19 U 7/99).

³ LG Gießen, Az. 1 S 63/00

Den Ausweg aus dem Dilemma zwischen bauphysikalischer Notwendigkeit einerseits und der Praktikabilität und Zumutbarkeit im Alltag andererseits weist die kontrollierte Wohnungslüftung mittels Ventilatorantrieb. Wie im nachfolgenden Abschnitt erläutert, sollten zumindest Abluftsysteme künftig als Mindestanforderung gelten, weil bei freier Lüftung im Rahmen des praktisch Zumutbaren Schäden nicht sicher vermieden werden können.

Abluftanlagen als Basisvariante

Die erhöhte Luftdichtheit bei Neubau und modernisiertem Altbau reduziert die In- bzw. Exfiltrationsverluste so weit, dass bei durchschnittlicher Fensterlüftung die Feuchteabfuhr zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung nicht sichergestellt werden kann. Darüber hinaus ist die Abfuhr von Luftschadstoffen nur durch dauerhafte Be- und Entlüftung gewährleistet. Demnach wären Neubauten sowie modernisierte Altbauten im Sinne des Absatz 3 der Bauordnung eigentlich generell mit kontrollierter Lüftung auszustatten. Die Maßnahme mit dem hinsichtlich Investitionskosten geringsten Aufwand ist die reine Abluftanlage, welche entweder zentral für das gesamte Gebäude oder wohnungsweise die Feucht- und Funktionsräume (Bad, Küche, WC) entlüftet sowie die Nachströmung der Außenluft über Außenwandluftdurchlässe in allen Wohnräumen ermöglicht.

Die Untersuchung und Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist demnach prinzipiell in Relation zu den Kosten einer Abluftanlage durchzuführen, weil die reine Fensterlüftung bei entsprechender Luftdichtheit heutiger Neubauten bzw. modernisierter Bestandsgebäude unter praktischen Gesichtspunkten nicht mehr in der Lage ist, die Raumlufthygiene und Bauschadensfreiheit sicherzustellen. Sie stellt damit auch keine akzeptable Referenz dar, weil sie nach heutigem Standard als nicht empfehlenswert eingestuft werden muss.

Fazit:

Freie Lüftung kann unter heutigen baupraktischen Rahmenbedingungen den notwendigen Feuchteschutz und die Anforderungen an die Raumluftqualität nicht gewährleisten. Kontrollierte (ventilatorgestützte) Wohnungslüftung kann dagegen die geforderte Dauerlüftung sicherstellen.

Wir schlagen daher vor, die Abluftanlage künftig generell in Neubau und Sanierung als eine Ohnehin-Maßnahme im Sinne einer Mindestanforderung zu betrachten. Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsanalysen sind Mehrkosten demnach gegenüber diesem System als Basisvariante zu ermitteln.

16.6 Anhang: Wärmedämm-Maßnahmen der Außenwand bei ungenügendem Dachüberstand

Ausgegangen wurde von folgender Bestandssituation:

- Dachgeschoss nicht ausgebaut (kalt)
- Dachstuhl als Holzkonstruktion
- Eindeckung mit Betonsteinen
- Keine Dachdämmung, Unterspannbahn o.ä. vorhanden

Die Ausführung ist beispielhaft dargestellt. Alternative Vorgehensweisen und andere Bestandssituationen sind möglich.

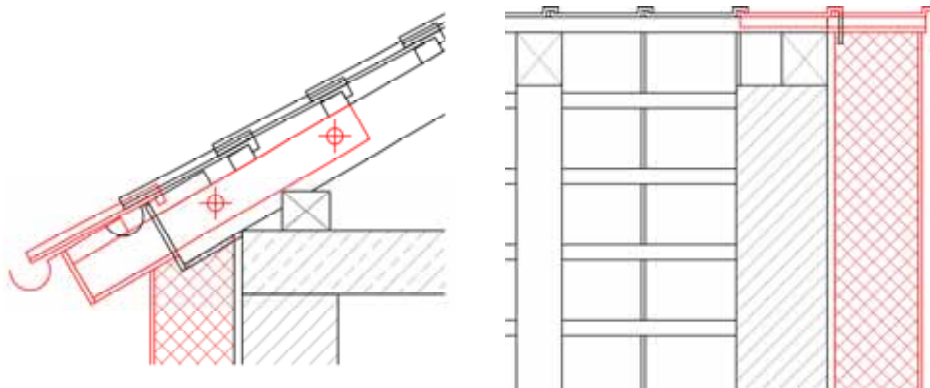


Abbildung 99: Details der Dachüberstandsverlängerung an Traufe und Ortgang (Bestand: schwarz; Neu: rot)

Die folgenden Arbeitsschritte sind an der Traufseite erforderlich:

Dachsteine auf etwa 1m Breite entlang der Traufe entfernen / Regenrinne, Traufblech und Fallrohr demontieren / Holzverschalung der Sparrenuntersicht entfernen / Sparrenverlängerung (Kantholz) seitlich an altem Sparren festschrauben / Traufbohle montieren / Holzverschalung der Sparrenuntersicht montieren / Traufblech montieren / Regenrinne inkl. Fallrohranschlusstutzen, Rinnenendstück usw. montieren / Alte Dachsteine montieren / Zusätzliche neue Dachsteine montieren (eine Ziegelreihe) / Fallrohr und Standrohr montieren.

- Kosten Traufanschluss pro laufendem Meter: 95 €

Die folgenden Arbeitsschritte sind an der Giebelseite erforderlich:

auf ca. 50cm Breite entlang des Ortgangs Dachsteine entfernen / Dachlattenverlängerung montieren / Alte Dachsteine wieder auflegen / Zusätzliche, neue Dachsteine auflegen

- Kosten Ortganganschluss pro laufendem Meter: 30 €

Bei einem zweigeschossigen Haus resultieren dabei die folgenden Zusatzkosten bezogen auf die Außenwandfläche:

- Traufanschluss pro qm Fassadendämmung (6m Wandhöhe): 16 €
- Ortganganschluss pro qm Fassadendämmung (8,10m Firsthöhe): 4 €

In Tabelle 107 und Tabelle 108 wird eine Wärmedämm-Maßnahmen an der Fassade betrachtet für den Fall, dass der Dachüberstand am Schrägdach nicht ausreichend ist. Die fixen Investitionskosten für ein Wärmedämmverbundsystem erhöhen sich hierdurch um 16 €/m² Außenwandfläche; dies sind die außenwandflächenbezogenen Mehrinvestitionskosten für eine Dachverlängerung auf der ungünstigeren Dachseite (Traufseite).

Durch die zusätzliche Maßnahme Dachverlängerung erhöhen sich die Kosten der eingesparten kWh Endenergie gegenüber dem Basisfall aus Abschnitt 5.4.1 auf 3,1 (bei Kopplung mit einer Putzerneuerung) bzw. auf 3,9 Cent/kWh (kombiniert mit einem ohnehin fälligen Neuanstrich) für den wirtschaftlich gebotenen Wärmeschutz.

Auch für den ungünstigen Fall, dass der Dachüberstand verlängert werden muss, ist die Fassadendämmung eine wirtschaftlich sehr attraktive Maßnahme.

Tabelle 107: Wärmedämmverbundsystem mit Verlängerung des Dachüberstands gekoppelt an Maßnahme Putzerneuerung

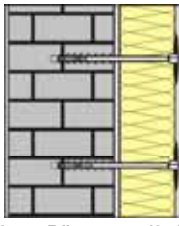
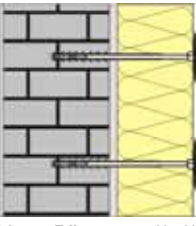
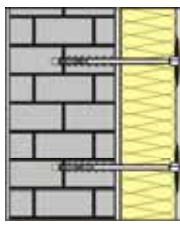
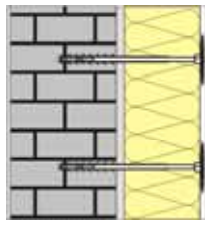
Energiesparmaßnahme: Außenwand, Wärmedämm-Verbundsystem / Verlängerung Dachüberstand			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Putzerneuerung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Putzerneuerung 1,41 W/(m²K)	Wärmedämm-Verbundsystem 0,16 W/(m²K)	Wärmedämm-Verbundsystem 0,11 W/(m²K)
			
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	40 €/m²	122 €/m²	131 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme =Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden: Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer: Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		82 €/m² 41% 33 €/m²	91 €/m² 41% 37 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		49 €/m²	54 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme : jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		3,35 €/(m²a) 7,40 €/(m²a)	3,74 €/(m²a) 7,69 €/(m²a)
jährlicher Gewinn:		4,05 €/(m²a)	3,95 €/(m²a)
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt : Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		108,2 kWh/(m²a) 89%	112,5 kWh/(m²a) 92%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie : zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		3,1 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh	3,3 Cent/kWh 6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		119,0 kWh/(m²a)	123,7 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: diff. Jahresnutzungsgrad: Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	78,00 kWh/a 90% 0,0659 €/kWh 0,068 €/kWh

Tabelle 108: Wärmedämmverbundsystem mit Verlängerung des Dachüberstands gekoppelt an Maßnahme Neuanstrich

Energiesparmaßnahme: Außenwand, Wärmedämm-Verbundsystem / Verlängerung Dachüberstand			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Neuanstrich Außenfassade			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Neuanstrich Außenfassade	Wärmedämm-Verbundsystem	Wärmedämm-Verbundsystem
			
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	1,41 W/(m²K)	0,16 W/(m²K)	0,11 W/(m²K)
22 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 5,50 m²K/W			32 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 8,00 m²K/W
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	20 €/m²	122 €/m²	131 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		102 €/m²	111 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		41 €/m²	45 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		60 €/m²	66 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		4,17 €/m²a	4,56 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		7,40 €/m²a	7,69 €/m²a
jährlicher Gewinn:		3,23 €/m²a	3,14 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		108,2 kWh/(m²a)	112,5 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		89%	92%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		3,9 Cent/kWh	4,1 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		119,0 kWh/(m²a)	123,7 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: 78,00 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): 0,0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0,068 €/kWh	

16.7 Anhang: Wärmedämm-Maßnahmen der Außenwand ohne gleichzeitige Fenstererneuerung

In diesem Abschnitt wird der Fall betrachtet, dass die Fenstererneuerung bereits durchgeführt wurde und die Wärmedämm-Maßnahmen an der Außenfassade zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt. Das Fenster wurde, wie bei ungedämmten Mauerwerkswänden üblich, Mitte Mauerwerk eingebaut (vgl. Abbildung 100), wobei die neue Fassadendämmung durch Dämmstreifen in den Laibungen seitlich und oben angeschlossen werden kann (vgl. Abbildung 101).

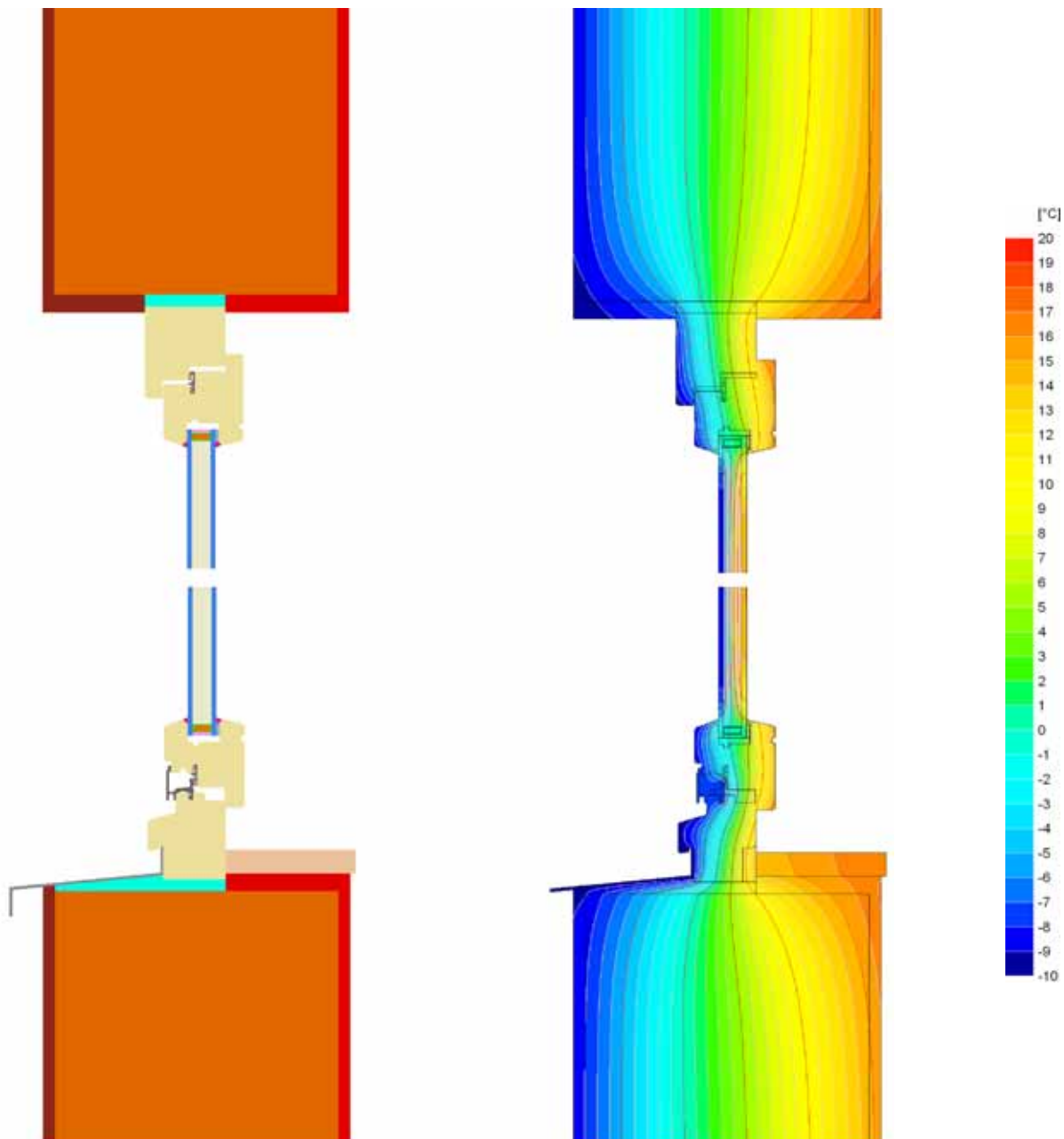


Abbildung 100: Standardmäßiger Fenstereinbau in eine Mauerwerkswand ($d = 24$ cm). Fenstereinbau Mitte Mauerwerk. Rechts die zugehörigen Isothermenbilder.

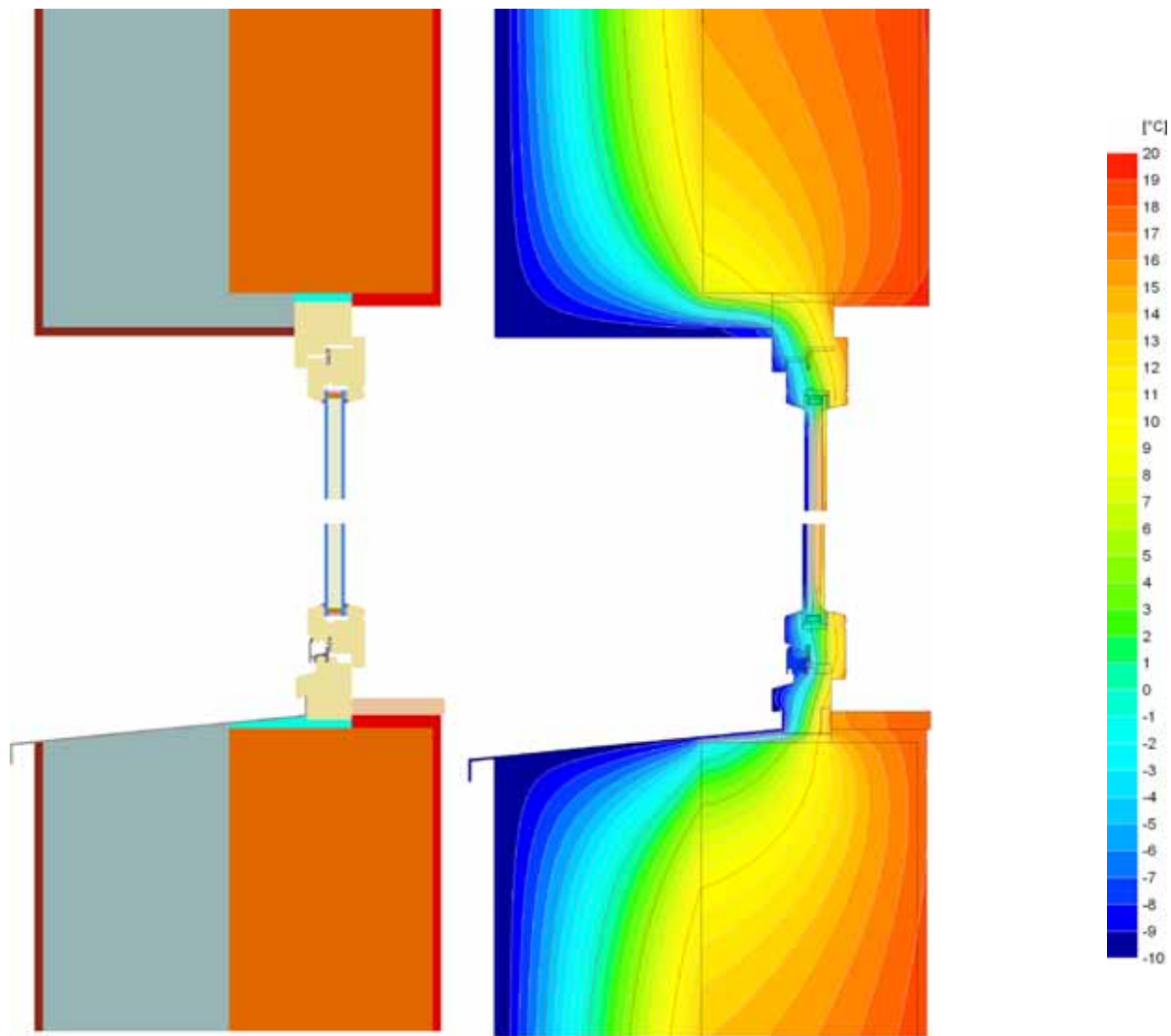


Abbildung 101: Fenster verbleibt in ursprünglicher Lage. Fenstereinstbau Mitte Mauerwerk. Mauerwerk ($d = 24$ cm) mit Dämmung ($d = 22$ cm). Es wurde eine Überdämmung des Rahmens oben und seitlich von 4 cm angenommen. Eine nachträgliche Überdämmung des unteren Rahmenprofils ist aufgrund der Entwässerung des Fensterbank-Anschlusses kaum möglich.

Dieser wärmetechnisch nicht optimale Fensteranschluss schwächt die Dämmwirkung der Außenwand und führt daher zu einem zusätzlichen Wärmebrückenverlust. Der wärmetechnisch optimale Einbau wäre hingegen in der Dämmebene, d. h. vor dem Mauerwerk (vgl. Abbildung 102).

Diese Wärmebrückenwirkung verringert die mit der Fassadendämmung erzielbare jährliche Heizenergieeinsparung. Das in der Altbauwand eingebaute Fenster verursachte allerdings auch schon einen Einbauwärmebrückenverlust. Zur Berechnung der tatsächlich resultierenden Heizenergieeinsparung muss sowohl beim alten Bauteil, als auch bei der mit einem WDVS gedämmten Wand der durch den Fenstereinstbau resultierende Wärmebrückenverlust berücksichtigt werden. Tabelle 109 gibt einen Überblick zu den Fenstereinstbausituationen und den damit verbunden Wärmebrückenverlusten.

Tabelle 110 zeigt eine ökonomische Betrachtung des ungünstigen Fenstereinbaus bei einer Fassadendämmung mit einem WDVS. Der Fensterflächenanteil wurde mit 30 % eher hoch angesetzt; damit resultiert ein höherer fassadenbezogener Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} . Gegenüber der Basisvariante in Abschnitt 5.4.1 bleiben die Kosten der eingesparten kWh Endenergie allerdings nahezu unverändert (geringe Zunahme um 0,1 Cent/kWh).

Tabelle 109: Zusammenfassung der untersuchten Fenstereinbau-Situationen und der resultierenden fassadenbezogenen ΔU_{WB}

	Alte Außenwand / Fenstereinbau Mitte Mauerwerk	WDVS / Fenstereinbau Mitte Mauerwerk	WDVS / optimierter Fenstereinbau
Fensterabmessungen	Fensterbreite = 1,23 m, Fensterhöhe = 1,48 m		
Außenwand U_{wand} [W/(m²K)]	1,207	0,159	0,159
Fenster U_w [W/(m²K)]	1,57	1,57	1,57
Verglasung U_g [W/(m²K)]	1,3	1,3	1,3
Einbauwärmebrückenverlust:			
oben / seitlich $\Psi_{Einbau,oben}$ [W/(mK)]	0,062	0,066	0,005
unten $\Psi_{Einbau,oben}$ [W/(mK)]	0,062	0,187	0,038
Einbauwärmebrückenverlust je Fenster [W/K]	0,336	0,507	0,068
ΔU_{WB} (fassadenbezogen) aufgrund der Einbauwärmebrücke bei einem Fensteranteil von 15 % [W/(m²K)]	0,028	0,042	0,006
ΔU_{WB} (fassadenbezogen) aufgrund der Einbauwärmebrücke bei einem Fensteranteil von 30 % [W/(m²K)]	0,055	0,083	0,011

Durch eine Optimierung des Fenstereinbaus, d. h. eine Versetzung des Fensters in die Dämmebene, kann gegenüber der Ausgangsvariante mit einer Anordnung des Fenster Mitte Mauerwerk Heizenergie eingespart werden, was zu einer Verringerung der Heizkosten führt.

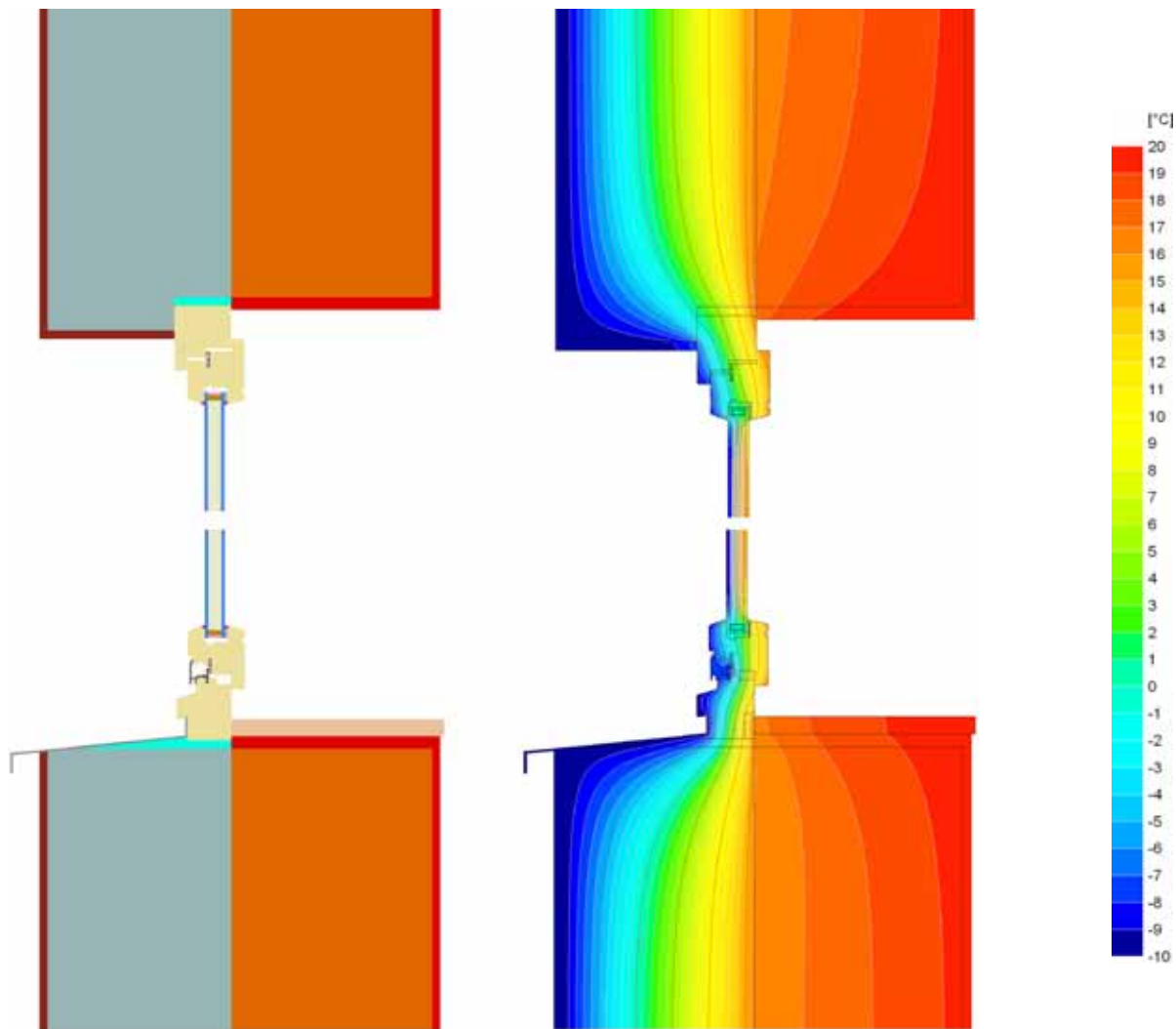


Abbildung 102: Fenster wird in die Dämmebene versetzt; Mauerwerk ($d = 24 \text{ cm}$) mit Dämmung ($d = 22 \text{ cm}$). Rechts die zugehörigen Isothermenbilder.

Bei unveränderter Fensterqualität aber verbessertem Fenstereinbau resultiert auf diese Weise eine beachtliche Heizenergieeinsparung von $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ Fensterfläche a})$ (vgl. Tabelle 111). Der Barwert der Heizkosteneinsparung bei einer weiteren Nutzung des Fenster über 30 Jahre liegt bei $27 \text{ €/}(\text{m}^2 \text{ Fensterfläche})$. Bezogen auf die in Tabelle 109 ausgewiesene Fenstergröße beläuft sich dieser Barwert auf etwa 50 € je Fenster. D. h., wenn die Fenster bereits erneuert und in sehr gutem Zustand sind, kann es lohnend sein, bei einer Fassadendämmung den Fenstereinbau nachträglich vom Fensterbauer ändern zu lassen. Dies gilt sofern die Montagekosten sich auf max. 50 € je Fenster belaufen. In diesem Fall entfallen außerdem bei einem späteren Fensteraustausch Anpassungen an den äußeren Fensterbänken, da diese bereits die richtige Länge haben.

Tabelle 110: Wärmedämmverbundsystem gekoppelt an Maßnahme Neuverputz bei ungünstigem Fenstereinbau; die Fenster sind bereits erneuert und Mitte Mauerwerk eingebaut. Zusätzlich berücksichtigt werden die fassadenbezogenen Wärmebrückenverluste aufgrund der Fenster-Einbausituation.

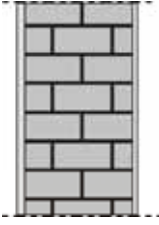
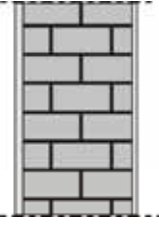
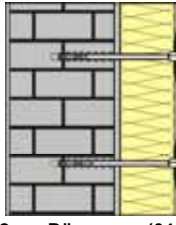
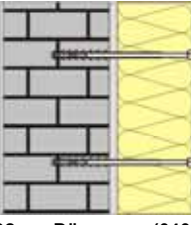
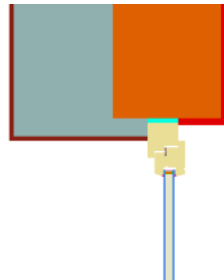
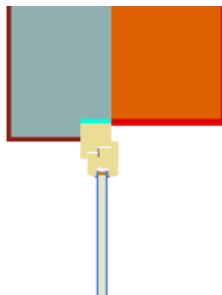
Energiesparmaßnahme: Außenwand, Wärmedämm-Verbundsystem / alter Fenstereinbau			
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme: Putzerneuerung			
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz
verputzte Außenwand	Ohnehin fällige Maßnahme ohne Wärmedämmung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Mindest-Empfehlung:	Sanierungsmaßnahme mit Wärmedämmung nach Empfehlung:
U-Wert: 1,41 W/(m²K)	Putzerneuerung	Wärmedämm-Verbundsystem	Wärmedämm-Verbundsystem
ΔU_{WB} (30% Fenster-flächenanteil) 0,055 W/(m²K)	1,41 W/(m²K)	0,16 W/(m²K)	0,11 W/(m²K)
			
		22 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 5,50 m²K/W	32 cm Dämmung (040) mit R-Wert = 8,00 m²K/W
Innenoberflächentemperatur bei -10 °C Außenluft	14,5 °C	19,4 °C	19,6 °C
Bauliche Investitionskosten:	40 €/m²	106 €/m²	115 €/m²
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		66 €/m²	75 €/m²
Restwert der Energiesparmaßnahme bei 50 Jahren Lebensdauer:		41%	41%
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		27 €/m²	31 €/m²
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		39 €/m²	45 €/m²
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		2,70 €/m²a	3,08 €/m²a
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.)		7,23 €/m²a	7,51 €/m²a
jährlicher Gewinn:		4,54 €/m²a	4,43 €/m²a
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		105,7 kWh/(m²a)	109,8 kWh/(m²a)
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		89%	92%
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		2,6 Cent/kWh	2,8 Cent/kWh
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil (Öl/Gas) :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		116,3 kWh/(m²a)	120,8 kWh/(m²a)
ANNAHMEN	Realzins: 3,27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a.	Heizgradstunden: diff. Jahresnutzungsgrad: Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl): Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	78,00 kWh/a 90% 0,0659 €/kWh 0,068 €/kWh

Tabelle 111: Thermische Optimierung des Einbaus durch Vorrücken des Fensters in die Dämmebene.
Der verbesserte Einbau führt zu einer beachtlichen Heizeneersparung

Energiesparmaßnahme: optimierter Fenstereinbau bei Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme:				
Wärmebrückeberlust aufgrund des Fenstereinbaus je m² Fensterfläche jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.o.) Barwert der Heizkosteneinsparung bei 30 Jahren Nutzungsdauer des Fensters	Fenstereinbau unverändert 0,278 W/(m²Fenster K) 	Fenstereinbau optimiert 0,037 W/(m²Fenster K) 		

16.8 Anhang zum Abschnitt 5.5 Fenster: Berechnungstabellen weiterer Maßnahmen und Varianten

Tabelle 112: Zukünftiger Kunststoffrahmen

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Std. Kunststoff-Fenster 2WSV				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	zukunftsweisender Wärmeschutz	
Bestand 1-fach Verglasung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Mindest-Empfehlung	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Empfehlung	
U_w : 5,15 W/(m ² K)	PVC Stand. 2 WSV 1,34 W/(m ² K)	PVC 8-Kammer 3 WSV 0,82 W/(m ² K)	PVC 8-Kammer 3 WSV 0,76 W/(m ² K)	
				
Glas / U_g [W/(m ² K)]:	2 WSV 1,10	3 WSV 0,60	3 WSV 0,51	
Rahmen / U_f [W/(m ² K)]:	PVC Stand. 1,38	PVC 8-Kammer 1,03	PVC 8-Kammer 1,03	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu 0,060	Kunststoff 0,039	Kunststoff 0,039	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C Außenluft:	14,8 °C	16,8 °C	17,0 °C	
Tauwasserschutz Kante:	gering	mittel	mittel	
Bauliche Investitionskosten (inkl. Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	237 €/m ²	272 €/m ²	286 €/m ²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		36 €/m ²	49 €/m ²	
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:		6%	6%	
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:		10%	9%	
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :		6 €/m ²	8 €/m ²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts :		30 €/m ²	41 €/m ²	
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :		2,08 €/m ² a	2,85 €/m ² a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		2,31 €/m ² a	2,65 €/m ² a	
jährlicher Gewinn:		0,23 €/m ² a	-0,20 €/m ² a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :		33,8 kWh/(m ² a)	38,8 kWh/(m ² a)	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :		84%	85%	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :		6,1 Cent/kWh	7,4 Cent/kWh	
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :		6,8 Cent/kWh	6,8 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		37 kWh/(m ² a)	43 kWh/(m ² a)	
ANNAHMEN	Realzins:	3,27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%
	Annuität:	6,9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0,0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0,0684 €/kWh

*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

Tabelle 113: Randverbundverbesserung bei Standard-Holzrahmen

Energiesparmaßnahme: thermisch verbesserter Glasrandverbund					
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Std.-Holzfenster					
	Standard		Verbesserter Wärmeschutz		
	Alu - Randverbund		Edelstahl - Randverbund		
	Std.-Holzfenster 2 WSV		Std.-Holzfenster 2 WSV		
U_w :	1.46 W/(m2K)		1.41 W/(m2K)		
					
Glas / U_g [W/(m²K)]:	2 WSV	1.10	2 WSV	1.10	
Rahmen / U_f [W/(m²K)]:	IV68	1.59	IV68	1.59	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu	0.078	Edelstahl	0.057	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	14.3 °C		14.5 °C		
Tauwasserschutz Kante:	gering		gering		
Bauliche Investitionskosten (inkl.Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	306 €/m²		308 €/m²		
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:			2 €/m²		
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:			3%		
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:			8%		
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :			0 €/m²		
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts :			2 €/m²		
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :			0.13 €/m²a		
jährliche Heizkosteneinsparung:			0.26 €/m²a		
(mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)					
jährlicher Gewinn:			0.13 €/m²a		
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :			3.8 kWh/(m²a)		
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :			73%		
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :			3.5 Cent/kWh		
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :			6.8 Cent/kWh		
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):			4 kWh/(m²a)		
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a	
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%	
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh	
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh	

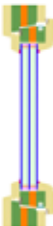
*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

Tabelle 114: Randverbundverbesserung bei Holzrahmen mit Bautiefe 90 mm und 3 WSV

Energiesparmaßnahme: thermisch verbesserter Glasrandverbund					
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Holzfenster Bautiefe 90 mm					
	Standard		Verbesserter Wärmeschutz		
	Alu - Randverbund		Edelstahl - Randverbund		
	Holzfenster Bautiefe 90 mm 3 WSV		Holzfenster Bautiefe 90 mm 3 WSV		
U_w :	1.05 W/(m2K)		0.95 W/(m2K)		
					
Glas / U_g [W/(m²K)]:	3 WSV	0.60	3 WSV	0.60	
Rahmen / U_f [W/(m²K)]:	Holz d=90	1.24	Holz d=90	1.24	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu	0.100	Edelstahl	0.059	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	15.9 °C		16.3 °C		
Tauwasserschutz Kante:	mittel		mittel		
Bauliche Investitionskosten (inkl. Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	346 €/m²		350 €/m²		
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:			5 €/m²		
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:			4%		
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:			8%		
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:			1 €/m²		
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:			4 €/m²		
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme:			0.28 €/m²a		
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)			0.54 €/m²a		
jährlicher Gewinn:			0.27 €/m²a		
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:			7.9 kWh/(m²a)		
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:			82%		
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie: zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil:			3.5 Cent/kWh		
			6.8 Cent/kWh		
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):			9 kWh/(m²a)		
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a	
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%	
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh	
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh	

*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

Tabelle 115: Randverbundverbesserung bei gedämmten Holzrahmen und 3 WSV

Energiesparmaßnahme: thermisch verbesserter Glasrandverbund					
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : Gedämmter Rahmen Holz					
	Standard		Verbesserter Wärmeschutz		
	Alu - Randverbund		Edelstahl - Randverbund		
	Gedämmter Rahmen Holz 3 WSV		Gedämmter Rahmen Holz 3 WSV		
U_w :	0.83 W/(m2K)		0.76 W/(m2K)		
					
Glas / U_g [W/(m²K)]:	3 WSV	0.60	3 WSV	0.60	
Rahmen / U_f [W/(m²K)]:	Gedämmter Rahmen Holz	0.74	Gedämmter Rahmen Holz	0.74	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu	0.073	Edelstahl	0.047	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	16.8 °C		17.0 °C		
Tauwasserschutz Kante:	mittel		mittel		
Bauliche Investitionskosten (inkl.Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	414 €/m²		418 €/m²		
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:			4 €/m²		
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:			3%		
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:			11%		
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum :			1 €/m²		
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts :			4 €/m²		
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme :			0.26 €/m²a		
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)			0.33 €/m²a		
jährlicher Gewinn:			0.07 €/m²a		
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt :			4.8 kWh/(m²a)		
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil :			85%		
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie :			5.4 Cent/kWh		
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil :			6.8 Cent/kWh		
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):			5 kWh/(m²a)		
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a	
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%	
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh	
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh	

*Energiedurchlassgrad: 60% (2WSV), 52% (3WSV)

Tabelle 116: Fensteraustausch von einfachverglasten Fenstern zu Kunststofffenstern mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung als ungekoppelte Maßnahme

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : keine				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	verbesserter Wärmeschutz	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	
Bestand 1-fach Verglasung	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	PVC Stand. 2 WSV	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Mindest-Empfehlung	
U _w : 5.15 W/(m2K)	keine 5.15 W/(m2K)	1.34 W/(m2K)	PVC Stand. 3 WSV 0.93 W/(m2K)	
				
Glas / U _g [W/(m²K)]:	1-fach 6.90	2 WSV 1.10	3 WSV 0.60	
Rahmen / U _r [W/(m²K)]:	Holz 2.60	PVC Stand. 1.38	PVC Stand. 1.34	
Glasrand / ψ [W/(mK)]:	kein 0.000	Alu 0.060	Kunststoff 0.037	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	-0.1 °C	14.8 °C	16.4 °C	
Tauwasserschutz Kante:	gering	gering	mittel	
Bauliche Investitionskosten (inkl. Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	0 €/m²	237 €/m²	263 €/m²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		237 €/m²	263 €/m²	
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:		4%	6%	
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:		10%	9%	
Restwert der bedingten Energiesparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		34 €/m²	39 €/m²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		202 €/m²	223 €/m²	
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme:		13.95 €/m²a	15.38 €/m²a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		17.41 €/m²a	18.95 €/m²a	
jährlicher Gewinn:		3.46 €/m²a	3.56 €/m²a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		254.5 kWh/(m²a)	277.0 kWh/(m²a)	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		74%	82%	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		5.5 Cent/kWh	5.6 Cent/kWh	
zum Vergleich: mittlere Bezugskosten (2006-2026) für eine kWh Brennstoff (Öl/Gas):		6.6 Cent/kWh	6.6 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		280 kWh/(m²a)	305 kWh/(m²a)	
ANNAHMEN	Realzins:	3.27% p.a.	Heizgradstunden:	78 kWh/a
	Kalkulationsdauer:	20 Jahre	diff. Jahresnutzungsgrad:	90%
	Annuität:	6.9% p.a.	Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026):	0.0659 €/kWh
			Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil:	0.0684 €/kWh

*Energiedurchlassgrad: 85% (1-fach), 60% (2WSV), 52% (3WSV)

Tabelle 117: Fensteraustausch von Isolierglas-Fenstern zu Kunststofffenstern mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung als ungekoppelte Maßnahme

Energiesparmaßnahme: Fenster; Wärmeschutzfenster				
Kopplung an Ohnehin-Maßnahme : keine				
Bauteil alt	Ohnehin- Maßnahme	verbesserter Wärmeschutz	wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	
Bestand 2-fach Iso-Vergl.	Ohnehin fällige Maßnahme ohne besonderen Wärmeschutz	PVC Stand. 2 WSV	Sanierungsmaßnahme mit Wärmeschutz nach Mindest-Empfehlung	
U_w: 2.54 W/(m ² K)	keine	1.34 W/(m ² K)	PVC Stand. 3 WSV	0.93 W/(m ² K)
				
Glas / U _g [W/(m ² K)]:	2-fach Iso- 2.80	2 WSV 1.10	3 WSV 0.60	
Rahmen / U _f [W/(m ² K)]:	Holz 1.59	PVC Stand. 1.38	PVC Stand. 1.34	
Glasrand / Ψ [W/(mK)]:	Alu 0.078	Alu 0.060	Kunststoff 0.037	
Oberflächentemp. innen bei -10 °C	10.1 °C	14.8 °C	16.4 °C	
Tauwasserschutz Kante:	gering	gering	mittel	
Bauliche Investitionskosten (inkl. Demontage/Entsorgung Altfenster und Montage):	0 €/m ²	237 €/m ²	263 €/m ²	
Investitionskosten der bedingten Energiesparmaßnahme = Kosten, die der Energieeinsparung zugerechnet werden:		237 €/m ²	263 €/m ²	
Restwerte der Komponenten mit 30 Jahren Lebensdauer:		4%	6%	
Restwerte der Komponenten mit 40 Jahren Lebensdauer:		10%	9%	
Restwert der bedingten Energieeinsparmaßnahme nach dem Kalkulationszeitraum:		34 €/m ²	39 €/m ²	
Kosten d. Energiesparmaßnahme abzüglich des Restwerts:		202 €/m ²	223 €/m ²	
Annuitätische Kapitalkosten für die Energiesparmaßnahme:		13.95 €/m ² a	15.38 €/m ² a	
jährliche Heizkosteneinsparung: (mit mittl. Energiepreis inkl. HE s.u.)		5.51 €/m ² a	7.04 €/m ² a	
jährlicher Gewinn:		-8.44 €/m ² a	-8.34 €/m ² a	
Erzielte Heizenergieeinsparung normalbeheizt:		80.5 kWh/(m ² a)	103.0 kWh/(m ² a)	
Heizenergieeinsparung im Vergleich zum alten Bauteil:		47%	63%	
Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie:		17.3 Cent/kWh	14.9 Cent/kWh	
zum Vergleich: mittlere Energiekosten (2006-2026) inkl. Hilfsenergieanteil:		6.8 Cent/kWh	6.8 Cent/kWh	
Primärenergieeinsparung (bei Öl/Gas-Heizung):		89 kWh/(m ² a)	113 kWh/(m ² a)	
ANNAHMEN	Realzins: 3.27% p.a. Kalkulationsdauer: 20 Jahre Annuität: 6.9% p.a.	Heizgradstunden: 78 kWh/a diff. Jahresnutzungsgrad: 90% Mittlerer Energiepreis (Gas/Öl, 2006-2026): 0.0659 €/kWh Mittlere Energiekosten inkl. Hilfsenergieanteil: 0.0684 €/kWh		

*Energiedurchlassgrad: 76% (2IsoV), 60% (2WSV), 52% (3WSV)

16.9 Anhang: Rückspiegelung des Vorschlags für ein neues Primärenergie-Anforderungsniveau auf die Verfahren gemäß DIN 4108-6 und DIN 4701-10 für den Wohnbau (Neubau)

Ausgehend von dem vorgeschlagenen neuen Anforderungsniveau für Wohngebäude auf Basis der DIN V 18599 wurden drei Gebäudeausführungen, welche die vorgeschlagene Primärenergie-Anforderung gemäß DIN V 18599 einhalten, auf die Normenkombination DIN 4701-10 / DIN 4108-6 rückgerechnet (vgl. Abbildung 103). Die untersuchten Gebäudeausführungen sind bezüglich der DIN V 18599 je Gebäudetyp auf den gleichen Primärenergie-Anforderungs-Kennwert eingestellt, streuen aufgrund der methodischen Unterschiede zur Kombination aus DIN 4701-10 / DIN 4108-6 allerdings in einem Bereich von bis zu $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 A_N \text{ a})$. Das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau orientiert sich dabei je Gebäudetyp an einem mittleren Primärenergie-Kennwert der untersuchten Gebäudeausführungen.

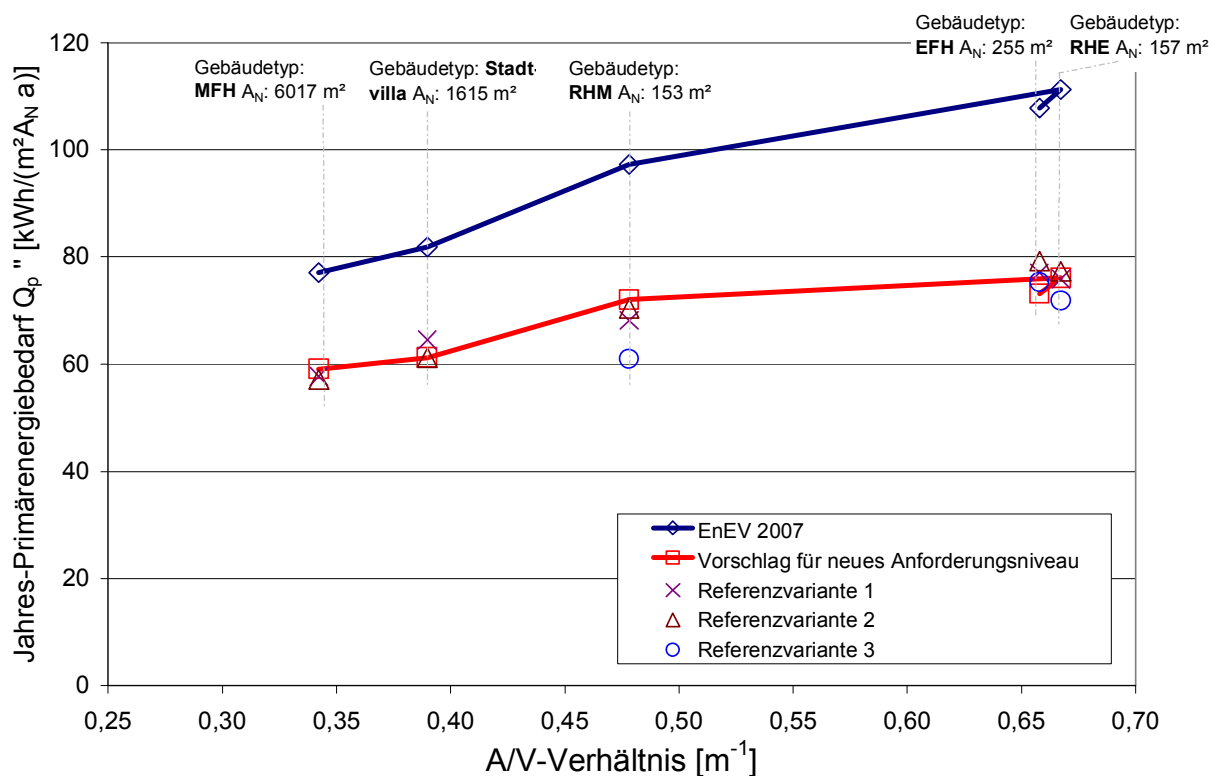


Abbildung 103: Rückrechnung des vorgeschlagenen neuen Anforderungsniveaus des Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude auf die Normenkombination DIN 4107-10/ DIN 4108-6. Es wurden drei Gebäudeausführungen, welche die vorgeschlagene Primärenergie-Anforderung berechnet gemäß DIN V 18599 einhalten, rückgerechnet. Das vorgeschlagene neue Anforderungsniveau orientiert sich je Gebäudetyp an der Gebäudeausführung mit dem jeweils höchsten Primärenergie-Kennwert. Betrachtete Gebäudetypen: EFH: Einfamilienhaus / RHE: Reihenendhaus / RHM: Reihemittelhaus / Stadtvilla / MFH: Mehrfamilienhaus.

Tabelle 118: Bestimmungsgleichung der vorgeschlagene neuen Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs

Höchstwert des Jahresprimärenergiebedarf $Q_{p''}$ in kWh/(m²a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N	$Q_{p''} = 50,94 + 22,59 \cdot A/V_e + 2600/(100+A_N)$
Höchstwert des Jahresprimärenergiebedarf $Q_{p''}$ in kWh/(m²a) bezogen auf die Gebäudenutzfläche A_N - Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom	$Q_{p''} = 68,74 + 22,59 \cdot A/V_e$

Die vorgeschlagenen neuen Höchstwerte des Jahres-Primärenergiekennwerts $Q_{p''}$ führen auf eine **durchschnittliche Verschärfung des Anforderungsniveaus** für Neubauten von

- **30 % bei Wohngebäuden** bzw.
- **26 % bei Wohngebäuden mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom.**

Die mittlere Verschärfung wurde hierbei über den A/V_e -Wertebereich von 0,2 bis 1,0 ermittelt.

Die Nebenbedingung **spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T'** wird in Abschnitt 1 diskutiert.

16.10 Anhang zu den Modellgebäuden

16.10.1 Kostenansätze

Wärmeerzeuger

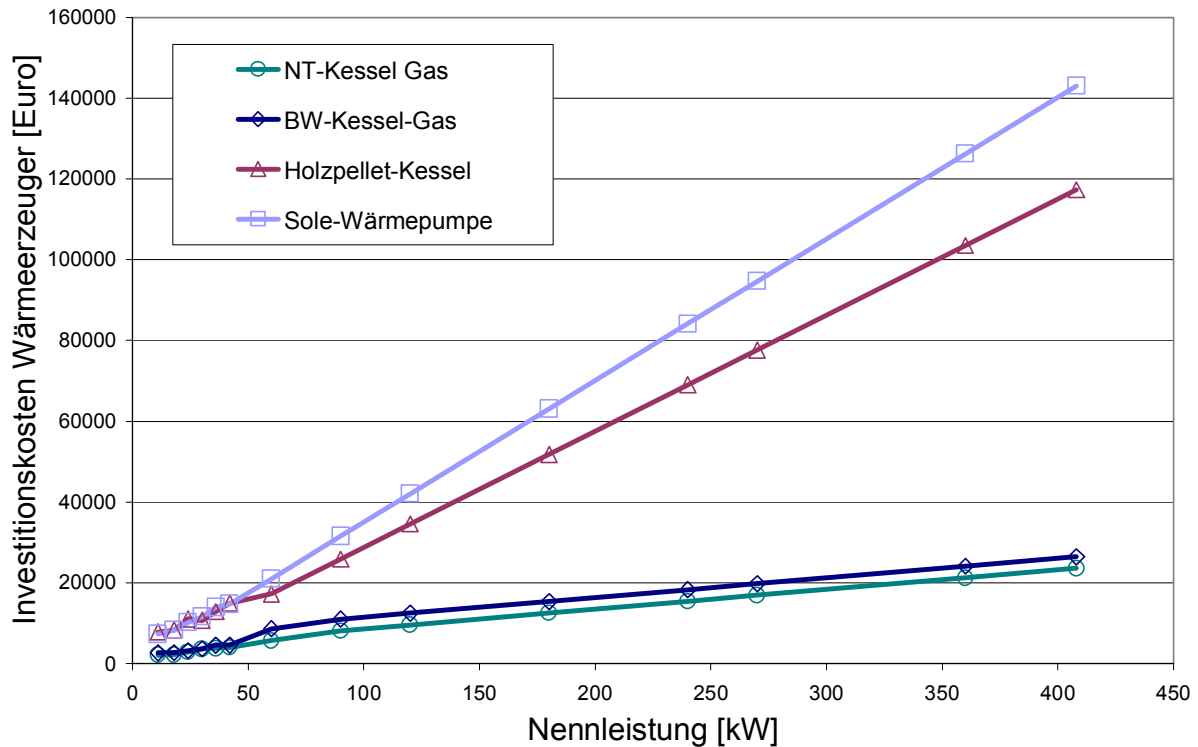


Abbildung 104: Kostenansatz zu den betrachteten Wärmeerzeugern. Die Kosten wurden aus Listenpreisen interpoliert. Bei Wärmepumpen und Holzpelletkesseln wurden für größere Nennleistungen mehrere Anlagen kombiniert.

Die Differenzkosten der Wärmeerzeuger werden in den Abschnitten zu den Wohnbau bzw. Nichtwohnbau-Gebäuden diskutiert (vgl. Abschnitt 7.2 und 7.3.1)

Wärmeerzeuger: Elektrische Installation und Gasanschluss

Bei Wärmeerzeugern auf Gasbasis wird ein Gasanschluss mit 1300 € angesetzt. Die elektrische Installation bei Wärmepumpen verursacht 200 € höhere Investitionskosten als bei den anderen Wärmeerzeugern.

Erdsonden für Sole-Wärmepumpen

Für eine Erdsonde als Wärmequelle werden Investitionskosten von 1000 €/kW Wärmeleistung angesetzt.

Thermische Solaranlage

Berücksichtigt sind die Investitionskosten der kompletten thermischen Solaranlage inkl. Montage. Da bereits in der Referenzausführung ein TWW-Speicher vorhanden ist, werden nur die Differenzkosten zum Solarspeicher angesetzt.

Zu- und Abluftanlage

Die Investitionskosten beinhalten jeweils das Lüftungszentralgerät, das Kanalnetz, die erforderlichen Anschlüsse und die Montage. Zur Bestimmung der Kanalnetzskosten wurde ein flächenspezifischer Wert angesetzt.

Restliche Anlagentechnik

TWW-Speicher, TWW-Verteilung, Wärmeverteilung, und Wärme-Übergabe wird ausgewiesen, hat aber keinen Einfluss auf Wirtschaftlichkeit, da diese Komponenten im selben Modellgebäude unverändert bleiben.

Zusätzliche Wärmedämmung der Verteilleitungen

Verbesserung der Wärmedämmung der warmen Rohrleitungen auf 150 % x DN, Zusatzkosten 3 €/lfm. Der Wärmeverlustkoeffizient verbessert sich mit dieser Maßnahme von 0,20 auf 0,16 W/(m K).

Betriebskosten

Die Betriebskosten bezüglich Heizung und Trinkwarmwasserbereitung beinhalten

- bei einer Erdgas-Heizung oder einer Wärmepumpe den Grundpreis für Gas bzw. Wärmepumpenstrom,
- die Schornsteinfegergebühren,
- die Wartung der Heizungsanlage (Heizkessel jährlich, Wärmepumpen alle 2 bis 3 Jahre)
- und die Wartung der Solaranlage sofern vorhanden

Die Betriebskosten der Lüftungsanlage umfassen die Wartung der Lüftung und den Filterwechsel. Die Erneuerung der Leuchtmittel ist in den Betriebskosten der Beleuchtung berücksichtigt (Leuchtmittel inkl. Personalkosten) 13 Euro je Lampenwechsel.

Bauteilkosten

Tabelle 119: Bauteilkosten Neubau-Dach (Flachdach: Warmdach auf oberster Geschossdecke /
Schrägdach: Sparrendach mit Zwischensparren-Dämmung)

	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Flachdach	Schrägdach	Schrägdach
Investitionskosten [€/ (m² Bauteilfläche)]	171	162	153	151	149	148	146	144	136	133
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,10	0,13	0,19	0,21	0,25	0,27	0,31	0,36	0,10	0,11
	Schrägdach	Schrägdach	Schrägdach	Schrägdach	Schrägdach					
Investitionskosten [€/ (m² Bauteilfläche)]	126	120	116	116	112					
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,15	0,19	0,25	0,27	0,37					

Tabelle 120: Bauteilkosten Neubau-Außenwand (KS-Stein-Wand mit WDVS bzw. Plan-Wärme-
dämmziegel)

	Plan-Wärme- dämmziegel (42,5cm)	Plan-Wärme- dämmziegel (42,5cm)	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS	KS + WDVS
Investitionskosten [€/ (m² Bauteilfläche)]	156	122	138	133	131	128	126	126	125	123	122	120	118
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,23	0,33	0,13	0,16	0,17	0,20	0,23	0,24	0,26	0,29	0,35	0,42	0,53

Tabelle 121: Bauteilkosten Neubau-Geschossdecke gegen außen

	Stb. + WDVS	Stb. + WDVS	Stb. + WDVS
Investitionskosten [€/ (m²Bauteilfläche)]	131	125	123
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,15	0,22	0,24

Tabelle 122: Bauteilkosten Neubau-Kellerwand

	Stb. + Perimeter- dämmung	Stb. + Perimeter- dämmung	Stb. + Perimeter- dämmung	Stb. + Perimeter- dämmung
Investitionskosten [€/ (m²Bauteilfläche)]	138	128	120	118
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,21	0,24	0,57	0,57

Tabelle 123: Bauteilkosten Neubau-Bodenplatte bzw. –Kellerdecke / Wärmedämmung unter Bodenplatte bzw. Kellerdecke

	Stb. + Wärme- dämmung	Stb. + Wärme- dämmung. + Wärme	Stb. + Wärme- dämmung	Stb. + Wärme- dämmung	Stb. + Wärme- dämmung
Investitionskosten [€/ (m²Bauteilfläche)]	161	158	151	145	143
Bauteil-U-Wert [W/(m²K)]	0,16	0,18	0,24	0,32	0,38

Fenster

In den Gebäudemodellen werden zwei Fenstertypen angesetzt:

- marktgängige Holzfenster mit Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung (2WSV) und konventionellem Randverbund
- und Holzfenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung (3WSV) mit wärmetechnisch verbessertem Randverbund.

Tabelle 124: Kennwerte der angesetzten Fenster

Fensterbeschreibung	Kennwerte	Investitionskosten inkl. Montage
Rahmen Holz IV68 ungedämmt, 2WSV, Randverbund Alu	$U_w = 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_w gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 65 %	286 €/m ²
Rahmen Holz IV80 ungedämmt, 3WSV, Randverbund therm. getrennt	$U_w = 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (U_w gemäß DIN 4108-4), g-Wert: 50 %	330 €/m ²

Vermeidung von Wärmebrücken

Die Investitionskosten werden in der Dokumentation zu den Gebäudemodellvarianten angegeben (vgl. Abschnitt 16.11).

Überprüfung der Gebäudeluftdichtheit

Die Investitionskosten werden in der Dokumentation zu den Gebäudemodellvarianten angegeben (vgl. Abschnitt 16.11).

Beleuchtung

Tabelle 125: Kostenansatz der Beleuchtungsanlage. Im Kostenansatz sind die Investitionskosten ohne Montage und Elektroinstallation berücksichtigt. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind nur die Differenzkosten relevant.

Beleuchtungsanlage	Kostenansatz je Leuchte
Spiegelrasterleuchte mit verlustarmem Vorschaltgerät (mit 58 W Lampe)	100 €
Spiegelrasterleuchte mit elektronischem Vorschaltgerät (mit 58 W Lampe)	120 €
Spiegelrasterleuchte mit verlustarmem Vorschaltgerät (mit 58 W Lampe) und tageslichtabhängiger Lichtsteuerung (gedimmt, ausschaltend). Es wurden autarke Einheiten angenommen, wobei jeweils 2 Leuchten über ein Steuergerät geschaltet werden. Zusätzlich zu den Investitionskosten werden auch die Mehrkosten für Verkabelung und Installation der Steuereinheit berücksichtigt.	220 €

16.10.2 Bauteilaufbauten

Die folgenden Tabellen zeigen die angesetzten Bauteilaufbauten. Dokumentiert ist nur die Maßnahme mit dem wirtschaftlich optimalen Dämmniveau. Die Bauteile mit geringerem Wärmeschutz im Referenzfall gemäß [EnEV 2007] bzw. besserem Wärmeschutz lassen sich aus den dokumentierten Bauteilen durch eine Erhöhung bzw. Verringerung der Dämmstärke erzielen.

2 Steildach						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,10						
außen R_{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Holzwerkstoffpl.	0,130					50
2. Wärmedämmung	0,040	Sparren	0,130			300
3. GK-Platte	0,700					13
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
		9,0%				36,3 cm
U-Wert: 0,15 W/(m²K)						0,1447264

5 Flachdach						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,10						
außen R_{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Innenputz	0,350					15
2. Stb. -Decke	2,500					200
3. Flachdachdämmung	0,040					300
4. Abdichtungsbahn						
5. Dachbegrünung oder Kiespackung						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						51,5 cm
U-Wert: 0,13 W/(m²K)						

1 Außenwand						
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung						
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,13						
außen R_{sa} : 0,04						
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]	Summe Breite Dicke [mm]
1. Innenputz	0,350					15
2. KS-Mauerwerk	1,100					175
3. Styropor	0,040					220
4. Außenputz	0,800					20
5.						
6.						
7.						
8.						
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3		Summe
						43,0 cm
U-Wert: 0,17 W/(m²K)						

6 Decke gegen außen					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,17					
außen R_{sa} : 0,04					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Bodenbelag	0,130				
2. Estrich	1,050				
3. Trittschalldämmung	0,040				
4. Betondecke	2,100				
5. Polystyrol (XPS bzw. E	0,040				
6. Außenputz	0,800				
7.					
8.					
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3	
U-Wert: 0,15					W/(m²K)

Summe Breite	Dicke [mm]
	5
	50
	30
	160
	220
	20
Summe	48,5 cm

4 Außenwand gegen Erdreich					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,13					
außen R_{sa} : 0,00					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Innenputz	0,350				
2. Stahlbeton	2,100				
3. Polystyrol (XPS)	0,040				
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3	
U-Wert: 0,21					W/(m²K)

Summe Breite	Dicke [mm]
	15
	180
	180
Summe	37,5 cm

3 Kellerdecke bzw. Bodenplatte					
Bauteil Nr. Bauteil-Bezeichnung					
Wärmeübergangswiderstand [m²K/W] innen R_{si} : 0,17					
außen R_{sa} : 0,04					
Teilfläche 1	λ [W/(mK)]	Teilfläche 2 (optional)	λ [W/(mK)]	Teilfläche 3 (optional)	λ [W/(mK)]
1. Bodenbelag	0,130				
2. Estrich	1,050				
3. Trittschalldämmung	0,040				
4. Betondecke	2,100				
5. Polystyrol (XPS bzw. E	0,040				
6.					
7.					
8.					
		Flächenanteil Teilfläche 2		Flächenanteil Teilfläche 3	
U-Wert: 0,18					W/(m²K)

Summe Breite	Dicke [mm]
	5
	50
	30
	160
	180
Summe	42,5 cm

16.10.3 Beleuchtung

Tabelle 126: Angesetzte Raumgrößen und Leuchtenanzahl. Die Leuchtenanzahl wird zur Berechnung in den Modellgebäuden auf ganzzahlige Werte aufgerundet. Wartungsfaktor und Leuchtenbetriebswirkungsgrad gemäß Referenzausführung.

	NGF [m ²]	Anzahl der 58W-Leuchten	
		Standard-Leuchtstofflampen mit ca. 70lm/W & VVG	Dreibanden-Leuchtstofflampen mit ca. 90lm/W & EVG
Einzelbüro	12	3,5	2,8
Klassenzimmer	60	13,5	10,7

16.10.4 Randbedingungen des Rechenverfahrens

Die Berechnungen gemäß DIN V 18599 wurden mit der Software „Excel-Berechnungsblatt zur DIN V 18599 - Version 2.0“ vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Stuttgart) vom November 2006 durchgeführt (vgl. [Höttges 2006]).

Dieses Berechnungstool, welches nicht die komplette Funktionalität der [DIN V 18599] abbildet, wurde verwendet, da zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch keine kommerzielle Softwarelösung verfügbar war. Fehlende Funktionen wie z. B. der Wärmeerzeuger Wärmepumpe und ein Pufferspeicher wurden ergänzt.

Zur Bewertung der Wärmepumpen wurde das Berechnungsverfahren für Quellen- und Senkentemperaturkorrekturen mit festem exergetischem Wirkungsgrad (vgl. [DIN V 18599-5]) und Standardwerten für Leistungszahlen gemäß [DIN V 18599-5] verwendet.

Die untersuchten Nutzungen wurden gemäß [DIN V 18599-10] angesetzt, die Nutzungsprofile für den Wohnbau wurden im EXCEL-Tool ergänzt.

Wenn nicht anders vermerkt, wurden Standardannahmen gemäß [DIN V 18599] angesetzt.

Tabelle 127: Ergänzende Angaben zu den angesetzten Randbedingungen beim Rechenverfahren

Angabe Fläche tageslichtversorgter Bereich	Bei den Nichtwohngebäuden wurde angenommen, dass 80 % der Fläche mit Tageslicht versorgt sind
Wärmeverteilung Heizung und Trinkwarmwasser	Standard-Annahme zu den Wärmeverteilungen gemäß den Gebäudeabmessungen. Die tatsächlichen Längen der Heizungsleitungen wurden mit diesen Annahmen bei den Reihenhäusern und dem Einfamilienhaus bis zu 80 % überschätzt. Bei den TWW-Verteilungen führen die Standard-Annahmen auf bis zu 77 % längere Leitungen.
Klimadaten	Klimatensatz Referenz-Deutschland

16.10.5 Dokumentation zum Mehrzonen-Schulmodellgebäude

Das Schulmodellgebäude in der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007] ist in Abschnitt 7.1 dokumentiert.

Tabelle 128: Aufteilung des Schulgebäudes im Mehrzonenmodell in Nutzungszonen

Zone	Nutzung	Anteil an der Nettogrundfläche
1	08 Klassenzimmer	43%
2	19 Verkehrsfläche	24%
3	20 Lager, Technik	10%
4	04 Sitzung	4%
5	12 Kantine	4%
6	16 WC, Sanitär	4%
7	17 sonstige Aufenthaltsräume	4%
8	01 Einzelbüro	3%
9	28 Bibliothek Lesesaal	2%
10	03 Großraumbüro	2%





Tabelle 129: Jahres-Primärenergiebedarf des Schulmodellgebäudes im Vergleich

	Jahres-Primärenergiebedarf der Referenzausführung gemäß [EnEV 2007]	Jahres-Primärenergiebedarf der vorgeschlagenen neuen Referenzausführung
	kWh/(m²NGF a)	kWh/(m²NGF a)
Einzonen-Modell	181,4	100,2
Mehrzonen-Modell	180,2	108,4

16.11 Detaillierte Beschreibung der Ausführungsvarianten.

Objekt:	EFH 1	H_T :	0,23	W/(m²K)
Wohnfläche:	195,7 m²	HT', equi, anisotrop:	0,16	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,66 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	797,2	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	47,7 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	33,4	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	38,2 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	2,1 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	90,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	151,1			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,5			

RANDBEDINGUNGEN	Realzins:	3,27%	p.a.
	Betrachtungszeitraum:	20	Jahre
	Annuität:	6,9%	p.a.
	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh
	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh
	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh
	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (m²K)	g-Wert bzw. n_{50}	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	58,6	1,50	0,65	0,90	0,50	16 750	19 327	12 841	14 816	1 976	30	23%
Außenwände	200,1	0,35	0,17	0,00	0,00	24 317	26 238	14 433	15 573	1 140	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
Schrägdach	136,9	0,27	0,15	0,18	0,18	15 816	17 254	9 388	10 241	853	50	41%
Kellerdecke	128,8	0,38	0,18	0,18	0,18	18 391	20 400	10 916	12 108	1 192	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
ΔU_{WB}		0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%
n_{50}			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								47 577	54 119	6 542		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						7 850	8 280	6 018	6 347	329	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								12 210	13 039	829		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
Gebäudehülle								3 280	3 731			
Heizung								842	899			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW								1 896	1 109			
Hilfsenergiekosten								71	73			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								6 409	6 131			
Jährlicher Gewinn								277 Euro/a bzw.	1,42 Euro/(m²a)			

Objekt:		EFH 2				H_T :	0,32	W/(m²K)	
	Wohnfläche:	195,7	m²			HT', equi, anisotrop:	0,22	W/(m²K)	
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,66	m ⁻¹		von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	797,2	m³			
Endenergie Heizung (DIN 18599):	65,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		Heizwärmebedarf (DIN 18599):	48,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	27,2	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	1,8	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh					
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)			96,5						[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Anforderungsniveau EnEV 2007	151,1								
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,5								

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n_{50}	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n_{50}	Investition Referenz-	Investition	Investition Referenz-	Investition	Mehrinvestition	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert
		(Referenzausführung)	(Referenzausführung)	(Referenzausführung)	(Referenzausführung)	ausführung	energetisch verbessert	ausführung abzgl. Restwert	energetisch verbessert abzgl. Restwert	abzgl. Restwert		nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	58,6	1,50	0,65	1,50	0,65	16 750	16 750	12 841	12 841		30	23%
Außenwände	200,1	0,35	0,23	0,23	0,23	24 317	31 222	14 433	18 531	4 098	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
Schrägdach	136,9	0,27	0,15	0,15	0,15	15 816	17 254	9 388	10 241	853	50	41%
Kellerdecke	128,8	0,38	0,18	0,18	0,18	18 391	20 400	10 916	12 108	1 192	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
ΔU_{WB}		0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%
n_{50}			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								47 577	55 101	7 524		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						7 850	8 174	6 018	6 267	249	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								12 210	12 959	749		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten												
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle								3 280	3 798			
Heizung								842	893			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten												
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten												
Energiekosten Heizung & TWW								1 896	1 194			
Hilfsenergiekosten								71	62			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								6 409	6 267			
Jährlicher Gewinn												
141 Euro/a bzw. 0,72 Euro/(m²a)												

Objekt: EFH 3		H _T : 0,28 W/(m²K)
Wohnfläche: 195,7 m²		HT', equi, anisotrop: 0,19 W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,66 m ⁻¹		von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen: 797,2 m³
Endenergie Heizung (DIN 18599): 64,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Heizwärmebedarf (DIN 18599): 46,1 [kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 30,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Nutzenergie TWW (DIN 18599): 12,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 1,9 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599) 99,6 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Anforderungsniveau EnEV 2007 151,1		
Vorschlag neues Anforderungsniveau 100,5		
		RANDBEDINGUNGEN
		Realzins: 3,27% p.a.
		Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
		Annuität: 6,9% p.a.
		Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh
		Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh
		Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh
		Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K), tatsächliche Leitungslängen, tatsächliche TWW-Leitungslängen
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche [m²]	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung) [W/(m²K)]	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung) [-] bzw. [1/h]	U-Wert bzw. ΔU _{WB} [W/(m²K)]	g-Wert bzw. n ₅₀ [-] bzw. [1/h]	Investition Referenz- ausführung [Euro]	Investition energetisch verbessert [Euro]	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert [Euro]	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert [Euro]	Mehrinvestition abzüglich Restwert [Euro]	Nutzungs-dauer [a]	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
Fenster	58,6	1,50	0,65	1,50	0,65	16 750	16 750	12 841	12 841	1 140	30	23%
Außenwände	200,1	0,35	0,17	0,17	0,17	24 317	26 238	14 433	15 573	1 140	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
Schrägdach	136,9	0,27	0,11	0,11	0,11	15 816	18 213	9 388	10 810	1 422	50	41%
Kellerdecke	128,8	0,38	0,18	0,18	0,18	18 391	20 400	10 916	12 108	1 192	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%
n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								47 577	52 712	5 135		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						7 850	8 102	6 018	6 211	193	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								12 210	12 903	693		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten												
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle								3 280	3 634			
Heizung								842	889			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten												
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten												
Energiekosten Heizung & TWW								1 896	1 228			
Hilfsenergiekosten								71	69			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								6 409	6 140			
Jährlicher Gewinn						269 Euro/a bzw.		1,37 Euro/(m²a)				

Objekt:		EFH 4																																	
Wohnfläche:		195,7	m²	HT', equi, anisotrop:		0,26	W/(m²K)																												
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:		0,66	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:		797,2	m³																												
Endenergie Heizung (DIN 18599):		64,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):		46,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																												
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):		12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenenergie TWW (DIN 18599):		12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																												
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):		1,1	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	<table><tr><th colspan="2">RANDBEDINGUNGEN</th><th colspan="2">Realizins:</th></tr><tr><td colspan="2">Betrachtungszeitraum:</td><td>20</td><td>Jahre</td></tr><tr><td colspan="2">Annuität:</td><td>6,9%</td><td>p.a.</td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):</td><td>6,6</td><td>Cent/kWh</td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):</td><td>4,7</td><td>Cent/kWh</td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):</td><td>15,0</td><td>Cent/kWh</td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):</td><td>18,0</td><td>Cent/kWh</td></tr></table>				RANDBEDINGUNGEN		Realizins:		Betrachtungszeitraum:		20	Jahre	Annuität:		6,9%	p.a.	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh
RANDBEDINGUNGEN		Realizins:																																	
Betrachtungszeitraum:		20	Jahre																																
Annuität:		6,9%	p.a.																																
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh																																
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh																																
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh																																
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh																																
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																																
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																																
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)		99,6	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																																
Anforderungsniveau EnEV 2007		151,1																																	
Vorschlag neues Anforderungsniveau		100,5																																	

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Dezentrale Trinkwassererwärmung									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		elektrischer Durchlauferhitzer									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95									
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	58,6	1,50	0,65	0,90	0,50	16 750	19 327	12 841	14 816	1 976	30	23%
	Außenwände	200,1	0,35		0,23		24 317	31 222	14 433	18 531	4 098	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
	Schrägdach	136,9	0,27		0,15		15 816	17 254	9 388	10 241	853	50	41%
	Kellerdecke	128,8	0,38		0,24		18 391	19 395	10 916	11 512	596	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%
	ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%
	n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
	Summe Gebäudehülle								47 577	56 480	8 903		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	4 400	4 530	4 400	-130	20	0%
	Wärmequellenanlage											40	34%
	Solaranlage											20	0%
	Wärmeverteilung						7 850	8 024	6 018	6 151	133	30	23%
	Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
	Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
	Tankraum / Pelletbunker											50	41%
	Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
	Summe Heizung								12 210	12 213	3		
	Lüftungszentralgerät											25	14%
	Lüftungskanalnetz											50	41%
	Summe Lüftung												
	Beleuchtungsanlage											20	0%
	Fachplanung Beleuchtung											20	0%
	Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
	Gebäudehülle								3 280	3 893			
	Heizung								842	842			
	Lüftung												
	Beleuchtung												
Betriebskosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Wärmeerzeugung								320	320			
	Lüftung												
	Beleuchtung												
jährliche Energiekosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Energiekosten Heizung & TWW								1 896	989			
	Hilfsenergiekosten								71	41			
	Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten										6 409	6 085		
Jährlicher Gewinn										324 Euro/a bzw. 1,65 Euro/(m²a)			

Objekt: EFH 5		H _T :	0,23	W/(m²K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Wohnfläche: 195,7 m²		HT', equi, anisotrop:	0,16	W/(m²K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,66 m ⁻¹		von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	797,2	m³																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Endenergie Heizung (DIN 18599): 55,3 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Heizwärmebedarf (DIN 18599):	31,1	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 40,3 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 2,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)					100,2 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Anforderungsniveau EnEV 2007 151,1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Vorschlag neues Anforderungsniveau 100,5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Anlagentechnik																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Trinkwasser-erwärmung					Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
		Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Erzeugung:	zentral, NT-Kessel Erdgas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Heizung		Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Speicherung:	keine Speicherung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast		0,91																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung		0,9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Lüftung		Übergabe:	keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Verteilung:	keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		Erzeugung:	keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Beleuchtungsart:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Leuchte:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<table><tr><th>Bauteildaten</th><th>Bauteilfläche</th><th>U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)</th><th>g-Wert bzw. η₅₀ (Referenzausführung)</th><th>U-Wert bzw. ΔU_{WB} (m²K)</th><th>g-Wert bzw. η₅₀</th><th>Investition Referenz- ausführung</th><th>Investition energetisch verbessert</th><th>Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert</th><th>Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert</th><th>Mehrinvestition abzüglich Restwert</th><th>Nutzungs-dauer</th><th>angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren</th></tr><tr><td></td><td>[m²]</td><td>[W/(m²K)]</td><td>[-] bzw. [1/h]</td><td>[W/(m²K)]</td><td>[-] bzw. [1/h]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[a]</td><td></td></tr><tr><td></td><td>Fenster</td><td>58,6</td><td>1,50</td><td>0,65</td><td>0,90</td><td>16 750</td><td>19 327</td><td>12 841</td><td>14 816</td><td>1 976</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td></td><td>Außenwände</td><td>200,1</td><td>0,35</td><td>0,17</td><td>0,50</td><td>24 317</td><td>26 238</td><td>14 433</td><td>15 573</td><td>1 140</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Geschossdecke gegen außen</td><td>0,0</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Schrägdach</td><td>136,9</td><td>0,27</td><td>0,15</td><td></td><td>15 816</td><td>17 254</td><td>9 388</td><td>10 241</td><td>853</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Kellerdecke</td><td>128,8</td><td>0,38</td><td>0,18</td><td></td><td>18 391</td><td>20 400</td><td>10 916</td><td>12 108</td><td>1 192</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Außenwand gegen Erdreich</td><td>0,0</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>ΔU_{WB}</td><td>0,05</td><td></td><td>0,00</td><td></td><td></td><td>1 550</td><td></td><td>920</td><td>920</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>η₅₀</td><td></td><td>3,0</td><td></td><td>1,0</td><td>600</td><td></td><td></td><td>460</td><td>460</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td></td><td>Summe Gebäudehülle</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>47 577</td><td>54 119</td><td>6 542</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">Anlagentechnik / Beleuchtung</td></tr><tr><td></td><td>Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4 530</td><td>4 530</td><td>4 530</td><td>4 530</td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td></td><td>Wärmequellenanlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>40</td><td>34%</td></tr><tr><td></td><td>Solaranlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td></td><td>Wärmeverteilung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>7 850</td><td>8 280</td><td>6 018</td><td>6 347</td><td>329</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td></td><td>Abgasanlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1 500</td><td>1 500</td><td>890</td><td>890</td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Öltank bzw. Pelletbunker</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td></td><td>Tankraum / Pelletbunker</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Anschlusskosten</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1 300</td><td>1 300</td><td>772</td><td>772</td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Summe Heizung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>12 210</td><td>12 539</td><td>329</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Lüftungszentralgerät</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>25</td><td>14%</td></tr><tr><td></td><td>Lüftungskanalnetz</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td></td><td>Summe Lüftung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Beleuchtungsanlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td></td><td>Fachplanung Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td></td><td>Summe Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">Annuitätische Kosten</td></tr><tr><td></td><td>Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum</td><td>6,9%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>[Euro/a]</td><td>[Euro/a]</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Gebäudehülle</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3 280</td><td>3 731</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Heizung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>842</td><td>864</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Lüftung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">Betriebskosten</td></tr><tr><td></td><td>Wärmeerzeugung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>320</td><td>320</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Lüftung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">jährliche Energiekosten</td></tr><tr><td></td><td>Energiekosten Heizung & TWW</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1 896</td><td>1 234</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Hilfsenergiekosten</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>71</td><td>70</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>Stromkosten Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">jährliche Gesamtkosten</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6 409</td><td></td><td></td><td>6 219</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="13">Jährlicher Gewinn</td></tr><tr><td colspan="6"></td><td colspan="2">190 Euro/a bzw.</td><td colspan="5">0,97 Euro/(m²a)</td></tr></table>					Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (m²K)	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]			Fenster	58,6	1,50	0,65	0,90	16 750	19 327	12 841	14 816	1 976	30	23%		Außenwände	200,1	0,35	0,17	0,50	24 317	26 238	14 433	15 573	1 140	50	41%		Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00							50	41%		Schrägdach	136,9	0,27	0,15		15 816	17 254	9 388	10 241	853	50	41%		Kellerdecke	128,8	0,38	0,18		18 391	20 400	10 916	12 108	1 192	50	41%		Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00							50	41%		ΔU _{WB}	0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%		η ₅₀		3,0		1,0	600			460	460	30	23%		Summe Gebäudehülle							47 577	54 119	6 542			Anlagentechnik / Beleuchtung														Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation					4 530	4 530	4 530	4 530		20	0%		Wärmequellenanlage										40	34%		Solaranlage										20	0%		Wärmeverteilung					7 850	8 280	6 018	6 347	329	30	23%		Abgasanlage					1 500	1 500	890	890		50	41%		Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%		Tankraum / Pelletbunker										50	41%		Anschlusskosten					1 300	1 300	772	772		50	41%		Summe Heizung							12 210	12 539	329				Lüftungszentralgerät										25	14%		Lüftungskanalnetz										50	41%		Summe Lüftung													Beleuchtungsanlage										20	0%		Fachplanung Beleuchtung										20	0%		Summe Beleuchtung												Annuitätische Kosten														Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%						[Euro/a]	[Euro/a]					Gebäudehülle							3 280	3 731					Heizung							842	864					Lüftung													Beleuchtung												Betriebskosten														Wärmeerzeugung							320	320					Lüftung													Beleuchtung												jährliche Energiekosten														Energiekosten Heizung & TWW							1 896	1 234					Hilfsenergiekosten							71	70					Stromkosten Beleuchtung												jährliche Gesamtkosten																			6 409			6 219				Jährlicher Gewinn																			190 Euro/a bzw.		0,97 Euro/(m²a)				
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (m²K)	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Fenster	58,6	1,50	0,65	0,90	16 750	19 327	12 841	14 816	1 976	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Außenwände	200,1	0,35	0,17	0,50	24 317	26 238	14 433	15 573	1 140	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00							50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Schrägdach	136,9	0,27	0,15		15 816	17 254	9 388	10 241	853	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Kellerdecke	128,8	0,38	0,18		18 391	20 400	10 916	12 108	1 192	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00							50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	ΔU _{WB}	0,05		0,00			1 550		920	920	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	η ₅₀		3,0		1,0	600			460	460	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Summe Gebäudehülle							47 577	54 119	6 542																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Anlagentechnik / Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation					4 530	4 530	4 530	4 530		20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Wärmequellenanlage										40	34%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Solaranlage										20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Wärmeverteilung					7 850	8 280	6 018	6 347	329	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Abgasanlage					1 500	1 500	890	890		50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Tankraum / Pelletbunker										50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Anschlusskosten					1 300	1 300	772	772		50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Summe Heizung							12 210	12 539	329																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	Lüftungszentralgerät										25	14%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Lüftungskanalnetz										50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Summe Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	Beleuchtungsanlage										20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Fachplanung Beleuchtung										20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Summe Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Annuitätische Kosten																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%						[Euro/a]	[Euro/a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Gebäudehülle							3 280	3 731																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Heizung							842	864																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Betriebskosten																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Wärmeerzeugung							320	320																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
jährliche Energiekosten																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Energiekosten Heizung & TWW							1 896	1 234																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Hilfsenergiekosten							71	70																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Stromkosten Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
jährliche Gesamtkosten																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
						6 409			6 219																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Jährlicher Gewinn																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
						190 Euro/a bzw.		0,97 Euro/(m²a)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

Objekt: RHE 1		H _T : 0,19 W/(m²K)
Wohnfläche: 119,5 m²		HT, equi, anisotrop: 0,15 W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,67 m ⁻¹		von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen: 495,6 m³
Endenergie Heizung (DIN 18599): 48,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Heizwärmebedarf (DIN 18599): 33,1 [kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 39,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		Nutzenergie TWW (DIN 18599): 12,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 2,7 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599) 93,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Anforderungsniveau EnEV 2007 157,1		
Vorschlag neues Anforderungsniveau 101,0		
		RANDBEDINGUNGEN
		Realzins: 3,27% p.a.
		Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
		Annuität: 6,9% p.a.
		Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh
		Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh
		Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh
		Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche [m²]	U-Wert bzw. ΔU _{WS} (Referenzausführung) [W/(m²K)]	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung) [-] bzw. [1/h]	U-Wert bzw. ΔU _{WS} [W/(m²K)]	g-Wert bzw. n ₅₀ [-] bzw. [1/h]	Investition Referenz- ausführung [Euro]	Investition energetisch verbessert [Euro]	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert [Euro]	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert [Euro]	Mehrinvestition abzüglich Restwert [Euro]	Nutzungs-dauer [a]	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
Fenster	20,1	1,50	0,65	0,90	0,50	5 748	6 633	4 407	5 085	678	30	23%
Außenwände	145,5	0,35	0,17	0,00	0,50	17 677	19 073	10 492	11 321	829	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00							50	41%
Schrägdach	86,0	0,25	0,15	0,15		9 998	10 841	5 934	6 434	500	50	41%
Bodenplatte	79,1	0,38	0,18	0,18		11 295	12 529	6 704	7 436	732	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00							50	41%
ΔU _{WS}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								27 537	31 567	4 031		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						4 800	5 081	3 680	3 895	215	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								9 872	10 587	715		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten												
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle								1 898	2 176			
Heizung								680	730			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten												
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten												
Energiekosten Heizung & TWW								1 191	685			
Hilfsenergiekosten								58	58			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								4 147	3 969			
Jährlicher Gewinn						178 Euro/a bzw. 1,49 Euro/(m²a)						

Objekt:		RHE 2				H _T :		0,25	W/(m²K)
Wohnfläche:		119,5	m²			HT', equi, anisotrop:		0,20	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:		0,67	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:		495,6	m³		
Endenergie Heizung (DIN 18599):		62,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):		45,1	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):		29,2	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):		12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):		2,4	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh					
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]						
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]						
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)		97,5	[kWh/(m²Wohnfläche a)]						
Anforderungsniveau EnEV 2007		157,1							
Vorschlag neues Anforderungsniveau		101,0							

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (m²K)	g-Wert bzw. η_{50} (1/h)	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	20,1	1,50	0,65	1,50	0,65	5 748	5 748	4 407	4 407		30	23%
Außenwände	145,5	0,35	0,23	0,23		17 677	22 696	10 492	13 471	2 979	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
Schrägdach	86,0	0,25		0,15		9 998	10 841	5 934	6 434	500	50	41%
Bodenplatte	79,1	0,38		0,18		11 295	12 529	6 704	7 436	732	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%
ΔU_{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
η_{50}			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								27 537	33 040	5 503		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						4 800	5 014	3 680	3 844	164	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								9 872	10 536	664		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten												
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle								1 898	2 277			
Heizung								680	726			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten												
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten												
Energiekosten Heizung & TWW								1 191	723			
Hilfsenergiekosten								58	52			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								4 147	4 099			
Jährlicher Gewinn												
48 Euro/a bzw. 0,40 Euro/(m²a)												

Objekt:		RHE 3			
	Wohnfläche:	119,5	m²	H_T :	0,23 W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:				HT', equi, anisotrop:	0,17 W/(m²K)
	0,67	m ⁻¹		von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	495,6 m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	62,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	45,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	19,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	3,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)					
90,5			[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Anforderungsniveau EnEV 2007	157,1				
Vorschlag neues Anforderungsniveau	101,0				

Anlagentechnik

Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert, Flachkollektor, Ac: 4,7m²
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)
	Speicherung:	keine Speicherung
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	
	Beleuchtungsart:	
	Leuchte:	

Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n_{50}	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	%
Fenster	20,1	1,50	0,65	1,50	0,65	5 748	5 748	4 407	4 407		30	23%
Außenwände	145,5	0,35	0,17	0,17	0,17	17 677	19 073	10 492	11 321	829	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
Schrägdach	86,0	0,25		0,15		9 998	10 841	5 934	6 434	500	50	41%
Bodenplatte	79,1	0,38		0,18		11 295	12 529	6 704	7 436	732	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%
ΔU_{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
n_{50}			3,0		3,0						30	23%
Summe Gebäudehülle									27 537	30 429	2 893	
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage							2 850		2 850	2 850	20	0%
Wärmeverteilung						4 800	5 081	3 680	3 895	215	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								9 872	13 437	3 565		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
Gebäudehülle								1 898	2 098			
Heizung								680	926			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Wärmeerzeugung								320	370			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Energiekosten Heizung & TWW								1 191	640			
Hilfsenergiekosten								58	79			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten									4 147	4 114		
Jährlicher Gewinn									34 Euro/a bzw. 0,28 Euro/(m²a)			

Objekt:	RHE 4	H_T :	0,27	W/(m²K)
Wohnfläche:	119,5 m²	HT, equi, anisotrop:	0,22	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,67 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	495,6	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	17,3	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	52,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	8,8	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	3,9			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	81,2			
Anforderungsniveau EnEV 2007	157,1			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	101,0			
RANDBEDINGUNGEN				
Realzins:		3,27%	p.a.	
Betrachtungszeitraum:		20	Jahre	
Annuität:		6,9%	p.a.	
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh	
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh	

Anlagentechnik												
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
	Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Heizung	Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
	Speicherung:		Pufferspeicher, 100 Liter									
	Erzeugung:		Wärmepumpe mit Erdsonde 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		COP Heizen: 4									
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		COP TWW: 2,6									
Lüftung	Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
	Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
	Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:											
	Beleuchtungsart:											
	Leuchte:											
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. η_{50}	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	20,1	1,50	0,65	1,50	0,65	5 748	5 748	4 407	4 407	829	30	23%
Außenwände	145,5	0,35	0,17	0,17	0,17	17 677	19 073	10 492	11 321	50	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00					50	50	41%
Schrägdach	86,0	0,25	0,27	0,27	0,27	9 998	9 937	5 934	5 898	-36	50	41%
Bodenplatte	79,1	0,38	0,32	0,32	0,32	11 295	11 501	6 704	6 826	122	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00					50	50	41%
ΔU_{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
η_{50}			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								27 537	29 743	2 206		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	11 930	4 530	11 930	7 400	20	0%
Wärmequellenanlage							7 000		4 590	4 590	40	34%
Solaranlage										20	0%	
Wärmeverteilung						4 800	5 014	3 680	3 844	164	30	23%
Abgasanlage						1 500		890		-890	50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%	
Tankraum / Pelletbunker										50	41%	
Anschlusskosten						1 300		772		-772	50	41%
Summe Heizung								9 872	20 364	10 492		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten												
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle								1 898	2 050			
Heizung								680	1 404			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten												
Wärmeerzeugung								320	100			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten												
Energiekosten Heizung & TWW								1 191	469			
Hilfsenergiekosten								58	92			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten												
								4 147	4 115			
Jährlicher Gewinn						32 Euro/a bzw. 0,27 Euro/(m²a)						

Objekt: RHE 5			H _T :	0,18	W/(m²K)								
Wohnfläche: 119,5 m²			HT', equi, anisotrop:	0,14	W/(m²K)								
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,67 m ⁻¹			von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	495,6	m³								
Endenergie Heizung (DIN 18599): 53,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Heizwärmebedarf (DIN 18599):	29,2	[kWh/(m²Wohnfläche a)]								
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 41,2 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]								
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 2,7 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			RANDBEDINGUNGEN Realizins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh										
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599) 101,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Anforderungsniveau EnEV 2007 157,1													
Vorschlag neues Anforderungsniveau 101,0													
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)										
		Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle zentral, NT-Kessel Erdgas										
Heizung		Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)										
		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)										
		Speicherung:	keine Speicherung										
		Erzeugung:	NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle										
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:			Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,91										
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:			Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,9										
Lüftung		Übergabe:	keine Lüftungsanlage										
		Verteilung:	keine Lüftungsanlage										
		Erzeugung:	keine Lüftungsanlage										
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster		20,1	1,50	0,65	0,90	0,50	5 748	6 633	4 407	5 085	678	30	23%
Außenwände		145,5	0,35	0,17	0,50	0,50	17 677	19 073	10 492	11 321	829	50	41%
Geschossdecke gegen außen		0,0	0,00		0,00							50	41%
Schrägdach		86,0	0,25		0,11		9 998	11 443	5 934	6 792	858	50	41%
Bodenplatte		79,1	0,38		0,18		11 295	12 529	6 704	7 436	732	50	41%
Außenwand gegen Erdreich		0,0	0,00		0,00							50	41%
ΔU _{WB}			0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
n ₅₀				3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle									27 537	31 925	4 388		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							4 530	4 530	4 530	4 530		20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							4 800	5 081	3 680	3 895	215	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									9 872	10 087	215		
Lüftungszentralgerät												25	14%
Lüftungskanalnetz												50	41%
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage												20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum 6,9%													
Gebäudehülle									1 898	2 201			
Heizung									680	695			
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									320	320			
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									1 191	746			
Hilfsenergiekosten									58	57			
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten									4 147	4 019			
Jährlicher Gewinn									129 Euro/a bzw.	1,08 Euro/(m²a)			

BBR-Online-Publikation Nr. 18/2008

Objekt: RHM 2			H _f :	0,29	W/(m²K)							
Wohnfläche: 119,5 m²			HT*, equi, anisotrop:	0,21	W/(m²K)							
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,48 m ⁻¹			von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	478,9	m³							
Endenergie Heizung (DIN 18599): 51,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Heizwärmebedarf (DIN 18599):	36,1	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 29,3 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 2,4 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh									
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]												
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]												
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599) 86,9 [kWh/(m²Wohnfläche a)]												
Anforderungsniveau EnEV 2007 134,0												
Vorschlag neues Anforderungsniveau 90,8												
Anlagentechnik												
Trinkwasser-erwärmung		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, ohne Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert									
Heizung		Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:	keine Speicherung									
		Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04										
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95										
Lüftung		Übergabe:	keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:	keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:	keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:										
		Beleuchtungsart:										
		Leuchte:										
Bauteildaten												
	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{Wg} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{Wg} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	20,1	1,50	0,65	1,50	0,65	5 748	5 748	4 407	4 407		30	23%
Außenwände	55,6	0,42	0,29	0,00		6 661	6 839	3 954	4 059	106	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
Schrägdach	80,7	0,37	0,15			9 035	10 165	5 363	6 033	670	50	41%
Bodenplatte	72,7	0,38	0,32			10 376	10 565	6 159	6 271	112	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%
ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
η ₅₀			3,0		1,0	600			460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle								19 882	22 061	2 179		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						4 800	5 014	3 680	3 844	164	30	23%
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung								9 872	10 536	664		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%										
Gebäudehülle								1 371	1 521			
Heizung								680	726			
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung								320	320			
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten								[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW								1 008	638			
Hilfsenergiekosten								56	52			
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten								3 436	3 258			
Jährlicher Gewinn						178 Euro/a bzw.		1,49 Euro/(m²a)				

Objekt:	RHM 3	H_T :	0,24	W/(m²K)
Wohnfläche:	119,5 m²	H_T , equi, anisotrop:	0,17	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,48 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	478,9	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	41,7	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	28,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	19,4	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	3,6			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	70,4			
Anforderungsniveau EnEV 2007	134,0			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	90,8			
RANDBEDINGUNGEN				
Realzins:	3,27%	p.a.		
Betrachtungszeitraum:	20	Jahre		
Annuität:	6,9%	p.a.		
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh		
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh		

Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert, Flachkollektor, A _c : 4,7m²											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04											
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95											
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage											
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage											
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:												
	Beleuchtungsart:												
	Leuchte:												
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		
Fenster	20,1	1,50	0,65	1,50	0,65	5 748	5 748	4 407	4 407	369	50	23%	
Außenwände	55,6	0,42	0,17	0,17	0,17	6 661	7 283	3 954	4 323	369	50	41%	
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%	
Schrägdach	80,7	0,37	0,15	0,15	0,15	9 035	10 165	5 363	6 033	670	50	41%	
Bodenplatte	72,7	0,38	0,18	0,18	0,18	10 376	11 510	6 159	6 832	673	50	41%	
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%	
ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%	
n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%	
Summe Gebäudehülle								19 882	22 885	3 003			
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	5 030	4 530	5 030	500	20	0%	
Wärmequellenanlage											40	34%	
Solaranlage							2 850		2 850	2 850	20	0%	
Wärmeverteilung						4 800	5 081	3 680	3 895	215	30	23%	
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%	
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%	
Summe Heizung								9 872	13 437	3 565			
Lüftungszentralgerät											25	14%	
Lüftungskanalnetz											50	41%	
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage											20	0%	
Fachplanung Beleuchtung											20	0%	
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten													
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]				
Gebäudehülle								1 371	1 578				
Heizung								680	926				
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten													
Wärmeerzeugung								[Euro/a]	[Euro/a]				
Lüftung								320	370				
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten													
Energiekosten Heizung & TWW								[Euro/a]	[Euro/a]				
Hilfsenergiekosten								1 008	481				
Stromkosten Beleuchtung								56	78				
jährliche Gesamtkosten								3 436	3 433				
Jährlicher Gewinn													
								3 Euro/a bzw.	0,02 Euro/(m²a)				

Objekt:	RHM 4	H_T :	0,22	W/(m²K)
Wohnfläche:	119,5 m²	H_T , equi, anisotrop:	0,16	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,48 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	478,9	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	52,4	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	36,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	12,0	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	1,6			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	88,5			
Anforderungsniveau EnEV 2007	134,0			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	90,8			

RANDBEDINGUNGEN	Realzins:	3,27%	p.a.
	Betrachtungszeitraum:	20	Jahre
	Annuität:	6,9%	p.a.
	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh
	Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh
	Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh
	Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh

Anlagentechnik													
Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Dezentrale Trinkwassererwärmung									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		elektrischer Durchlauferhitzer									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,04									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,95									
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster	20,1	1,50	0,65	0,90	0,50	5 748	6 633	4 407	5 085	678	30	23%	
Außenwände	55,6	0,42	0,23	0,15		6 661	8 667	3 954	5 144	1 190	50	41%	
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%	
Schrägdach	80,7	0,37		0,15		9 035	10 165	5 363	6 033	670	50	41%	
Bodenplatte	72,7	0,38		0,32		10 376	10 565	6 159	6 271	112	50	41%	
Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%	
ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%	
n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%	
Summe Gebäudehülle								19 882	23 824	3 942			
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	4 400	4 530	4 400		-130	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung						4 800	4 922	3 680	3 774	94	30	23%	
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%	
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%	
Summe Heizung								9 872	9 835	-36			
Lüftungszentralgerät											25	14%	
Lüftungskanalnetz											50	41%	
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage											20	0%	
Fachplanung Beleuchtung											20	0%	
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle									1 371	1 642			
Heizung									680	678			
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									320	320			
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									1 008	507			
Hilfsenergiekosten									56	33			
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten									3 436	3 181			
Jährlicher Gewinn						255 Euro/a bzw. 2,13 Euro/(m²a)							

Objekt:	RHM 5	H_T :	0,19	W/(m²K)
Wohnfläche:	119,5 m²	HT , equi, anisotrop:	0,13	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,48 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	478,9	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	41,6 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	21,4	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	41,4 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	12,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	2,7 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	89,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	134,0			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	90,8			

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		zentral, NT-Kessel Erdgas									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,91											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,9											
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	20,1	1,50	0,65	0,90	0,50	5 748	6 633	4 407	5 085	678	30	23%
	Außenwände	55,6	0,42	0,17	0,17	0,50	6 661	7 283	3 954	4 323	369	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
	Schrägdach	80,7	0,37		0,15		9 035	10 165	5 363	6 033	670	50	41%
	Bodenplatte	72,7	0,38		0,18		10 376	11 510	6 159	6 832	673	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00		0,00							50	41%
	ΔU _{WB}		0,05		0,00			1 400		831	831	50	41%
	n ₅₀			3,0		1,0		600		460	460	30	23%
Summe Gebäudehülle									19 882	23 563	3 681		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						4 530	4 530	4 530	4 530		20	0%
	Wärmequellenanlage											40	34%
	Solaranlage											20	0%
	Wärmeverteilung						4 800	5 081	3 680	3 895	215	30	23%
	Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
	Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
	Tankraum / Pelletbunker											50	41%
	Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
	Summe Heizung								9 872	10 087	215		
	Lüftungszentralgerät											25	14%
	Lüftungskanalnetz											50	41%
	Summe Lüftung												
	Beleuchtungsanlage											20	0%
	Fachplanung Beleuchtung											20	0%
	Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
	Gebäudehülle									1 371	1 624		
	Heizung									680	695		
	Lüftung												
	Beleuchtung												
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Wärmeerzeugung								320	320			
	Lüftung												
	Beleuchtung												
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Energiekosten Heizung & TWW								1 008	654			
	Hilfsenergiekosten								56	58			
	Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten									3 436	3 351			
Jährlicher Gewinn		84 Euro/a bzw. 0,71 Euro/(m²a)											

Objekt:			Stadtvilla 1			H_T :		0,30	W/(m²K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Wohnfläche:			1277,5 m²			HT', equi, anisotrop:		0,21	W/(m²K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:			0,39 m ⁻¹			von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:		5047,2 m³																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Endenergie Heizung (DIN 18599):			38,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Heizwärmebedarf (DIN 18599):		26,6 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):			38,3 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Nutzenergie TWW (DIN 18599):		16,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):			0,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			<table><tr><td colspan="2">RANDBEDINGUNGEN</td><td>Realzins:</td><td>3,27%</td><td>p.a.</td></tr><tr><td colspan="2">Betrachtungszeitraum:</td><td>20</td><td>Jahre</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Annuität:</td><td>6,9%</td><td>p.a.</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):</td><td>6,6</td><td>Cent/kWh</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):</td><td>4,7</td><td>Cent/kWh</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):</td><td>15,0</td><td>Cent/kWh</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):</td><td>18,0</td><td>Cent/kWh</td><td></td></tr></table>				RANDBEDINGUNGEN		Realzins:	3,27%	p.a.	Betrachtungszeitraum:		20	Jahre		Annuität:		6,9%	p.a.		Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh		Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh		Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh		Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
RANDBEDINGUNGEN		Realzins:	3,27%	p.a.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Betrachtungszeitraum:		20	Jahre																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Annuität:		6,9%	p.a.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):			0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):			0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)			78,1 [kWh/(m²Wohnfläche a)]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Anforderungsniveau EnEV 2007			115,6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Vorschlag neues Anforderungsniveau			86,0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Anlagentechnik																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Trinkwasser-erwärmung			Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Erzeugung:		zentral, BW-Kessel Gas, verbessert																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Heizung			Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Speicherung:		keine Speicherung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:					Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:					Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Lüftung			Übergabe:		keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Verteilung:		keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
			Erzeugung:		keine Lüftungsanlage																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Beleuchtung			Beleuchtungskontrolle:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			Beleuchtungsart:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			Leuchte:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table><tr><td rowspan="2">Bauteildaten</td><td rowspan="2">Bauteilfläche</td><td rowspan="2">U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)</td><td rowspan="2">g-Wert bzw. η₅₀ (Referenzausführung)</td><td rowspan="2">U-Wert bzw. ΔU_{WB}</td><td rowspan="2">g-Wert bzw. η₅₀</td><td rowspan="2">Investition Referenz-ausführung</td><td rowspan="2">Investition energetisch verbessert</td><td rowspan="2">Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert</td><td rowspan="2">Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert</td><td rowspan="2">Mehrinvestition abzüglich Restwert</td><td rowspan="2">Nutzungs-dauer</td><td rowspan="2">angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren</td></tr><tr></tr><tr><td></td><td>[m²]</td><td>[W/(m²K)]</td><td>[-] bzw. [1/h]</td><td>[W/(m²K)]</td><td>[-] bzw. [1/h]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[Euro]</td><td>[a]</td><td></td></tr><tr><td>Fenster</td><td>278,7</td><td>1,50</td><td>0,65</td><td>0,90</td><td>0,50</td><td>79 698</td><td>91 960</td><td>61 099</td><td>70 499</td><td>9 400</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td>Außenwände</td><td>772,0</td><td>0,26</td><td>0,17</td><td>0,90</td><td>0,50</td><td>96 264</td><td>101 204</td><td>57 136</td><td>60 069</td><td>2 932</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>Geschossdecke gegen außen</td><td>15,3</td><td>0,22</td><td>0,15</td><td>0,17</td><td></td><td>1 910</td><td>2 008</td><td>1 134</td><td>1 192</td><td>58</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>Flachdach</td><td>407,8</td><td>0,27</td><td>0,13</td><td>0,13</td><td></td><td>60 188</td><td>66 060</td><td>35 724</td><td>39 209</td><td>3 485</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>Kellerdecke</td><td>395,4</td><td>0,32</td><td>0,18</td><td>0,18</td><td></td><td>57 485</td><td>62 624</td><td>34 119</td><td>37 170</td><td>3 051</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>Außenwand gegen Erdreich</td><td>98,1</td><td>0,36</td><td>0,21</td><td>0,21</td><td></td><td>12 415</td><td>13 436</td><td>7 369</td><td>7 975</td><td>606</td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>ΔU_{WB}</td><td></td><td>0,05</td><td>0,05</td><td>0,05</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td>η₅₀</td><td></td><td></td><td>3,0</td><td></td><td>1,0</td><td>3 100</td><td></td><td></td><td>2 377</td><td>2 377</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td>Summe Gebäudehülle</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>196 581</td><td>218 490</td><td>21 909</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="10">Anlagentechnik / Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="6">Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation</td><td>13 580</td><td>16 480</td><td>13 580</td><td>16 480</td><td>2 900</td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td colspan="6">Wärmequellenanlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>40</td><td>34%</td></tr><tr><td colspan="6">Solaranlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td colspan="6">Wärmeverteilung</td><td>51 100</td><td>52 796</td><td>39 175</td><td>40 475</td><td>1 300</td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td colspan="6">Abgasanlage</td><td>1 500</td><td>1 500</td><td>890</td><td>890</td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td colspan="6">Öltank bzw. Pelletbunker</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>30</td><td>23%</td></tr><tr><td colspan="6">Tankraum / Pelletbunker</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td colspan="6">Anschlusskosten</td><td>1 300</td><td>1 300</td><td>772</td><td>772</td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td colspan="6">Summe Heizung</td><td></td><td></td><td>54 416</td><td>58 617</td><td>4 200</td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="6">Lüftungszentralgerät</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>25</td><td>14%</td></tr><tr><td colspan="6">Lüftungskanalnetz</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>50</td><td>41%</td></tr><tr><td colspan="6">Summe Lüftung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="6">Beleuchtungsanlage</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td colspan="6">Fachplanung Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20</td><td>0%</td></tr><tr><td colspan="6">Summe Beleuchtung</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="8">Annuitätische Kosten</td><td>[Euro/a]</td><td>[Euro/a]</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum</td><td colspan="2">6,9%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Gebäudehülle</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13 551</td><td>15 061</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Heizung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3 751</td><td>4 041</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Lüftung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Beleuchtung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="8">Betriebskosten</td><td>[Euro/a]</td><td>[Euro/a]</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Wärmeerzeugung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>900</td><td>900</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Lüftung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Beleuchtung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="8">jährliche Energiekosten</td><td>[Euro/a]</td><td>[Euro/a]</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Energiekosten Heizung & TWW</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>9 615</td><td>6 464</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Hilfsenergiekosten</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>202</td><td>174</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="2">Stromkosten Beleuchtung</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="8">jährliche Gesamtkosten</td><td>28 019</td><td>26 640</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td colspan="8">Jährlicher Gewinn</td><td colspan="2">1379 Euro/a bzw. 1,08 Euro/(m²a)</td><td colspan="3"></td></tr></table>										Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		Fenster	278,7	1,50	0,65	0,90	0,50	79 698	91 960	61 099	70 499	9 400	30	23%	Außenwände	772,0	0,26	0,17	0,90	0,50	96 264	101 204	57 136	60 069	2 932	50	41%	Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22	0,15	0,17		1 910	2 008	1 134	1 192	58	50	41%	Flachdach	407,8	0,27	0,13	0,13		60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%	Kellerdecke	395,4	0,32	0,18	0,18		57 485	62 624	34 119	37 170	3 051	50	41%	Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36	0,21	0,21		12 415	13 436	7 369	7 975	606	50	41%	ΔU _{WB}		0,05	0,05	0,05							50	41%	η ₅₀			3,0		1,0	3 100			2 377	2 377	30	23%	Summe Gebäudehülle								196 581	218 490	21 909			Anlagentechnik / Beleuchtung														Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						13 580	16 480	13 580	16 480	2 900	20	0%	Wärmequellenanlage											40	34%	Solaranlage											20	0%	Wärmeverteilung						51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%	Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%	Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	Tankraum / Pelletbunker											50	41%	Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%	Summe Heizung								54 416	58 617	4 200			Lüftungszentralgerät											25	14%	Lüftungskanalnetz											50	41%	Summe Lüftung													Beleuchtungsanlage											20	0%	Fachplanung Beleuchtung											20	0%	Summe Beleuchtung													Annuitätische Kosten								[Euro/a]	[Euro/a]				Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											Gebäudehülle								13 551	15 061				Heizung								3 751	4 041				Lüftung													Beleuchtung													Betriebskosten								[Euro/a]	[Euro/a]				Wärmeerzeugung								900	900				Lüftung													Beleuchtung													jährliche Energiekosten								[Euro/a]	[Euro/a]				Energiekosten Heizung & TWW								9 615	6 464				Hilfsenergiekosten								202	174				Stromkosten Beleuchtung													jährliche Gesamtkosten								28 019	26 640				Jährlicher Gewinn								1379 Euro/a bzw. 1,08 Euro/(m²a)				
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert														Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Fenster	278,7	1,50	0,65	0,90	0,50	79 698	91 960	61 099	70 499	9 400	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Außenwände	772,0	0,26	0,17	0,90	0,50	96 264	101 204	57 136	60 069	2 932	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22	0,15	0,17		1 910	2 008	1 134	1 192	58	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Flachdach	407,8	0,27	0,13	0,13		60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Kellerdecke	395,4	0,32	0,18	0,18		57 485	62 624	34 119	37 170	3 051	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36	0,21	0,21		12 415	13 436	7 369	7 975	606	50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
ΔU _{WB}		0,05	0,05	0,05							50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
η ₅₀			3,0		1,0	3 100			2 377	2 377	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Summe Gebäudehülle								196 581	218 490	21 909																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Anlagentechnik / Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						13 580	16 480	13 580	16 480	2 900	20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Wärmequellenanlage											40	34%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Solaranlage											20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Wärmeverteilung						51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Tankraum / Pelletbunker											50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Summe Heizung								54 416	58 617	4 200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Lüftungszentralgerät											25	14%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Lüftungskanalnetz											50	41%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Summe Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Beleuchtungsanlage											20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Fachplanung Beleuchtung											20	0%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Summe Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Annuitätische Kosten								[Euro/a]	[Euro/a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Gebäudehülle								13 551	15 061																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Heizung								3 751	4 041																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Betriebskosten								[Euro/a]	[Euro/a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Wärmeerzeugung								900	900																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Lüftung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
jährliche Energiekosten								[Euro/a]	[Euro/a]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Energiekosten Heizung & TWW								9 615	6 464																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Hilfsenergiekosten								202	174																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Stromkosten Beleuchtung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
jährliche Gesamtkosten								28 019	26 640																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Jährlicher Gewinn								1379 Euro/a bzw. 1,08 Euro/(m²a)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Objekt:	Stadtvilla 2	H_T :	0,38	W/(m²K)
Wohnfläche:	1277,5 m²	HT , equi, anisotrop:	0,26	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,39 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	5047,2	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	44,5	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	32,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	38,1	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,8			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	84,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Anforderungsniveau EnEV 2007	115,6			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	86,0			
RANDBEDINGUNGEN				
Realizins:		3,27%	p.a.	
Betrachtungszeitraum:		20	Jahre	
Annuität:		6,9%	p.a.	
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh	
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh	

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		zentral, BW-Kessel Gas, verbessert									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	278,7	1,50	0,65	1,50	0,65	79 698	79 698	61 099	61 099		30	23%
	Außenwände	772,0	0,26		0,17		96 264	101 204	57 136	60 069	2 932	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22		0,15		1 910	2 008	1 134	1 192	58	50	41%
	Flachdach	407,8	0,27		0,13		60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%
	Kellerdecke	395,4	0,32		0,18		57 485	62 624	34 119	37 170	3 051	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36		0,21		12 415	13 436	7 369	7 975	606	50	41%
	ΔU _{WB}		0,05		0,05							50	41%
	η ₅₀			3,0		1,0	3 100			2 377	2 377	30	23%
Summe Gebäudehülle									196 581	209 090	12 509		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							13 580	16 480	13 580	16 480	2 900	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									54 416	58 617	4 200		
Lüftungszentralgerät												25	14%
Lüftungskanalnetz												50	41%
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage												20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle									13 551	14 413			
Heizung									3 751	4 041			
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									900	900			
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									9 615	6 955			
Hilfsenergiekosten									202	180			
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten									28 019	26 489			
Jährlicher Gewinn 1530 Euro/a bzw. 1,20 Euro/(m²a)													

Objekt:	Stadtvilla 3	H_T :	0,46	W/(m²K)
Wohnfläche:	1277,5 m²	HT , equi, anisotrop:	0,35	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,39 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	5047,2	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	14,4	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	46,6	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	12,3	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,5			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	73,5			
Anforderungsniveau EnEV 2007	115,6			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	86,0			
RANDBEDINGUNGEN				
Realzins:	3,27%	p.a.		
Betrachtungszeitraum:	20	Jahre		
Annuität:	6,9%	p.a.		
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh		
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh		

Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle zentral, Wärmepumpe mit Erdsonde											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	Pufferspeicher, 700 Liter											
	Erzeugung:	Wärmepumpe mit Erdsonde 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	COP Heizen: 4,1											
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	COP TWW: 2,6											
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage											
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage											
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:												
	Beleuchtungsart:												
	Leuchte:												
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n_{50}	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		
	Fenster	278,7	1,50	0,65	1,50	79 698	79 698	61 099	61 099		30	23%	
	Außenwände	772,0	0,26	0,33	0,33	96 264	86 074	57 136	51 088	-6 048	50	41%	
	Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22	0,24	0,24	1 910	1 708	1 134	1 014	-120	50	41%	
	Flachdach	407,8	0,27	0,13	0,13	60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%	
	Kellerdecke	395,4	0,32	0,32	0,32	57 485	57 485	34 119	34 119		50	41%	
	Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36	0,44	0,44	12 415	12 160	7 369	7 217	-151	50	41%	
	ΔU_{WB}		0,05	0,05							50	41%	
	n_{50}			3,0	3,0						30	23%	
	Summe Gebäudehülle							196 581	193 747	-2 834			
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation					13 580	38 430	13 580	38 430	24 850	20	0%	
	Wärmequellenanlage						45 500		29 836	29 836	40	34%	
	Solaranlage										20	0%	
	Wärmeverteilung					51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%	
	Abgasanlage					1 500		890		-890	50	41%	
	Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%	
	Tankraum / Pelletbunker										50	41%	
	Anschlusskosten					1 300		772		-772	50	41%	
	Summe Heizung							54 416	108 741	54 325			
	Lüftungszentralgerät										25	14%	
	Lüftungskanalnetz										50	41%	
	Summe Lüftung												
	Beleuchtungsanlage										20	0%	
	Fachplanung Beleuchtung										20	0%	
	Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten													
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%						[Euro/a]	[Euro/a]				
	Gebäudehülle							13 551	13 355				
	Heizung							3 751	7 496				
	Lüftung												
	Beleuchtung												
Betriebskosten													
	Wärmeerzeugung							900	150				
	Lüftung												
	Beleuchtung												
jährliche Energiekosten													
	Energiekosten Heizung & TWW							9 615	5 117				
	Hilfsenergiekosten							202	206				
	Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten													
								28 019	26 324				
Jährlicher Gewinn													
1695 Euro/a bzw. 1,33 Euro/(m²a)													

Objekt:	Stadtvilla 4	H_T :	0,38	W/(m²K)
Wohnfläche:	1277,5 m²	HT , equi, anisotrop:	0,26	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,39 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	5047,2	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	45,1	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	32,5	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	38,1	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,8			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	84,6			
Anforderungsniveau EnEV 2007	115,6			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	86,0			
RANDBEDINGUNGEN				
Realizins:	3,27%	p.a.		
Betrachtungszeitraum:	20	Jahre		
Annuität:	6,9%	p.a.		
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh		
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh		

Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle zentral, BVW-Kessel Gas, verbessert											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage											
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage											
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:												
	Beleuchtungsart:												
	Leuchte:												
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. η_{50}	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungsdauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungszeitraum von 20 Jahren	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		
	Fenster	278,7	1,50	0,65	1,50	0,65	79 698	79 698	61 099	61 099	30	23%	
	Außenwände	772,0	0,26	0,24	0,24	96 264	96 881	57 136	57 503	367	50	41%	
	Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22	0,24	0,13	1 910	1 885	1 134	1 119	-15	50	41%	
	Flachdach	407,8	0,27	0,13	0,13	60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%	
	Kellerdecke	395,4	0,32	0,32	0,44	57 485	57 485	34 119	34 119	50	50	41%	
	Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36	0,44	0,00	12 415	12 160	7 369	7 217	-151	50	41%	
	ΔU_{WB}		0,05	0,00			6 850		4 066	4 066	50	41%	
	η_{50}			3,0	1,0	3 100			2 377	2 377	30	23%	
	Summe Gebäudehülle							196 581	206 709	10 128			
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation					13 580	16 480	13 580	16 480	2 900	20	0%	
	Wärmequellenanlage										40	34%	
	Solaranlage										20	0%	
	Wärmeverteilung					51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%	
	Abgasanlage					1 500	1 500	890	890		50	41%	
	Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%	
	Tankraum / Pelletbunker										50	41%	
	Anschlusskosten					1 300	1 300	772	772		50	41%	
	Summe Heizung							54 416	58 617	4 200			
	Lüftungszentralgerät										25	14%	
	Lüftungskanalnetz										50	41%	
	Summe Lüftung												
	Beleuchtungsanlage										20	0%	
	Fachplanung Beleuchtung										20	0%	
	Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten													
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%						[Euro/a]	[Euro/a]				
	Gebäudehülle							13 551	14 249				
	Heizung							3 751	4 041				
	Lüftung												
	Beleuchtung												
Betriebskosten													
	Wärmeerzeugung							900	900				
	Lüftung												
	Beleuchtung												
jährliche Energiekosten													
	Energiekosten Heizung & TWW							9 615	7 006				
	Hilfsenergiekosten							202	181				
	Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten													
								28 019	26 376				
Jährlicher Gewinn													
								1643 Euro/a bzw.	1,29 Euro/(m²a)				

Objekt:		Stadtvilla 5							
Wohnfläche:		1277,5	m²	HT', equi, anisotrop:		0,29	W/(m²K)		
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:		0,39	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:		5047,2	m³		
Endenergie Heizung (DIN 18599):		44,1	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):		24,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):		40,2	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):		16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]		
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):		0,7	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	RANDBEDINGUNGEN		Realizins:	3,27%	p.a.	
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Betrachtungszeitraum:		20	Jahre		
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Annuität:		6,9%	p.a.		
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)		85,6	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh		
Anforderungsniveau EnEV 2007		115,6		Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh		
Vorschlag neues Anforderungsniveau		86,0		Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh		
				Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh		

Anlagentechnik													
Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		zentral, NT-Kessel Erdgas									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,92									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,91									
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{wa} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{wa}	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	278,7	1,50	0,65	0,90	0,50	79 698	91 960	61 099	70 499	9 400	30	23%
	Außenwände	772,0	0,26		0,16		96 264	102 439	57 136	60 802	3 666	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	15,3	0,22		0,15		1 910	2 008	1 134	1 192	58	50	41%
	Flachdach	407,8	0,27		0,13		60 188	66 060	35 724	39 209	3 485	50	41%
	Kellerdecke	395,4	0,32		0,18		57 485	62 624	34 119	37 170	3 051	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	98,1	0,36		0,21		12 415	13 436	7 369	7 975	606	50	41%
	ΔU _{wa}		0,05		0,05							50	41%
	η ₅₀			3,0		1,0	3 100			2 377	2 377	30	23%
Summe Gebäudehülle									196 581	219 223	22 642		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							13 580	13 580	13 580	13 580		20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							51 100	52 796	39 175	40 475	1 300	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772	1 300	50	41%
Summe Heizung									54 416	55 717			
Lüftungszentralgerät												25	14%
Lüftungskanalnetz												50	41%
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage												20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle										13 551	15 111		
Heizung										3 751	3 841		
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									900	900			
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									9 615	7 102			
Hilfsenergiekosten									202	170			
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten									28 019	27 124			
Jährlicher Gewinn							895 Euro/a bzw. 0,70 Euro/(m²a)						

Objekt:	MFH 1	H_T :	0,32	W/(m²K)
Wohnfläche:	4323,5 m²	HT , equi, anisotrop:	0,22	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,34 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	18804,8 m³	
Endenergie Heizung (DIN 18599):	38,2	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	25,9	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	42,4	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,6			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	81,4			
Anforderungsniveau EnEV 2007	117,6			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	83,5			
RANDBEDINGUNGEN				
Realizins:	3,27%	p.a.		
Betrachtungszeitraum:	20	Jahre		
Annuität:	6,9%	p.a.		
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):	6,6	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):	4,7	Cent/kWh		
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):	15,0	Cent/kWh		
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):	18,0	Cent/kWh		

Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle zentral, BW-Kessel Gas, verbessert											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
	Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:	Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:	Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:	keine Lüftungsanlage											
	Verteilung:	keine Lüftungsanlage											
	Erzeugung:	keine Lüftungsanlage											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:												
	Beleuchtungsart:												
	Leuchte:												
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. η_{50}	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		
Fenster	1125,9	1,50	0,65	0,90	0,50	322 003	371 541	246 855	284 833	37 978	30	23%	
Außenwände	2557,1	0,23	0,17	0,17	0,50	322 963	335 237	191 691	198 977	7 285	50	41%	
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00							50	41%	
Flachdach	1267,6	0,21	0,13	0,13		191 664	205 354	113 760	121 886	8 126	50	41%	
Kellerdecke	1274,2	0,28	0,18	0,18		188 583	201 835	111 932	119 797	7 865	50	41%	
Außenwand gegen Erdreich	212,2	0,31	0,21	0,21		27 396	29 051	16 261	17 243	982	50	41%	
ΔU_{WB}		0,05		0,05							50	41%	
η_{50}			3,0		1,0	5 900			4 523	4 523	30	23%	
Summe Gebäudehülle								680 498	747 258	66 760			
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						23 480	26 330	23 480	26 330	2 850	20	0%	
Wärmequellenanlage											40	34%	
Solaranlage											20	0%	
Wärmeverteilung						172 950	179 460	132 588	137 579	4 991	30	23%	
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%	
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%	
Summe Heizung								157 730	165 571	7 841			
Lüftungszentralgerät											25	14%	
Lüftungskanalnetz											50	41%	
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage											20	0%	
Fachplanung Beleuchtung											20	0%	
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten													
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]				
Gebäudehülle									46 908	51 510			
Heizung									10 873	11 413			
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten													
Wärmeerzeugung								2 200	2 200				
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten													
Energiekosten Heizung & TWW								[Euro/a]	[Euro/a]				
Hilfsenergiekosten									33 352	22 946			
Stromkosten Beleuchtung									466	442			
jährliche Gesamtkosten									93 800	88 511			
Jährlicher Gewinn													
									5289 Euro/a bzw.	1,22 Euro/(m²a)			

BBR-Online-Publikation Nr. 18/2008

Objekt: MFH 3			H _f :	0,36	W/(m²K)								
Wohnfläche: 4323,5 m²			HT', equi, anisotrop:	0,23	W/(m²K)								
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen: 0,34 m ⁻¹			von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	18804,8	m³								
Endenergie Heizung (DIN 18599): 39,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Heizwärmebedarf (DIN 18599):	27,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]								
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599): 41,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]								
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599): 0,6 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			RANDBEDINGUNGEN Realizins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh										
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599): 0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599) 81,6 [kWh/(m²Wohnfläche a)]													
Anforderungsniveau EnEV 2007 117,6													
Vorschlag neues Anforderungsniveau 83,5													
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)										
		Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle										
		Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert										
Heizung		Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)										
		Verteilung:	Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)										
		Speicherung:	keine Speicherung										
		Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle										
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung		Übergabe:	keine Lüftungsanlage										
		Verteilung:	keine Lüftungsanlage										
		Erzeugung:	keine Lüftungsanlage										
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{Wg} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{Wg} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	1125,9	1,50	0,65	1,50	0,65	322 003	322 003	246 855	246 855		30	23%
	Außenwände	2557,1	0,23		0,13		322 963	351 603	191 691	208 690	16 999	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00						50	41%	
	Flachdach	1267,6	0,21		0,13		191 664	205 354	113 760	121 886	8 126	50	41%
	Kellerdecke	1274,2	0,28		0,18		188 583	201 835	111 932	119 797	7 865	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	212,2	0,31		0,21		27 396	29 051	16 261	17 243	982	50	41%
	ΔU _{Wg}		0,05		0,00			20 850		12 375	12 375	50	41%
	η ₅₀			3,0		1,0	5 900			4 523	4 523	30	23%
Summe Gebäudehülle									680 498	731 369	50 871		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							23 480	26 330	23 480	26 330	2 850	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							172 950	179 460	132 588	137 579	4 991	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									157 730	165 571	7 841		
Lüftungszentralgerät												25	14%
Lüftungskanalnetz												50	41%
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage												20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle										46 908	50 415		
Heizung										10 873	11 413		
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
Wärmeerzeugung										2 200	2 200		
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
Energiekosten Heizung & TWW										33 352	23 008		
Hilfsenergiekosten										466	436		
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten										93 800	87 473		
Jährlicher Gewinn 6327 Euro/a bzw. 1,46 Euro/(m²a)													

Objekt: MFH 4			H _T :	0,53	W/(m²K)							
Wohnfläche: 4323,5 m²			HT', equi, anisotrop:	0,40	W/(m²K)							
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,34	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	18804,8	m³							
Endenergie Heizung (DIN 18599):	13,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	42,2	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	13,8	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]							
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh									
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]										
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²Wohnfläche a)]										
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)						74,3	[kWh/(m²Wohnfläche a)]					
Anforderungsniveau EnEV 2007	117,6											
Vorschlag neues Anforderungsniveau	83,5											
Anlagentechnik												
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
	Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
	Erzeugung:		zentral, Wärmepumpe mit Erdsonde									
Heizung	Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
	Verteilung:		Verteilung innerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
	Speicherung:		Pufferspeicher, 2150 Liter									
	Erzeugung:		Wärmepumpe mit Erdsonde 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:			COP Heizen: 4,1									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:			COP TWW: 2,6									
Lüftung	Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
	Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
	Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:											
	Beleuchtungsart:											
	Leuchte:											
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WS} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. η ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WS}	g-Wert bzw. η ₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungsdauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungszeitraum von 20 Jahren
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	%
Fenster	1125,9	1,50	0,65	1,50	0,65	322 003	322 003	246 855	246 855		30	23%
Außenwände	2557,1	0,23	0,33	0,33	0,33	322 963	285 118	191 691	169 229	-22 463	50	41%
Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
Flachdach	1267,6	0,21	0,25	0,25	0,25	191 664	188 241	113 760	111 728	-2 031	50	41%
Kellerdecke	1274,2	0,28	0,32	0,32	0,32	188 583	185 270	111 932	109 965	-1 966	50	41%
Außenwand gegen Erdreich	212,2	0,31	0,44	0,44	0,44	27 396	26 292	16 261	15 606	-655	50	41%
ΔU _{WS}		0,05		0,05							50	41%
η ₅₀			3,0		1,0		5 900		4 523	4 523	30	23%
Summe Gebäudehülle								680 498	657 906	-22 592		
Anlagentechnik / Beleuchtung												
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						23 480	95 130	23 480	95 130	71 650	20	0%
Wärmequellenanlage							147 000		96 394	96 394	40	34%
Solaranlage											20	0%
Wärmeverteilung						172 950	179 460	132 588	137 579	4 991	30	23%
Abgasanlage						1 500		890		-890	50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
Tankraum / Pelletbunker											50	41%
Anschlusskosten						1 300		772		-772	50	41%
Summe Heizung								157 730	329 103	171 373		
Lüftungszentralgerät											25	14%
Lüftungskanalnetz											50	41%
Summe Lüftung												
Beleuchtungsanlage											20	0%
Fachplanung Beleuchtung											20	0%
Summe Beleuchtung												
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
Gebäudehülle									46 908	45 351		
Heizung									10 873	22 686		
Lüftung												
Beleuchtung												
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Wärmeerzeugung									2 200	200		
Lüftung												
Beleuchtung												
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]		
Energiekosten Heizung & TWW									33 352	17 633		
Hilfsenergiekosten									466	538		
Stromkosten Beleuchtung												
jährliche Gesamtkosten									93 800	86 408		
Jährlicher Gewinn 7392 Euro/a bzw. 1,71 Euro/(m²a)												

Objekt:	MFH 5	H_T :	0,26	W/(m²K)
Wohnfläche:	4323,5 m²	H_T , equi, anisotrop:	0,17	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,34 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	18804,8 m³	
Endenergie Heizung (DIN 18599):	37,7 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	19,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	44,4 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	16,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]	
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	0,5 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	82,8 [kWh/(m²Wohnfläche a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	117,6			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	83,5			
RANDBEDINGUNGEN				
Realzins:		3,27%	p.a.	
Betrachtungszeitraum:		20	Jahre	
Annuität:		6,9%	p.a.	
Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026):		6,6	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026):		4,7	Cent/kWh	
Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026):		15,0	Cent/kWh	
Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026):		18,0	Cent/kWh	

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		zentral, NT-Kessel Erdgas									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich, P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		NT-Kessel Erdgas 70/55 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,92									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,92									
Lüftung		Übergabe:		keine Lüftungsanlage									
		Verteilung:		keine Lüftungsanlage									
		Erzeugung:		keine Lüftungsanlage									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:											
		Beleuchtungsart:											
		Leuchte:											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (m²K)	g-Wert bzw. n ₅₀ (-)	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster		1125,9	1,50	0,65	0,90	0,50	322 003	371 541	246 855	284 833	37 978	30	23%
Außenwände		2557,1	0,23		0,16		322 963	339 329	191 691	201 405	9 714	50	41%
Geschossdecke gegen außen		0,0	0,00		0,00							50	41%
Flachdach		1267,6	0,21		0,13		191 664	205 354	113 760	121 886	8 126	50	41%
Kellerdecke		1274,2	0,28		0,18		188 583	201 835	111 932	119 797	7 865	50	41%
Außenwand gegen Erdreich		212,2	0,31		0,21		27 396	29 051	16 261	17 243	982	50	41%
ΔU _{WB}			0,05		0,00			20 850		12 375	12 375	50	41%
n ₅₀				3,0		1,0	5 900			4 523	4 523	30	23%
Summe Gebäudehülle									680 498	762 062	81 563		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							23 480	23 480	23 480	23 480		20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							172 950	179 460	132 588	137 579	4 991	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									157 730	162 721	4 991		
Lüftungszentralgerät												25	14%
Lüftungskanalnetz												50	41%
Summe Lüftung													
Beleuchtungsanlage												20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung													
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle										46 908	52 530		
Heizung										10 873	11 217		
Lüftung													
Beleuchtung													
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									2 200	2 200			
Lüftung													
Beleuchtung													
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									33 352	23 403			
Hilfsenergiekosten									466	402			
Stromkosten Beleuchtung													
jährliche Gesamtkosten									93 800	89 753			
Jährlicher Gewinn		4047 Euro/a bzw.						0,94 Euro/(m²a)					

Objekt:		Verwaltung 1				H _T :	0,35	W/(m²K)
Nettogrundfläche:		11213	m²			HT', equi, anisotrop:	0,20	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:		0,27	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:			43572,3	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):		16,9	[kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):			10,8	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):			0,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):		6,6	[kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh				
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):		6,5	[kWh/(m²NGF a)]					
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):		16,8	[kWh/(m²NGF a)]					
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)		79,9	[kWh/(m²NGF a)]					
Anforderungsniveau EnEV 2007		174,4						
Vorschlag neues Anforderungsniveau		85,6						

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		keine Trinkwarmwasser-Bereitung									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96									
Lüftung		Übergabe:		Lufttemperatur <20°C									
		Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT									
		Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 1,38 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:		manuell, ohne Präsenzkontrolle									
		Beleuchtungsart:		direkt									
		Leuchte:		stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (12,5 W/m²)									
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{ve} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{ve}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	2757,8	2,20	0,67	0,90	0,50	788 721	910 062	604 653	697 676	93 023	30	23%
	Außenwände	2559,9	0,42	0,17	0,00	0,00	306 938	335 609	182 180	199 197	17 018	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00					50	41%	
	Flachdach	2531,8	0,31	0,13	0,18	0,13	369 136	410 152	219 097	243 441	24 344	50	41%
	Kellerdecke	2531,8	0,38	0,18	0,21	0,18	361 541	401 037	214 589	238 031	23 442	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	1299,1	0,57	0,21	0,05	0,21	157 577	177 843	93 528	105 557	12 028	50	41%
	ΔU _{WB}		0,10	0,05		0,05					50	41%	
	n ₅₀			1,0		1,0	8 900	8 900	6 823	6 823		30	23%
	Summe Gebäudehülle						1 320 869		1 490 725		169 856		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						29 380	32 230	29 380	32 230	2 850	20	0%
	Wärmequellenanlage											40	34%
	Solaranlage										20	0%	
	Wärmeverteilung						448 550	460 608	343 869	353 114	9 244	30	23%
	Abgasanlage						1 500	1 500	890	890	50	41%	
	Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%	
	Tankraum / Pelletbunker										50	41%	
	Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772	50	41%	
	Summe Heizung								374 911	387 006	12 094		
	Lüftungszentralgerät						85 170	144 050	73 142	123 707	50 565	25	14%
	Lüftungskanalnetz						470 942	470 942	279 522	279 522	50	41%	
	Summe Lüftung								352 665	403 230	50 565		
	Beleuchtungsanlage						374 000	448 800	374 000	448 800	74 800	20	0%
	Fachplanung Beleuchtung							51 534		51 534	51 534	20	0%
	Summe Beleuchtung								374 000	500 334	126 334		
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
	Gebäudehülle								91 050	102 759			
	Heizung								25 843	26 677			
	Lüftung								24 310	27 795			
	Beleuchtung								25 781	34 489			
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Wärmeerzeugung								3 400	3 400			
	Lüftung								1 600	1 600			
	Beleuchtung								9 426	6 081			
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
	Energiekosten Heizung & TWW								51 101	12 481			
	Hilfsenergiekosten								21 325	13 336			
	Stromkosten Beleuchtung								57 791	33 853			
jährliche Gesamtkosten									311 627	262 472			
Jährlicher Gewinn									49155 Euro/a bzw.	4,38 Euro/(m²a)			

Objekt:		Verwaltung 2		H _T :	0,35	W/(m²K)							
Nettogrundfläche:		11213	m²	HT', equi, anisotrop:	0,20	W/(m²K)							
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:		0,27	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	43572,3	m³							
Endenergie Heizung (DIN 18599):		25,7	[kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	16,7	[kWh/(m²NGF a)]							
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):		0,0	[kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]							
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):		6,6	[kWh/(m²NGF a)]	RAANBBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh									
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):		6,5	[kWh/(m²NGF a)]										
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):		14,1	[kWh/(m²NGF a)]										
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)		81,5	[kWh/(m²NGF a)]										
Anforderungsniveau EnEV 2007		174,4											
Vorschlag neues Anforderungsniveau		85,6											
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		keine Trinkwarmwasser-Bereitung									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl-Schutz), P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96									
Lüftung		Übergabe:		Lufttemperatur <20°C									
		Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT									
		Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 60 %, Luftwechsel 1,38 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:		gedimmt, ausschaltend, ohne Präsenzkontrolle									
		Beleuchtungsart:		direkt									
		Leuchte:		stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (15 W/m²)									
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WE} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WE}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	2757,8	2,20	0,67	0,90	0,50	788 721	910 062	604 653	697 676	93 023	30	23%
	Außenwände	2559,9	0,42	0,17	0,17	0,17	306 938	335 609	182 180	199 197	17 018	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
	Flachdach	2531,8	0,31	0,13	0,13	0,13	369 136	410 152	219 097	243 441	24 344	50	41%
	Kellerdecke	2531,8	0,38	0,18	0,18	0,18	361 541	401 037	214 589	238 031	23 442	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	1299,1	0,57	0,21	0,21	0,21	157 577	177 843	93 528	105 557	12 028	50	41%
	ΔU _{WB}		0,10		0,05							50	41%
	n ₅₀			1,0		1,0	8 900	8 900	6 823	6 823		30	23%
Summe Gebäudehülle							1 320 869		1 490 725		169 856		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							29 380	32 230	29 380	32 230	2 850	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage											20	0%	
Wärmeverteilung							448 550	460 608	343 869	353 114	9 244	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									374 911	387 006	12 094		
Lüftungszentralgerät							85 170	116 220	73 142	99 807	26 665	25	14%
Lüftungskanalnetz							470 942	470 942	279 522	279 522		50	41%
Summe Lüftung									352 665	379 330	26 665		
Beleuchtungsanlage							374 000	822 800	374 000	822 800	448 800	20	0%
Fachplanung Beleuchtung								94 480		94 480	94 480	20	0%
Summe Beleuchtung									374 000	917 280	543 280		
Annuitätische Kosten													
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
Gebäudehülle									91 050	102 759			
Heizung									25 843	26 677			
Lüftung									24 310	26 148			
Beleuchtung									25 781	63 230			
Betriebskosten													
Wärmeerzeugung									3 400	3 400			
Lüftung									1 600	1 600			
Beleuchtung									9 426	4 473			
jährliche Energiekosten													
Energiekosten Heizung & TWW									51 101	18 998			
Hilfsenergiekosten									21 325	13 410			
Stromkosten Beleuchtung									57 791	28 442			
jährliche Gesamtkosten													
									311 627	289 138			
Jährlicher Gewinn							22490 Euro/a bzw. 2,01 Euro/(m²a)						

Objekt: Verwaltung 3			H _T :	0,49	W/(m²K)								
Nettogrundfläche:	11213	m²	HT', equi, anisotrop:	0,30	W/(m²K)								
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,27	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	43572,3	m³								
Endenergie Heizung (DIN 18599):	25,6	[kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	17,5	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	6,6	[kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh										
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	6,5	[kWh/(m²NGF a)]											
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	13,8	[kWh/(m²NGF a)]											
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	80,5	[kWh/(m²NGF a)]											
Anforderungsniveau EnEV 2007	174,4												
Vorschlag neues Anforderungsniveau	85,6												
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:	keine Trinkwarmwasser-Bereitung											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl-Schutz), P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20°C											
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT											
	Erzeugung:	Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 1,38 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	gedimmt, ausschaltend, ohne Präsenzkontrolle											
	Beleuchtungsart:	direkt											
	Leuchte:	stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (15 W/m²)											
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz-ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz-ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs-zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	2757,8	2,20	0,67	1,50	0,65	788 721	788 721	604 653	604 653		30	23%
	Außenwände	2559,9	0,42		0,17		306 938	335 609	182 180	199 197	17 018	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%
	Flachdach	2531,8	0,31		0,13		369 136	410 152	219 097	243 441	24 344	50	41%
	Kellerdecke	2531,8	0,38		0,18		361 541	401 037	214 589	238 031	23 442	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	1299,1	0,57		0,21		157 577	177 843	93 528	105 557	12 028	50	41%
	ΔU _{WB}		0,10		0,05							50	41%
	n ₅₀			1,0		1,0	8 900	8 900	6 823	6 823		30	23%
	Summe Gebäudehülle								1 320 869	1 397 702	76 833		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						29 380	32 230	29 380	32 230	2 850	20	0%
	Wärmequellenanlage											40	34%
	Solaranlage											20	0%
	Wärmeverteilung						448 550	460 608	343 869	353 114	9 244	30	23%
	Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%
	Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%
	Tankraum / Pelletbunker											50	41%
	Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%
	Summe Heizung								374 911	387 006	12 094		
	Lüftungszentralgerät						85 170	144 050	73 142	123 707	50 565	25	14%
	Lüftungskanalnetz						470 942	470 942	279 522	279 522		50	41%
	Summe Lüftung								352 665	403 230	50 565		
	Beleuchtungsanlage						374 000	822 800	374 000	822 800	448 800	20	0%
	Fachplanung Beleuchtung							94 480		94 480	94 480	20	0%
	Summe Beleuchtung								374 000	917 280	543 280		
Annuitätische Kosten													
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%							[Euro/a]	[Euro/a]			
	Gebäudehülle								91 050	96 346			
	Heizung								25 843	26 677			
	Lüftung								24 310	27 795			
	Beleuchtung								25 781	63 230			
Betriebskosten													
	Wärmeerzeugung								3 400	3 400			
	Lüftung								1 600	1 600			
	Beleuchtung								9 426	4 473			
jährliche Energiekosten													
	Energiekosten Heizung & TWW								51 101	18 893			
	Hilfsenergiekosten								21 325	13 405			
	Stromkosten Beleuchtung								57 791	27 823			
jährliche Gesamtkosten													
									311 627	283 644			
Jährlicher Gewinn													
									27983 Euro/a bzw.	2,50 Euro/(m²a)			

Objekt: Verwaltung 4		H _T :	0,34	W/(m²K)
Nettogrundfläche:	11213 m²	HT', equi, anisotrop:	0,19	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,27 m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	43572,3	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	15,3 [kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	9,7	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	6,6 [kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	6,5 [kWh/(m²NGF a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	17,7 [kWh/(m²NGF a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	80,8 [kWh/(m²NGF a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	174,4			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	85,6			

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		keine Trinkwarmwasser-Bereitung									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl-Schutz), P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96									
Lüftung		Übergabe:		Lufttemperatur <20°C									
		Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT									
		Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 1,38 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:		gedimmt, ausschaltend, ohne Präsenzkontrolle									
		Beleuchtungsart:		direkt									
		Leuchte:		stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Tabellenverfahren									
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{wg} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{wg} (m²K)	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster		2757,8	2,20	0,67	0,90	0,50	788 721	910 062	604 653	697 676	93 023	30	23%
Außenwände		2559,9	0,42	0,13	0,13	0,00	306 938	351 993	182 180	208 922	26 742	50	41%
Geschossdecke gegen außen		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00					50	41%	
Flachdach		2531,8	0,31	0,13	0,13	0,00	369 136	410 152	219 097	243 441	24 344	50	41%
Kellerdecke		2531,8	0,38	0,16	0,16	0,00	361 541	407 620	214 589	241 938	27 350	50	41%
Außenwand gegen Erdreich		1299,1	0,57	0,21	0,21	0,05	157 577	177 843	93 528	105 557	12 028	50	41%
ΔU _{WB}			0,10		0,05						50	41%	
n ₅₀				1,0	1,0		8 900	8 900	6 823	6 823	30	23%	
Summe Gebäudehülle									1 320 869	1 504 357	183 487		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							29 380	32 230	29 380	32 230	2 850	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							448 550	460 608	343 869	353 114	9 244	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									374 911	387 006	12 094		
Lüftungszentralgerät							85 170	144 050	73 142	123 707	50 565	25	14%
Lüftungskanalnetz							470 942	470 942	279 522	279 522	50	41%	
Summe Lüftung									352 665	403 230	50 565		
Beleuchtungsanlage							374 000	822 800	374 000	822 800	448 800	20	0%
Fachplanung Beleuchtung												20	0%
Summe Beleuchtung									374 000	822 800	448 800		
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle									91 050	103 698			
Heizung									25 843	26 677			
Lüftung									24 310	27 795			
Beleuchtung									25 781	56 717			
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									3 400	3 400			
Lüftung									1 600	1 600			
Beleuchtung									9 426	4 473			
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									51 101	11 315			
Hilfsenergiekosten									21 325	13 322			
Stromkosten Beleuchtung									57 791	35 761			
jährliche Gesamtkosten									311 627	284 760			
Jährlicher Gewinn							26868 Euro/a bzw.		2,40 Euro/(m²a)				

Objekt: Verwaltung 5		H _T :	0,34	W/(m²K)
Nettogrundfläche:	11213 m²	HT', equi, anisotrop:	0,19	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,27 m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	43572,3	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	17,9 [kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	10,3	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	0,0 [kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	6,6 [kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	6,5 [kWh/(m²NGF a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	16,8 [kWh/(m²NGF a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	80,9 [kWh/(m²NGF a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	174,4			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	85,6			

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		keine Trinkwarmwasser-Bereitung									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		NT-Kessel Erdgas 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
		Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 0,92									
		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,92									
Lüftung		Übergabe:		Lufttemperatur <20°C									
		Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT									
		Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 1,38 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:		manuell, ohne Präsenzkontrolle									
		Beleuchtungsart:		direkt									
		Leuchte:		stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (12,5 W/m²)									
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{ve} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{ve}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	2757,8	2,20	0,67	0,90	0,50	788 721	910 062	604 653	697 676	93 023	30	23%
	Außenwände	2559,9	0,42		0,13		306 938	351 993	182 180	208 922	26 742	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00						50	41%	
	Flachdach	2531,8	0,31		0,13		369 136	410 152	219 097	243 441	24 344	50	41%
	Kellerdecke	2531,8	0,38		0,16		361 541	407 620	214 589	241 938	27 350	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	1299,1	0,57		0,21		157 577	177 843	93 528	105 557	12 028	50	41%
	ΔU _{WB}		0,10		0,05						50	41%	
	n ₅₀			1,0		1,0	8 900	8 900	6 823	6 823	30	23%	
Summe Gebäudehülle									1 320 869	1 504 357	183 487		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							29 380	29 380	29 380	29 380		20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%	
Solaranlage											20	0%	
Wärmeverteilung							448 550	460 608	343 869	353 114	9 244	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890	50	41%	
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772	50	41%	
Summe Heizung									374 911	384 156	9 244		
Lüftungszentralgerät							85 170	144 050	73 142	123 707	50 565	25	14%
Lüftungskanalnetz							470 942	470 942	279 522	279 522	50	41%	
Summe Lüftung									352 665	403 230	50 565		
Beleuchtungsanlage							374 000	448 800	374 000	448 800	74 800	20	0%
Fachplanung Beleuchtung								51 534		51 534	51 534	20	0%
Summe Beleuchtung									374 000	500 334	126 334		
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle									91 050	103 698			
Heizung									25 843	26 481			
Lüftung									24 310	27 795			
Beleuchtung									25 781	34 489			
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									3 400	3 400			
Lüftung									1 600	1 600			
Beleuchtung									9 426	6 081			
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									51 101	13 255			
Hilfsenergiekosten									21 325	13 329			
Stromkosten Beleuchtung									57 791	33 853			
jährliche Gesamtkosten									311 627	263 982			
Jährlicher Gewinn									47645 Euro/a bzw.	4,25 Euro/(m²a)			

Objekt: Büro 1			H _T '	0,49	W/(m²K)								
Nettogrundfläche:	1948	m²	HT', equi, anisotrop:	0,32	W/(m²K)								
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,33	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	8533,0	m³								
Endenergie Heizung (DIN 18599):	39,6	[kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	27,7	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	0,0	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	6,8	[kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh										
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	6,5	[kWh/(m²NGF a)]											
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	13,6	[kWh/(m²NGF a)]											
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	94,4	[kWh/(m²NGF a)]											
Anforderungsniveau EnEV 2007	171,6												
Vorschlag neues Anforderungsniveau	95,0												
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:	keine Trinkwarmwasser-Bereitung											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl-Schutz), P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20°C											
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT											
	Erzeugung:	Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 1,13 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	gedimmt, ausschaltend, ohne Präsenzkontrolle											
	Beleuchtungsart:	direkt											
Leuchte: stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (15 W/m²)													
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachts- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
	Fenster	544,6	1,50	0,65	1,50	0,65	155 757	155 757	119 407	119 407		30	23%
	Außenwände	804,4	0,35	0,29	0,29	0,29	97 740	99 027	58 012	58 776	764	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
	Flachdach	735,8	0,27	0,15	0,15	0,15	84 984	92 710	50 442	55 027	4 586	50	41%
	Kellerdecke	722,5	0,38	0,32	0,32	0,32	103 167	105 045	61 233	62 348	1 115	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
	ΔU _{WB}		0,10		0,05							50	41%
	n ₅₀			1,0		1,0	4 000	4 000	3 066	3 066		30	23%
Summe Gebäudehülle									292 161	298 625	6 464		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							12 130	15 030	12 130	15 030	2 900	20	0%
Wärmequellenanlage												40	34%
Solaranlage												20	0%
Wärmeverteilung							77 950	80 470	59 758	61 690	1 932	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890		50	41%
Öltank bzw. Pelletbunker												30	23%
Tankraum / Pelletbunker												50	41%
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772		50	41%
Summe Heizung									73 550	78 382	4 832		
Lüftungszentralgerät							16 890	28 560	14 505	24 527	10 022	25	14%
Lüftungskanalnetz							81 816	81 816	48 561	48 561		50	41%
Summe Lüftung									63 066	73 088	10 022		
Beleuchtungsanlage							65 200	143 440	65 200	143 440	78 240	20	0%
Fachplanung Beleuchtung								16 471		16 471	16 471	20	0%
Summe Beleuchtung									65 200	159 911	94 711		
Annuitätische Kosten													
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum Gebäudehülle									[Euro/a]	[Euro/a]			
Heizung									20 139	20 585			
Lüftung									5 070	5 403			
Beleuchtung									4 347	5 038			
									4 494	11 023			
Betriebskosten													
Wärmeerzeugung									[Euro/a]	[Euro/a]			
Lüftung									1 000	1 000			
Beleuchtung									900	900			
									1 643	780			
jährliche Energiekosten													
Energiekosten Heizung & TWW									[Euro/a]	[Euro/a]			
Hilfsenergiekosten									8 520	5 083			
Stromkosten Beleuchtung									3 751	2 388			
									9 996	4 772			
jährliche Gesamtkosten													
									59 862	56 972			
Jährlicher Gewinn											2890 Euro/a bzw. 1,48 Euro/(m²a)		

Objekt: Schule 1		H _T ':	0,21	W/(m²K)
Nettogrundfläche:	4499 m²	HT', equi, anisotrop:	0,14	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,35 m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	21174,0	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	31,3 [kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	19,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	26,6 [kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	17,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	9,3 [kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	9,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	6,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	98,7 [kWh/(m²NGF a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	181,4			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,2			

Anlagentechnik														
Trinkwasser- erwärmung	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:		zentral, BW-Kessel Gas, verbessert											
Heizung	Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)											
	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:		keine Speicherung											
	Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:			Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:			Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:		Lufttemperatur <20°C											
	Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT											
	Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 60 %, Luftwechsel 3,17 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:		manuell, ohne Präsenzkontrolle											
	Beleuchtungsart:		direkt											
Leuchte:			stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (7,3 W/m²)											
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren		
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]			
	Fenster	932,1	1,50	0,65	0,90	0,50	266 585	307 599	204 371	235 813	31 442	30	23%	
	Außenwände	1564,6	0,53	0,17	0,17	185 097	205 124	109 862	121 749	11 887	50	41%		
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00						50	41%		
	Flachdach	2309,9	0,36	0,13	0,13	332 630	374 208	197 429	222 107	24 679	50	41%		
	Kellerdecke	2198,5	0,38	0,18	0,18	313 947	348 244	186 340	206 696	20 356	50	41%		
	Außenwand gegen Erdreich	402,7	0,57	0,21	0,21	48 852	55 134	28 995	32 724	3 729	50	41%		
	ΔU _{WB}		0,10	0,00	0,00		13 550		8 042	8 042	50	41%		
	n ₅₀			1,0	1,0	6 200	6 200	4 753	4 753		30	23%		
Summe Gebäudehülle									731 750	831 885	100 135			
Anlagentechnik / Beleuchtung														
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						27 030	29 930	27 030	29 930	2 900	20	0%		
Wärmequellenanlage											40	34%		
Solaranlage											20	0%		
Wärmeverteilung						180 000	189 004	137 992	144 895	6 903	30	23%		
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%		
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%		
Tankraum / Pelletbunker											50	41%		
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%		
Summe Heizung								166 684	176 487	9 803				
Lüftungszentralgerät						94 240	128 580	80 931	110 422	29 490	25	14%		
Lüftungskanalnetz						188 975	188 975	112 164	112 164		50	41%		
Summe Lüftung								193 095	222 586	29 490				
Beleuchtungsanlage						105 000	126 000	105 000	126 000	21 000	20	0%		
Fachplanung Beleuchtung							14 468		14 468	14 468	20	0%		
Summe Beleuchtung								105 000	140 468	35 468				
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%												
Gebäudehülle									50 441	57 344				
Heizung									11 490	12 166				
Lüftung									13 310	15 343				
Beleuchtung									7 238	9 683				
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Wärmeerzeugung									2 500	2 500				
Lüftung									1 400	1 400				
Beleuchtung									1 707	1 151				
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Energiekosten Heizung & TWW									35 990	17 176				
Hilfsenergiekosten									11 924	7 507				
Stromkosten Beleuchtung									6 398	4 880				
jährliche Gesamtkosten									142 399	129 149				
Jährlicher Gewinn									13249 Euro/a bzw.		2,94 Euro/(m²a)			

Objekt:	Schule 2	H_T :	0,30	W/(m²K)
Nettogrundfläche:	4499 m²	HT' , equi, anisotrop:	0,23	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,35 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	21174,0	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	30,6 [kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	19,7	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	26,6 [kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	17,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	9,3 [kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	9,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	6,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	98,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	181,4			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,2			

Anlagentechnik														
Trinkwasser- erwärmung	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:		zentral, BW-Kessel Gas, verbessert											
Heizung	Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)											
	Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:		keine Speicherung											
	Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:			Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:			Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:		Lufttemperatur <20°C											
	Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT											
	Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 3,17 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:		manuell, ohne Präsenzkontrolle											
	Beleuchtungsart:		direkt											
Leuchte:			stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (7,3 W/m²)											
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB}	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtsungs- zeitraum von 20 Jahren		
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]			
	Fenster	932,1	1,50	0,65	0,90	0,50	266 585	307 599	204 371	235 813	31 442	30	23%	
	Außenwände	1564,6	0,53	0,23	0,23		185 097	244 084	109 862	144 873	35 011	50	41%	
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00		0,00							50	41%	
	Flachdach	2309,9	0,36		0,13		332 630	374 208	197 429	222 107	24 679	50	41%	
	Kellerdecke	2198,5	0,38		0,18		313 947	348 244	186 340	206 696	20 356	50	41%	
	Außenwand gegen Erdreich	402,7	0,57		0,21		48 852	55 134	28 995	32 724	3 729	50	41%	
	ΔU _{WB}		0,10		0,10							50	41%	
	n ₅₀			1,0		1,0	6 200	6 200	4 753	4 753		30	23%	
	Summe Gebäudehülle								731 750	846 967	115 217			
Anlagentechnik / Beleuchtung														
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation						27 030	29 930	27 030	29 930	2 900	20	0%		
Wärmequellenanlage											40	34%		
Solaranlage											20	0%		
Wärmeverteilung						180 000	189 004	137 992	144 895	6 903	30	23%		
Abgasanlage						1 500	1 500	890	890		50	41%		
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%		
Tankraum / Pelletbunker											50	41%		
Anschlusskosten						1 300	1 300	772	772		50	41%		
Summe Heizung								166 684	176 487	9 803				
Lüftungszentralgerät						94 240	159 380	80 931	136 872	55 941	25	14%		
Lüftungskanalnetz						188 975	188 975	112 164	112 164		50	41%		
Summe Lüftung								193 095	249 036	55 941				
Beleuchtungsanlage						105 000	126 000	105 000	126 000	21 000	20	0%		
Fachplanung Beleuchtung							14 468		14 468	14 468	20	0%		
Summe Beleuchtung								105 000	140 468	35 468				
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%												
Gebäudehülle									50 441	58 383				
Heizung									11 490	12 166				
Lüftung									13 310	17 167				
Beleuchtung									7 238	9 683				
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Wärmeerzeugung									2 500	2 500				
Lüftung									1 400	1 400				
Beleuchtung									1 707	1 151				
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]				
Energiekosten Heizung & TWW									35 990	16 969				
Hilfsenergiekosten									11 924	7 508				
Stromkosten Beleuchtung									6 398	4 880				
jährliche Gesamtkosten									142 399	131 806				
Jährlicher Gewinn									10592 Euro/a bzw. 2,35 Euro/(m²a)					

Objekt: Schule 3			H _T :	0,34	W/(m²K)								
Nettogrundfläche:	4499	m²	HT', equi, anisotrop:	0,24	W/(m²K)								
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,35	m ⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	21174,0	m³								
Endenergie Heizung (DIN 18599):	33,5	[kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	22,1	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	26,6	[kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	17,0	[kWh/(m²NGF a)]								
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	9,3	[kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh										
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	9,0	[kWh/(m²NGF a)]											
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	3,8	[kWh/(m²NGF a)]											
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	95,0	[kWh/(m²NGF a)]											
Anforderungsniveau EnEV 2007	181,4												
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,2												
Anlagentechnik													
Trinkwasser-erwärmung	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle											
	Erzeugung:	zentral, BW-Kessel Gas, verbessert											
Heizung	Übergabe:	Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)											
	Verteilung:	Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)											
	Speicherung:	keine Speicherung											
	Erzeugung:	BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle											
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:		Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05											
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:		Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96											
Lüftung	Übergabe:	Lufttemperatur <20°C											
	Verteilung:	Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT											
	Erzeugung:	Zu-/Abblufanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 3,17 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)											
Beleuchtung	Beleuchtungskontrolle:	gedimmt, ausschaltend, ohne Präsenzkontrolle											
	Beleuchtungsart:	direkt											
	Leuchte:	stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Verfahren: Fachplanung (7,3 W/m²)											
Bauteildaten	Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀ (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU _{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n ₅₀	Investition Referenzausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenzausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungsdauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungszeitraum von 20 Jahren	
	[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]		
	Fenster	932,1	1,50	0,65	1,50	0,65	266 585	266 585	204 371	204 371		30	23%
	Außenwände	1564,6	0,53	0,23	0,23	0,23	185 097	244 084	109 862	144 873	35 011	50	41%
	Geschossdecke gegen außen	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00						50	41%
	Flachdach	2309,9	0,36	0,13	0,13	0,13	332 630	374 208	197 429	222 107	24 679	50	41%
	Kellerdecke	2198,5	0,38	0,18	0,18	0,18	313 947	348 244	186 340	206 696	20 356	50	41%
	Außenwand gegen Erdreich	402,7	0,57	0,21	0,21	0,21	48 852	55 134	28 995	32 724	3 729	50	41%
	ΔU _{WB}		0,10		0,05							50	41%
	n ₅₀			1,0		1,0	6 200	6 200	4 753	4 753		30	23%
	Summe Gebäudehülle								731 750	815 525	83 775		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
	Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation					27 030	29 930	27 030	29 930	2 900	20	0%	
	Wärmequellenanlage										40	34%	
	Solaranlage										20	0%	
	Wärmeverteilung					180 000	189 004	137 992	144 895	6 903	30	23%	
	Abgasanlage					1 500	1 500	890	890		50	41%	
	Öltank bzw. Pelletbunker										30	23%	
	Tankraum / Pelletbunker										50	41%	
	Anschlusskosten					1 300	1 300	772	772		50	41%	
	Summe Heizung							166 684	176 487	9 803			
	Lüftungszentralgerät					94 240	159 380	80 931	136 872	55 941	25	14%	
	Lüftungskanalnetz					188 975	188 975	112 164	112 164		50	41%	
	Summe Lüftung							193 095	249 036	55 941			
	Beleuchtungsanlage					105 000	231 000	105 000	231 000	126 000	20	0%	
	Fachplanung Beleuchtung						26 525		26 525	26 525	20	0%	
	Summe Beleuchtung							105 000	257 525	152 525			
Annuitätische Kosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum	6,9%											
	Gebäudehülle							50 441	56 216				
	Heizung							11 490	12 166				
	Lüftung							13 310	17 167				
	Beleuchtung							7 238	17 752				
Betriebskosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Wärmeerzeugung							2 500	2 500				
	Lüftung							1 400	1 400				
	Beleuchtung							1 707	821				
jährliche Energiekosten										[Euro/a]	[Euro/a]		
	Energiekosten Heizung & TWW							35 990	17 842				
	Hilfsenergiekosten							11 924	7 517				
	Stromkosten Beleuchtung							6 398	3 105				
jährliche Gesamtkosten										142 399	136 485		
Jährlicher Gewinn										5914 Euro/a bzw. 1,31 Euro/(m²a)			

Objekt: Schule 4		H_T :	0,32	W/(m²K)
Nettogrundfläche:	4499 m²	HT' , equi, anisotrop:	0,22	W/(m²K)
Verhältnis Hüllfläche zum damit umschlossenen Volumen:	0,35 m⁻¹	von Hüllfläche umschlossenes thermisch konditioniertes Volumen:	21174,0	m³
Endenergie Heizung (DIN 18599):	29,4 [kWh/(m²NGF a)]	Heizwärmebedarf (DIN 18599):	19,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Trinkwarmwasser (DIN 18599):	26,6 [kWh/(m²NGF a)]	Nutzenergie TWW (DIN 18599):	17,0	[kWh/(m²NGF a)]
Endenergie Hilfsstrom (DIN 18599):	9,3 [kWh/(m²NGF a)]	RANDBEDINGUNGEN Realzins: 3,27% p.a. Betrachtungszeitraum: 20 Jahre Annuität: 6,9% p.a. Mittlere Energiekosten Gas/Öl (2006-2026): 6,6 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Pellets (2006-2026): 4,7 Cent/kWh Mittlere Energiek. WP-Strom (2006-2026): 15,0 Cent/kWh Mittlere Energiekosten Strom (2006-2026): 18,0 Cent/kWh		
Endenergie Lüftung in Hilfsstrom enthalten (DIN 18599):	9,0 [kWh/(m²NGF a)]			
Endenergie Beleuchtung (DIN 18599):	6,9 [kWh/(m²NGF a)]			
Gesamt-Primärenergiebedarf (DIN 18599)	99,2 [kWh/(m²NGF a)]			
Anforderungsniveau EnEV 2007	181,4			
Vorschlag neues Anforderungsniveau	100,2			

Anlagentechnik

Trinkwasser- erwärmung		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		indirekt beheizter Speicher, Aufstellung innerhalb thermischer Hülle									
		Erzeugung:		zentral, BW-Kessel Gas, verbessert									
Heizung		Übergabe:		Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich mit Glasfassade (Strahl.-Schutz), P-Regler (1K)									
		Verteilung:		Verteilung außerhalb thermischer Hülle, Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen; Wärmedurchgangszahlen Verteilung/ Stränge: 0,160 W/(m K)									
		Speicherung:		keine Speicherung									
		Erzeugung:		BW-Kessel Gas, verbessert 55/45 °C, Aufstellung außerhalb thermischer Hülle									
Kesselwirkungsgrad bei Teillast / COP WP Heizen:				Kesselwirkungsgrad bei Teillast 1,05									
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung /COP WP TWW:				Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung 0,96									
Lüftung		Übergabe:		Lufttemperatur <20°C									
		Verteilung:		Verteilung beheizt, WRG mit PlattenWT									
		Erzeugung:		Zu-/Abluftanlage mit WRG 80 %, Luftwechsel 3,17 1/h, zentral, effiziente Ventilatoren, SFP 1,8 kW/(m³/s)									
Beleuchtung		Beleuchtungskontrolle:		manuell, ohne Präsenzkontrolle									
		Beleuchtungsart:		direkt									
		Leuchte:		stabförm. Leuchtstofflampe mit elektronischem Vorschaltgerät, Tabellenverfahren									
Bauteildaten		Bauteilfläche	U-Wert bzw. ΔU_{WB} (Referenzausführung)	g-Wert bzw. n_{50} (Referenzausführung)	U-Wert bzw. ΔU_{WB}	g-Wert bzw. n_{50}	Investition Referenz- ausführung	Investition energetisch verbessert	Investition Referenz- ausführung abzgl. Restwert	Investition energetisch verbessert abzgl. Restwert	Mehrinvestition abzüglich Restwert	Nutzungs-dauer	angesetzter Restwert nach Betrachtungs- zeitraum von 20 Jahren
		[m²]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[W/(m²K)]	[-] bzw. [1/h]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[Euro]	[a]	
Fenster		932,1	1,50	0,65	1,50	0,65	266 585	266 585	204 371	204 371	11 887	30	23%
Außenwände		1564,6	0,53	0,17	0,17	0,17	185 097	205 124	109 862	121 749	50	41%	
Geschossdecke gegen außen		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00					50	41%	
Flachdach		2309,9	0,36	0,10	0,10	0,10	332 630	394 998	197 429	234 447	37 018	50	41%
Kellerdecke		2198,5	0,38	0,18	0,18	0,18	313 947	348 244	186 340	206 696	20 356	50	41%
Außenwand gegen Erdreich		402,7	0,57	0,21	0,21	0,21	48 852	55 134	28 995	32 724	3 729	50	41%
ΔU_{WB}			0,10		0,05						50	41%	
n_{50}				1,0		1,0	6 200	6 200	4 753	4 753	30	23%	
Summe Gebäudehülle									731 750	804 740	72 990		
Anlagentechnik / Beleuchtung													
Wärmeerzeuger / TWW-Speicher / elektr. Installation							27 030	29 930	27 030	29 930	2 900	20	0%
Wärmequellenanlage											40	34%	
Solaranlage											20	0%	
Wärmeverteilung							180 000	189 004	137 992	144 895	6 903	30	23%
Abgasanlage							1 500	1 500	890	890	50	41%	
Öltank bzw. Pelletbunker											30	23%	
Tankraum / Pelletbunker											50	41%	
Anschlusskosten							1 300	1 300	772	772	50	41%	
Summe Heizung									166 684	176 487	9 803		
Lüftungszentralgerät							94 240	159 380	80 931	136 872	55 941	25	14%
Lüftungskanalnetz							188 975	188 975	112 164	112 164	50	41%	
Summe Lüftung									193 095	249 036	55 941		
Beleuchtungsanlage							105 000	126 000	105 000	126 000	21 000	20	0%
Fachplanung Beleuchtung								14 468		14 468	14 468	20	0%
Summe Beleuchtung									105 000	140 468	35 468		
Annuitätische Kosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Annuitätsfaktor für Betrachtungszeitraum		6,9%											
Gebäudehülle									50 441	55 472			
Heizung									11 490	12 166			
Lüftung									13 310	17 167			
Beleuchtung									7 238	9 683			
Betriebskosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Wärmeerzeugung									2 500	2 500			
Lüftung									1 400	1 400			
Beleuchtung									1 707	1 151			
jährliche Energiekosten									[Euro/a]	[Euro/a]			
Energiekosten Heizung & TWW									35 990	16 608			
Hilfsenergiekosten									11 924	7 505			
Stromkosten Beleuchtung									6 398	5 612			
jährliche Gesamtkosten									142 399	129 264			
Jährlicher Gewinn							13134 Euro/a bzw.		2,92 Euro/(m²a)				

16.12 Anhang zum Abschnitt 14.3 Beleuchtung

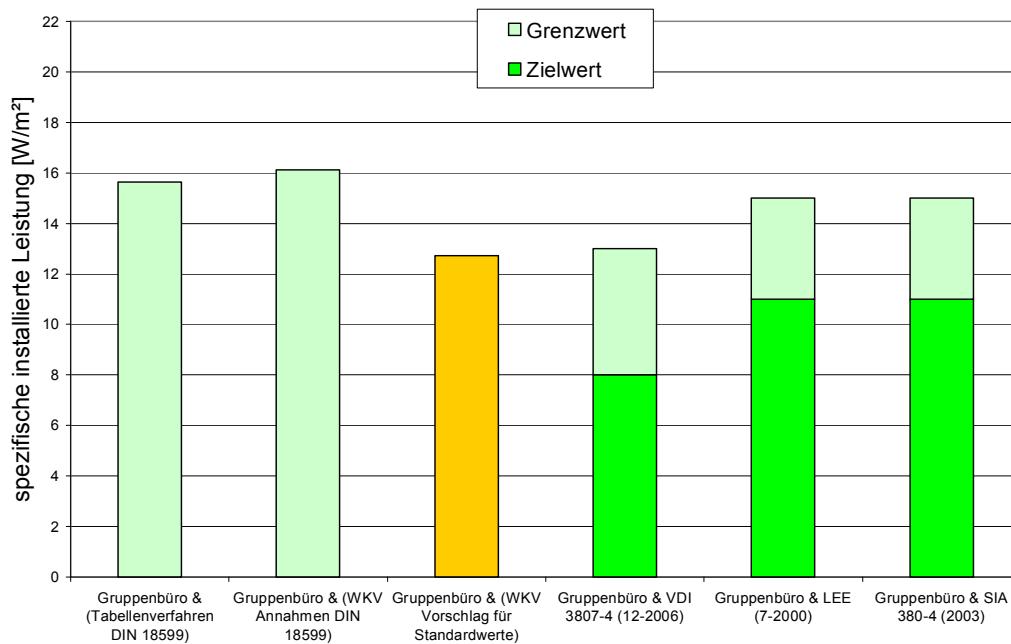


Abbildung 105: Erforderliche, spezifische, installierte Leistung für ein Gruppenbüro gemäß DIN V 18599-10 (Geometrie, Beleuchtungsstärke, etc.) nach unterschiedlichen Verfahren ermittelt. Der resultierende Wert mit dem Wirkungsgradverfahren (WKV) und den empfohlenen Standard-Annahmen liegt auch für diese Raumgeometrie im Bereich der Grenzwerte der Vergleichsverfahren.

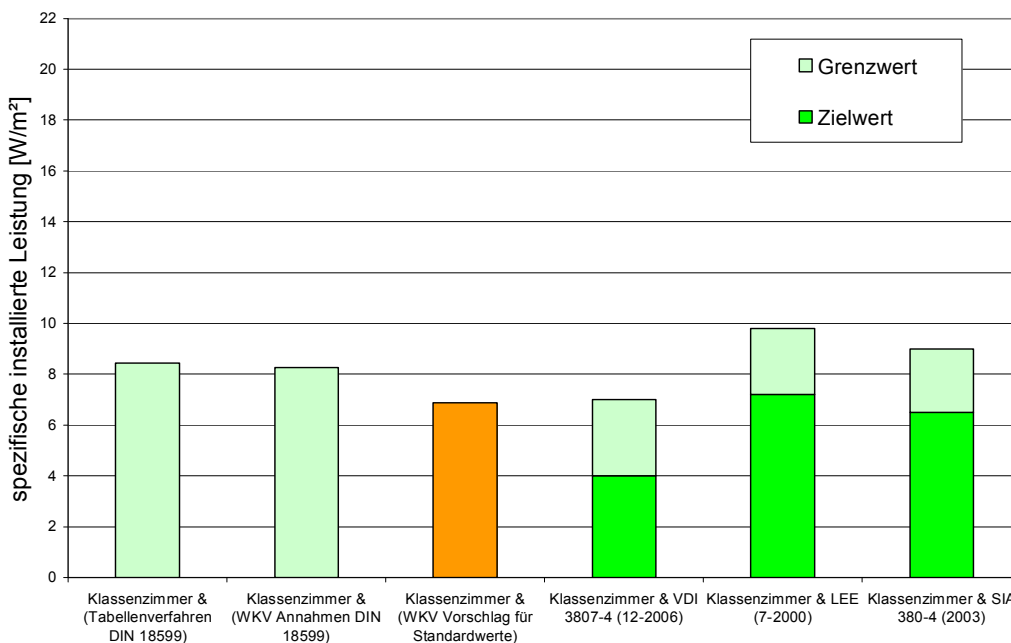


Abbildung 106: Erforderliche, spezifische, installierte, Leistung für ein Einzelbüro gemäß DIN V 18599-10 (Geometrie, Beleuchtungsstärke, etc.) nach unterschiedlichen Verfahren ermittelt. Der resultierende Wert mit dem Wirkungsgradverfahren (WKV) und den empfohlenen Standard-Annahmen liegt auch für diese Raumgeometrie im Bereich der Grenzwerte der Vergleichsverfahren.

17 Literatur

- [abasto 2007] Mündliche Mitteilung, S. Bielkin, abasto / Gesellschaft für regenerativen und rationellen Energieeinsatz mbH, Hamburg.
- [AKKP 09] Nutzerverhalten, Protokollband Nr. 9 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase II; Passivhaus Institut; Darmstadt 1997.
- [AkkP 21] Architekturbeispiele: Wohngebäude, Protokollband Nr. 21 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut; Darmstadt 2002.
- [AkkP 23] Protokollband Nr. 23, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III; Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und –ausbreitung im Raum, Darmstadt, Juli 2003.
- [AkkP 24] Wärmebrücken und Verbesserung der Luftdichtheit im altbau, Protokollband Nr. 24, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Darmstadt 2003.
- [AkkP 28] Wärmeübergabe- und Verteilverluste, Protokollband Nr. 28 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III; Passivhaus Institut; Darmstadt 2004.
- [AKKP 30] Protokollband Nr. 30, „Lüftung bei Bestandssanierung: Lösungsvarianten“, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Darmstadt, 2004
- [AKKP 31] „Energieeffiziente Raumkühlung“, Protokollband Nr. 31, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase III, 1. Auflage: Darmstadt, Juli 2005.
- [AMEV 2006] Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden (Beleuchtung 2006), Aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Berlin 2006
- [Bach 1988] Bach, H.; Diemer, R.: Energieeinsparung und Schadstoffreduzierung durch Erneuerung von öl- und gasbefeuelten Wärmeerzeugern in 51 Wohngebäuden, IKE-Bericht 7-11, Stuttgart 1988.
- [Baumgartner 2005] Baumgartner, Hans: persönliche Mitteilung, Februar 2005.

- [BMVBS 1] Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Herausgeber: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin.
- [Brasche 2003] S. Brasche, E. Heinz, T. Hartmann, W. Richter und W. Bischof: Vorkommen, Ursachen und gesundheitliche Aspekte von Feuchteschäden in Wohnungen Bundesgesundheitsblatt, Band 46. Nr. 8/ August 2003.
- [Bretzke 2006] Axel Bretzke, Beispielhafte Beleuchtung in Frankfurter Schulen ist Standard in den Leitlinien mit 2 W/(m² 100lx), IEEC 2006.
- [DIN EN ISO 10077] DIN EN ISO 10077, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines, Beuth-Verlag, Berlin 2006.
- [DIN EN ISO 13790] DIN EN ISO 13790, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs, Beuth-Verlag, Berlin 2004.
- [DIN EN ISO 13370] DIN EN ISO 13370, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren, Beuth-Verlag, Berlin 2007.
- [DIN V 18599] DIN V 18599 Teil 1 bis 10. Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Beuth-Verlag, Berlin 2-2007.
- [DIN V 4108-6] DIN V 4108-6, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6, Beuth-Verlag, Berlin 06-2003.
- [DIN V 4701-10] DIN V 4701-10, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Beuth-Verlag, Berlin 08-2003.
- [Dipper 2001] Dipper, J.: MELISSA, Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes von Einzelheizgeräten mit gekoppelter Betriebssimulation von Gebäude und Anlage, Universität Stuttgart IKE / LHR; 2001.
- [Ebel 1990] Ebel, W.; Eicke, W.; Feist, W.; Hinz, E.: Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (LEG) als Grundlage für die Novellierung der Wärmeschutzverordnung; IWU, Januar 1990 (der LEG ist eine Methode beruhend auf [EN 832] und ein Vorgängerverfahren zum [PHPP])

- [Ebel 2003] Ebel, W.; Großklos, M.; Knissel, J.; Loga, T. und Müller, K.: Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern – Eine vergleichende Analyse der Nutzungsfaktoren am Beispiel der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“ in Wiesbaden-Dotzheim, Endbericht / Energie; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003.
- [ebök 2000] Zertifizierungsunterlagen zur Passivhaussiedlung Stuttgart Feuerbach, unveröffentlichte Planungsunterlage.
- [EN 832] Europäische Norm: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs – Wohngebäude, Europäisches Komitee für Normung; Brüssel 1998.
- [EN ISO 10456] [EN ISO 10456], Baustoffe und -produkte - Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte, Beuth-Verlag, Berlin 8-2000.
- [EnEG] Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden, Bundesgesetzblatt Teil 1, 28. Juli 1976, S.1873-1875.
- [EnEV 2004] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 7.12.2004 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 64, S. 3147- 3162.
- [EnEV 2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung- EnEV), 2007.
- [EOTA] Assumption of working life of construction products in Guidelines for European Technical Approval, European Technical Approvals and Harmonized Standards, Guidance Document 002, EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS 1999.
- [Erhorn 2005] Erhorn, H., Balada, A.: Vornormreihe DIN V 18599 – Energetische Bewertung von Gebäuden, gi126 (2005); Nr. 5; S. 229.
- [Fechner 2004] Fechner, H., Grunewald, J.: DELPHIN4, Simulationsprogramm, zur gekoppelten Berechnung des Wärme-, Feuchtigkeits-, Luft- und Salztransports in porösen Baustoffen, IBK, TU-Dresden, Dresden 2004.
- [Feist 1998] W. Feist, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft, Darmstadt 1998.

- [Feist 1998a] Feist, Wolfgang; Sariri, Vahid; Ebel Witta; und Baffia, Enikö: Solareinstrahlung in Abhängigkeit von der Orientierung und Verschattung. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 14, Passivhaus-Fenster, Darmstadt, Passivhaus Institut, Dezember 1998.
- [Feist 2001] Feist, W.: Wissenschaftliche Auswertung von Messungen in Passivhäusern/Niedrigenergiehäusern der „Gartenhofsiedlung Lummerlund“, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001.
- [Feist 2001] Feist, Wolfgang; Peper, Søren und von Oesen, Matthias: Klimaneutrale Passivhaus-Reihenhaussiedlung in Hannover-Kronsberg. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18, Hannover, Stadtwerke Hannover AG, 2001.
- [Feist 2001-a] Feist, W.: Stellungnahme zur Vornorm DIN-V-4108-6:2000 aus Sicht der Passivhausentwicklung, CEPHEUS-Bericht, 1. Auflage, Passivhaus Institut, Darmstadt 2001
- [Feist 2004] Feist, W.: Einführung: Passivhaus – Gebäudetechnik mit Wärmepumpen, im Protokollband Nr. 26 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase III, Passivhaus Institut, Darmstadt 2004.
- [Feist/Loga/Großklos 2000] Feist, W.; Loga, T. und Großklos, M.: Durch Messungen bestätigt – Jahresheizenergieverbrauch bei 22 Passivhäusern in Wiesbaden unter 15 kWh/m² Wohnfläche, in BundesBauBlatt, 3/2000, S. 23-27.
- [Feist/Peper 2001] Feist, W.; Peper, S.; Görg, M. und von Oesen, M.: Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, CEPHEUS-Projektinformation Nr. 18; PHI-2001/5; Passivhaus Institut; Darmstadt 2001.
- [Fichtner 1993] Fichtner Development Engineering: Praxisbezogene Untersuchung zu Energiebedarf und Emissionen verschiedener Heizsysteme im Wohnungsbau, März 1993.
- [Glück 2000] Glück, Bernd: Wird die Bauteilaktivierung kaputt aktiviert? CCI.Print 13/2000.
- [Hamann 1999] B. Hamann, R.D. Klodt, R. Gellert, T. Pelzers, Langzeitbewährung von PS-Hartschaum der Baustoffklasse B1 bzw. B2 nach DIN 4102. Bauphysik 21 (1999) Heft 1
- [Hauser 2006] Hauser, G., Entwicklung eines vereinfachten Nachweisverfahrens für Nichtwohngebäude, Endbericht im Auftrag des BMVBS, IB Prof. Dr. Hauser, Kassel 2006.

- [Höttges 2006] Höttges, Kirsten; Weiß, Nina und Erhorn, Hans: Excel-Berechnungsblatt zur DIN V 18 599 - Version 2.0. Stuttgart, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, November 2006.
- [IEMB 2005] Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der neuen EU-Richtlinie, IEMB e.V., Berlin; IB Prof. Dr. Hauser GmbH, Kassel, ARUP GmbH, Berlin.
- [Kaufmann 2004] Kaufmann, B.; Feist, W.; Pfluger, R. u. a. : Passivhäuser erfolgreich planen und bauen. Ein Leitfaden zur Qualitätssicherung Hrsg.: Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes Nordrhein-Westfalen (ILS NRW) Aachen 2004
- [Knissel 2002] Knissel, Jens: Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau, Dissertation an der Fakultät III – Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin, Berlin 2002.
- [Kohler 2004] Beispiel: Die Städtische Wohnungsbau GmbH Göttingen hat per Vorstandsbeschluss festgelegt, dass generell alle Wohneinheiten im Rahmen einer Sanierung mit kontrollierter Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung ausgestattet werden. (siehe Beitrag von Rolf-Georg Köhler, Städtische Wohnungsbau GmbH Göttingen in AKKP 30, Darmstadt 2004.
- [Krien 2003] Krien, Moritz: Nutzung der oberflächennahen Geothermie mittels Luft/Erd-Register und Flüssigkeit-Erdwärmesonden für die Temperierung von Gebäuden, Diplomarbeit, FH Ulm, 2003.
- [KWKG 2002] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil 1 Nr. 19, 1092, Bonn 2002.
- [LEE] Institut Wohnen und Umwelt: Elektrische Energie im Hochbau, Leitfaden elektrische Energie. Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt Energie und Bundesangelegenheiten, Wiesbaden, Darmstadt 2000/2001
- [Loga 1997] Loga, Tobias; Müller, Kornelia; Menje, Horst: Die Niedrigenergiesiedlung Distelweg in Niedernhausen, Ergebnisse des Messprogramms, 1. Auflage, Institut Wohnen und Umwelt, 1997.

- [Münzenberg 2001] Münzenberg, U.; Thumulla, J.: Raumklimaaufzeichnungen als Instrumente der Innenraumdiagnostik, Umwelt, Gebäude & Gesundheit, Ergebnisse des 6. Fachkongresses Arbeitsgemeinschaft ökologische Forschungsinstitute, AGÖF e. V. Springe-Eldagsen, Nürnberg, 2001.
- [Münzenberg 2002] Münzenber, U.: Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg, Schulze Darup, B. (Hrsg.), Verlag AnBUS e. V., Fürth, 2002.
- [Norway 2007] Building Code Norway 2007, Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK), Statens Bygningstekniske Etat, 26.01.2007.
- [Oehler 2003] Oehler, S., Passivbürogebäude Energon Ulm, In: 7.Internationale Passivhaustagung, Hamburg, Institut Darmstadt, 2003.
- [Pehnt et al. 2006] Pehnt, M.; Cames, M.; Fischer, C.; Praetorius, B.; Schneider, L.; Schumacher, K. und Voß, J.-P.: Micro Cogeneration, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2006.
- [Peper 2001] Peper, S.; Feist, W.; und Kah, O.: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung; Klimaneutrale Passivhaus-siedlung in Hannover-Kronsberg. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 19, Fachinformation PHI-2001/6, Darmstadt, Passivhaus Institut, 2001.
- [Peper/Feist 2001] Peper, S.; Feist, W.; Kah, O.: Messtechnische Untersuchung und Auswertung – Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Stadtwerke Hannover 2001.
- [Peper/Feist 2002] Peper, S. und Feist, W.: Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg; Analyse im dritten Betriebsjahr, Stadtwerke Hannover, Juli 2002.
- [Peper/Feist/Pfluger 2002] Peper, S.; Feist, W.; Pfluger, R.: Ein nordorientiertes Passivhaus. Messtechnische Untersuchung und Auswertung vom 19 Wohnungen im Passivhaus-Standard in Frankfurt-Bockenheim, Passivhaus Institut Darmstadt, 2002.
- [Peper 2007] Peper, S., Kah, O., Pfluger, R., Schnieders, J., Passivhausschule Frankfurt Riedberg, Messtechnische Untersuchung und Analyse, Untersuchung im Auftrag der Stadt Frankfurt a.M. mit Fördermitteln der Deutschen Bundesstiftung (AZ 20708), Passivhaus Institut Darmstadt, 2007.

- [Pfafferott 2005] Pfafferott, J., Reise, C.: Luft-Erdregister; in „Bürogebäude mit Zukunft“, Konzepte – Analysen – Erfahrungen, T.
- [Pfluger 2001] Pfluger, R.; Feist, W.; Ludwig, S. und Otte, J.: Das kostengünstige, mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise. Abschlussbericht. Tl.4. Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau in Passivhaus-Standard; 1. Auflage, Darmstadt 2001; Download einer Vorlage aus dem Internet möglich.
- [PHPP] Feist, W.; Pfluger, R.; Kaufmann, B.; Schnieders, J.; Kah, O.: Passivhaus Projektierungs Paket 2004, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser , Passivhaus Institut Darmstadt, 2004, 2007.
- [Rebmann 2005] Rebmann, Heiko; Korn, Konrad: Nutzung der oberflächennahen Geothermie für die Temperierung eines großen Bürogebäudes in Passivhaus-Bauweise, Studienarbeit am Fachbereich Maschinenbau / Energietechnik an der FH Ulm, Ulm 2005.
- [Recknagel 2003] Schramek, Ernst-Rudolf: Recknagel Sprenger Schramek, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg, München, 2003.
- [Reiß/Erhorn 2003] Reiß, Johann und Erhorn, Hans: Messtechnische Validierung des Energiekonzeptes einer großtechnisch umgesetzten Passivhausentwicklung in Stuttgart-Feuerbach, IBP-Bericht WB 117/2003, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart 2003.
- [Rieche 1984] G. Rieche, Langzeitbewährung von Hartschaumplatten aus expandiertem Polystyrol (EPS) in Wärmedämmsystemen, Gutachten 536, vom 03.09.1984, Gutachten im Auftrag des Industrieverbands Hartschaum e.V., Heidelberg.
- [Rochard 2002] Rochard, Ulrich; Werner, Johannes: Haustechnik für Bürogebäude im Passivhaus-Standard, In: Steinmann, Markus (Hrsg.): 6. Europäische Passivhaustagung, Tagungsband, Fachhochschule beider Basel, Muttenez bei Basel 2002.
- [Santamouris 2003] Santamouris, M.: Solar thermal technologies for buildings. James & James, London, 2003.
- [Schmidt 2007] Mündliche Mitteilung, H.C. Schmidt, SenerTec Center Hessen Süd GmbH, Darmstadt.

- [Schnieders 1998] Schnieders, Jürgen und Wolfgang Feist: Passivhaus-Reihenhäuser: Über die Zuluft beheizbar? Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens bei Variation ausgewählter Parameter und bei Zuluftnachheizung. CEPHEUS-Projektinformation Nr. 5, Fachinformation PHI-1998/12, Darmstadt, Passivhaus Institut, Dezember 1998.
- [Schnieders 2003] Schnieders, J.: Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Phase II, Protokollband Nr. 15, Darmstadt, 1999.
- [Schnieders 2004] Schnieders, Jürgen: Erdreichwärmeverluste im Passivhaus: Gültigkeit der verfügbaren Rechenverfahren; Behandlung von Wärmebrücken; Schürzenlösungen; Einfluss von Erdwärmeübertragern. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 27, Wärmeverluste durch das Erdreich, Darmstadt, Passivhaus Institut, 2004.
- [Schnieders 2004a] Schnieders, Jürgen: Simulationen zur Effizienz der Wärmeübergabe. In: Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 28, Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus, Darmstadt, Passivhaus Institut, 2004.
- [Schnieders 2005] Schnieders, Jürgen: Ökonomischer Vergleich unterschiedlicher Systeme am Beispiel eines Bürogebäudes, in Protokollband Nr. 31, Energieeffiziente Raumkühlung, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Darmstadt, Juli 2005.
- [Schnieders/ Feist 2001] Schnieders, J.; Feist, W.; Kah, O. et al.: CEPHEUS Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung. Endbericht; CEPHEUS-Projektinformation Nr. 22. Passivhaus Institut. Darmstadt, Juli 2001.
- [Schnieders/ Such 1998] Schnieders, J.; Such, M.: Untersuchungen der Luftdichtheit in der Niedrigenergie- und Passivhaussiedlung Lummerlund in Wiesbaden-Dotzheim, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998.
- [Schulz 2005] Schulz, Josef: Preisspiegel für Bauleistungen im Bereich Ausbau, Baupreis-Verlag, Oberhausen, Januar 2005.
- [SIA 380-4] SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau, SIA, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten- Verein, 2006.
- [SIA etool] Gasser, Stefan: Handbuch zur Excel-Anwendung. Etool_licht.xlt: Anwendungsinstrument zu SIA 380/4, Minergie-Nachweis für Beleuchtung, Hrsg.: Bundesamt für Energie, Bern, www.380-4.ch, Zürich 2003.

- [Spilker 2006]) R. Spilker, R. Oswald, Flachdachsanierung über durchfeuchteter Dämmschicht, Bauforschung für die Praxis, Band 61, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003.).
- [Tönsing] Tönsing, Ekkehard: Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, ohne Datum.
- [Vallentin 2004] Vallentin, G., Lackenbauer, A., Passivhaus macht Schule, Montessorivolksschule in Aufkirchen, 8. Europäische Passivhaustagung, Tagungsband, Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems 2004.
- [VDI 2067] VDI 2067, Blatt 1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung, Verein deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin, September 2000.
- [VDI 3807-4] VDI 3807 Blatt 4, Energieverbrauchskennwerte für Gebäude - Teilkennwerte Strom, Verein deutscher Ingenieure, Beuth Verlag, Berlin, 12-2006.
- [Voss 2002] Voss, K.: SolarBau MONITOR, Stammdaten und Betriebsergebnisse, Freiburg, ISE, November 2003.
- [Wolf 1986] G. Wolf, Langzeitbewährung von Styropor, Gutachten über 31 Jahre Styropor im Flachdach, Gutachten Nr. 411/86, vom 07.11.1986, Gutachten im Auftrag des Industrieverbands Hartschaum e.V., Heidelberg.
- [Voss 2005] Voss, Karsten; Löhnert, Günter; Herkel, Sebastian; Wagner, Andreas; Wambsganß, Mathias (Hrsg.): Bürogebäude mit Zukunft, TÜV-Verlag, Köln 2005.
- [Zimmermann 1999] Zimmermann, Mark: Handbuch der passiven Kühlung, EMPA ZEN, Dübendorf, 1999.
- [Zweifel 1996] Zweifel, G., Tscherry, J., Krüttli HP: Energieeinsparung durch adiabatische Kühlung, 8. Schweiz. Status Seminar 1994 „Energieforschung im Hochbau“.

Für die Unterstützung mit Planunterlagen wird den folgenden Firmen gedankt: FAAG TECHNIK GmbH, Frankfurt/Main; Architekturbüro Vallentin, Dorfen; Wernst Immobilien GmbH, Hamburg.