



Wirtschaftlichkeit von wärmedämmenden Maßnahmen -

Kritische Bewertung von unterschiedlichen Methoden und Einflussfaktoren

Prof.-Dr. Ing. Andreas H. Holm
Dipl.-Ing. (FH) Christine Mayer
Dipl.-Ing. Christoph Sprengard

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrag des Gesamtverband
Dämmstoffindustrie (GDI) – Berlin



FIW München

Bericht D3-40/14

FIW Bericht D3-40/14

Wirtschaftlichkeit von wärmedämmenden Maßnahmen -

Kritische Bewertung von unterschiedlichen Methoden und Einflussfaktoren

Prof.-Dr. Ing. Andreas H. Holm
Dipl.-Ing. (FH) Christine Mayer
Dipl.-Ing. Christoph Sprengard

Die Untersuchungen wurden zum Teil durchgeführt im Auftrag des Gesamtverband Dämmstoffindustrie (GDI) – Berlin

Der Bericht umfasst
86 Seiten mit
38 Abbildungen
22 Tabellen

Gräfelfing, den 4. Dezember
2014

Institutsleiter

Abteilungsleiter

Bearbeiter

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm

Dipl.-Ing. Christoph Sprengard

Dipl.-Ing. (FH) Christine Mayer



Titel: Wirtschaftlichkeit von wärmedämmenden Maßnahmen -
Kritische Bewertung von unterschiedlichen Methoden und
Einflussfaktoren

Teilweise gefördert durch: Gesamtverband Dämmstoffindustrie (GDI)

Bericht Nr.: D3-40/14

Ausstellungsdatum: 4. Dezember 2014

Seiten: 86

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing

T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
www.fiw-muenchen.de

1	EINLEITUNG	7
2	POTENTIAL DER ENERGIEEINSPARUNG DURCH WÄRMEDÄMMUNG IM GEBÄUDEBESTAND IN DEUTSCHLAND	9
2.1	Energieverbrauch	9
2.2	Energieträger	13
2.3	Potential des Gebäudebestands	14
2.4	Bauteilbezogene Abschätzung des Einsparpotentials	19
3	ENERGIEPREIS- UND ZINSENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND	22
3.1	Energiepreisentwicklung	22
3.2	Realzinsentwicklung	23
3.3	Nutzungsdauer	24
4	MEHRKOSTEN-NUTZUNGSVERHÄLTNIS FÜR WÄRMEDÄMMENDE MAßNAHMEN	26
	Investitionskosten: Sowieso-Kosten und energiebedingte Kosten	26
4.1	Definition und Ermittlung des Mehrkosten-Nutzungsverhältnis (MNV)	27
	Ermittlung der Heizenergieeinsparungen	27
4.2	Beispiel: Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem	30
	Kostenfunktion des BMVBS	30
	BKI - Baukostenindex	32
	Anteil energiebedingter Mehrkosten an Gesamtkosten	34
	Abhängigkeit des MNV vom energetischen Zustand im Bestand	34
	Abhängigkeit des MNV vom energetischen Zustand nach Sanierung	35
5	ERMITTLUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT ENERGETISCHER MAßNAHMEN	38
5.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	38
	Methode I: statische Amortisationsrechnung	38
	Methode II: dynamische Amortisationsrechnung (ohne Energiepreissteigerung)	39
	Methode III: dynamische Amortisationsrechnung (mit Energiepreissteigerung)	39
	Methode IV: Kapitalwert und Annuitätenmethode	40
	Methode V: interner Zinsfuß	41
5.2	Einfluss der gewählten Kalkulationsmethode	41
5.3	Einfluss des Energiepreises und dessen Preissteigerung auf den Wiedererwirtschaftungszeitraum	42

5.4	Beispiel: Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem	44
	Wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz	44
	Einfluss der Investitionskosten	46
	Einfluss des Standortes	46
	Einfluss der Nutzungsdauer	47
5.5	Sensitivitätsanalyse	48
	Differentielle Sensitivitätsanalyse	49
	Monte Carlo Analyse (MCA) oder wahrscheinlichkeitgestützte Analyse	50
6	WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG EINZELNER DÄMMMAßNAHMEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG UNTERSCHIEDLICHER SZENARIEN	52
6.1	Vorgehen	52
6.2	Randbedingungen	52
6.3	Kosten	53
6.4	Untersuchte Szenarien	54
6.5	Ergebnisse im Vergleich	58
	Außenwand	59
	Steildach	60
	Kellerdecke	61
	Oberste Geschossdecke	62
7	WIRTSCHAFTLICHKEIT VON GESAMTMAßNAHMEN	63
7.1	Allgemeine Randbedingungen	63
7.2	Einfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979	65
7.3	Mehrfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979	68
8	DIE ENERGIEWENDE IM GEBÄUDEBEREICH: KOSTENSCHÄTZUNG UND WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG AUS GESAMTVOLKSWIRTSCHAFTLICHER SICHT	72
8.1	Auswirkung der Sanierungsquote auf das Erreichen des politischen Ziels	72
8.2	Gesamtkosten der energetischen Sanierung	74
8.3	Einfluss der Sanierungsquote auf die Kosten	75
8.4	Vergleich verschiedener Sanierungsszenarien	76
9	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	80

Zur Aussagekraft von Allgemeingültigen Wirtschaftlichkeitsbewertungen	82
Weiterführende Faktoren und Mehrwerte	84
10 LITERATURVERZEICHNIS	85

1 Einleitung

Das Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi, 2010) sieht einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahre 2050 vor. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, soll der Wärmebedarf von Gebäuden bis 2020 um 20%, und der Primärenergiebedarf bis 2050 um 80% gegenüber 2008 gesenkt werden. Dazu soll die Sanierungsrate von jährlich 1% auf 2% erhöht werden. Die energetische Sanierung des Gebäudebestandes wird in diesem Energiekonzept als „wichtigste Maßnahme um den Verbrauch an fossilen Energieträgern nachhaltig zu mindern und die Abhängigkeit von Energieimporten zu reduzieren“ beschrieben.

Um sich dem Umfang dieser Zielsetzungen bewusst zu werden, muss der Gebäudebestand in Deutschland genauer betrachtet werden. Etwa 70% der insgesamt 18,2 Mio. Wohngebäude in Deutschland wurden vor 1979 (Bigalke, 2012) errichtet. Gemäß einer Untersuchung des IWU (Diefenbach, 2010) liegt der Modernisierungsfortschritt dieser Bestandsgebäude bei ca. 25 – 30 %. Überschlüssig bedeutet dies, dass in Deutschland bei knapp 9 Millionen Altbauten noch keine oder nur geringfügige Verbesserungen des Wärmeschutzes durchgeführt wurden. Zusammenfassend muss man feststellen, dass jedes zweite Wohngebäude in Deutschland über einen unzureichenden Wärmeschutz verfügt.

In diesem Zusammenhang soll der Energieverbrauch der Wohngebäude, welcher knapp 25% des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland ausmacht, betrachtet werden. Hinzu kommen noch 15% welche auf die Nichtwohngebäude entfallen, über dessen Zustände nicht so detaillierte Unterlagen vorhanden sind wie beim Wohnungsbau. Insgesamt ist der Gebäudebestand in Deutschland für rund 40% des gesamten Endenergiebedarfes verantwortlich. Diese Kennwerte machen das Potential und die Notwendigkeit der energetischen Gebäudesanierung deutlich.

Für die Sanierung der Gebäude, und somit für die Umsetzung der zuvor erwähnten geforderten Sanierungsraten, ist letztendlich der Gebäudeeigentümer verantwortlich. Dieser muss entscheiden, wann und in welchem Umfang die Instandsetzungen am Gebäude durchgeführt werden. In den zunehmend negativen Berichterstattungen in den Medien, wird die wirtschaftliche und energetische Sinnhaftigkeit von Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle jedoch angezweifelt.

Bezüglich der Rentabilität für den Gebäudeeigentümer bei der Umsetzung der politischen Zielsetzungen wird im Energiekonzept darauf hingewiesen: „Dies ist nicht zum Nulltarif zu haben, sondern erfordert erhebliche Investitionen, die aber langfristig auch zu einer Kostenersparnis führen“.

Ob wärmedämmende Maßnahmen an der Gebäudehülle wirtschaftlich sinnvoll sind, bzw. mit welcher Genauigkeit eine Aussage dazu, unter Berücksichtigung der gegebenen Unsicherheiten, überhaupt möglich ist, soll im Rahmen dieser Studie behandelt werden. Dazu werden verschiedene Methoden und Ansätze zur Beurteilung der



Wirtschaftlichkeit betrachtet und auf beispielhafte Sanierungsszenarien angewendet. Außerdem wird der Einfluss verschiedener unsteter Parameter, wie Energiepreissteigerung, Finanzierung, Kosten und Nutzungsdauer auf die Wirtschaftlichkeitskennwerte untersucht.



2 Potential der Energieeinsparung durch Wärmedämmung im Gebäudebestand in Deutschland

Die Begriffe „Klimawandel“ und „Energie“ beherrschen seit Jahren die Medienberichterstattung. Die Dringlichkeit für Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgas-Emissionen und die unangenehme Abhängigkeit von Energielieferanten ist zu einem prioritären Thema geworden. Die oft von Medien und Politik in den Vordergrund gestellte Maßnahme der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien sollte immer in Verbindung mit Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung gesehen werden. Da die Energie am umweltfreundlichsten ist, die gar nicht erst verbraucht wird, bezeichnet die Bundesregierung die Steigerung der Energieeffizienz als Schlüssel der Energiewende. Zunächst haben Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung eine wesentlich höhere praktische Bedeutung als die ebenfalls notwendige verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien.

Der Gebäudesektor ist für einen bedeutenden Anteil des Primär- und Endenergieverbrauches verantwortlich. Der Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden kommt somit eine besondere Bedeutung zu. Deshalb ist die energetische Sanierung des Gebäudebestands eine wichtigste Maßnahme, um den Verbrauch an fossilen Energieträgern nachhaltig zu mindern und die Abhängigkeit von Energieimporten zu reduzieren.

2.1 Energieverbrauch

Das Potential zur Energieeinsparung durch Sanierung zeigt sich bei der Betrachtung des Endenergieverbrauches in Deutschland. Der Endenergieverbrauch ist, wie der Primärenergieverbrauch, in den letzten zwei Jahrzehnten, trotz leicht fallender Tendenz, relativ konstant und liegt aktuell bei ca. 2.500 TWh pro Jahr. Dieser verteilt sich, wie in Tabelle 1 und Abbildung 1 dargestellt, auf den Sektoren Industrie, Verkehr, Private Haushalte und GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen).

Tabelle 1: Struktur des Endenergieverbrauchs nach Anwendungssektoren in Deutschland für das Jahr 2012, Quelle: (BMWI, 2014)

Endenergieverbrauch in Deutschland, 2012	TWh	Anteil
Industrie	718,6	28,9 %
Verkehr	710,7	28,6 %
Private Haushalte	674,3	27,0 %
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	373,7	15,5 %
Gesamt	2.477,4	100 %

Endenergieverbrauch in Deutschland 2012 (2.477 TWh)

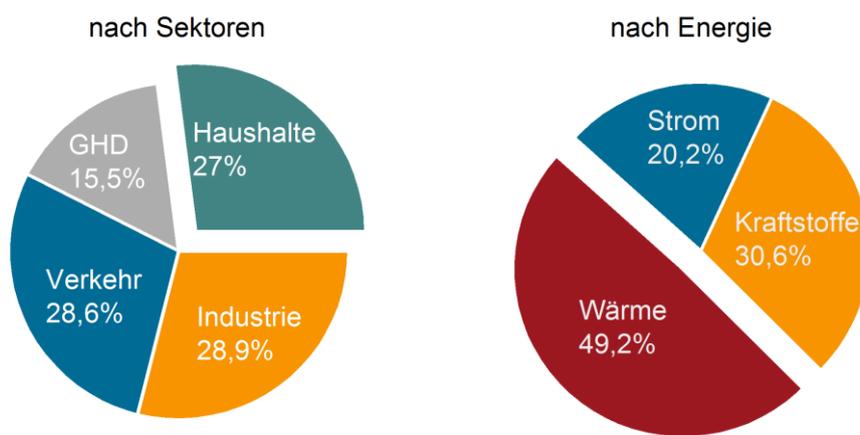


Abbildung 1: Anteil der vier Sektoren am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland 2012 und Anteil der dafür verwendeten Energien, Quelle: (BMWI, 2014)

Zur Ermittlung der Anteile, welcher auf die Gebäude der vier Sektoren entfällt, wurden die Endenergieverbräuche für Raumwärme, Warmwasser, Klimakälte und Beleuchtung genauer betrachtet. Basierend auf den Verbräuchen aus dem Jahr 2012 ergeben sich die Verteilungen, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Der Endenergieanteil für den Betrieb der Gebäude in den vier Sektoren unterscheidet sich stark. So ist er in den Sektoren Industrie und Verkehr mit 11,9%, bzw. 1,1% relativ gering. Dort wird die Energie primär für Prozesse und mechanische Energie aufgewendet. Die Nichtwohngebäude für Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

verbrauchen knapp 70% des Endenergieverbrauches dieses Sektors. Die restlichen 30% werden ebenfalls für Prozesse, mechanische Energie und Informations- und Kommunikationstechnik aufgewendet. Bei den Wohngebäuden liegt der Anteil des Gebäudeenergiebedarfs mit gut 85% am höchsten.

Tabelle 2: Anteile des Endenergieverbrauches der Gebäude pro Sektor, Quelle: (BMWi, 2014)

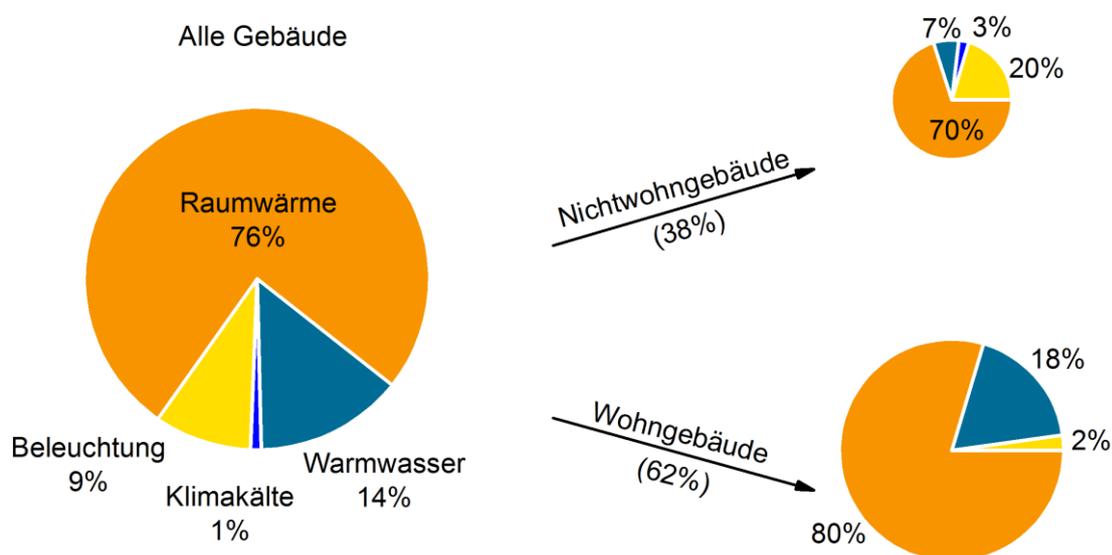
Gebäudetyp	Sektor	Endenergie [TWh]	Anteil an jew. Sektor	Anteil an Gesamtendenergieverbrauch
Nichtwohngebäude	Industrie	85,5	11,9 %	3,5 %
	Verkehr	7,8	1,1 %	0,3 %
	GHD	257,5	68,9 %	10,4 %
Wohngebäude	Private Haushalte	577,2	85,6 %	23,3 %
Gesamt		928,0		37,5 %

Betrachtet man den Endenergieverbrauch für Gebäude der vier Sektoren im Verhältnis zum Gesamtendenergieverbrauch, so kann man erkennen, dass die Sektoren Industrie und Verkehr nur einen äußerst geringen Anteil mit 3,5%, bzw. 0,3 % betragen. Insgesamt liegt der Anteil der Nichtwohngebäude am gesamten Endenergieverbrauch bei knapp 15%. Auf die Wohngebäude in den privaten Haushalten entfallen dagegen über 20% des gesamten Endenergieverbrauches in Deutschland.

Um das Potential der Wärmedämmung von Gebäuden bewerten zu können, muss man den anteiligen Energiebedarf für Raumwärme des in Tabelle 2 dargestellten Endenergieverbrauches der Gebäude genauer betrachten. In Abbildung 2 sind die Verbräuche für Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Klimakälte dargestellt.

Der Anteil der Raumwärme macht bei den Wohngebäuden mit ca. 80%, und bei den Nichtwohngebäuden mit ca. 70 % den größten Anteil am Endenergieverbrauch aus.

Endenergieverbrauch nach Anwendung in Deutschland 2012



Quelle: BMWI 2014

Abbildung 2: Anwendungsbereiche des Endenergieverbrauchs in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden, Quelle: (BMWI, 2014)

Von den in Abbildung 2 dargestellten Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser der Wohngebäude, entfallen ca. 60 % auf Ein- und Zweifamilienhäuser (EZH). Zusammenfassend ergibt sich ein Anteil des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser von knapp 34% des Gesamtenergiebedarfs in Deutschland (Tabelle 3). Der größte Anteil von knapp 15% entfällt dabei auf die Ein- und Zweifamilienhäuser.

Tabelle 3: Anteil Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser am Gesamtenergiebedarf

		Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser [TWh]	Anteil am Gesamtendenergieverbrauch
Nichtwohngebäude	Industrie	69,7	2,8 %
	Verkehr	3,6	0,1 %
	GHD	197,3	8,0 %
Wohngebäude	EFH/ZFH	355,6	14,4 %
	MFH	208,2	8,4 %
Gesamt		835,0	33,7 %

2.2 Energieträger

Um nicht nur den Heizwärmeverbrauch, sondern auch den Primärenergieverbrauch im Gebäudesektor zu senken, ist die Wahl des Energieträgers zur Erzeugung der Raumwärme entscheidend.

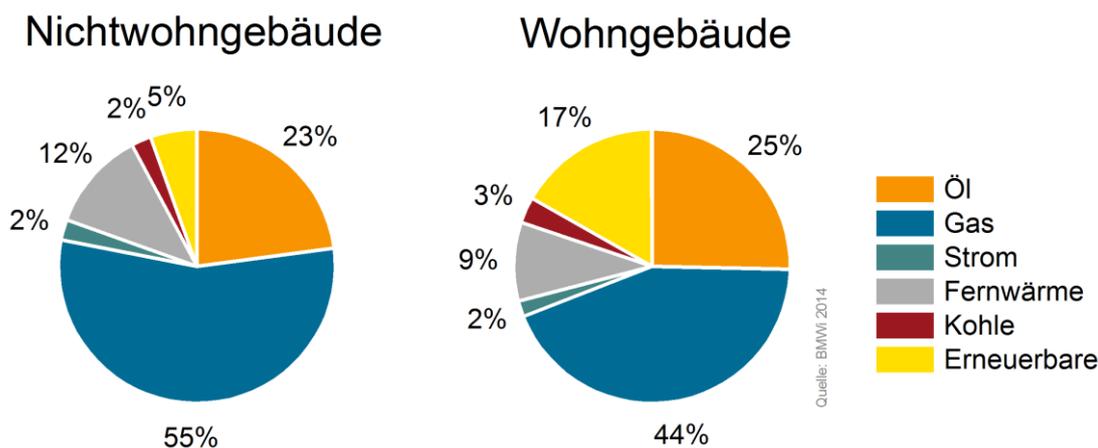


Abbildung 3: Anteil der Energieträger zur Bereitstellung des Energiebedarfs für Raumwärme in Wohn- und Nichtwohngebäuden, Quelle: (BMWi, 2014)

Wie in Abbildung 3 zu erkennen, ist aktuell der Anteil an erneuerbaren Energien zur Deckung des Heizwärmebedarfes vor allem bei den Nichtwohngebäuden (beispielhaft am Sektor GHD) mit ca. 5% noch sehr gering. Der größte Anteil zur Erzeugung

der Raumwärme wird durch die fossilen Energieträger Öl, Gas und Kohle gedeckt. Bei den Nichtwohngebäuden liegt dieser insgesamt bei über 80%. Bei den Wohngebäuden bei immerhin 70%.

Dies zeigt, dass zur Erreichung der energetischen Einsparziele der Bundesregierung zum einen der Heizwärmebedarf der Gebäude reduziert, und zum anderen der Anteil Erneuerbarer Energien zur Erzeugung der Raumwärme und des Warmwassers erhöht werden muss.

2.3 Potential des Gebäudebestands

Der Wohngebäudebestand in Deutschland beträgt derzeit ca. 18 Millionen Gebäude. Davon entfallen 84 % auf Ein- und Zweifamilienhäuser und 16 % auf Mehrfamilienhäuser. Die Altersstruktur der Gebäude in Deutschland zeigt die Abbildung 5. Aufgetragen ist die Verteilung der Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) auf die Baualtersklassen. Es ist zu erkennen, dass der überwiegende Anteil der Gebäude im Bestand EFH sind. Der Anteil an MFH nimmt mit jünger werdenden Baualtersklassen tendenziell ab. Dies lässt sich mit dem Abbau sozialer Wohnungsbauprogramme ab Beginn der 80er Jahre erklären, mit denen zuvor ein Großteil des Mehrfamilienhausbaus finanziert wurde.

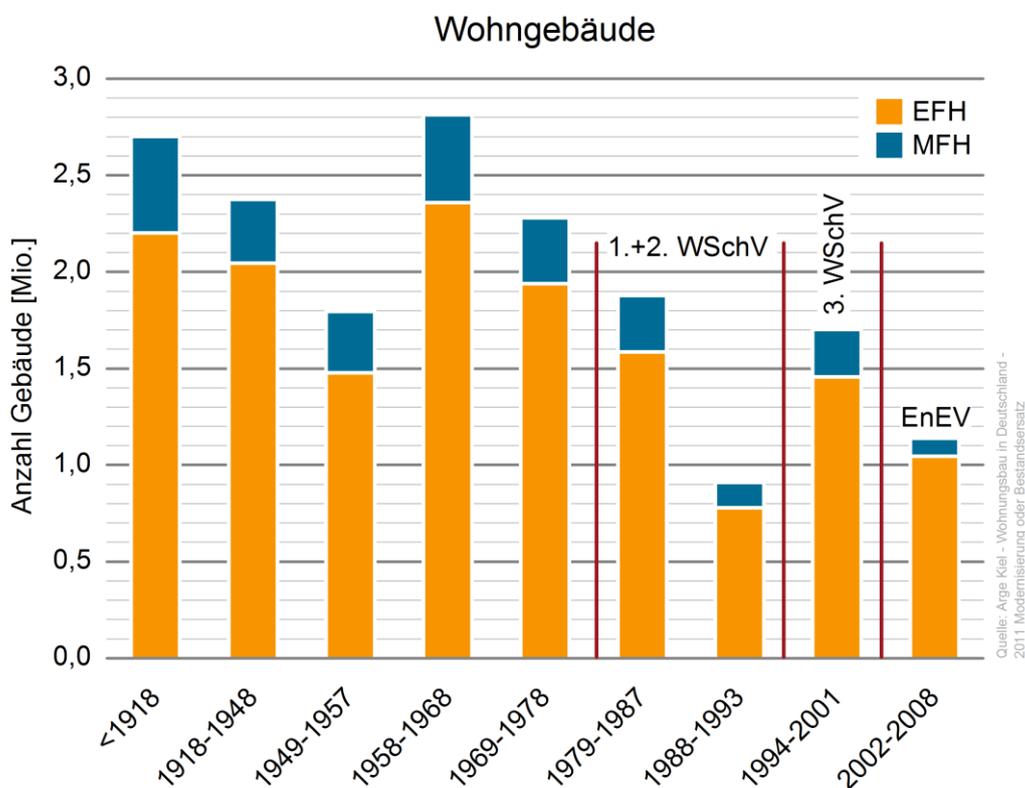


Abbildung 4: Zahlenmäßige Verteilung der Wohngebäude nach Baualtersklassen, Quelle: (Walberg, 2011)

Abbildung 5 zeigt, in Ergänzung zu Abbildung 4, den Sanierungszustand innerhalb der Gebäudealtersklassen. Die bereits durchgeführten Sanierungsmaßnahmen werden unterschieden in die Kategorien „mittel/größtenteils modernisiert“, „teils modernisiert“ und „nicht modernisiert“. Auch wenn in den älteren Gebäudealtersklassen insgesamt bereits viele Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, so entfallen die meisten Maßnahmen hier auf die Kategorie „teils modernisiert“. In der zugrunde liegenden Studie (Walberg, 2011) sind die Kategorien zu den Modernisierungszuständen wie folgt definiert:

- „Nicht modernisiert: Seit der Erbauung gab es keine wesentlichen Modernisierungen, [...]“
- „(Teils) modernisiert: An wesentlichen Bauteilen oder Komponenten wurden teilweise Modernisierungen durchgeführt, [...]“
- „Mittel/größtenteils modernisiert: An wesentlichen Bauteilen oder Komponenten wurden größtenteils Modernisierungen durchgeführt, [...]“

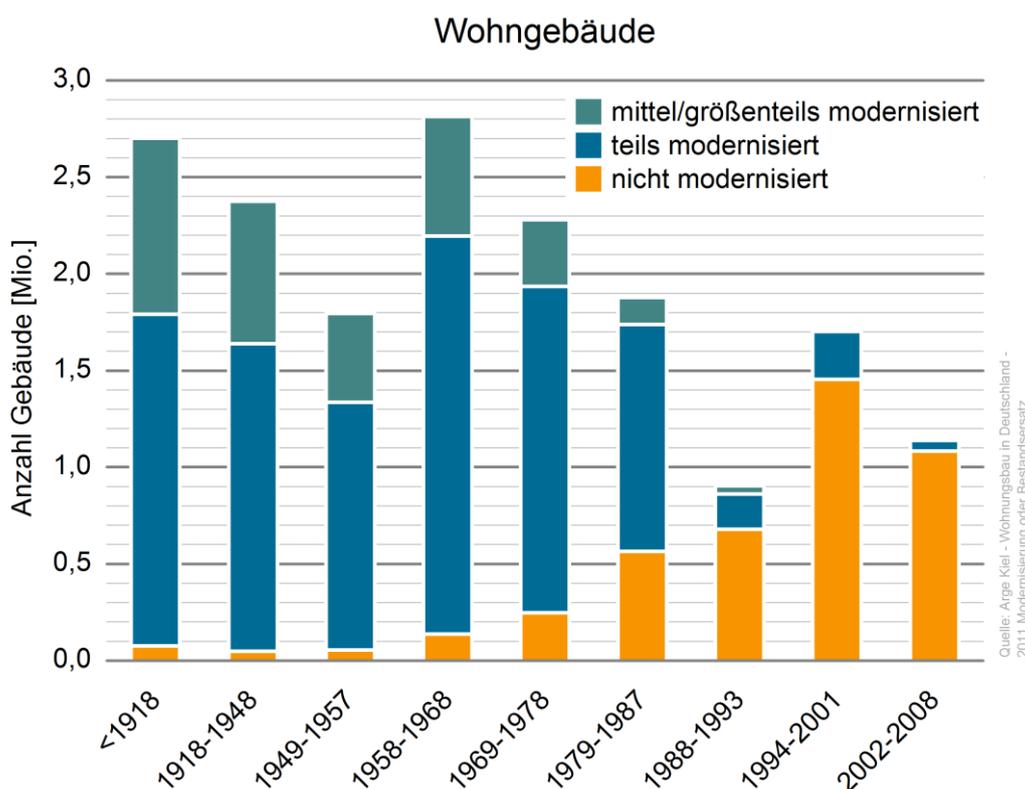


Abbildung 5: Anzahl der Gebäude in Deutschland, unterteilt nach Baualtersklassen und derzeitigem Sanierungszustand, Quelle: (Walberg, 2011)

Eine genauere Betrachtung der Sanierungszustände zeigt, dass bei den Baualtersklassen vor 1969 der Anteil an nicht modernisierten Gebäuden sehr gering ist und ab der Baualtersklasse 1979 – 1987 deutlich ansteigt. Dieser Umstand ist nicht überraschend, geht man davon aus, dass in den jüngeren Baualtersklassen bereits beim Bau ein deutlich höherer energetischer Standard umgesetzt wurde. Im Gegenlauf hierzu wird der Anteil der Kategorie „mittel/größtenteils modernisiert“ in Rich-

tung der jüngeren Baualtersklassen immer geringer und fällt schließlich in den Baualtersklassen ab 1994 komplett weg.

Die meisten der realisierten Modernisierungsmaßnahmen fallen in die Kategorie „teils modernisiert“ in den Baualtersklassen bis 1987. Dieser Modernisierungszustand wird in der zuvor zitierten Studie durch „...maximal zwei Maßnahmen an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1977/1984 bzw. maximal eine Maßnahme an der Gebäudehülle und/oder der Anlagentechnik im Standard nach WSchV 1995.“ charakterisiert.

Die energetische Qualität der Gebäude hat seit der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 deutlich zugenommen und ist inzwischen etwa viermal bis fünfmal besser als jene von Vorkriegsalthbauten. In Tabelle 4 sind die U-Werte der verschiedenen Wärmeschutzverordnungen dargestellt. Über die aktuellen Anforderungen der EnEV 2014 hinaus, sind zusätzlich Angaben zum Erreichen eines Niedrigenergiehauses (NEH) sowie zum technisch möglichen Potential aufgeführt.

Tabelle 4: Verschärfung der energetischen Anforderungen an die Wärmedämmung (U-Wert) in [W/(m²K)] für einzelne Bauteile

Bauteil	Altbau	WSchV 84	WSchV 95	EnEV 2002	EnEV 2014		NEH	Potential
					Referenzgebäude	Sanierung		
Außenwand	1,4	0,6	0,5 / 0,4 ²⁾	0,45 / 0,35 ²⁾	0,28	0,24	0,18	0,1
Fenster	5,2	¹⁾	1,8	1,7	1,3	1,3	0,95	0,65
Dach	1,0	0,45	0,3	0,25	0,20	0,24	0,18	0,1
Kellerdecke	0,8	0,70	0,5	0,4	0,35	0,3	0,2	0,2

¹⁾ Doppel- oder Isolierverglasung

²⁾ bei Erneuerungsmaßnahmen mit Außendämmung

Fasst man die Baualtersklassen entsprechend den wichtigsten Novellierungen der Wärmeschutzverordnung bzw. der Energieeinsparverordnung zusammen, so ergibt sich eine Verteilung der Modernisierungszustände auf die Baujahre „vor WSchV 1977“, „vor WSchV 1995“ und „vor EnEV 2002“ entsprechend Abbildung 6. Dabei sind jeweils die älteren Modernisierungszustände mit eingeschlossen, das bedeutet dass in der Verteilung „vor WSchV 1995“ die Anteile „vor WSchV 1977 mit eingeschlossen ist. Die Anteile „vor EnEV 2002“ ergeben insgesamt knapp 95% des gesamten Wohngebäudebestandes in Deutschland. Das bedeutet, dass rund 5% aller Wohngebäude nach dem Energetischen Niveau nach EnEV 2002 errichtet wurden.

Erkennbar ist, dass der Anteil der gering- und größtenteils modernisierten Gebäude in den drei gebildeten Klassen nahezu konstant ist. Lediglich der Anteil an nicht modernisierten Gebäuden nimmt bei den jüngeren Baujahren zu. Vergleicht man die Gebäudebestandsverteilung mit dem entsprechenden energetischen Zustand der Gebäude, so stellt man fest, dass über 80 % der Gebäude vor der Einführung der Wärmeschutzverordnung von 1995 gebaut wurden. Berücksichtigt man nur die Gebäude, die gering bzw. nicht modernisiert sind, bedeutet das, dass derzeit 65 % der Gebäude in Deutschland sanierungsbedürftig sind.

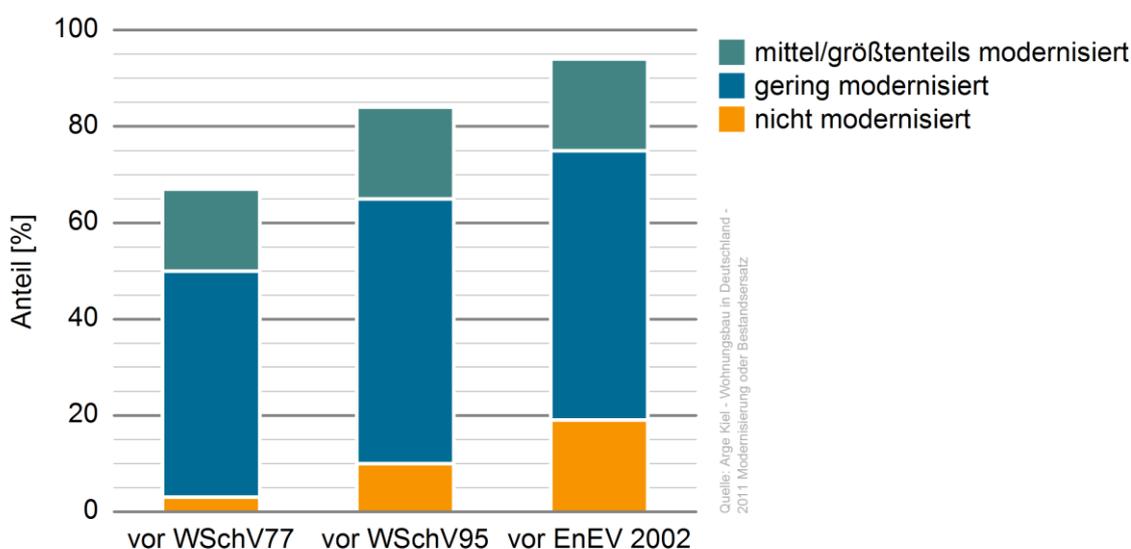


Abbildung 6: Gesamtzustand der Gebäude in Deutschland seit der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung – gering modernisierte Gebäude sind in der Mehrzahl – der Anteil der größtenteils modernisierten Gebäude ist nahezu konstant

Allgemein gültige Aussagen über den derzeitigen energetischen Zustand der Gebäudehülle für den deutschen Wohngebäudebestand zu treffen ist schwierig. Die Angaben diesbezüglich schwanken stark. Dabei ist zu beachten, dass Investitionen für eine Sanierung meistens im bewohnten Zustand und damit Schritt für Schritt und bauteilbezogen und nur in seltenen Fällen gesamthaft vorgenommen werden.

Die umfangreichste Studie hierzu hat die ARGE Kiel (Walberg, 2011) durchgeführt. Dabei wurden im Vorfeld unterschiedliche energetische Standards festgelegt, denen die verschiedenen Ausführungen zugeordnet wurden. Die verwendeten energetischen Standards orientieren sich an der Entwicklung von energetischen Anforderungen an Wohngebäude und wurden auf Grund ihrer Eindeutigkeit über die Standards von Wärmeschutzverordnungen definiert. Die folgenden drei energetischen Standards fanden im Rahmen dieser Ermittlung Anwendung:

- Standard vor Wärmeschutzverordnung 1977 (vor WSchV 1977)
- Standard nach Wärmeschutzverordnung 1977/1984 (nach WSchV 1977/1984)
- Standard nach Wärmeschutzverordnung 1995 (nach WSchV 1995)

Hier werden nur die wesentlichen Bauteile der Gebäudehülle (Außenwände, Dach/oberste Geschossdecke, Kellerdecke/Sohle) dargestellt. Daten über den Zustand der Fenster und der Anlagentechnik liegen in der Studie ebenfalls vor. Für Klassen "von 1994 bis 2001" und "von 2002 bis 2008" sind keine Daten vorhanden. Man kann davon ausgehen, dass auf Grund des noch nicht allzu weit zurückliegenden Baujahres der Gebäude ein relativ guter Energiestandard vorliegt.

In Tabelle 5 sind die Anteile der gedämmten Bauteilflächen in % an der jeweils insgesamt vorhandenen Bauteilfläche entsprechend den Angaben des BMVBS (BMVBS, 2012) zusammengefasst. Der Anteil gedämmter Außenwandflächen liegt bei Ein- und Zweifamilienhäusern bei ca. 35 %. Der überwiegende Teil der Gebäudealtersklassen vor 1979 zeigt einen energetischen Standard auf einem Niveau vor der Wärmeschutzverordnung 1977 (Loga, 2011). Sanierungen die einen besseren energetischen Standard aufweisen sind in diesen Altersklassen selten. Die Gebäudealtersklassen ab 1979 haben zwar größtenteils einen Standard welcher der Wärmeschutzverordnung nach 1977 oder 1984 entspricht, Modernisierungen die eine bessere energetische Effizienz erreichen sind in diesen Gebäudealtersklassen aber ebenfalls selten.

Die Dämmung der oberen Geschossdecke oder des Daches der älteren deutschen Wohngebäude ist mit über 60% bei den Wohngebäuden bis Baujahr 1978 bereits weit fortgeschritten. Insgesamt sind fast zwei Drittel aller Dachflächen gedämmt, jedoch nicht unbedingt auf einen heutzutage sinnvollen energetischen Standard. Diese hohe Quote ist überwiegend durch die nachträgliche Dämmung erreicht worden. Die Dämmung der Gebäude nach unten, zur Bodenplatte oder der Kellerdecke, ist erst bei knapp einem Fünftel (20 %) der älteren Wohngebäude durchgeführt worden. Wie bei der Dämmung der obersten Geschossdecke bzw. des Daches, ist die Dämmquote nur in den jüngeren Altbauten (Baujahr 1969-1878) erhöht, was wiederum mit der bereits bei der Errichtung eingebrachten Dämmung begründet werden kann.

Tabelle 5: Zusammenstellung der prozentualen Anteile der gedämmten Bauteilfläche an der jeweiligen gesamten Bauteilfläche

	Anteil der gedämmten Bauteilflächen in % an der gesamten Bauteilfläche		
	Außenwand	Dach / Obergeschoßdecke	Fußboden / Kellerdecke
Altbau mit Baujahr bis 1978	27,8	61,9	19,9
Baujahr 1979 - 2004	49,7	88,9	59,2
Neubau ab 2005	64,0	98,2	85,3
Insgesamt	35,8	71,2	33,8

Tabelle 6 zeigt aufgrund der oben beschriebene Datengrundlage die aufsummierten Gesamtflächen für die Bauteile Dach bzw. oberste Geschoßdecke, Wand, Fenster und Keller bzw. unterer Gebäudeabschluss. Ausgehend von der Annahme, dass all jene Bauteile, welchen einen energetischen Zustand auf dem Niveau der WSchV 84 oder älter besitzen, als sanierungsbedürftig eingestuft werden, stehen insgesamt auf Basis dieser Daten in den nächsten Jahren knapp 2 Mrd. m² Dach und 2,5 Mrd. m² Fassadenfläche im Wohngebäudebestand zur Sanierung an.

Tabelle 6: Zusammenstellung der geschätzten Flächen der Gebäudehülle für den gesamten Gebäudebestand in Deutschland

Bauteil	Gesamtfläche	Energetischer Zustand		
		vor WSchV 1977-	nach WSchV 1977/1984	nach WSchV 1995
		Mrd. m ²	Mrd. m ²	Mrd. m ²
Dach bzw. oberste Geschoßdecke	2,43	0,91	1,15	0,36
Wand	3,49	2,49	0,72	0,28
Fenster	0,78	0,49	0,19	0,10
Keller bzw. oberer Gebäudeabschluss	2,08	0,53	0,83	0,72

2.4 Bauteilbezogene Abschätzung des Einsparpotentials

Aus der detaillierten Aufschlüsselung des Gebäudebestands auf Basis der Daten aus (Loga, 2011) und (Walberg, 2011) werden im folgenden Kapitel Abschätzungen zum Energieeinsparpotential durch die energetische Sanierung vorgenommen. Dabei werden unterschiedliche Sanierungsszenarien verglichen und die Ergebnisse nach Einzelmaßnahmen an Baualterklassen oder an bestimmten Bauteilen aufgeschlüsselt.

Die möglichen Einsparpotentiale wurden bauteilspezifisch und für unterschiedliche Niveaus der Sanierung, entsprechend dem Standard der EnEV 2014, eines Niedrigenergiehauses (NEH) und einem ambitionierten Standard, der das aktuell erreichbare energetische Optimum darstellen soll (Potential), berechnet. Die dazu angesetzten U-Werte der Bauteile wurden bereits in Tabelle 4 dargestellt.

Betrachtet werden jeweils Maßnahmen am Wohngebäudebestand bis einschließlich der GAK 1993. Dabei werden zwei unterschiedliche Sanierungsszenarien aufgestellt und miteinander verglichen.

Szenario 1: Sanierung der Bauteile mit einem Zustand „vor WSchV 77“ und „WSchV 77/84“ in den GAK bis 1993

Szenario 2: Sanierung der Bauteile mit einem Zustand „vor WSchV 77“ in den GAK bis 1993

Tabelle 7: Anteil der Energieeinsparung bestimmter Bauteile in den GAK bis 1993 bei einer Sanierung entsprechend Szenario 1 und Szenario 2 bezogen auf den Gesamtenergiebedarf (Ist-Zustand) aller WG in den GAK bis 1993

Gebäudetyp	Bauteil	%Einsparung der Bauteile bezogen auf den Gesamtenergiebedarf aller Wohngebäude in den GAK bis 1993 bei Sanierung entsprechend ...					
		Szenario 1 auf			Szenario 2 auf		
		...EnEV 09	...NEH	...Potential	...EnEV 09	...NEH	...Potential
EFH	<i>Dach/ob.GeDe</i>	5,56	6,54	7,85	4,51	4,92	5,47
	<i>Wand</i>	20,5	21,7	23,4	18,8	19,7	21,0
	<i>Fenster</i>	4,75	6,21	7,46	2,68	3,10	3,47
	<i>U.Geb.abschl.</i>	1,45	1,79	1,79	0,80	0,88	0,88
	Summe	32,2	36,3	40,5	26,8	28,6	30,8
MFH	<i>Dach/ob.GeDe</i>	3,49	4,04	4,78	2,97	3,24	3,60
	<i>Wand</i>	18,5	19,7	21,2	17,0	17,9	19,1
	<i>Fenster</i>	4,71	6,20	7,47	2,55	2,95	3,30
	<i>U.Geb.abschl.</i>	4,54	5,05	5,05	4,37	4,80	4,80
	Summe	31,3	35,0	38,5	26,9	28,9	30,8
Summe	<i>Dach/ob.GeDe</i>	9,05	10,6	12,6	7,49	8,17	9,07
	<i>Wand</i>	39,0	41,4	44,6	35,8	37,7	40,1
	<i>Fenster</i>	9,46	12,4	14,9	5,22	6,06	6,77
	<i>U.Geb.abschl.</i>	5,99	6,84	6,84	5,17	5,68	5,68
	Summe	63,5	71,3	79,0	53,7	57,6	61,7

Tabelle 7 zeigt das energetische Verbesserungspotential der einzelnen Bauteile bei einer Sanierung aller Wohngebäude in den Gebäudealtersklassen (GAK) bis 1993 bei einer Sanierung entsprechend dem Sanierungsszenario 1 und 2. Die dargestellten Prozentzahlen drücken das Verhältnis der Differenz des Energieverlustes über ein bestimmtes Bauteil vor und nach der Sanierung auf ein bestimmtes energetisches Niveau bezogen auf den Gesamtenergiebedarf für Raumwärme aller Wohngebäude in der GAK bis 1993, aus. Bei einer Sanierung entsprechend Szenario 2 (rechter Teil der Tabelle) sind die erzielbaren Einsparungen insgesamt geringer, weil hier nur die Bauteile mit einem Zustand vor der WSchV 77 saniert werden.

Praktisch alle Bauteile weisen aus energetischer Sicht lohnenswerte Verbesserungspotentiale auf. Die in den GAK bis 1993 ermittelten, bauteilbezogenen, prozentualen Einsparungen sind je nach der Verteilung des energetischen Ausgangszustands und des gewählten Sanierungsszenarios, also dem zur Sanierung angesetzten Bestandsausschnitt, unterschiedlich. Es zeigt sich, dass in Summe bei den Gebäudetypen EFH und MFH jeweils ähnliche Einsparpotentiale zu realisieren sind. Bezogen auf den Gesamtenergiebedarf der Wohngebäude in den GAK bis 1993 liegen die größten Verbesserungspotentiale im Bereich der Wand, gefolgt von Dach/oberster Decke und Kellerdecke. Insgesamt können durch eine Sanierung der Bauteile mit einem energetischen Zustand „vor WSchV 77“ und „WSchV 77/84“ in den GAK bis 1993 (Sanierungsszenario 1) auf den Standard der EnEV 2014, ca. 64 % des Gesamtenergiebedarfs für Raumwärme eingespart werden. Durch die Anwendung höherer Sanierungsstandards (NEH, Potential) erhöhen sich auch die erzielbaren Einsparungen auf ca. 70 – 80 % - jeweils bezogen auf den betrachteten Bestandsausschnitt.

3 Energiepreis- und Zinsentwicklung in Deutschland

3.1 Energiepreisentwicklung

Neben der Erfüllung der energetischen Einsparziele, werden durch Sanierungsmaßnahmen und Senkung des Heizwärmebedarfs die Energiekosten für die Gebäudenutzer und Bewohner gesenkt. Um diese über den gesamten Lebenszyklus der Dämmmaßnahme zu berücksichtigen, ist die Betrachtung der Energiepreisentwicklung von großer Bedeutung. Mit Hilfe von Abschätzungen und Annahmen zur jährlichen Energiepreissteigerung können die Energieeinsparungen dann in Kosteneinsparungen umgerechnet werden. Zu beachten ist, dass die sehr langen Betrachtungszeiträume hier eine große Unsicherheit bezüglich der Energiepreisentwicklungen mit sich bringen.

In Abbildung 7 sind die jährlichen Ausgaben eines privaten Haushaltes in Deutschland für Energie für den Zeitraum 1996 bis 2012 (BMWl, 2014) abgebildet. Der Verlauf zeigt einen deutlichen Aufwärtstrend. Vergleicht man die aktuellsten Energiekosten für Raumwärme aus dem Jahr 2012 mit denen aus 1996, so ist eine Preissteigerung von knapp 50% zu erkennen.

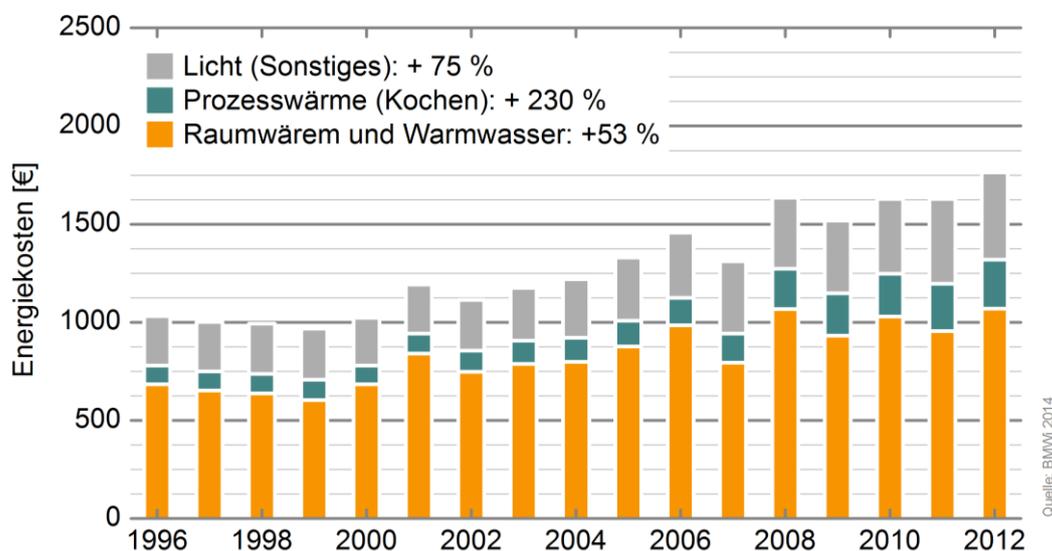


Abbildung 7: Entwicklung der Energiekosten eines privaten Haushaltes in Deutschland, Quelle: (BMWl, 2014)

Diese signifikante Kostensteigerung ist auf die steigenden Preise für Energie zurückzuführen. In Abbildung 8 sind die Verbraucherpreise der Haushalte für eine Kilowattstunde Energie seit 1990 aufgetragen. In dieser Zeit haben sich die Preise für Strom und Erdgas mehr als verdoppelt, für Heizöl sogar verdreifacht.

Betrachtet man den Verlauf der Preissteigerung, so fällt auf, dass die Verbraucherpreise bis zum Jahr 2000 relativ stabil waren. Erst dann begann eine relativ konstante und deutliche Erhöhung der Energiepreise.

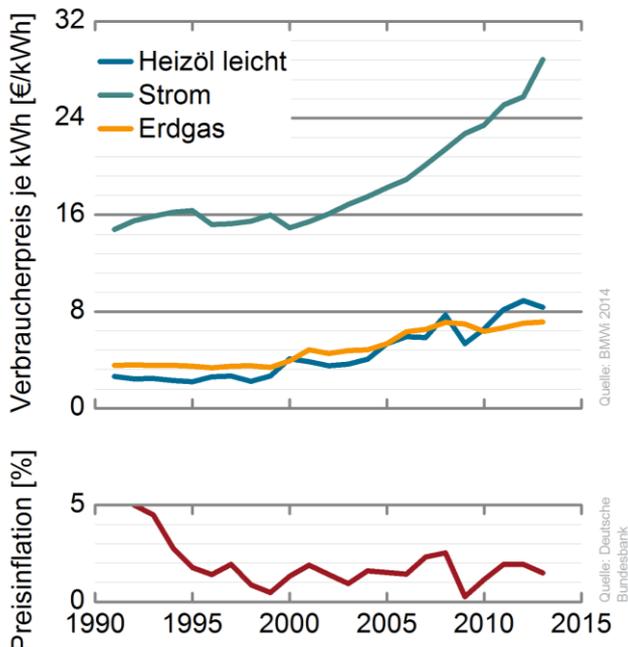


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Verbraucherpreise privater Haushalte für Energie (Quelle: (BMWI, 2014)) im Vergleich zur Entwicklung des Verbraucherindex im selben Zeitraum (Quelle: Deutsche Bundesbank)

3.2 Realzinsentwicklung

Wie in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, sind große Investitionen zur energetischen Sanierung der Bestandsgebäude durch die Hausbesitzer notwendig. In diesem Zuge ist die Betrachtung der zu erwartenden Zinserträge einer alternativen Anlage auf der Bank zu betrachten. Diese kann mit Hilfe von Umlaufrenditen betrachtet werden.

Die Umlaufrendite ist die durchschnittliche Rendite aller im Umlauf befindlichen, inländischen festverzinslichen Bundeswertpapiere mit einer Laufzeit von mindestens 3 und maximal 30 Jahren. Ein dafür immer wieder verwendetes Konzept ist der sogenannte Realzins. Hierbei wird eine Inflationsrate von dem nominalen Zins abgezogen, um eine inflationsbereinigte Bewertung zu ermöglichen. Wie stark der realisierte Realzins schwanken kann, lässt sich besonders gut an der zeitlichen Entwicklung des Realzinses zeigen. Für diesen Zins sind langfristige Zeitreihen verfügbar, an denen sehr schön die Zinszyklen mit Auf- und Abschwungphasen zu sehen sind, welche in Abbildung 9 dargestellt sind. 2008 rutschen mit der Finanzkrise die Realzinsen in Deutschland auf ein Niveau unter 2 Prozent pro Jahr. Seit einigen Monaten liegen sie sogar im negativen Bereich.

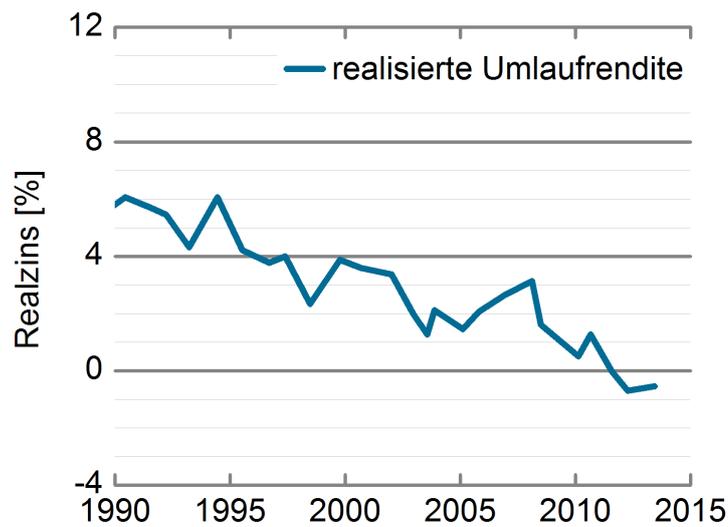


Abbildung 9: Zeitliche Entwicklung der realisierten Umlaufrendite.

3.3 Nutzungsdauer

Aussagen zur Entwicklung der Energiepreise und Zinssätze werden mit zunehmenden Zeiträumen immer unsicherer. Die üblichen Lebensdauer bzw. Sanierungszyklen liegt mit ca. 30 bis 60 Jahren (Tabelle 8), deutlich über der typischen Laufzeit von Hypothekendarlehen von 10 bis 20 Jahren. Aus der langjährigen Erfahrung mit Dämmstoffen wird generell von einer hohen Lebensdauer ausgegangen. Gutachten bestätigen dass bei ordnungsgemäß verlegten Dämmstoffen auch nach mehreren Jahren (mehr als 20 Jahren) keine messbaren Änderungen vorliegen. Für gebräuchliche Dämmstoffe werden in der Normung und bei der Erteilung einer europäisch technischen Zulassung Lebensdauern von 50 Jahren angesetzt.

Tabelle 8: Nutzungsdauer von Dämmmaßnahmen an bestimmten Bauteilen nach (Fouad, 2010) und eigenen Abschätzungen

Bauteil	Bereich [a]	Durchschnitt [a]
Wärmedämmung (im Flachdach/Warmdach)	30-60	45
Steildach	40-60	50
Umkehrdach	40-60	50
Decke, Fußboden	30-100	65
Außenwand hinter Bekleidung	30-60	45
Wärmedämmverbundsystem	30-50	40
Kerndämmung	30-60	45
Unter der tragenden Gründungsplatte	50-100	75
Perimeterdämmung	30-100	65
Technische Gebäudeausrüstung	5-25	15



4 Mehrkosten-Nutzungsverhältnis für wärmedämmende Maßnahmen

Energiesparende Maßnahmen kosten Geld. Kosten werden zum Hindernis für eine energetische Sanierung, wenn den Eigentümern oder Investoren die finanziellen Möglichkeiten zur Umsetzung der Maßnahmen fehlen. Die entscheidende Frage bei allen energiesparenden Maßnahmen lautet, ob sich die im Moment der Bauerstellung oder Sanierung aufzubringen Mehrkosten durch eine Reduzierung der Brennstoffkosten im Laufe des Nutzungszeitraumes des Gebäudes wieder einspielen lässt.

Wie bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen allgemein, so sind auch bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Gebäude die zu berücksichtigenden Kostengruppen zu definieren. Diese bilden die Grundlage für die Berechnung der ökonomischen Kenngröße welche, je nach Kalkulationsmethode, die Wirtschaftlichkeit der energiesparenden Maßnahme beschreibt. So induzieren die anfallenden Investitionskosten im Laufe der Nutzungsdauer ständig anfallende Einnahmen- und Ausgabenströme, die zu einer Amortisation der getätigten Investitionen führen soll.

Als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsbeurteilung einer Investition in eine Dämmmaßnahme, sind die Bau- und Materialkosten eine entscheidende Größe. Diese können, bei konkreten Vorhaben, über das Einholen verschiedener Angebote abgeschätzt werden.

Investitionskosten: Sowieso-Kosten und energiebedingte Kosten

Bei der Kostenbetrachtung einer energetischen Sanierung muss man zwischen den sogenannten Sowieso-Kosten und energiebedingten Kosten unterscheiden. Immer dann, wenn eine „Sowiesomaßnahme“ ansteht, also wenn die Fassade in die Jahre gekommen ist, wenn das Dach einen Schaden hat oder die Fenster ausgetauscht werden müssen, sollte zusammen mit den notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen auch eine energetische Sanierung durchgeführt werden. Man nennt das auch das Koppelungsprinzip. Diese Kosten für die Sanierung werden über die normale Instandsetzung finanziert.

Von den Vollkosten der Sanierung sind die sogenannten „Sowieso-Kosten“ (Kosten für Instandsetzung) abzuziehen, um zu den energiebedingten Mehrkosten als Teilkosten zu gelangen. Ein einfaches Beispiel: Bei verputzten Fassaden sind in der Regel in einen Zeitraum von 30 und 50 Jahren Instandsetzungsarbeiten im größeren Umfang, wie etwa Erneuerung des Außenputzes notwendig. Wenn eine Fassade zur Sanierung ansteht, dann entfallen sowieso Kosten für das Gerüst, für die Malerarbeiten, für den Putz usw. Die Mehrkosten für die Dämmung und die sich daraus ableitenden Nebenarbeiten zählen zu den energiebedingten Mehrkosten. Diese

Mehrkosten können den erzielbaren Einsparungen an Heizenergie gegenüber gestellt werden.

4.1 Definition und Ermittlung des Mehrkosten-Nutzungsverhältnis (MNV)

Eine Erhöhung der Wärmedurchlasswiderstände bzw. ein Herabsetzen des Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile führt in erster Linie zu einer Reduktion des Heizenergieverbrauchs, wodurch die jährlich anfallenden Betriebskosten eines Gebäudes gesenkt werden können. Dieses lässt sich mit dem sogenannten Mehrkosten-Nutzungsverhältnis (MNV) beschreiben. Hierunter versteht man in diesem Zusammenhang das Verhältnis der Mehrkosten infolge eines verbesserten Wärmeschutzes (energiebedingte Mehrkosten) zur jährlichen Heizenergieeinsparung. Das MNV beschreibt also die energiebedingt Kosten pro jährlich eingesparte kWh Heizenergie. Demnach gilt, umso kleiner das MNV, umso effektiver, bzw. wirtschaftlicher ist eine Dämmmaßnahme.

$$MNV = \frac{\text{Mehrkosten für die energetische Maßnahme [€/m}^2\text{]}}{\text{Heizenergieeinsparung } \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}\right]}$$

Ermittlung der Heizenergieeinsparungen

Die zu erwartenden Heizenergie-, und somit Kosteneinsparungen durch eine Sanierungsmaßnahme kann überschlägig mit Hilfe der Gradtagszahl ermittelt werden. Die jährliche Gradtagszahl (GTZ) wird durch Aufsummierung der Temperaturdifferenzen zwischen Außen- und Raumtemperatur ermittelt und wird daher in der Einheit Kelvin Tage [Kd] angegeben. Dabei werden jedoch nur die Tage berücksichtigt, an denen das Tagesmittel der Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt. Die Heizgrenztemperatur wird dabei abhängig vom energetischen Zustand des Gebäudes gewählt. Bei einem energetisch gutem Gebäude (z.B. Passivhaus) wird eine Heizgrenztemperatur von ca. 10° C angenommen. Das bedeutet, dass erst ab einer mittleren Tagestemperatur von unter 10°C geheizt werden muss. Bei einem unsanierten Bestandsgebäude liegt die Heizgrenztemperatur bei 15°C. Um die spezifischen klimatischen Bedingungen einer Region zu berücksichtigen, gibt es regional unterschiedliche Kennwerte für die Gradtagszahl.

Die Gradtagszahl kann durch Multiplikation mit dem Wärmestrom der Gebäudehülle in W/K zur Abschätzung des Transmissionswärmeverlustes eines Gebäudes verwendet werden. Solare und innere Wärmegewinne sind separat zu berücksichtigen, wenn der Heizwärmebedarf berechnet wird.

Im Folgenden werden die zu erwartenden Heizenergieeinsparungen, im Vergleich zum unsanierten Zustand ($U=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) in Abhängigkeit des nach Sanierung erzielten U-Wertes aufgetragen. Um die klimatischen Unterschiede innerhalb Deutsch-

lands und deren Einfluss auf das Einsparpotential darzustellen, werden die Berechnungen mit den in Tabelle 9 dargestellten Gradtagszahlen durchgeführt.

Tabelle 9: Gradtagszahlen für Deutschland im Überblick

	Ort	Jahresmitteltemperatur [°C]	Gradtagszahl G20/15 [Kd]
Minimal- Variante (warmes Klima)	Rheinstetten	10,8	3.213
Maximal- Variante (kaltes Klima)	Fichtelberg	3,4	5.996
Langjähriges Mittel Deutschland			3.546

Zudem wird als Vergleich eine Variante mit dem Heizperiodenverfahren berechnet. Dieses ist definiert mit einer Innentemperatur von 19°C, sowie einer Heizgrenztemperatur von 10°C ($G_{19/10} = 2.900 \text{ Kd}$).

In Abbildung 10 sind die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt. Die Bandbreite der Heizenergieeinsparungen liegt bei einer Sanierung einer Außenwand ($U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) auf EnEV- Niveau ($U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$) zwischen ca. 80 – 170 kWh/m². Die Relevanz bei der Auswahl der Berechnungsmethode, bzw. Wahl der Gradtagszahl für die Abschätzung von Energieeinsparungen wird dabei deutlich. Dies hat natürlich Auswirkung auf das sich ergebende Mehrkosten-Nutzungsverhältnis (MNV). In der Abbildung 11 sind die, für eine nach EnEV sanierte Außenwand in Abhängigkeit der Investitionsmehrkosten resultierenden MNV aufgetragen.

Um die Energie-, und damit auch die Kosteneinsparungen einer Sanierungsmaßnahme nicht zu überbewerten, wird für die nachfolgenden Berechnungen das Heizperiodenverfahren zu Grunde gelegt.

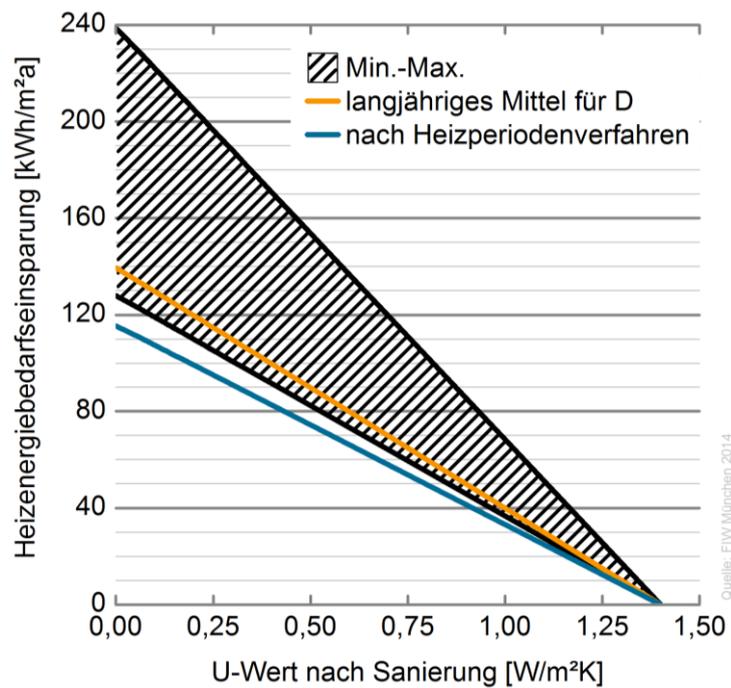


Abbildung 10: Heizenergieeinsparungen in kWh/m²a pro Quadratmeter Bauteil in Abhängigkeit des erzielten U-Wertes. Annahme: U-Wert im Bestand = 1,4 W/m²K

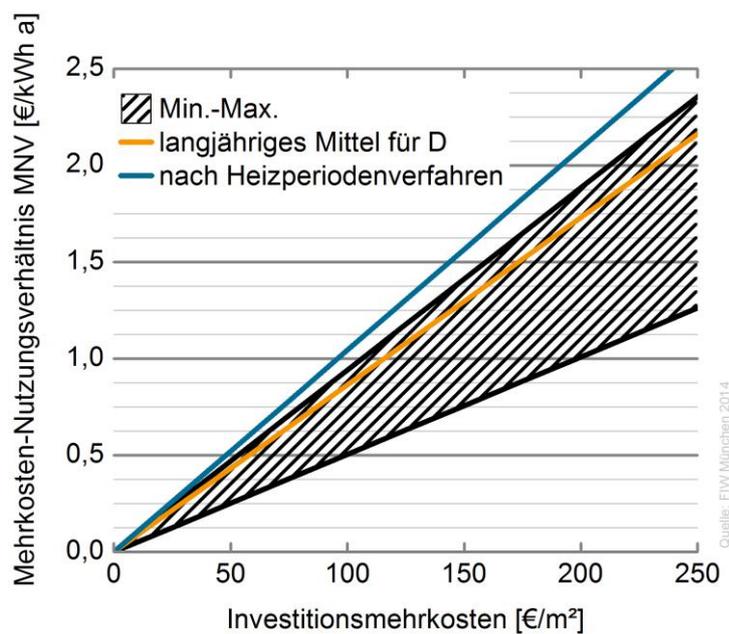


Abbildung 11: Mehrkosten-Nutzungsverhältnis (MNV) als Funktion der Investitionsmehrkosten für die unterschiedlichen Klima Annahmen. Annahme: U-Wert im Bestand = 1,4 W/m²K, U-Wert nach Sanierung = 0,24 W/m²K.

4.2 Beispiel: Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem

Natürlich sind die vorgestellten Einsparpotentiale mit Kosten für die hierfür notwendigen Maßnahmen verknüpft. Die Angaben für Kosten der energetischen Sanierung sind nicht eindeutig und unterscheiden sich deutlich in den verschiedenen vorliegenden Studien. Die Unterschiede sind zum Teil sachlich bedingt. Exakte Kostenangaben können sich immer nur auf ein konkretes Gebäude beziehen. Nachfolgend werden zwei mögliche Methoden zur Kostenschätzung dieser Sanierungsmaßnahmen kurz dargestellt.

Kostenfunktion des BMVBS

Im Rahmen einer Studie des BMVBS (Hinz, 2012) wurden repräsentative Kosten für Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand auf Basis gewerksbezogener Kostenfeststellungen von über 500 abgerechneten Sanierungen von Wohngebäuden ermittelt. Dabei wurden, neben den Dämmmaßnahmen an der opaken Gebäudehülle, auch der Ersatz der Gebäudetechnik betrachtet. Zur Auswertung wurden durch Regressionsanalyse verschiedene Kostenfunktionen entwickelt, mit denen die zu erwartenden Vollkosten, sowie die energiebedingten Mehrkosten einer Sanierungsmaßnahme, unter Einfluss der Dämmstärke, ermittelt werden können.

Die energiebedingten Mehrkosten sind dabei der Anteil an den Vollkosten, welche Ausschließlich auf die Dämmmaßnahme zurückzuführen sind. Darin enthalten sind z.B. das Dämmmaterial, sowie der Arbeitsaufwand zum Anbringen der Dämmung.

In dieser Studie des BMVBS (Hinz, 2012) wurde eine statistische Auswertungen für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit dem Dämmstoff Polystyrol (Basis: $n = 205$ Kostenfeststellungen) und Mineralfaser (Basis: $n = 33$ Kostenfeststellungen) durchgeführt.

In Abbildung 12 sind diese spezifischen Bruttokosten in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke für ein Wärmedämmverbundsystem mit einer Dämmung aus expandierten Polystyrol (EPS) bzw. alternativ mit Dämmung aus Mineralwolle aufgetragen. Dabei kann man erkennen, dass der „Sockel“ der ohnehin erforderlichen Maßnahmen bei einer Sanierung bei ca. 70 €/m^2 liegen und unabhängig von der Art des Dämmstoffes ist. Die energiebedingten Mehrkosten durch den Dämmstoff und die dadurch erforderlichen Nebenkosten steigen mit der Dämmstoffstärke an und sind Abhängig vom Dämmstoff.

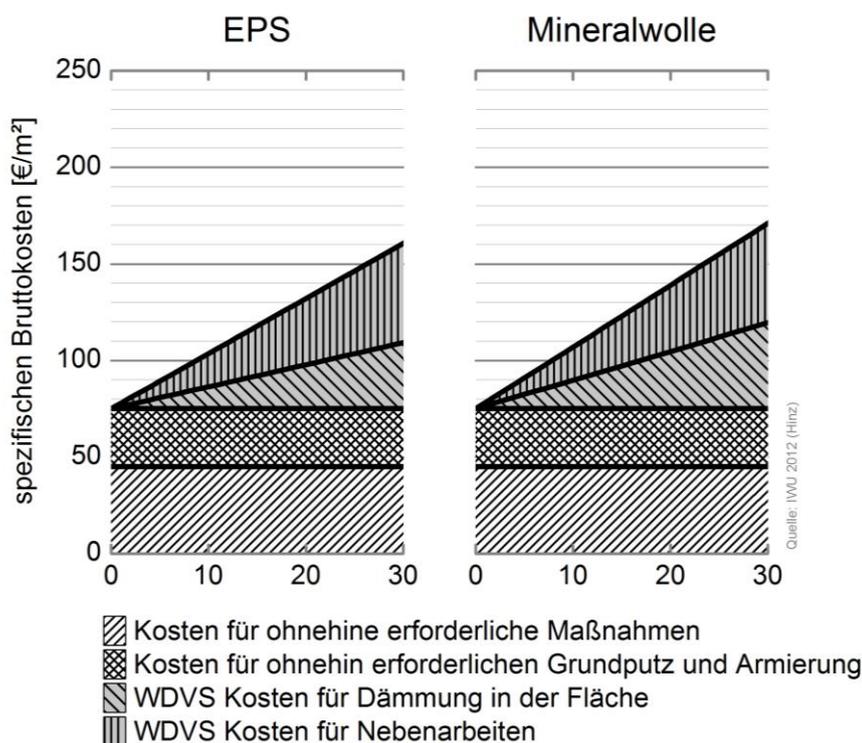


Abbildung 12: Aufteilung der spezifischen Bruttokosten für ein WDVS mit Mineralwolle bzw. EPS Dämmung in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke nach (Hinz, 2012)

In Tabelle 10 sind die Brutto-Vollkosten der Maßnahmen in [€/m² Bauteil] für ein geklebt und ggf. gedübelt WDVS mit einem U_{AW} von ca. $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ dargestellt. Erfasst sind alle spezifischen Vollkosten für Wärmedämmverbundsystem mit allen Systemkomponenten, sowie alle relevanten Nebenkosten wie z. B. der Baustelleneinrichtung, der Kosten für die Demontage und Montage neuer Außenfensterbänke usw. Nicht enthalten sind hingegen die Kosten für das Gerüst.

Tabelle 10: Baupreise einer nachträglichen Dämmung der Außenwand mit WDVS, geklebt und ggf. gedübelt, U_{AW} ca. $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf Basis der Daten von (Hinz, 2012)

Positionen	€/ m²	
	von	bis
WDVS aus Polystyrol-Hartschaum-Platten, geklebt, mit mineralischem Oberputz. Armierungsschicht mit Glasfasergewebe ausführen. EPS, WLG 035, WAP, B1, 140 mm	90	150
WDVS aus Mineralwolleplatten, geklebt, mit mineralischem Oberputz. Glasfasergewebe in mineralischen Armierungsputz einarbeiten und Oberfläche planspachteln. MW, WLG 040, WAP-zh, A1, 160 mm	100	160

BKI - Baukostenindex

Das Bauinformationszentrum Deutscher Architektenkammer (BKI) stellt umfassende Informationen und Daten zur Kostenplanung von Bauprojekten zur Verfügung. Diese Datenbank basiert auf abgerechneten Bauprojekten und wird ständig erweitert und aktualisiert.

In Tabelle 11 sind die für eine Wärmedämmmaßnahme an der Fassade mit WDVS relevanten Kostenstellen zusammengefasst. Dabei wurden die Kennwerte aus den Jahren 2007, 2010 und 2014 entnommen.

Man kann feststellen, dass die Kosten für die Wärmedämmung im Jahre 2010 gestiegen, jedoch seit dem stabil sind. Ebenfalls stabil sind im Betrachtungszeitraum die Preise für den Außenputzes. Für die Beschichtung der Fassade mit einer Dispersions-Silikatfarbe sind die Kosten sogar stark gesunken.

In diesem Zusammenhang wird außerdem auf eine Initialstudie der DENEFF verwiesen (Manteuffel, 2014), in welcher die Entwicklung der Baukosten seit 1990 im Zusammenhang mit den gestiegenen energetischen Anforderungen untersucht wurde. Diese Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Investitionskosten für Neubauten seit 1990 preisbereinigt nahezu konstant geblieben sind. Für beispielsweise Außenwände aus Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem wurde im Rahmen dieser Studie festgestellt: „preisbereinigt sind die Investitionskosten für gleiche energetische Qualität kontinuierlich gesunken. Der Eigentümer bekommt heute einen höheren Wärmeschutz fürs gleiche Geld als noch vor 10 oder 20 Jahren.“

Zusammenfassen kann man festhalten, dass die Baukosten im Zuge der gestiegenen energetischen Anforderungen nicht angestiegen sind. Der Vorwurf, welcher den Anstoß für die zuvor zitierte Studie war, dass mit steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz das Bauen immer teurer und irgendwann unbezahlbar wird, wurde damit widerlegt.

Tabelle 11: Vergleich der Entwicklung der Bruttopreise unterschiedlicher Positionen für die Sanierung einer Außenwand mit einem WDVS nach EnEV. Die Bruttokostenangaben stammen aus Baukosten 2007, 2010 und 2014 (Kapitel LB 023 Putz- und Stuckarbeiten, Wärmedämmsysteme)

Aufbau	pro Einheit	2007 [€]	2010 [€]	2014 [€]
Untergrundvorbereitung, Hochdruckreinigen	m ²	2,0	2,0	2,5
Haftbrücke, Betonfläche, für Gipsputze	m ²	2,0	5,0	5,0
Untergrund abkehren	m ²	0,4	0,5	0,6
Fluatieren, Wände	m ²	2,0	2,0	1,7
Spritzbewurf, Putzgrund	m ²	6,0	6,0	6,0
Ausgleichsputz, bis 10mm	m ²	11,0	10,0	9,0
Putzträger, Metallgittergewebe	m ²	13,0	12,0	12,0
WDVS, Wärmedämmung, EPS, 120mm	m ²	20,0 (0,040 W/mK)	31,0 (0,035 W/mK)	31,0 (0,035 W/mK)
WDVS, Dübelung, Wärmedämmung	m ²	10,0	10,0	9,0
WDVS, Armierungsputz, Glasfasereinlage	m ²	8,0	13,0	15,0
Außenputz, Unter-/Oberputz, Wand	m ²	31,0	32,0	34,0
Schlämmputz, Außenwand	m ²	11,0	11,0	10,0
WDVS, Eckausbildung	m	6,0	7,0	7,0
Außenputz, zweilagig, Laibungen	m	13,0	14,0	14,0
Beschichtung, Dispersions-Silikatfarbe, Außenputz	m ²	13,0	10,0	8,0
Mineralischer Oberputz, WDVS	m ²	-	-	15,0
Organischer Oberputz, WDVS	m ²	-	-	16,0
Außenputz und WDVS; Oberputz, Beschichtung	m ²	-	14,0	-
Kalkzementputz	m ²	15,2	-	-
WDVS, Sockelausbildung	m	-	12,0	13,0
WDVS, Fensteranschluss	m	-	7,0	11,0

Anteil energiebedingter Mehrkosten an Gesamtkosten

Basierend auf den Kostenentwicklungen aus Abbildung 12 und den Kostenbandbreiten aus Tabelle 10, lassen sich die relativen Anteile der energiebedingten Mehrkosten an den Gesamtkosten ableiten. In Abbildung 13 sind diese in Abhängigkeit der Dämmstoffstärke sowie des U-Wertes nach Sanierung der Konstruktion dargestellt. Dabei kann man erkennen, dass die anteiligen Kosten bei Verwendung einer Mineralwolldämmung generell etwas höher sind als bei EPS. Diese steigen mit größer werdender Dämmstoffdicke, bzw. kleineren U-Wert auf 50 bis 70% bei EPS WDVS bzw. 60 bis 80 % bei Mineralwolle WDVS an. Im normal üblichen Dämmbereich zwischen 10- 20 cm, bzw. bei einem anzustrebenden U-Wert nach Sanierung von 0,24 W/m²K liegt der Anteil der Energiebedingten Mehrkosten bei ca. 30 – 40 %.

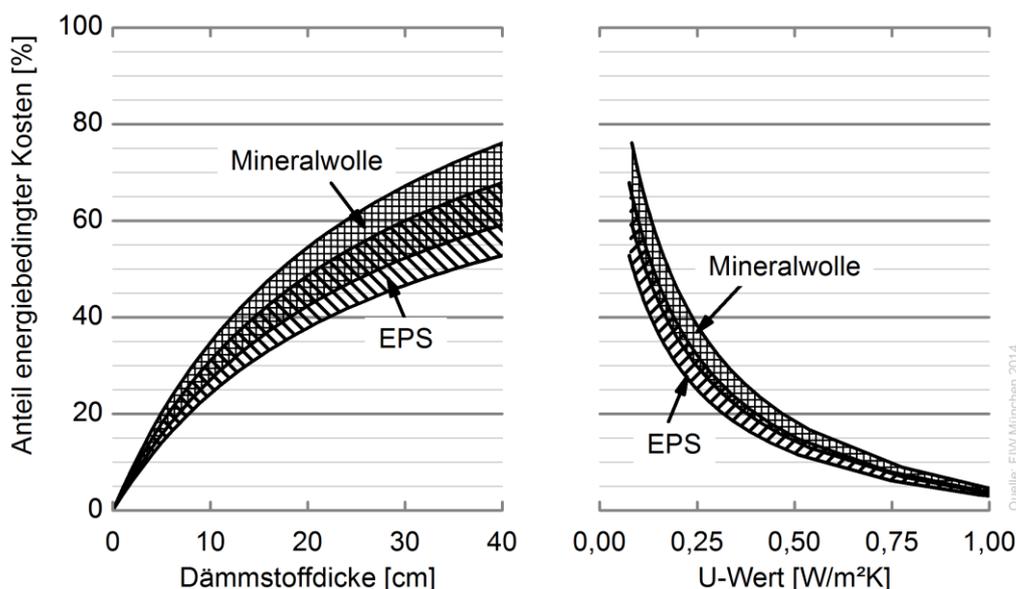


Abbildung 13: Anteil der energiebedingten Kosten für ein WDVS mit Mineralwolle bzw. EPS Dämmung in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke (links) bzw. des U-Wertes (rechts).

Abhängigkeit des MNV vom energetischen Zustand im Bestand

Abbildung 14 zeigt den Verlauf der Gesamt-, sowie der energiebedingten Kosten pro eingesparte Energie einer nachträglichen Fassadendämmung auf EnEV- Niveau in Abhängigkeit des U-Wertes des bestehenden Bauteils. Bei Betrachtung der Gesamtkosten (linke Graphik), ist der Verlauf für die beiden untersuchten Dämmstoffe EPS und Mineralwolle (MW) relativ gleich. Mit zunehmendem Wärmeschutz der bestehenden Außenwand nehmen die Gesamtkosten der eingesparten Energie deutlich zu. Hier dominieren die Sowieso-Kosten. Bei einem Ausgangs U-Wert von 0,8 bis 1,2 W/m²K liegen die Gesamtkosten pro eingesparte Energie bei ca. 2 bis 3 € pro kWh. Bei einem Ausgangswert von 0,4 W/m²K steigen diese Kosten auf fast 10 € pro kWh an. Bei Auswertung der energiebedingten Kosten (rechte Graphik) ist der

niedrige Dämmstoffpreis für die EPS- Dämmung zu erkennen. Die rein energiebedingten Mehrkosten pro eingesparte Energie bei einer typischen Außenwand im Bestand (U_{AW} zwischen 0,8 und 1,2 W/m^2K) betragen bei Sanierung nach EnEV Anforderungen in etwa 0,3 bis 0,6 €/kWh.

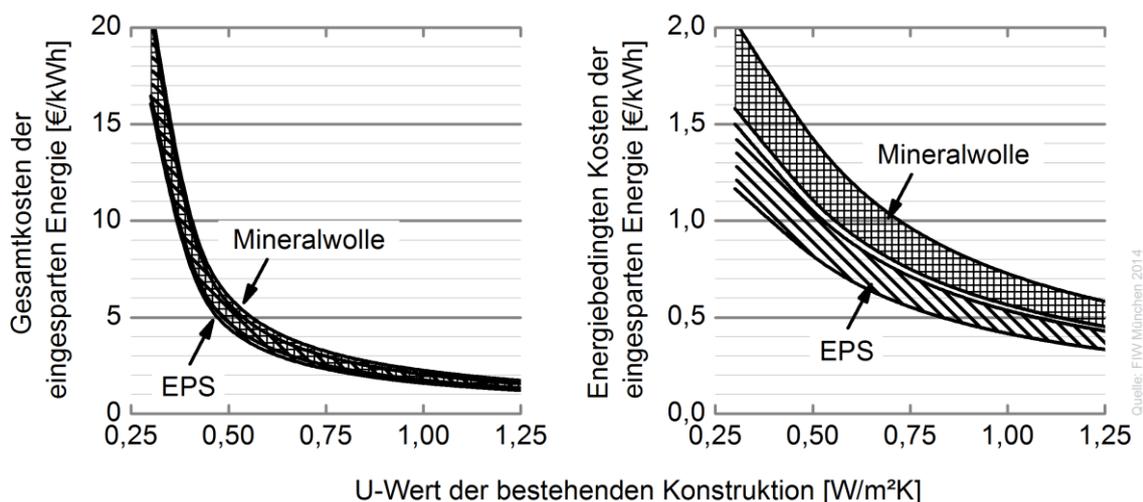


Abbildung 14: Verlauf der Gesamt-, sowie der energiebedingten Kosten pro eingesparte Energie einer nachträglichen Fassadendämmung in Abhängigkeit des U-Werts des bestehenden Bauteils. Saniert wird entsprechend den Anforderungen der EnEV.

Abhängigkeit des MNV vom energetischen Zustand nach Sanierung

Als weiterführende Untersuchung soll nun der Einfluss des energetischen Zustands der Außenwand vor der Sanierung auf das Gesamtkosten- und Mehrkosten- Nutzungsverhältnis untersucht werden. Basierend auf den zuvor erläuterten Herangehensweise zur Ermittlung des MNV einer Dämmmaßnahme, wird im Folgenden der Zusammenhang mit der Dämmstoffstärke und des U-Wertes untersucht. Der energetische Zustand der Bestandswand wird mit $U = 1,4 W/m^2K$ angenommen.

Abbildung 15 zeigt den Verlauf und die Bandbreite des MNV einer Fassadendämmung mit einem Wärmedämmverbundsystem mit Mineralwolle und EPS. Die Bandbreite ergibt sich dabei aus den in Tabelle 10 aufgeführten Preisspannen der Sanierungsmaßnahmen. Durch die geringeren Investitionskosten einer EPS Dämmung, ist das erzielte MNV generell etwas niedriger, und somit im Vergleich wirtschaftlich besser, als mit einer Mineralwolldämmung.

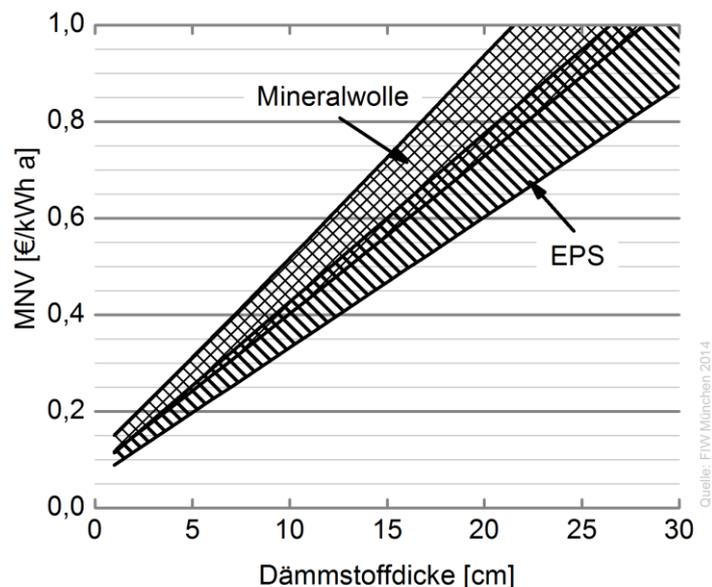


Abbildung 15: Mehrkosten-Nutzungs-Verhältnisse (MNV) für ein WDVS mit Mineralwolle bzw. EPS Dämmung in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke.

In Abbildung 16 ist der Verlauf des MNV für die beiden Sanierungsvarianten in Abhängigkeit des erzielten U-Wertes nach Sanierung dargestellt. Beide steigen ab einem U-Wert von ca. 0,4 W/m²K stark an.

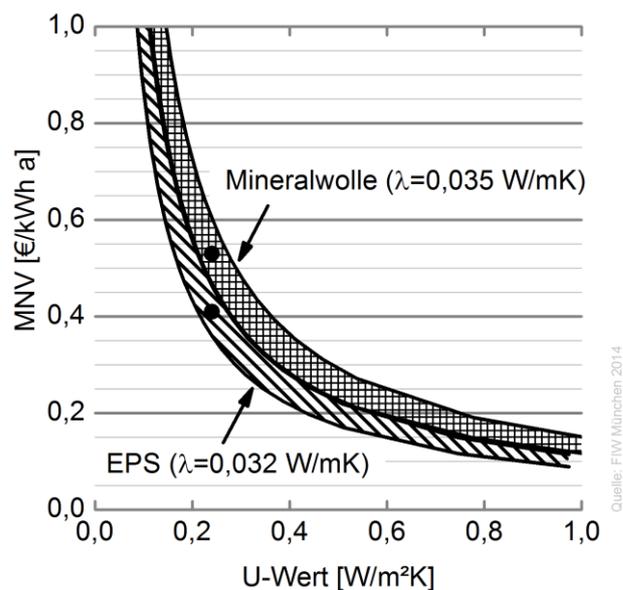


Abbildung 16: Mehrkosten-Nutzungs-Verhältnisse (MNV) für ein WDVS mit Mineralwolle bzw. EPS Dämmung in Abhängigkeit des erzielten U-Wertes.

Vergleicht man die ermittelten MNV der beiden Sanierungsmaßnahmen für einen erzielten U-Wert nach Sanierung auf EnEV-Niveau ($U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{k}$), so erhält man nachfolgende Ergebnisse:

EPS:	Min: 0,36; Max: 0,46	→ Mittel = 0,41 €/kWh a
MW:	Min: 0,46; Max: 0,60	→ Mittel = 0,53 €/kWh a

Durch den Vergleich der beiden Mittelwerte kann man feststellen, dass die Einsparung einer kWh Energie durch Dämmung der Außenwand mit EPS im Schnitt 12 Cent weniger Kosten als die gleiche Maßnahme mit einer Mineralwolldämmung.

5 Ermittlung der Wirtschaftlichkeit energetischer Maßnahmen

5.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Prinzipiell können die Methoden zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in statische und dynamische Verfahren aufgeteilt werden. Statischen Methoden sind dadurch gekennzeichnet, dass der Faktor „Zeit“ bei der Bewertung nicht berücksichtigt wird. Dagegen wird bei den dynamischen Methoden der Einfluss von Zinsen und Zinseszinsen über den Betrachtungszeitraum mit eingerechnet.

Im Folgenden werden die wichtigsten Kalkulationsmethoden jeweils bei jährlich konstanten bzw. zeitlich sich ändernden Betriebskosten unter Zugrundelegung einer konstanten Energiepreissteigerung dargestellt. Natürlich lassen sich die verschiedenen Kalkulationsmethoden noch weiter variieren. Man könnte noch zeitlich veränderlich Faktoren wie unterschiedliche Lebensdauern mancher Bauteile berücksichtigen oder die verschiedenen Methoden mit einander kombinieren. Da es hier aber darauf ankommt, die zentralen Unterschiede der einzelnen Methoden aufzuzeigen, werden diese Kalkulationsspielarten nicht betrachtet.

Methode I: statische Amortisationsrechnung

Mit der statischen Amortisationsrechnung bestimmt man den Zeitpunkt, an dem erstmals die Summe Einnahmen die Summe der Ausgaben übersteigt. Sie ist eine Überschlagsmethode und kann eine schnelle Abschätzung liefern. Es wird dabei allerdings die zeitliche Struktur der Einnahmen und Ausgaben und somit der Cash-Flow vernachlässigt. Vorteilhaft ist diejenige Investition, welche im Vergleich die geringste Amortisationszeit aufweisen kann.

$$n_A = \frac{K}{k}$$

mit

T Amortisationszeit in Jahren

K Investition

k Jährliche Rückflüsse, bzw. jährliche Einsparungen

Methode II: dynamische Amortisationsrechnung (ohne Energiepreissteigerung)

Ähnlich wie in Methode I, wird bei der dynamischen Amortisationsrechnung der Zeitpunkt bestimmt, bei denen die Summe der Einnahmen die Summe der Ausgaben übersteigen. Bei dieser Methode werden die zeitlich veränderlichen Zinsaufwendungen der Ausgaben, bzw. Zinserträge der Einnahmen mit berücksichtigt.

$$n_A = \frac{1 + \frac{i}{2}}{\left(\frac{1}{\left(\frac{K}{k} \right) - \frac{i}{2}} \right)}$$

mit

n_A Amortisationszeit in Jahren

K Investition

k Jährliche Rückflüsse, bzw. jährliche Einsparungen

i jährliche Zinssatz

Bei dieser Methode wird der Endwert einer Investition durch Aufzinsung der anfallenden Zinsen ermittelt. Der Endwert gibt den tatsächlichen Wert einer Zahlung am Ende der Betrachtungsperiode an.

Methode III: dynamische Amortisationsrechnung (mit Energiepreissteigerung)

Methode III basiert auf den zeitlich dynamischen Ansätzen der Methode II. Zudem wird dabei noch die jährliche Energiepreissteigerung berücksichtigt. Diese wirkt sich auf die Einnahmen, bzw. auf die Heizkosteneinsparungen der jeweils betrachteten Sanierungsmaßnahme aus.

$$\left(\frac{K}{k} \right) \left(\frac{n_A + 1}{2} \times i + 1 \right) - \frac{(1+j)^{n_A} - 1}{j} = 0$$

mit

n_A Amortisationszeit in Jahren

K Investition

k Jährliche Rückflüsse, bzw. jährliche Einsparungen

i jährliche Zinssatz

j jährliche Energiepreissteigerung

Methode IV: Kapitalwert und Annuitätenmethode

Zur Ermittlung des Kapitalwertes werden alle Ein- und Auszahlungen innerhalb des Betrachtungszeitraums und unter Berücksichtigung der Verzinsung betrachtet und mit der anfänglichen Investition gegengerechnet. Mit dieser Methode kann beurteilt werden, ob und nach wie vielen Jahren eine Investition wirtschaftlich vorteilhafter ist, gegenüber einer Anlage mit jeweiligem Zinsfuß. Vergleichend mit den Methoden II und III werden bei der Kapitalwertmethode nicht der Endwert, sondern der Barwert einer der Investition beurteilt.

Um mit dieser Methode die Amortisationszeit zu berechnen, werden die Kapitalwerte alle Zahlungen einer Investition durch Diskontierung (Abzinsung) zu einem bestimmten Zeitpunkt ermittelt, und gegengerechnet.

$$n_A = \frac{\ln \frac{1}{1 - \frac{K}{k}(q - \gamma)}}{\ln \frac{q}{\gamma}}$$

mit

n_A Amortisationszeit in Jahren

K Investition

k Jährliche Rückflüsse, bzw. jährliche Einsparungen

i jährliche Zinssatz

j jährliche Energiepreissteigerung

q $1 + i$

γ $1 + j$

Die Weiterführung ist die sogenannte Annuitätenmethode. Dabei werden alle anfallenden Zahlungen einer Investition, unter Berücksichtigung der Verzinsung, auf mittlere Jahreskosten über den Betrachtungszeitraum umgelegt. Als weiteren Schritt kann der annuitätische Gewinn ermittelt werden, indem man die annuitätischen Erlöse, beispielsweise durch Heizkosteneinsparungen, von den annuitätischen Kosten subtrahiert

Methode V: interner Zinsfuß

Eine andere Weiterführung der Kapitalwertmethode kann die Methode des internen Zinsfußes verstanden werden. Es wird daher derjenige Zinsfuß ermittelt, für den der Kapitalwert gleich Null wird.

$$q_i^{n+1} - \left(\gamma + \frac{1}{(K/k)} \right) q_i^n + \gamma^n \times \frac{1}{(K/k)} = 0$$

mit

n_A Amortisationszeit in Jahren

K Investition

k Jährliche Rückflüsse, bzw. jährliche Einsparungen

i jährliche Zinssatz

j jährliche Energiepreissteigerung

q $1 + i$

γ $1 + j$

q_i interner Zinsfuß

Die Lösung dieser Gleichung muss iterativ vorgenommen werden.

Hierbei wird mit Ermittlung der effektiven Verzinsung einer Investition eine Aussage zur tatsächlichen Rendite gemacht. Ist der ermittelte interne Zinsfuß größer als der Kapitalzinsfuß, kann die Investition als wirtschaftlich gegenüber einer Anlage bewertet werden.

5.2 Einfluss der gewählten Kalkulationsmethode

In Abbildung 14 sind die errechneten Amortisationszeiten für die Kalkulationsmethoden I bis V in Abhängigkeit des Mehrkosten-Nutzungs-Verhältnisse (MNV) dargestellt. Die zugrunde gelegte Annahmen für dieses Beispiel sind ein aktueller Energiepreis von 0,08 €/kWh sowie eine jährliche Energiepreissteigerung von 5 % sowie kalkulatorischer Realzins von 1, 3 bzw. 5 %.

Bei größer werdenden MNV steigen die errechneten Amortisationszeiten an. Die Veränderung des Realzinses hat keinen Einfluss auf das Ergebnis der Methode I (statische Amortisation). Während nach Methode I diese Zunahme stetig linear erfolgt, führt die Methoden II zu einem progressiven Verlauf, dessen Abhängigkeit sehr stark vom angenommenen Realzins beeinflusst wird. Die Amortisationszeiten bei Methode II steigen mit ungünstigen MNV und höheren Realzins stark an. Grund hierfür liegt in der Vernachlässigung der Energiepreissteigerung, welche sich generell positiv auf die Amortisationszeit auswirkt. Die Methoden III, IV und V sind stark abhängig vom MNV und zeigen einen eher degressiven Verlauf. Die Methode IV ist zusätzlich noch stark vom Realzins beeinflusst. Auffallend ist, dass bis zu einem

MNV von ca. 0,5 sich die errechnete Amortisationszeit nach den fünf unterschiedlichen Methoden nicht wesentlich unterscheiden.

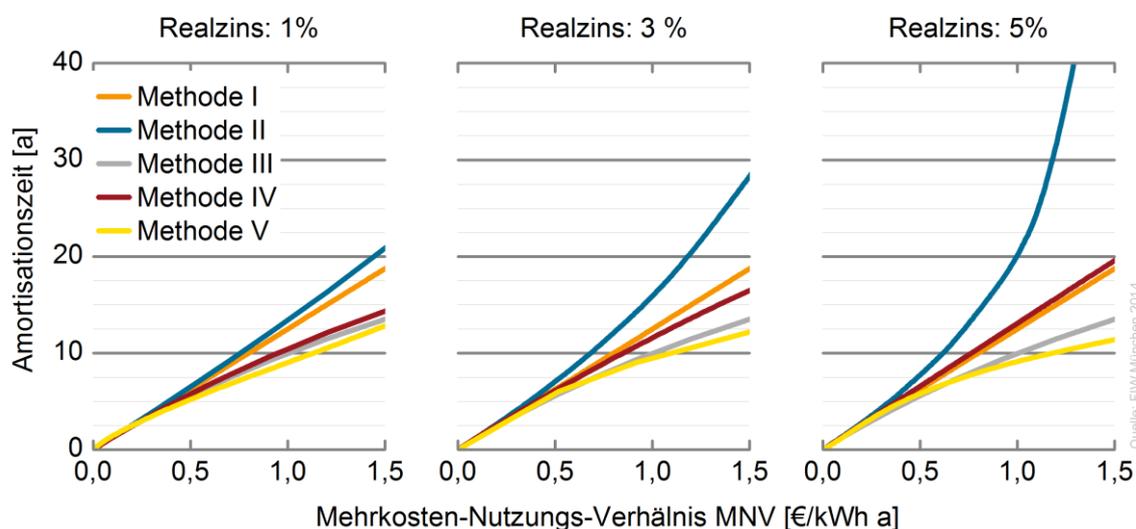


Abbildung 17: Mit verschiedenen Methoden berechnete Amortisationszeit in Abhängigkeit des Mehrkosten-Nutzungs-Verhältnisse (MNV). Zugrunde gelegte Annahmen für dieses Beispiel: Energiepreis 0,08 €/kWh, jährliche Energiepreissteigerung von 5 % sowie kalkulatorischer Realzins von 1, 3 bzw. 5 %

5.3 Einfluss des Energiepreises und dessen Preissteigerung auf den Wiedererwirtschaftungszeitraum

In den folgenden Darstellungen werden die Methode IV (Kapitalwertmethode und Annuitätenmethode) bzw. die Methode V (interner Zinsfuß) angewendet. In Abbildung 18 ist der Einfluss der Energiepreissteigerung und des zum Zeitpunkt der Investition vorhandenen Energiepreises auf die Amortisationszeit dargestellt. Dabei wurden drei unterschiedliche Investitionen pro Quadratmeter einer Dämmmaßnahme untersucht, welche alle zur gleichen Energieeinsparung führen. Aus den Abbildungen ist der Einfluss der Energiepreissteigerung auf die Amortisationszeit deutlich zu erkennen.

Außerdem kann man feststellen, dass mit höheren Ausgangsenergiepreisen der Einfluss der Energiepreissteigerung abnimmt. Umgekehrt sind bei niedrigen Ausgangsenergiepreisen deutliche Unterschiede in den Amortisationszeiten in Abhängigkeit der Energiepreissteigerung zu erkennen. Mit steigendem MNV, also mit hohen Investitionskosten für eine Maßnahme, ist ein höherer Einfluss der Energiepreissteigerung zu erkennen, als mit im Vergleich niedrigeren MNV, bzw. Investitionskosten.

Bei einem MNV von beispielsweise 0,3 €/kWh und einem aktuellen Energiepreis von 0,08 €/kWh, hat die Energiepreissteigerung kaum Einfluss auf die errechnete Amor-

tisationszeit. Bei einem hohen MNV von 0,9 €/kWh und gleichem aktuellem Energiepreis, verringert eine Energiepreissteigerung von jährlich 7,5 % die Amortisationszeit um ca. die Hälfte, im Vergleich zu der Berechnung ohne Preissteigerung.

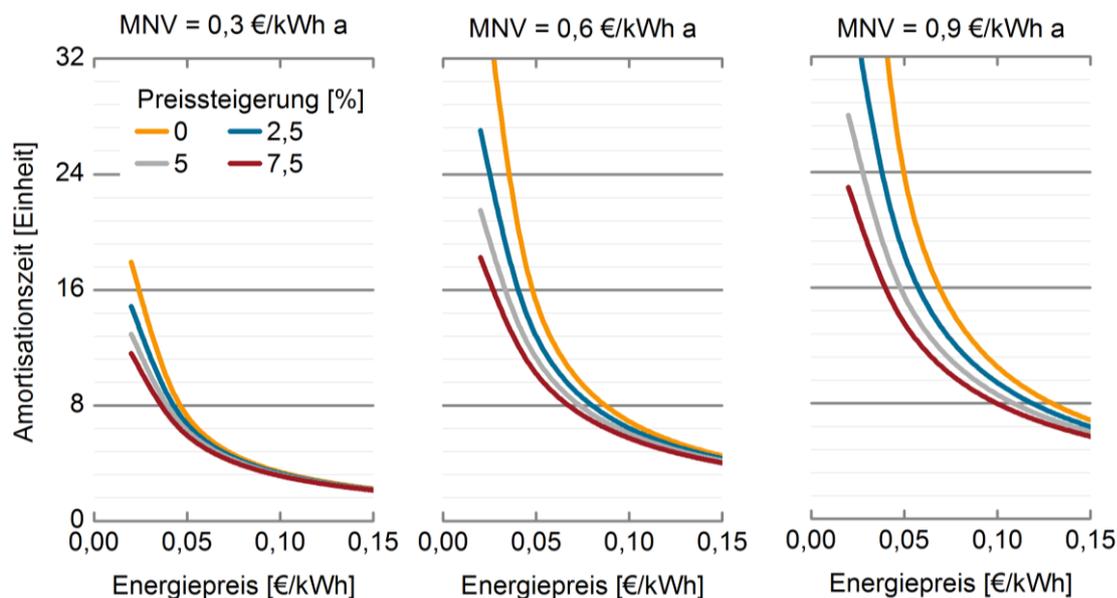


Abbildung 18: Verlauf der Amortisationszeit in Abhängigkeit des Energiepreises in €/kWh und der Energiepreissteigerung in % für verschieden hohe Investitionen. Annahme: U-Wert Bestand = 1,4 W/m²K, U-Wert nach Sanierung = 0,24 W/m²K

Neben den MNV und dem aktuellen Energiepreis, hat auch die Nutzungsdauer einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme. Umso länger eine Maßnahme „genutzt“ wird, umso länger können die erzielten Einsparungen zur Deckung der Investition verwendet werden, bzw. eine jährliche Rendite erzielt werden.

Um den Einfluss der Nutzungsdauer bewerten zu können, wird im Folgenden die Methode des internen Zinssatzes verwendet, da bei der Berechnung der Amortisationszeit die tatsächliche Nutzungsdauer nicht berücksichtigt wird.

In Abbildung 19 ist der Verlauf des internen Zinssatzes in Abhängigkeit des MNV und der Nutzungsdauer ohne und mit Berücksichtigung der Energiepreissteigerung dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass mit steigendem MNV, bzw. steigender Investition, der Einfluss der Nutzungsdauer deutlich zunimmt. Ab einem MNV von kleiner 0,5 €/kWh besitzt Nutzungsdauer keinen nennenswerten Einfluss mehr auf den internen Zinssatz.

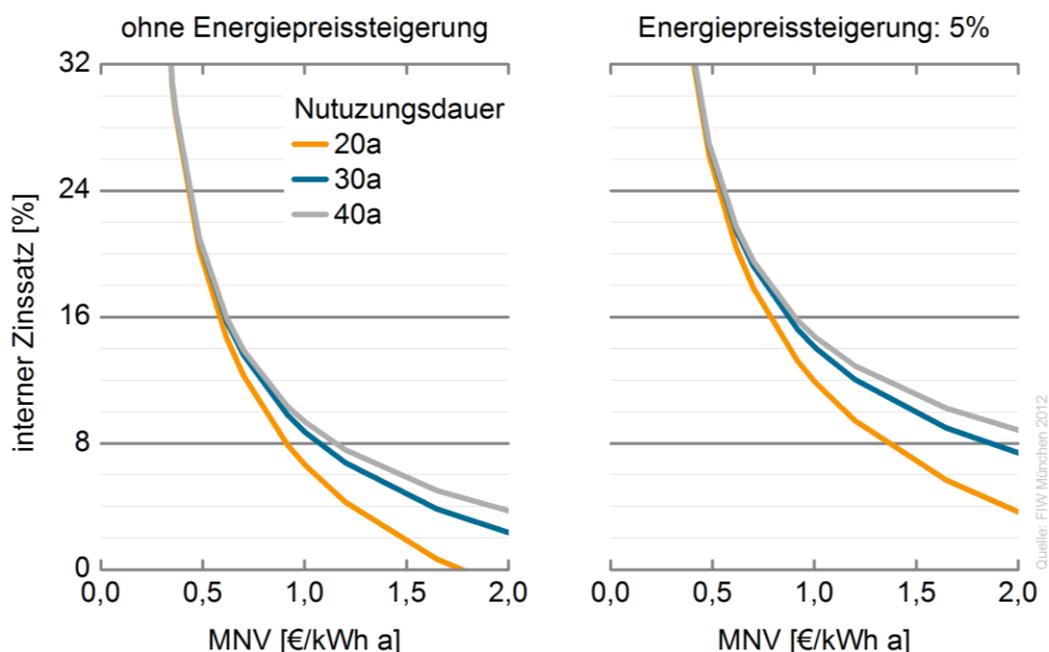


Abbildung 19: Resultierender interner Zinssatz in Abhängigkeit der Nutzungsdauer und des MNV des Systems. Zugrunde gelegte Annahmen für dieses Beispiel: Realzins von 1 % sowie Energiepreis von 0,08 €/kWh.

5.4 Beispiel: Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem

Anhand einer konkreten Sanierungsmaßnahme, sollen nun die Abhängigkeiten und Verläufe verschiedener Wirtschaftlichkeitsansätze untersucht werden. Dabei wird die nachträgliche Dämmung einer bestehenden Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem betrachtet.

Dafür wird folgende beispielhafte Sanierungsmaßnahme zugrunde gelegt:

Bestand: Außenwand unsaniert, $U = 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Sanierung: WDVS, gemäß EnEV 2014 auf $U = 0,24 \text{ W/m}^2$, energiebedingte Mehrkosten gemäß Kostenfunktion des BMWBS (Tabelle 10).

Wirtschaftlich gebotener Wärmeschutz

In Abbildung 20 sind die Kapitalkosten der Sanierungsmaßnahme pro dadurch eingesparte kWh Energie dargestellt. Dabei wurden die Vollkosten einer nachträglichen Dämmung der Fassade mit einem WDVS in Abhängigkeit der Dämmstoffstärke betrachtet. Dabei wurden die Varianten Mineralwolle (MW) und EPS unterschieden. Man kann erkennen, dass bei einer Dämmstoffstärke von ca. 8 bis 15 cm bei beiden Dämmmaterialien die geringsten Kosten relativ zu den Einsparungen erzielt werden können.

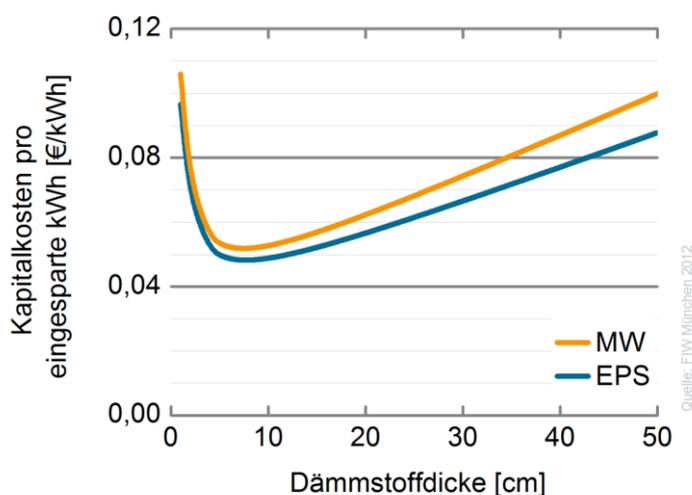


Abbildung 20: Kapitalkosten pro eingesparte kWh Energie für nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit WDVS mit den Varianten Mineralwolle und EPS in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke

Des Weiteren wurde der annuitätische Gewinn, als mittlere Differenz der Kosten und Einsparungen über den gesamten Nutzungszeitraum, betrachtet. Dieser gibt den jährlichen, zu erwartenden Gewinn an, welcher durch eine bestimmte Maßnahme erzielt werden kann.

In Abbildung 21 ist dieser in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke, sowie des erzielten U-Werts nach Sanierung pro Quadratmeter Fassade dargestellt. Ähnlich wie in Abbildung 20 kann auch hier ein wirtschaftliches Optimum bei einer Dämmstoffstärke von ca. 8 bis 15 cm erkannt werden.

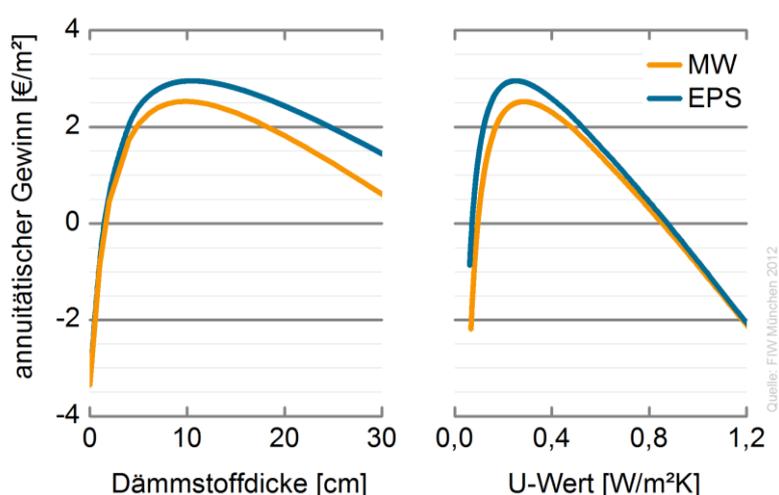


Abbildung 21: Annuitätischer Gewinn für nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit WDVS mit den Varianten Mineralwolle und EPS in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke und des erzielten U-Werts nach Sanierung

Einfluss der Investitionskosten

Wie zuvor in Tabelle 10 dargestellt, können die Baupreise für eine Sanierungsmaßnahme stark schwanken. Um den Einfluss der Investitionskosten auf den annuitätischen Gewinn zu bewerten, wurde dieser in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke in Abbildung 22 aufgetragen. Dabei wurde die Mögliche Bandbreite bei Schwankung der Investitionskosten um +/- 30% ermittelt.

Daraus kann man erkennen, dass mit steigender Dämmstoffdicke, der Einfluss der Investitionskosten auf den annuitätischen Gewinn ansteigt.

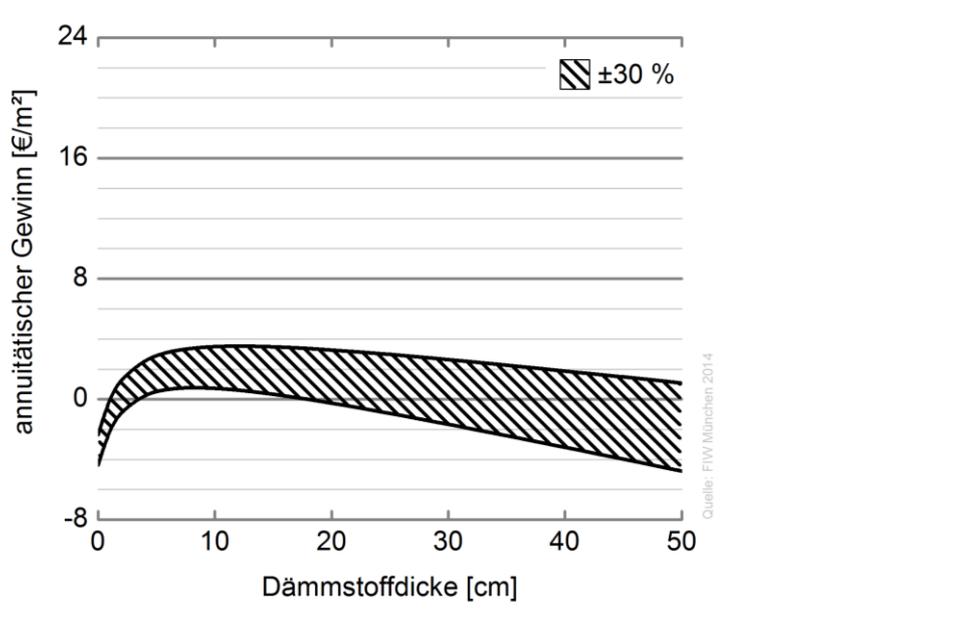


Abbildung 22: Einfluss der Investitionskosten auf den annuitätischen Gewinn für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit WDVS in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke

Einfluss des Standortes

Weiterführend soll der Einfluss des Standortes, bzw. der verschiedenen Außenklimabedingen, wie bereits in Tabelle 9 dargestellt, auf den annuitätischen Gewinn untersucht werden. In Abbildung 10 wurde zuvor der Einfluss dieser verschiedenen klimatischen Randbedingungen auf die Heizenergieeinsparung dargestellt. Basierend auf diesen Berechnungsgrundlagen, soll nun der Einfluss dieser Standorte auf den annuitätischen Gewinn dargestellt werden.

In Abbildung 23 ist die Bandbreite des annuitätischen Gewinns durch Ansetzen der beiden Minimal- und Maximal Klima, sowie das langjährige Mittel für Deutschland und das Heizperiodenverfahren in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke dargestellt. Wie bei den Untersuchungen zuvor, liegt das Optimum für alle untersuchten klimatischen Randbedingungen bei ca. 10 bis 15 cm.

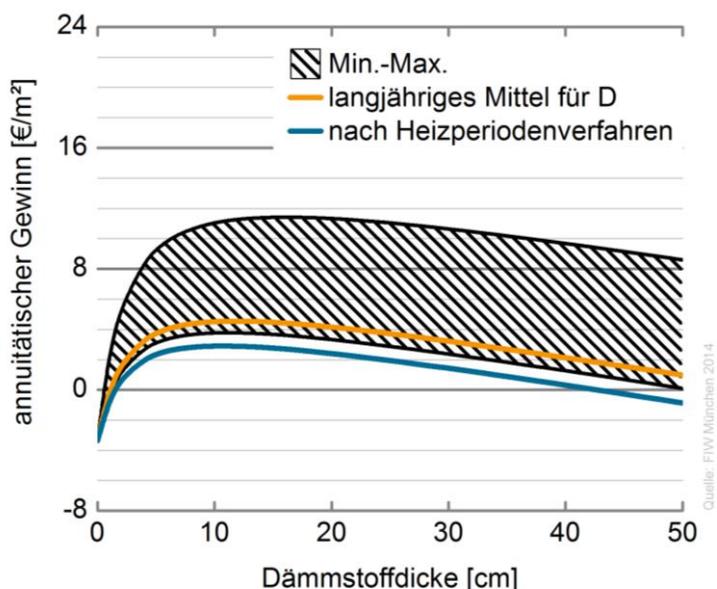


Abbildung 23: Einfluss des Außenklimas auf den annuitätischen Gewinn für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit WDVS in Abhängigkeit der Dämmstoffdicke

Einfluss der Nutzungsdauer

In Abbildung 24 ist die Rentabilität dieser Sanierungsmaßnahme in Abhängigkeit der Nutzungsdauer der durchgeführten Sanierung, sowie des gewählten Dämmstoffes dargestellt. Abgebildet ist der interne Zinssatz bei Vollkostenbetrachtung (oben) sowie bei ausschließlich Berücksichtigung der energiebedingten Mehrkosten (unten). Bei der Betrachtung ausschließlich auf die Mehrkosten fokussiert lässt sich generell feststellen, dass Mehrkosten in die Wärmedämmung ab einer Nutzungsdauer von ca. 5 Jahren eine positive Rentabilität aufweisen. Ab einer Nutzungsdauer von 15 – 20 verstetigt sich der interne Zinssatz. Bei Vollkostenbetrachtung erzielt man unter den derzeitigen Randbedingungen ab ca. 10 bis 15 Jahren eine positive Rendite.

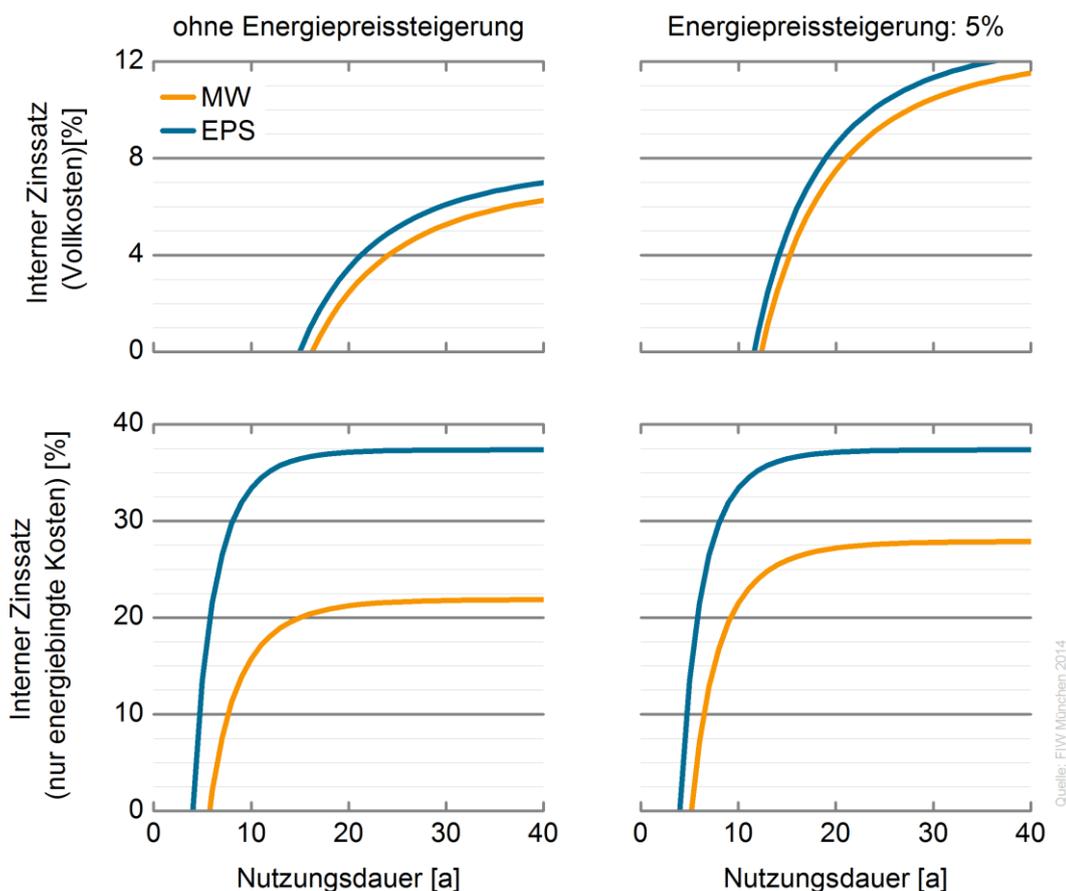


Abbildung 24: Resultierender interner Zinssatz in Abhängigkeit der Nutzungsdauer des Systems für nachträgliche Fassadendämmung mit EPS und Mineralwolle.

5.5 Sensitivitätsanalyse

Wie zuvor in den beispielhaften Graphiken dargestellt, sind die Kennwerte zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer energetischen Maßnahme abhängig von verschiedenen Faktoren. Diese sind:

- Art der Kostenbetrachtung: Vollkosten oder energiebedingten Kosten
- Erzielte Einsparung:
 - Zugrunde gelegter Energiepreis und zukünftige Entwicklung
 - Klimatische Randbedingungen
 - Nutzerverhalten
- Entwicklung der Finanzmärkte
- Lebensdauer der durchgeführten Maßnahmen

Aussagen über die Wirtschaftlichkeit verschiedener Sanierungsmaßnahmen, die heute aus Kreisen der Industrie, Wohnungswirtschaft, Eigentümer aber auch der Wissenschaft angegeben werden, weisen zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Neben den klimatischen, bauphysikalischen, geometrischen und ökonomischen Parametern werden die Ergebnisse auch durch die gewählte Kalkulationsmethode selbst beeinflusst. Je nach Berechnungsansatz gelangt man zu unterschiedlichen Aussagen über die Wiedererwirtschaftbarkeit einer energiesparenden Maßnahme.

Die Frage der Wirtschaftlichkeit der Energieeffizienzmaßnahme wird in dieser Studie ausschließlich einzelwirtschaftlich, also aus Sicht eines Investors behandelt. Im Folgenden wird der Einfluss der verschiedenen, vom Bauphysiker nicht steuerbaren, Einflussparameter auf den Wiedererwirtschaftungszeitraum untersucht.

Die nachfolgenden Berechnungen in diesem Kapitel basieren auf folgendes Sanierungsbeispiel: Sanierung einer Außenwand mit einem WDVS entsprechend EnEV. Der Ausgangs-U-Wert dieser Außenwand beträgt 1,4 W/m²K.

Differentielle Sensitivitätsanalyse

Im Folgenden soll mit Hilfe einer differentiellen Sensitivitätsanalyse der Einfluss der verschiedenen Parameter auf die Amortisationszeit einer Dämmmaßnahme untersucht werden. Dadurch soll ermittelt werden, wie empfindlich die Lösung einer zunächst auf der Basis quasi sicherer Daten aufgestellten Wirtschaftlichkeitsberechnung reagiert, wenn einzelne Eingabedaten variiert werden. In Tabelle 12 sind die Parameter mit den untersuchten Minimal- und Maximalwerten angegeben.

Tabelle 12: Untersuchte Bandbreite verschiedener Parameter für die Sensitivitätsanalyse

Parameter	Einheit	Min.	Mittel	Max.
Jährliche Heizenergieeinsparung durch Dämmung des Bauteils	kWh/m ²	68,00	85,00	102,00
Kalkulationszins	%	6,0%	2,0%	1,0%
Inflationsrate	%	1,0%	1,0%	1,0%
Realzins	%	5,0%	1,0%	0,0%
Ausgangsenergiepreis	€/kWh	0,06	0,08	0,16
Energiepreissteigerung	%	3%	5%	8%

Abbildung 25 zeigt die mögliche Bandbreite durch Ansetzen der definierten Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Parameter auf die Amortisationszeit in Abhängigkeit der Investitionskosten. Die blaue Kurven stellt dabei jeweils das Ergebnis mit ansetzen der Mittelwert aller Parameters dar. Bei den einzelnen dargestellten Verläufen wurde jeweils nur der betrachtete Parameter geändert, für die anderen wurden die definierten Mittelwerte angesetzt.

Dabei ist zu erkennen, dass vor allem der Realzins und die Energiepreissteigerung einen großen Einfluss auf die Amortisationszeit einer Investition besitzen. Außerdem liegt bei diesen Parametern der angesetzte Mittelwert im unteren, bzw. oberen Bereich der Ergebnisspanne. Diese Parameter sollten demnach besonders gewissenhaft gewählt werden, um ein realistisches Ergebnis zu erhalten.

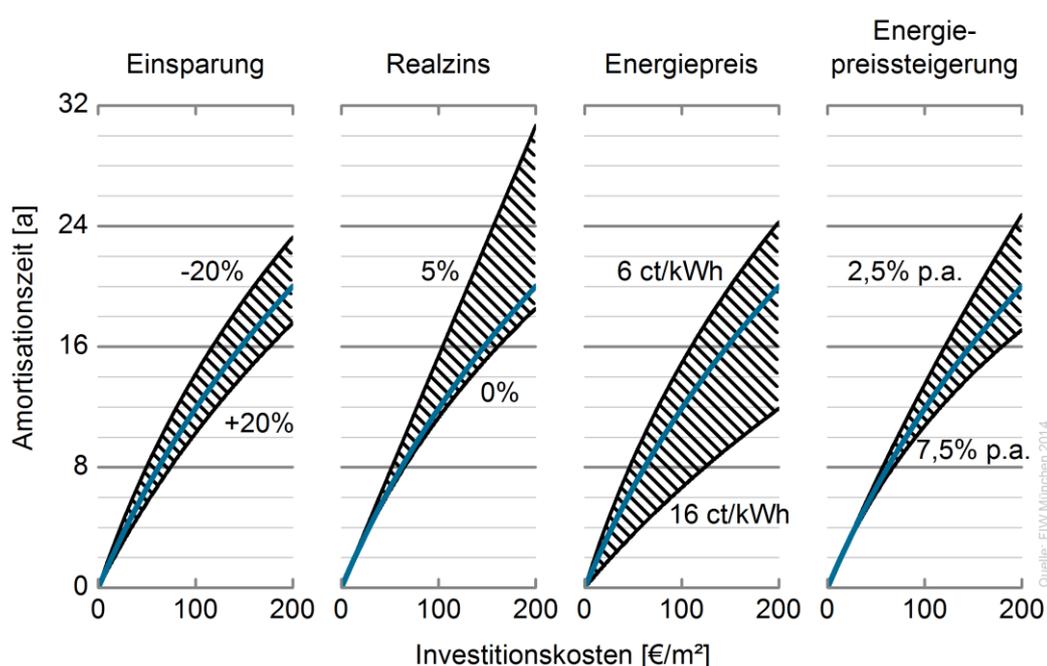


Abbildung 25: Einfluss auf die Amortisationszeit unter Berücksichtigung der Schwankungsbreiten von verschiedenen Parametern in Abhängigkeit der Investitionskosten in €/m²

Monte Carlo Analyse (MCA) oder wahrscheinlichkeitsgestützte Analyse

Die bisher behandelten Ansätze erlauben es grundsätzlich, sich ein Bild von Art und Umfang der damit verbundenen Unsicherheiten zu machen. Aufschluss darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit die untersuchten Parameterveränderungen auftreten können, liefert eine Sensitivitätsanalyse hingegen nicht. Auch bleibt offen, welche Konsequenzen aus der Sensitivität im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeitsbewertung bei energetischen Sanierungsmaßnahmen zu ziehen sind. Für derartige Fälle können stochastische Simulationsverfahren eine Lösungshilfe darstellen. Diese Technik wird Monte Carlo Analyse (MCA) oder wahrscheinlichkeitsgestützte Analyse genannt. Hierbei werden mögliche Kombinationen der unsicheren Parameterwerte

durch künstliche Zufallsexperimente generiert. Die Zuverlässigkeit der Analyse steigt mit der Anzahl der wiederholten Berechnungsläufe.

Um den Einfluss auf die Amortisationszeit unter Berücksichtigung aller in Tabelle 15 aufgeführten Parameter und ihre Bandbreite zu beachten, wurde eine solche Monte Carlo Simulation für die Amortisationszeit in Abhängigkeit der Investitionskosten durchgeführt. Die Simulation wurde dabei mehrere hundert male durchgeführt, wobei bei jeder Simulation der Kennwert jedes Parameters durch Zufall aus der zuvor definierten Bandbreite gewählt wurde.

Als Ergebnis erhält man wiederum eine Ergebnisbandbreite, dargestellt in Abbildung 26, welche durch Anwenden eines Konfidenzintervalls von 95% ermittelt wurde. Das bedeutet, dass 95% aller Simulationsergebnisse innerhalb dieser Bandbreite liegen. Offensichtliche Ausreißer werden so ausgeschlossen.

Außerdem wurde der Einfluss der Investitionskosten auf die Amortisationszeit unter ansetzten aller in Tabelle 12 definierten Minimalwerte als Worst-Case- Szenario ermittelt und dargestellt. Dieses Szenario verläuft deutlich steiler, was darauf zurückzuführen ist, dass durch die zufällige Auswahl aus der Parameterbandbreite bei der Monte Carlo Simulation, die gleichzeitige Auswahl aller Worst Case- Fälle sehr unwahrscheinlich ist. Im Gegenzug dazu wurde durch Ansetzten aller Maximalwerte ein Best- Case- Szenario modelliert, wessen Verlauf deutlich unterhalb der MCA Analyse verläuft.

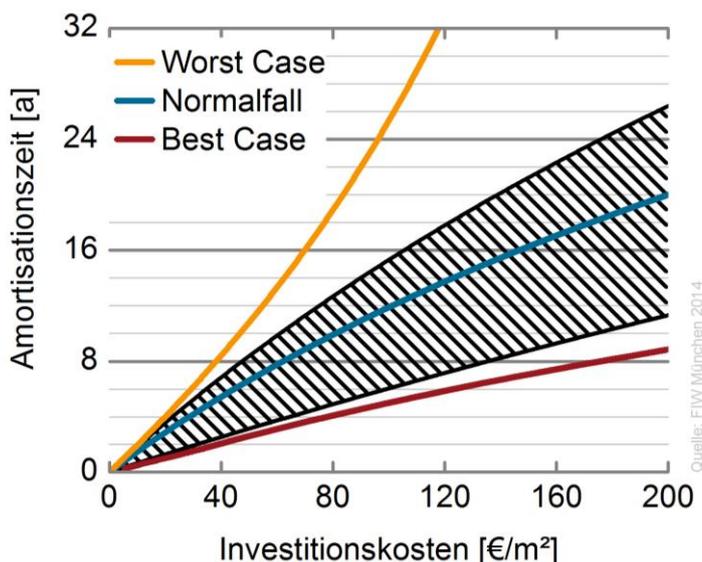


Abbildung 26: Einfluss auf die Amortisationszeit unter zufälliger Berücksichtigung der Schwankungsbreiten aller Parameter nach Tabelle 12 und Darstellung des Worst- bzw. Best Case Szenarios in Abhängigkeit der Investitionskosten in €/m²

6 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einzelner Dämmmaßnahmen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Szenarien

6.1 Vorgehen

Im Folgenden soll eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Dämmmaßnahmen an der opaken Gebäudehülle durchgeführt werden. Dies soll unabhängig vom Gebäude erfolgen, das heißt die Berechnung der Investition, sowie der zu erwartenden Einsparungen durch die Dämmung, wird exemplarisch für 1 m² des jeweiligen Bauteils vorgenommen.

Da eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit einer bestimmten Dämmmaßnahme grundsätzlich von vielen verschiedenen Randbedingungen abhängig ist, wie z.B. Bauteilalter, energetischer Zustand, etc. ist eine Verallgemeinerung äußerst schwierig. Deshalb wurde bei der Wahl der Randbedingungen in dieser Untersuchung darauf geachtet, dass diese möglichst repräsentativ für den Gebäudebestand in Deutschland sind.

Zur Abschätzung der nach Sanierung zu erwartenden Heizkosten, wurde die Reduktion der Transmissionswärmeverluste durch 1 m² Bauteil mit dem Monatsbilanzverfahren ermittelt. Die anfallenden Raten für Tilgung und Zins der Investition, wurden mit Hilfe der Annuitätenmethode berechnet. Daraus können die jährlichen Energiekosten zur Deckung der Transmissionswärmeverluste, sowie der Investition für die Sanierungsmaßnahme pro Quadratmeter des jeweiligen Bauteils ermittelt werden. Dabei werden die anfallenden Zinsen, sowie die Energiepreissteigerung berücksichtigt.

6.2 Randbedingungen

Auf Grundlage der Flächenzusammenstellung in Tabelle 6 wurde der energetische Zustand vor der Wärmeschutzverordnung 77 als repräsentativer Bestandszustand gewählt. Als Sanierungsvarianten wurde, wie in den Untersuchungen zuvor, ein Sanierungsniveau gemäß den Anforderungen der EnEV 2014, sowie eine etwas ambitioniertere Variante auf den Standard eines Niedrigenergiehauses (NEH) angesetzt.

Die notwendigen Dämmstoffstärken für die betrachteten Sanierungsvarianten, wurden unter Annahme einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda=0,035$ W/mK ermittelt. Die Randbedingungen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: U-Werte der Bestands-, und Sanierungsvarianten sowie die notwendigen Dämmstoffstärken bei $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$

Bauteil	Bestand	Sanierungsvarianten			
	Vor WSchV77	EnEV2014	NEH	EnEV2014	NEH
	U-Wert [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]	Dämm- stoffstärke [cm]	Dämm- stoffstärke [cm]
Steildach	0,90	0,24	0,18	11	16
Außenwand	1,40	0,24	0,18	13	17
Kellerdecke	1,30	0,30	0,20	9	15
Oberste Geschossdecke	0,9	0,24	0,18	11	16

6.3 Kosten

Die Kosten der einzelnen Sanierungsvarianten wurden mit Hilfe der Kostenfunktionen gemäß (Hinz, 2012) und in Abhängigkeit der ermittelten notwendigen Dämmstärken berechnet. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden die Vollkosten der Sanierungsmaßnahme angesetzt.

Tabelle 14: U-Werte der Bestands-, und Sanierungsvarianten sowie die notwendigen Dämmstoffstärken bei $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$

Kostenfunktionen	Fixkosten €/m ²	€/cm Dämmstoff
Steildach	187	2,2
Wand	87	2,4
Kellerdecke	26	1,0
Oberste Geschossdecke	26	1,9

6.4 Untersuchte Szenarien

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung einer Dämmmaßnahme ist die Angabe verschiedenster Parameter wie beispielsweise die Energiepreissteigerung, Baukosten, Finanzierung etc. notwendig. Diese Kennwerte sind jedoch nicht immer bekannt, bzw. im Falle der Energiepreissteigerung kann dies nur als Annahme berücksichtigt werden. Deshalb sollen im Rahmen dieser Betrachtung die möglichen Schwankungen der einzelnen Parameter und deren Einfluss auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbewertung ermittelt werden.

Dazu werden drei verschiedene Berechnungsszenarien gebildet, innerhalb welcher die realistische Schwankungsbreite der einzelnen Parameter abgebildet werden. Dabei soll neben einem „mittlerem“ Szenario, in welchem die Kennwerte möglichst aktuell und allgemeingültig gewählt wurden, auch ein positives, sowie ein negatives Szenario betrachtet werden. In diesen werden realistische Maximal,- bzw. Minimalwerte der einzelnen Kennwerte zur Wirtschaftlichkeitsberechnung angesetzt. Durch diese Parameterstudie soll der Einfluss möglicher Best und Worst Case Konstellationen bestimmt werden.

In Tabelle 15 sind die Kennwerte, welche für die Szenarien „Positiv“, „Mittel“, und „Negativ“ angesetzt wurden, zusammengefasst. Dabei wurden die Kennwerte so gewählt, dass im positiven Szenario die Amortisationszeit möglichst kurz ausfällt, im negativen Fall genau umgekehrt.

So wurden die Faktoren, welche die tatsächlichen Kosten und die Finanzierung betreffen, im positiven Szenario besonders günstig ausgelegt. Die Kennwerte zu den Energiekosten wurden dagegen so gewählt, dass sich diese besonders hoch entwickeln. So wurde beispielsweise die Energiepreissteigerung relativ hoch mit 7 % angenommen. Außerdem wurde eine zusätzliche Schwankung im Endenergieverbrauch durch zusätzliche Erhöhung, bzw. Reduktion des Berechneten Ergebnisses um 10% eingefügt. Damit sollen Ungenauigkeiten der Berechnung, bzw. klimatische Schwankungen berücksichtigt werden.

Tabelle 15: Variation der Kennwerte zu Wirtschaftlichkeitsberechnung

Kennwerte / Randbedingung	Positiv	Mittel	Negativ
Finanzierung			
Sanierungskosten	90 %	100 %	120 %
Zins	1 %	2 %	4 %
Kreditlaufzeit	5 Jahre	10 Jahre	15 Jahre
Energieverbrauch- und Kosten			
Jährliche Energiepreissteigerung	6 %	5 %	2 %
Tats. Heizenergieverbrauch	90 %	100 %	110
Nutzungsdauer	35 Jahre	30 Jahre	25 Jahre

Tabelle 16: Allgemeine Kennwerte zur Berechnung des Energieverbrauchs und der Heizkosteneinsparungen

Allgemeine Kennwerte	
Gradtagszahlfaktor bzw. Heizperiodenverfahren	66 kWh, bzw. 2.900 Kd * f _{NA} , wobei f _{NA} =0,95 als Faktor für Nachtabsenkung
Energiepreis	0,08 €/kWh
Wärmeleitfähigkeit Dämmstoff	0,035 W/mK

Zum Vergleich der definierten drei Szenarien, soll jeweils eine Berechnung des annuitätischen Gewinns durchgeführt werden. Dazu werden pro Konstruktion und Szenario, jeweils die Heizenergieeinsparungen mit Hilfe des Heizperiodenverfahrens ermittelt. Daraus werden, unter Berücksichtigung der jeweiligen Energiepreissteigerung, die zu erwartenden, jährlichen Heizkosteneinsparungen, bzw. die annuitätischen Erlöse ermittelt. Des Weiteren werden, unter Berücksichtigung der in Tabelle 14 dargestellten Sanierungskosten und der jeweils im Szenario definierten Finanzierungsrandbedingungen, die annuitätischen Kosten ermittelt.

Durch subtrahieren der annuitätischen Erlöse von den Kosten, erhält man den annuitätischen Gewinn. Dieser Betrag gibt die gemittelten, jährlichen Einsparungen der Sanierungsmaßnahme wider. In Fällen mit negativen annuitätischen Gewinnen,

werden die getätigten Investitionen durch die dadurch erzielten Erlöse über die Nutzungsdauer nicht ausgeglichen.

Weiterführend können die Kosten für eine eingesparte kWh Energie mit Division der annuitätischen Kosten durch die jeweiligen Energieeinsparungen pro Jahr ermittelt werden. Unterschreitet dieser Wert die Energiekosten pro kWh, kann die Maßnahme als Wirtschaftlich bewertet werden, da weniger für die Einsparung der Energie bezahlt werden muss, als für den Bezug.

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse dieser Bewertungsmethoden für alle Bauteile und Szenarien dargestellt. Der Einfluss der positiv, bzw. negativ gewählten Kennwerte auf die Wirtschaftlichkeit ist deutlich zu erkennen. So schwanken beispielsweise die energetischen Gewinne für die Sanierung der Außenwand auf EnEV Niveau zwischen 2,59 im negativen und 21,74 €/m² Bauteil im positiven Szenario. Gleiches gilt für die Kosten der eingesparten Energie, welche im gleichen Beispiel zwischen 0,10 €/kWh und 0,04 €/kWh liegen.

Man kann erkennen, dass sich durch Konstellation von realistisch gewählten Kennwerten als positiv und negativ Szenario, das Endergebnis des annuitätischen Gewinns, in diesem dargestellten Beispiel, teilweise um das fast 7-fache unterscheiden. Dadurch wird deutlich, wie sehr das Resultat einer solchen Wirtschaftlichkeitsbewertung durch die Veränderung der Parameter beeinflusst werden kann. Dies zeigt, dass eine allgemeingültige Bewertung zu monetären Einsparpotentialen von Dämmmaßnahmen nur schwer möglich ist. Für eine aussagekräftige und belastbare Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer bestimmten Dämmmaßnahme, sind die Angaben von projektbezogenen Kennwerten deshalb von äußerster Wichtigkeit.

Tabelle 17: Berechnete Kennwerte für der untersuchten Szenarien und Bauteile

		Einheit	Mittleres Szenario				Positives Szenario				Negatives Szenario			
			Dach	Wand	Keller	OGD	Dach	Wand	Keller	OGD	Dach	Wand	Keller	OGD
Kosten in €/m² Bauteil	ohne Dämmung	€/m ²	187	87	-	-0	168	78	-	-	224	104	-	-
	nach EnEV	€/m ²	211	119	36	47	190	107	32	42	254	142	43	56
	nach NEH	€/m ²	222	128	42	56	200	115	38	51	267	154	50	68
jährliche Energieeinsparung in kWh/m² Bauteil	ohne Dämmung	kWh/m ² a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	nach EnEV	kWh/m ² a	43,6	76,6	33,0	43,6	47,9	84,2	36,3	47,9	39,2	68,9	29,7	39,2
	nach NEH	kWh/m ² a	47,5	80,5	36,3	47,5	52,3	88,6	39,9	52,3	42,8	72,5	32,7	42,8
annuitätische Kosten €/m² Bauteil	ohne Dämmung	€/m ²	6,58	3,06	-	-	4,88	2,27	-	-	10,48	4,87	-	-
	nach EnEV	€/m ²	7,44	4,17	1,26	1,66	5,52	3,10	0,94	1,23	11,84	6,65	2,01	2,64
	nach NEH	€/m ²	7,83	4,52	1,48	2,00	5,80	3,35	1,10	1,47	12,46	7,19	2,36	3,18
annuitätische Erlöse in €/m² Bauteil	ohne Dämmung	€/m ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	nach EnEV	€/m ²	8,05	14,15	6,10	8,05	13,66	24,01	10,35	13,66	4,25	7,47	3,22	4,25
	nach NEH	€/m ²	8,78	14,88	6,71	8,78	14,90	25,25	11,38	14,90	4,63	7,85	3,54	4,63
Annuitätischer Gewinn in €/m² Bauteil	ohne Dämmung	€/m ²	- 6,58	-3,06	-	-	-4,88	-2,27	-	-	-10,48	-4,87	-	-
	nach EnEV	€/m ²	1,47	11,09	6,10	6,39	6,30	17,37	8,47	9,95	-5,29	4,25	3,93	2,55
	nach NEH	€/m ²	2,20	11,82	6,71	6,79	7,31	18,39	9,31	10,71	-4,81	4,72	4,33	5,66
Kosten für eingesparte kWh Energie	nach EnEV	€/kWh	0,17	0,05	0,04	0,04	0,14	0,04	0,03	0,03	0,25	0,08	0,07	0,06
	nach NEH	€/kWh	0,16	0,06	0,04	0,04	0,14	0,05	0,03	0,03	0,24	0,08	0,07	0,06

Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die genannten Prüfgegenstände. Eine auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichts ist nur mit einer schriftlichen Genehmigung des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. München erlaubt.

6.5 Ergebnisse im Vergleich

Um die Ergebnisse der Szenario- Berechnungen auszuwerten und grafisch darzustellen, wurden die kumulierten Kosten der Investitionszahlungen, sowie den jährlichen Heizkosten über den jeweils im Szenario definierten Nutzungszeitraum betrachtet. Dabei wurden je Szenario, die Kosten für die folgenden Varianten berechnet:

- Nur Instandsetzung, das heißt Sanierung des Bauteils ohne Wärmedämmung (z.B. Erneuerung des Putzes an der Fassade)
- Sanierung auf energetisches Niveau nach EnEV 2014
- Sanierung auf energetisches Niveau für Niedrigenergiehaus
- Status Quo, das heißt es wird keine Maßnahme zur Instandsetzung oder zur Dämmung durchgeführt

In Abbildung 27, Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 30 sind diese kumulierten Kosten für die drei untersuchten Szenarien dargestellt. Dabei kann man bei den Sanierungsvarianten einen deutlichen Knick nach Ablauf der im Szenario angesetzten Kreditlaufzeit erkennen. Durch die jährlich fälligen Tilgungen der notwendigen Investition, steigen die kumulierten Kosten in den ersten Jahren dort stärker an. Die Amortisationszeit der Sanierungsvarianten nach EnEV und NEH kann man am Schnittpunkt mit der Kostenkurve „Status Quo“ ablesen.

Außenwand

Allgemein lässt sich aus den drei Szenarien erkennen, dass eine Sanierung der Fassade, ohne Dämmmaßnahme, im Vergleich am unvorteilhaftesten abschneidet, da durch die relativ hohe Investition keine Einsparungen erzeugt werden können.

Die beiden Sanierungsvarianten nach EnEV, bzw. NEH unterscheiden sich im Verlauf der kumulierten Kosten kaum. Die etwas höhere Investition, wird durch die niedrigeren Heizkosten etwa ausgeglichen. Im positiven Szenario liegt die Amortisationszeit der beiden Sanierungen nach EnEV und NEH bei ca. 10 Jahren. Dagegen wird eine Amortisation im negativen Szenario, aufgrund der angesetzten kurzen Nutzungsdauer von 25 Jahren, gerade nicht erreicht.

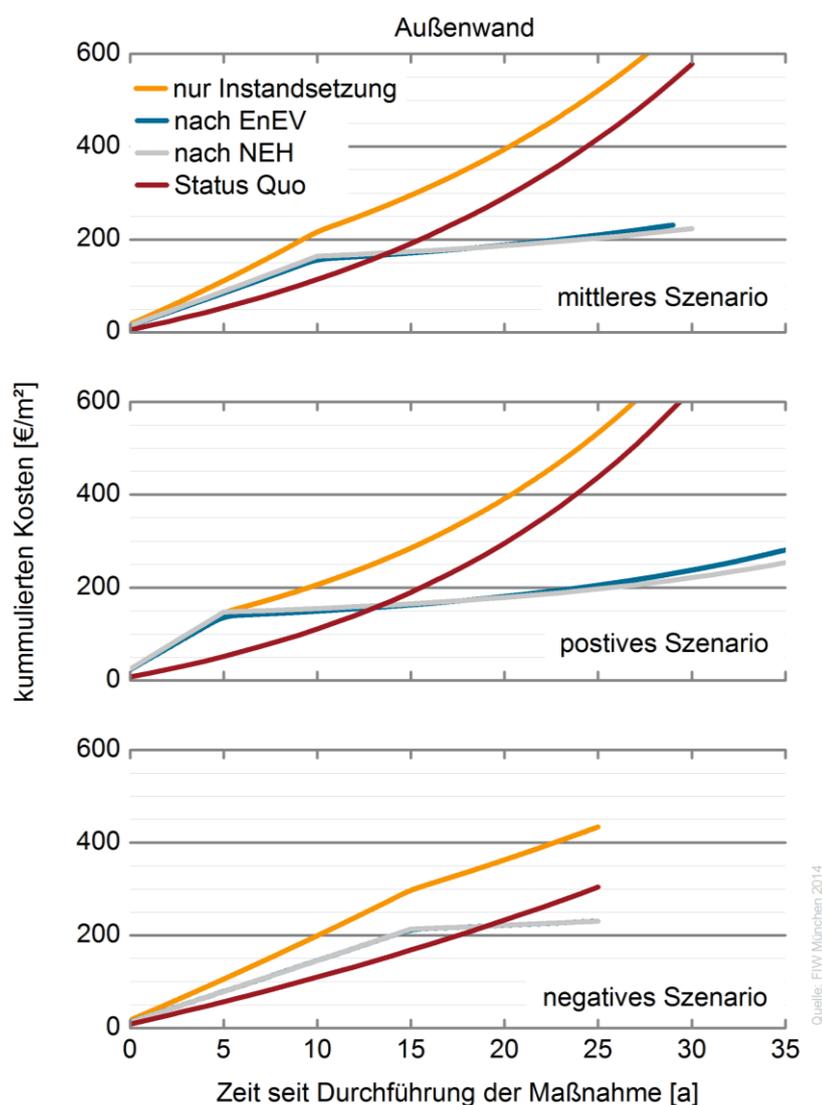


Abbildung 27: Verlauf der kumulierten Kosten über die jeweilige Nutzungsdauer der untersuchten Szenarien für das Bauteil Außenwand. Es werden die Vollkosten angesetzt.

Steildach

Ähnlich wie bei der Außenwand lässt sich erkennen, dass eine Sanierung des Dachs, ohne Dämmmaßnahme, im Vergleich am unvorteilhaftesten abschneidet, da durch die relativ hohe Investition keine Einsparungen erzeugt werden können.

Die beiden Sanierungsvarianten nach EnEV, bzw. NEH unterscheiden sich im Verlauf der kumulierten Kosten kaum. Die etwas höhere Investition, wird durch die niedrigeren Heizkosten etwa ausgeglichen. Die Amortisationszeiten liegen hier deutlich höher. Grund dafür sind die relativ hohen Investitionskosten einer Dachsanierung. Diese können, je nach Szenario, allein durch die dadurch generierten Heizkosteneinsparungen nicht komplett ausgeglichen werden.

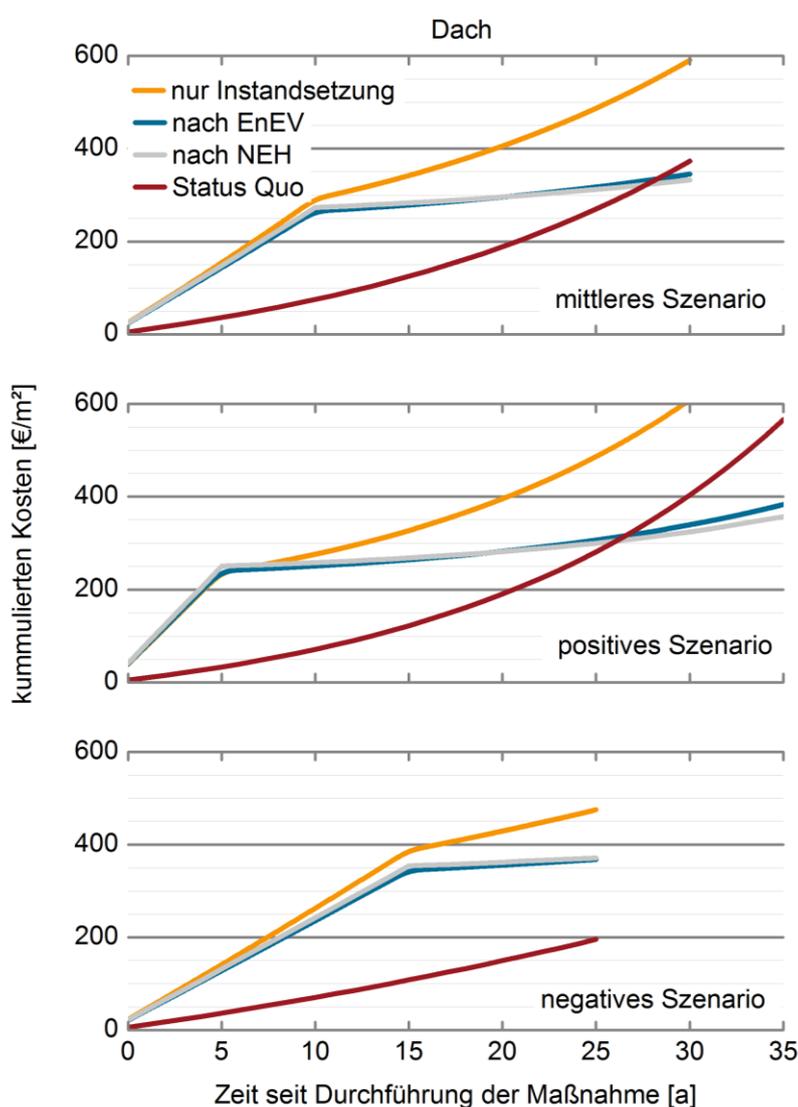


Abbildung 28: Verlauf der kumulierten Kosten über die jeweilige Nutzungsdauer der untersuchten Szenarien für das Bauteil Dach. Es werden die Vollkosten angesetzt.

Kellerdecke

Da bei Kellerdecken in der Regel keine Sanierungsmaßnahmen zur Instandsetzung notwendig sind, wird diese Variante nicht betrachtet. Wie bei der Außenwand und dem Dach ist der Verlauf der Sanierungsvarianten nach EnEV, bzw. NEH sehr ähnlich. Die etwas höhere Investition, wird durch die niedrigeren Heizkosten etwa ausgeglichen. Die Amortisationszeit im positiven Szenario liegt hier, aufgrund der deutlich geringeren Investitionskosten bei ca. 8 Jahren.

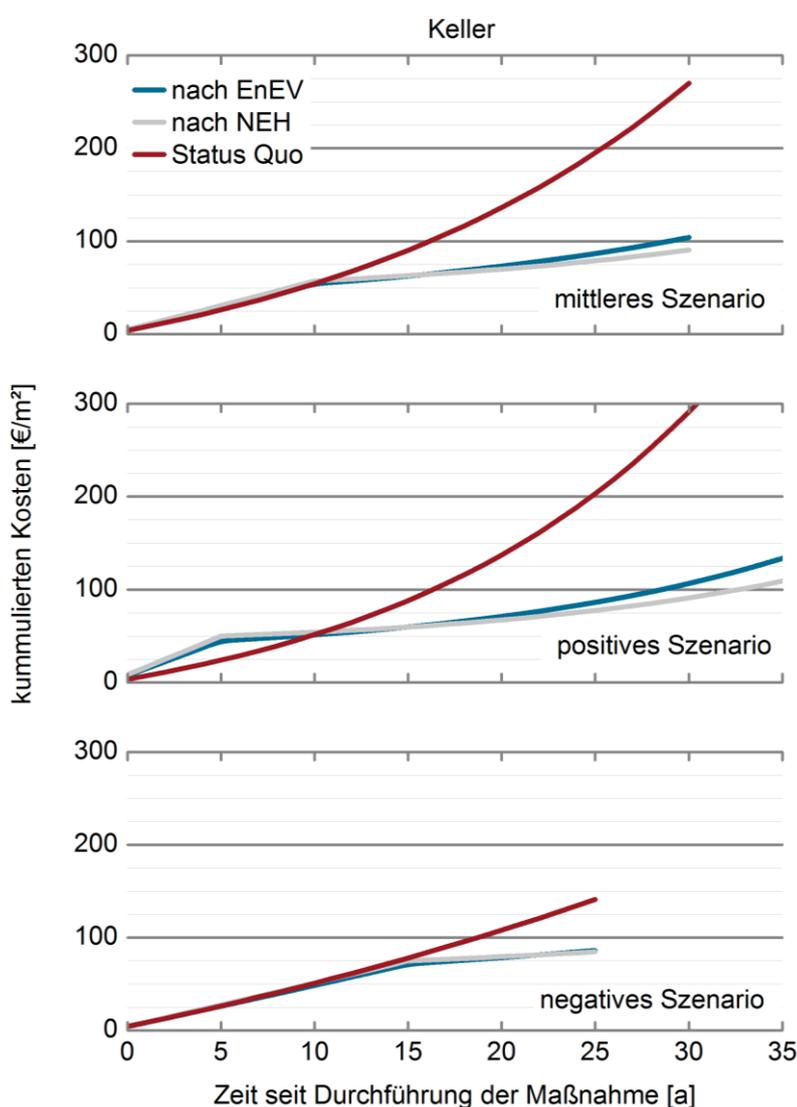


Abbildung 29: Verlauf der kumulierten Kosten über die jeweilige Nutzungsdauer der untersuchten Szenarien für das Bauteil Kellerdecke

Oberste Geschossdecke

Da, wie zuvor bei der Betrachtung der Kellerdecke, bei der obersten Geschossdecke in der Regel keine Instandhaltungsmaßnahmen anfallen, wurde diese Variante nicht betrachtet. Neben der Sanierung des kompletten Daches, kann eine nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke sinnvoll sein. Die Kosten hierfür sind im Vergleich zur Komplettsanierung des Daches deutlich geringer.

Die Amortisationszeit dieser Maßnahme liegt hier demnach auch deutlich niedriger als Vergleichsweise bei der Sanierung des Daches. Im positiven Szenario kann die Investition bereits nach ca. 10 Jahre amortisiert werden.

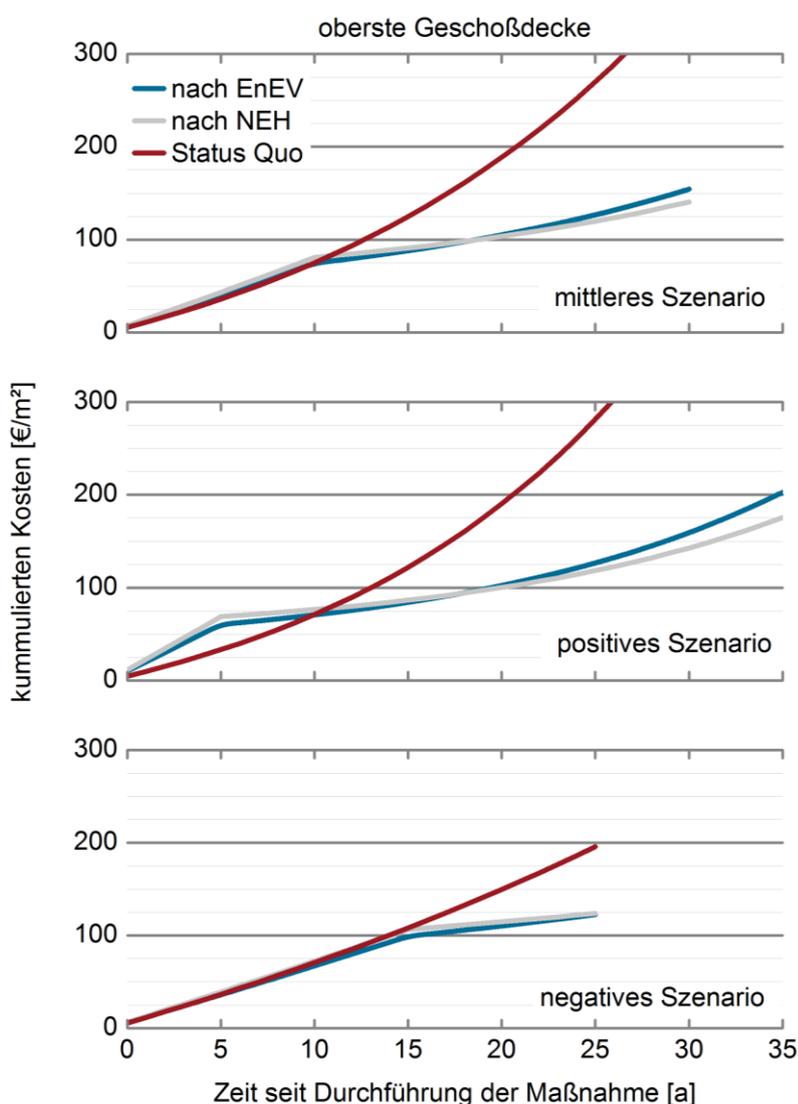


Abbildung 30: Verlauf der kumulierten Kosten über die jeweilige Nutzungsdauer der untersuchten Szenarien für das Bauteil oberste Geschossdecke

7 Wirtschaftlichkeit von Gesamtmaßnahmen

Weiterführend zu den zuvor in Kapitel 6 dargestellten Untersuchungen, soll im Folgenden der gleiche Ansatz auf ganze Gebäude übertragen werden. Dabei werden beispielhaft ein typisches Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1969 – 1978 mit dem energetischen Niveau nach der damaligen WSchV77 und deren Sanierungen auf EnEV oder NEH Niveau betrachtet.

7.1 Allgemeine Randbedingungen

In Tabelle 18 sind die gemäß der gewählten Baualtersklasse und energetischem Niveau angesetzten Kennwerte der einzelnen Bauteile zusammengefasst. Diese Kennwerte basieren, wie auch die anderen Untersuchungen dieser Studie, auf dem Bericht der ARGE Kiel (Walberg, 2011).

Tabelle 18: Angesetzte U-Werte und deren Flächen der beiden Beispielgebäude im Bestand, sowie die beiden untersuchten Sanierungsvarianten

Bauteil	Bestand	Sanierungsvarianten		Flächen	
	Vor WSchV77	EnEV2014	NEH	EFH	MFH
	U-Wert [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]	U-Wert [W/m ² K]	[m ²]	[m ²]
Steildach	0,90	0,24	0,18	146	217
Außenwand	1,40	0,24	0,18	140	336
Kellerdecke	1,30	0,30	0,20	125	217
Fenster	3,5	1,80	1,30	31	81

Die durchgeführten Berechnungen beruhen auf denselben Szenarien, wie zuvor in Kapitel 0 dargestellt. Zur Bestimmung der jährlichen Heizenergieeinsparungen und der Heizkosten der einzelnen Szenarien, wurde das vereinfachte Heizperiodenverfahren (siehe auch Tabelle 9) verwendet. Bei diesen Verfahren werden neben den Transmissionswärmeverlusten, auch die Lüftungswärmeverluste, sowie die internen und solaren Gewinne berücksichtigt.

Basierend auf diesen Berechnungsansatz sind in Abbildung 31 die relativen Anteile der Wärmeverluste der einzelnen Bauteile über Transmission, sowie der Wärmebrückenanteil und die Lüftungswärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten

des Gebäudes dargestellt. Diese Betrachtung wurde jeweils für den Bestand, sowie für die beiden Sanierungsvarianten nach EnEV und NEH durchgeführt. Der Anteil der Lüftungswärmeverluste steigt dabei in den beiden Sanierungsvarianten stark an. Diese sind in allen drei Betrachteten Varianten, gleich groß. Der relative Anteil am gesamten Wärmeverlust steigt jedoch mit zunehmender Verbesserung der Gebäudehülle und Reduzierung der gesamten Wärmeverluste an.

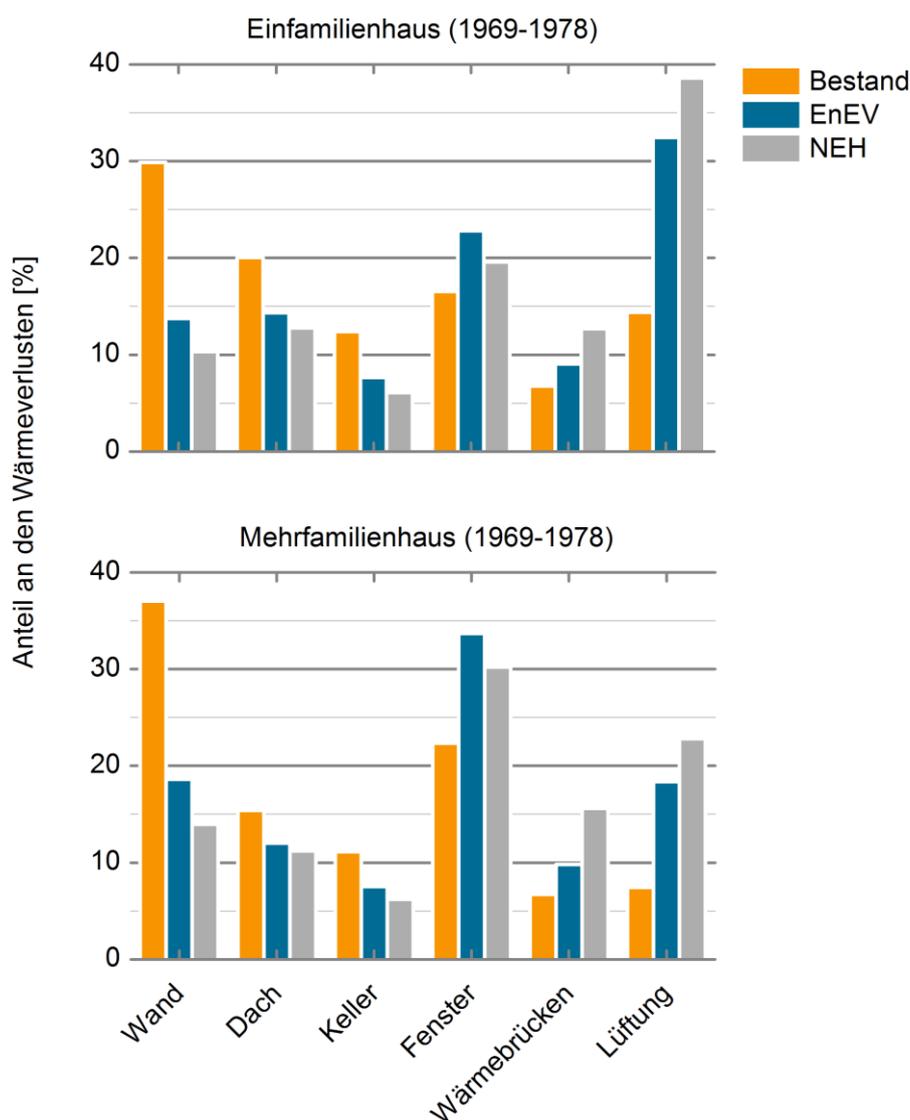


Abbildung 31: Relative Anteile der einzelnen Bauteile und der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten für ein typischen Einfamilienhaus (EFH) bzw. Mehrfamilienhaus (MFH) der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979.

7.2 Einfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

Nachfolgend sind in Tabelle 19 die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für das EFH zusammengefasst. Die Berechnungsschritte entsprechen denen wie zuvor in Kapitel 0 erläutert.

Die berechneten annuitätischen Erlöse für das gesamte Gebäude nach den energetischen Anforderungen nach EnEV liegen zwischen 1.800 € und 3.200 € pro Jahr über die jeweilige Nutzungsdauer. Die Kosten, bzw. Erlöse in der Variante nach NEH liegen dabei im Vergleich etwas höher, weshalb auch etwas höhere annuitätische Gewinne erzielt werden können. Die Mehrinvestition in die zusätzliche Dämmstärke lohnt sich demnach in diesem Beispiel.

In Abbildung 32 sind die kumulierten Kosten der drei Szenarien für das EFH über die jeweilige Nutzungsdauer aufgetragen. Deutlich kann man unterschiedlichen Verlauf der Kosten, und die im Schnittpunkt von Sanierungsvariante und Status Quo liegenden Amortisationszeiten, erkennen.

Bei einer Vollständigen Sanierung der Gebäudehülle im beschriebenen Beispiel Einfamilienhaus sind diese Investitionen nach ca. 16 Jahren im positiven Szenario und ca. 24 Jahren im negativen Szenario durch die dadurch erzielten Heizkosteneinsparungen amortisiert.



Tabelle 19: Berechnungsergebnisse der Szenarien Untersuchung für ein beispielhaftes Einfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

		Positives Szenario	Mittleres Szenario	Negatives Szenario
Jährlicher Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]	Nur Instandsetzung	33.398	29.693	37.103
	Nach EnEV	6.276	5.185	7.367
	Nach NEH	3.708	2.873	4.542
Sanierungskosten [€]	Nur Instandsetzung	41.032	37.084	48.928
	Nach EnEV	59.996	54.803	70.384
	Nach NEH	67.780	62.211	78.919
Energiebedingte Mehrkosten [€]	Nach EnEV	17.719	18.964	21.455
	Nach NEH	25.127	26.748	29.990
Jährliche Einsparung Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]	Nur Instandsetzung	0	0	0
	Nach EnEV	27.784	25.664	23.544
	Nach NEH	30.507	28.232	25.957
Annuitätische Kosten [€/a]	Nur Instandsetzung	1.305	1.444	1.722
	Nach EnEV	1.929	2.112	2.477
	Nach NEH	2.189	2.385	2.777
Annuitätische Erlöse [€/a]	Nur Instandsetzung	-	-	-
	Nach EnEV	5.134	4.743	4.351
	Nach NEH	5.638	5.217	4.797
Annuitätischer Gewinn [€/a]	Nur Instandsetzung	-1.305	- 1.444	-1.722
	Nach EnEV	3.206	2.631	1.874
	Nach NEH	3.448	2.832	2.019

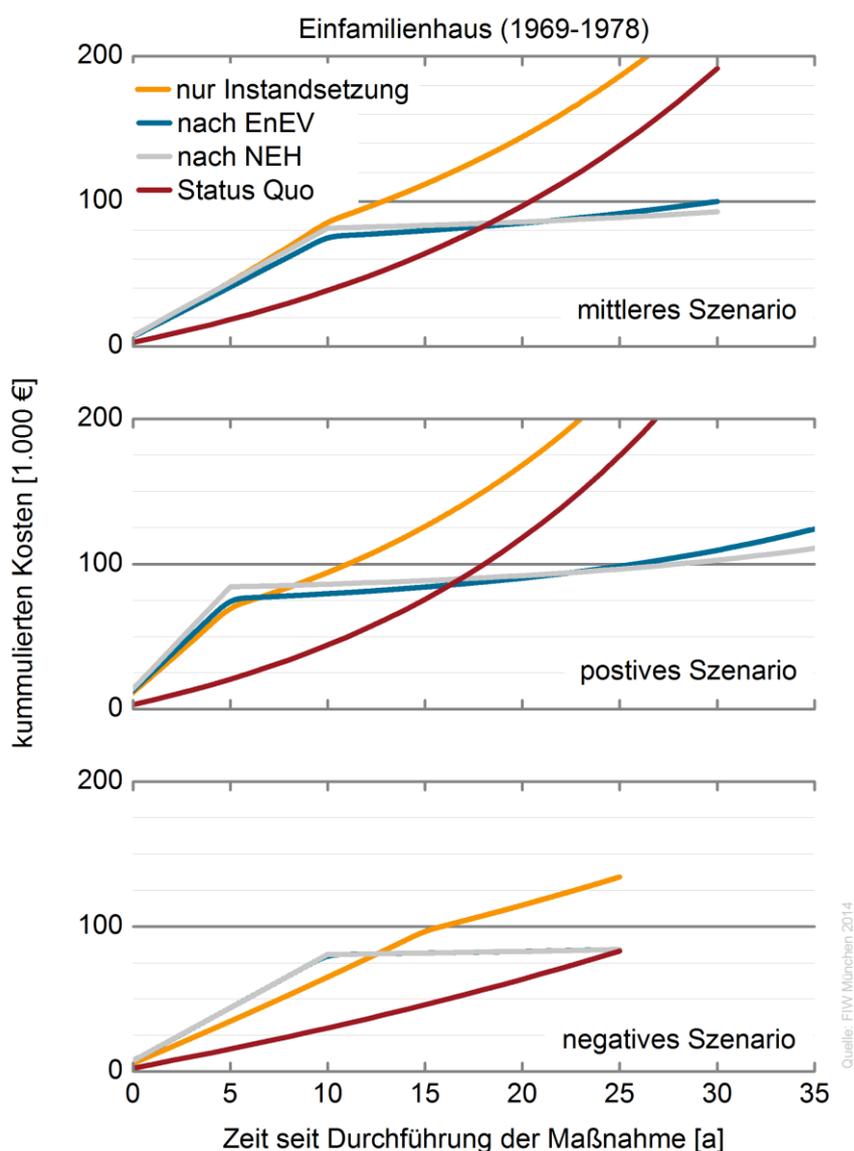


Abbildung 32: Verlauf der kumulierten Kosten der untersuchten Szenarien für den Gebäudetyp EFH

Basierend auf den beschriebenen Berechnungen sind in Tabelle 20 die Amortisationszeiten der untersuchten Sanierungsvarianten pro Bauteil, sowie für das gesamte Einfamilienhaus bei Durchführung aller Maßnahmen zusammengefasst. Diese wurden mit der Kapitalwertmethode und durch Ansetzen energiebedingten Mehrkosten der Sanierungsmaßnahmen ermittelt. Deshalb sind die Ergebnisse dabei deutlich geringer als bei der graphischen Auswertung in Abbildung 32. Prinzipiell kann man erkennen, dass die Amortisationszeiten in den Sanierungsvarianten nach ENH etwas höher liegen, als bei den Varianten auf EnEV. Außerdem kann man feststellen, dass sich die Amortisationszeit bei einer Komplettsanierung teilweise deutlich geringer ist, als beispielsweise bei den Einzelmaßnahmen bei der Sanierung der Fenster oder der Kellerdecke. Insgesamt unterscheiden sich die Ergebnisse in den drei Szenarien jedoch nicht mehr so stark als beim Ansetzen der Vollkosten.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die gewählte Betrachtung mit den energiebedingten Mehrkosten, die Amortisationszeiten im Vergleich zur Vollkostenbetrachtung relativ kurz ausfallen. Deshalb haben beispielsweise die Energiepreissteigerung und deren exponentielle Auswirkung auf die Energiekosten, im Vergleich einen deutlicher geringeren Einfluss, wodurch sich die Ergebnisse der drei Szenarien nicht mehr so stark unterscheiden.

Tabelle 20: Amortisationszeit der energiebedingten Mehrkosten für die Szenarien Untersuchung für ein beispielhaftes Einfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

		Positives Szenario	Mittleres Szenario	Negatives Szenario
Dach	Nach EnEV	6,3	6,3	6,8
	Nach NEH	8,1	8,1	8,8
Wand	Nach EnEV	4,8	4,8	5,2
	Nach NEH	5,9	5,9	6,4
Keller	Nach EnEV	11,2	11,2	12,0
	Nach NEH	11,8	11,8	12,6
Fenster	Nach EnEV	17,0	18,4	15,8
	Nach NEH	20,0	21,5	18,7
Gesamt	Nach EnEV	7,7	7,9	7,9
	Nach NEH	9,6	9,9	9,8

7.3 Mehrfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für das Beispiel MFH zusammengefasst. Die Berechnungsschritte erfolgten wie zuvor beim EFH, bzw. wie in Kapitel 0 erläutert.

Beim Beispiel des MFH liegt der annuitätische Gewinn nach vollständiger Sanierung der Gebäudehülle bei 4.000 € im negativen und 5.400 € im positiven Szenario. Ähnlich wie im Beispiel beim EFH liegen auch beim MFH die Ergebnisse für die Sanierung auf das Niveau eines Niedrigenergiehauses noch etwas höher als im Vergleich nach EnEV. Auch hier lohnt also die zusätzliche Investition in die größere Dämmstärke.



Tabelle 21: Berechnungsergebnisse der Szenarien Untersuchung für ein beispielhaftes Mehrfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

		Positives Szenario	Mittleres Szenario	Negatives Szenario
Jährlicher Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]	Nur Instandsetzung	73.922	66.165	81.680
	Nach EnEV	18.705	16.371	21.039
	Nach NEH	13.126	11.350	14.902
Sanierungskosten [€]	Nur Instandsetzung	73.861	66.880	87.823
	Nach EnEV	114.542	105.194	133.239
	Nach NEH	132.090	122.040	152.190
Energiebedingte Mehrkosten [€]	Nach EnEV	38.314	40.681	45.515
	Nach NEH	55.160	58.229	64.366
Jährliche Einsparung Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]	Nur Instandsetzung	77.573	67.269	67.269
	Nach EnEV	23.339	13.035	13.035
	Nach NEH	17.760	7.456	7.456
Annuitätische Kosten [€/a]	Nur Instandsetzung	2.599	67.269	3.091
	Nach EnEV	4.031	13.035	4.689
	Nach NEH	4.649	7.456	5.356
Annuitätische Erlöse [€/a]	Nur Instandsetzung	-	-	-
	Nach EnEV	9.503	10.286	8.721
	Nach NEH	10.534	11.370	9.698
Annuitätischer Gewinn [€/a]	Nur Instandsetzung	-2.599	-2.354	-3.091
	Nach EnEV	5.472	6.583	4.032
	Nach NEH	5.885	7.075	4.342

In Abbildung 33 sind die kumulierten Kosten für das MFH der drei untersuchten Szenarien über die jeweilige Nutzungsdauer aufgetragen. Auch hier ist der unterschiedliche Verlauf der Kosten, aufgrund der Finanzierungsrandbedingungen, der Energiepreissteigerung und der Nutzungsdauer deutlich zu erkennen. Die Amortisationszeit liegt für das Beispielgebäude bei einer Vollständigen Sanierung der Gebäudehülle zwischen ca. 15 Jahren im positiven Szenario und ca. 24. Jahren im negativen Szenario.

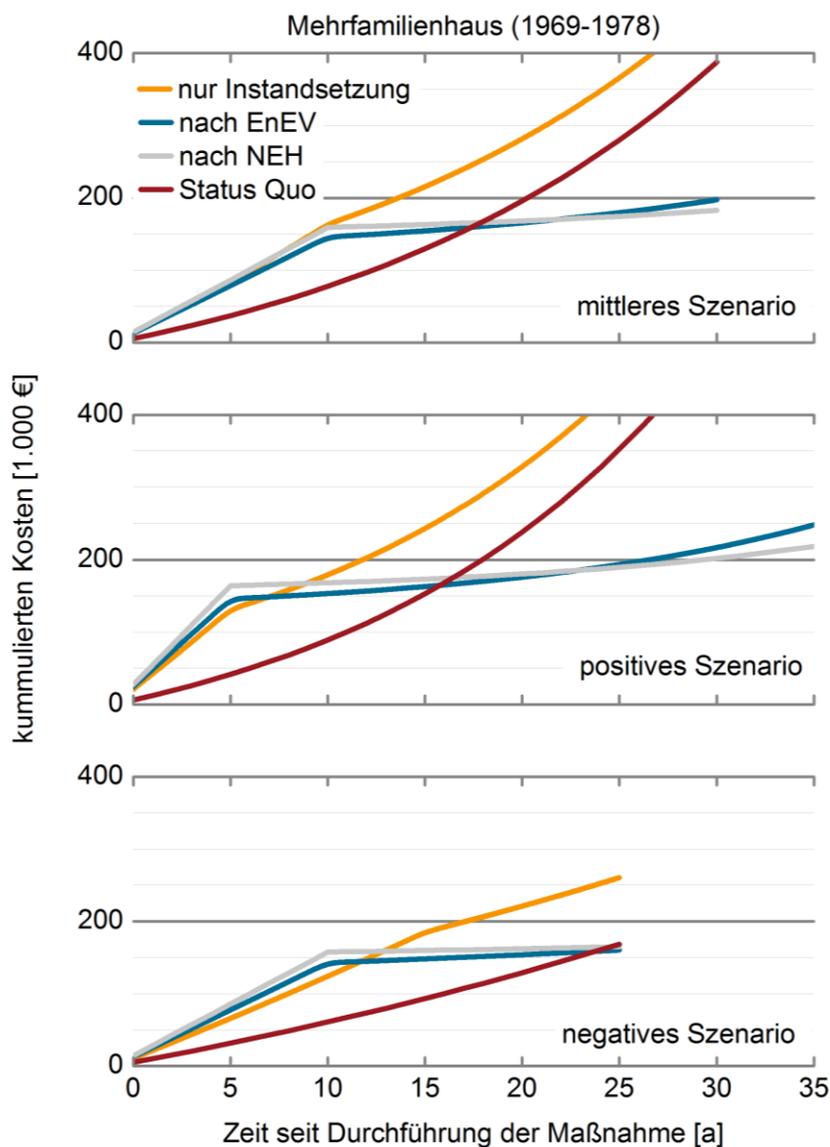


Abbildung 33: Verlauf der kumulierten Kosten der untersuchten Szenarien für den Gebäudetyp MFH

Wie zuvor beim Einfamilienhaus, sind in Tabelle 22 die Amortisationszeiten der untersuchten Sanierungsvarianten pro Bauteil, sowie für das gesamte Einfamilienhaus bei Durchführung aller Maßnahmen zusammengefasst. Ähnlich wie beim EFH liegen die Amortisationszeiten bei Vollsanierung des MFH teilweise unterhalb der Einzelmaßnahmen.

Auch hier fallen die Ergebnisse aufgrund der angesetzten energiebedingten Mehrkosten deutlich geringer als in der graphischen Auswertung in Abbildung 33.

Tabelle 22: Amortisationszeit der energiebedingten Mehrkosten für die Szenarien Untersuchung für ein beispielhaftes Mehrfamilienhaus aus der Gebäudealtersklasse 1968 bis 1979

		Positives Szenario	Mittleres Szenario	Negatives Szenario
Dach	Nach EnEV	6,3	6,3	6,8
	Nach NEH	8,1	8,1	8,8
Wand	Nach EnEV	4,8	4,8	5,2
	Nach NEH	5,9	5,9	6,4
Keller	Nach EnEV	11,2	11,2	12,0
	Nach NEH	11,8	11,8	12,6
Fenster	Nach EnEV	17,0	18,4	15,8
	Nach NEH	20,0	21,5	18,7
Gesamt	Nach EnEV	8,1	8,4	8,2
	Nach NEH	10,1	10,5	10,1

8 Die Energiewende im Gebäudebereich: Kostenschätzung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus gesamtwirtschaftlicher Sicht

Ohne Reduzierung der Wärmeverluste im Bestand geht die Rechnung zur Energiewende nicht auf. Diese Erkenntnis ist keinesfalls neu. Schon (Hauser, 1992) titelt „Wer den Gebäudebestand vergisst, kann alle Einsparziele vergessen“. Eine Reduzierung der Verluste und eine Erhöhung der Effizienz haben einen höheren Stellenwert als der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien, sind aber gleichzeitig dafür die Voraussetzung.

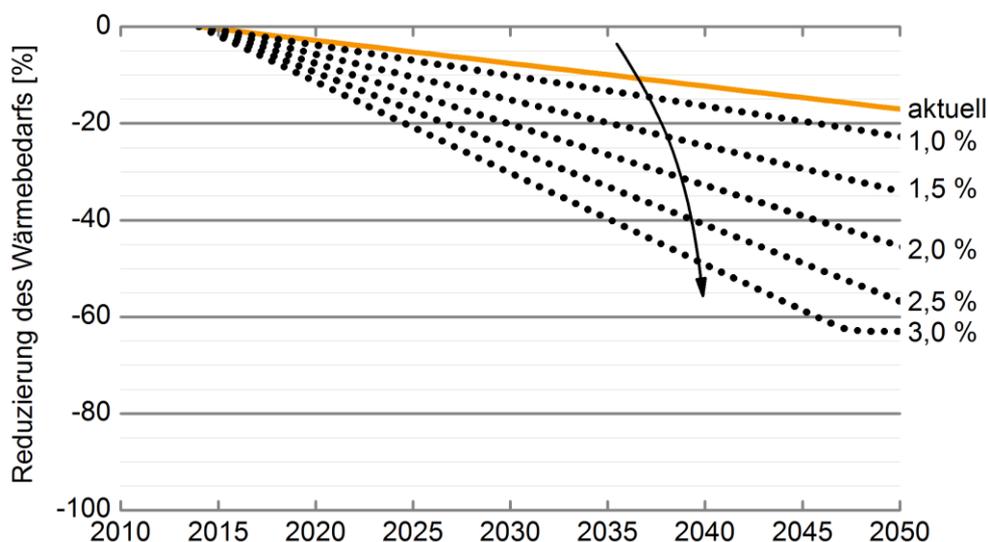
Doch in wie weit sind die Ziele, die von der Bundesregierung im Rahmen des Energiekonzeptes 2050 und der Energiewende beschlossenen Zielvorgaben bei der Reduzierung des Primärenergiebedarfes im Gebäudebereich, überhaupt noch erreichbar? Im folgenden Kapitel soll dies beantwortet werden. Abgeschätzt wird, mit welcher jährlichen Sanierungsrate der Gebäudebestand energetisch auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden muss, und welche Kosten dabei anfallen.

8.1 Auswirkung der Sanierungsquote auf das Erreichen des politischen Ziels

Das aktuelle Energiekonzept der Bundesregierung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung (BMWI, 2010) misst dem Gebäudesektor eine Schlüsselrolle zu: „Die Szenarien belegen, die energetische Sanierung des Gebäudebestands ist der zentrale Schlüssel zur Modernisierung der Energieversorgung und zum Erreichen der Klimaschutzziele.“ Nach diesem Energiekonzept der Bundesregierung muss demnach der Primärenergiebedarf der Bestandsgebäude bis 2050 um 80 % reduziert werden. Das entspricht in etwa einer Reduktion des Wärmebedarfs um 60%.

Doch die Gebäude können nicht innerhalb eines Jahres vollständig saniert, sondern müssen schrittweise auf den energetischen Stand der Technik gebracht werden. Eine genaue statistische Erfassung der jährlichen Sanierungsquote gibt es nicht. Derzeit wird sie aber unter 1% geschätzt. Auf Basis der im Kapitel 2.3 beschriebenen Daten und unter Annahme einer jährlich konstanten Sanierungsquote ist in Abbildung 34 der zeitliche Verlauf der Reduzierung des Heizwärmebedarfs bei Annahme unterschiedlicher Sanierungsquoten dargestellt. Die Sanierungsquote wird hier als „Vollsanierung“ gesehen. Das heißt, dass eine Gesamtmaßnahme durchgeführt wird. Deutlich zu erkennen ist, dass bei Verstärkung der aktuellen Sanierungsquote von unter 1 % die energiepolitischen Ziele deutlich verfehlt werden. Bis zum Jahr 2050 würde der Wärmebedarf im Wohnungsbau nur um 20% bezogen auf das Jahr 2014 reduziert werden. Um die von der Politik geforderte Reduktion um

60% zu erreichen, muss möglichst schnellstmöglich die Sanierungsquote auf jährlich konstante min. 2,50 % angehoben werden.



Quelle: FIW/München 2014

Abbildung 34: Berechnete zeitliche Verläufe der Reduzierung des Wärmebedarfs bezogen auf das Jahr 2014 bei Annahme unterschiedlicher Sanierungsquoten für EFH und MFH

Weiterführend auf den zuvor dargestellten Verlauf der Heizenergieeinsparungen in Abhängigkeit der Sanierungsquote, kann die notwendige Sanierungsquote im Wohnungsbau weiter in Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) aufgeteilt werden. Anhand Abbildung 35 kann aus der Kombination der Sanierungsquoten in EFH und MFH – Bestand die dadurch bis zum Jahr 2050 zu erzielende Reduktion des Heizwärmebedarfs abgelesen werden.

Wie bereits erwähnt, ist zur Erreichung der durch die Politik geforderten Reduktion des Heizwärmebedarfes um 60% eine Sanierungsquote von mehr 2,5 %, sowohl bei den EFH, als auch bei den MFH notwendig. Erreicht man bei den MFH jedoch nur eine Quote von beispielsweise 1,5%, kann der Heizwärmebedarf nur um ca. 50% reduziert werden.

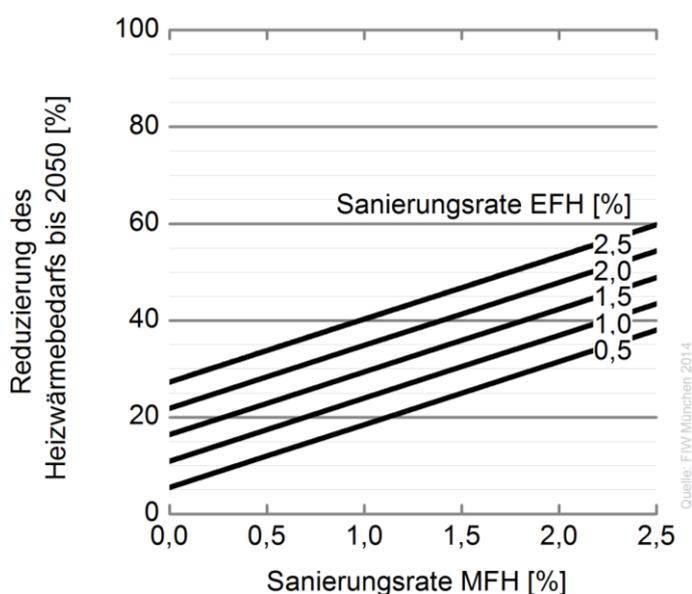


Abbildung 35: Mögliche Reduzierung des Heizwärmebedarfes bezogen auf das Jahr 2014 in Deutschland in % bis zum Jahr 2050 in Abhängigkeit der Sanierungsquoten für EFH und MFH

8.2 Gesamtkosten der energetischen Sanierung

In Tabelle 23 sind die geschätzten Gesamtkosten für eine Komplettsanierung auf einen energetischen Zustand der entsprechend geltenden energetischen Anforderungen aller zur Sanierung Wohngebäude aufgetragen. Insgesamt wären 1.100 Mrd. € für die Umsetzung dieser Sanierungen notwendig. Dabei entfallen in etwa 680 Mrd. € auf die sogenannten Sowieso-Kosten. Die rein energetisch bedingten Mehrkosten liegen bei rund 420 Mrd. €.

Tabelle 23: geschätzte Sanierungskosten nach Gebäudetypp

Gebäudetypp	Vollkosten [Mrd. €]	Energiebedingte Mehrkosten [Mrd. €]	Energiebedingte Mehrkosten [%]
EFH	617	226	36,6
MFH	482	196	40,6
Summe	1.099	422	38,4

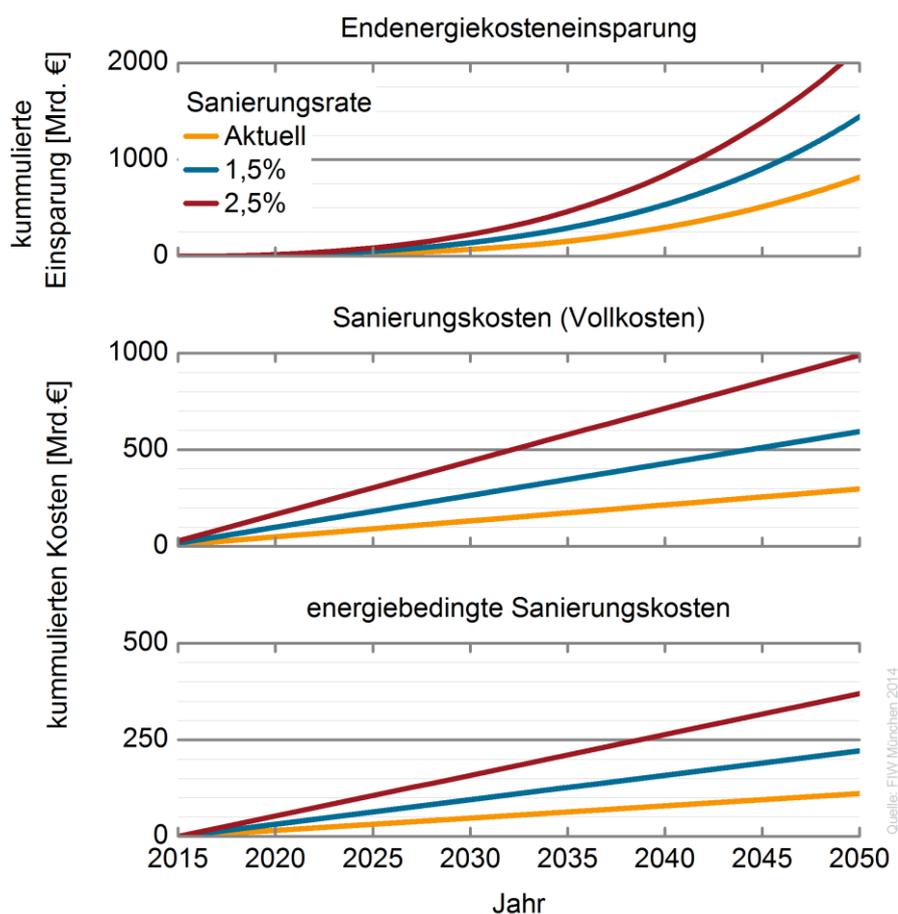
8.3 Einfluss der Sanierungsquote auf die Kosten

Natürlich sind die vorgestellten Einsparpotentiale mit Kosten für die hierfür notwendigen Maßnahmen verknüpft. Zu beachten ist, dass Ein- und Zweifamilienhäuser meist von den Eigentümern selbst genutzt werden und somit diese auch die Kosten einer notwendigen Sanierung selbst tragen.

Im Folgenden soll auf Basis der zuvor dargestellten notwendigen Sanierungsquoten für den Wohnungsbaubestand in Deutschland, sowohl die dadurch entstehenden Sanierungskosten, als auch Heizkosteneinsparungen abgeschätzt werden. Als Grundlage der Berechnung dienen die bereits zuvor angegebenen Kostenschätzungen für die einzelnen Maßnahmen (Hinz, 2012). Die Kosten für die Anpassung der Heizungsanlage wurden pauschal mit 5.000 € für ein Einfamilienhaus und mit 10.000 € für ein Mehrfamilienhaus angesetzt. Wichtig ist eine Unterscheidung zwischen energiebedingten Kosten für eine Sanierung und den sogenannten Sowieso-Kosten. Dabei wird unterstellt, dass die energetische Sanierung im Zuge einer ohnehin vorgenommenen allgemeinen Sanierung des Gebäudes oder Gebäudeteils durchgeführt wird.

In Abbildung 36 sind sowohl die kumulierten Sanierungskosten als Vollkosten, als auch nur die energiebedingten Mehrkosten für verschiedene Sanierungsquoten bis zum Jahr 2050 aufgetragen. Man kann erkennen, dass bei Durchführung der geforderten Sanierungsquote von 2,5% bis zum Jahr 2050 insgesamt 1.000 Mrd. € in Sanierungsmaßnahmen investiert werden müssten. Davon entfallen rund 400 Mrd. € auf die energiebedingten Maßnahmen bei der Sanierung.

Im Gegenzug dazu, können bei Durchführung einer Sanierungsquote von 2,5% bis zum Jahr 2050 ca. 2.000 Mrd. € an Heizkosten eingespart werden. Diese Einsparungen übersteigen die dafür notwendigen Investitionen deutlich.



Annahmen: Energiepreis: 0,08 €/kWh Preissteigerung: 5% - Realzins: 1%

Abbildung 36: Kumulierte Heizenergieeinsparungen und die dafür notwendigen Sanierungskosten als Vollkosten, sowie als energiebedingte Kosten in Abhängigkeit der Sanierungsquote bis zum Jahr 2050

8.4 Vergleich verschiedener Sanierungsszenarien

Nachfolgend wird ein beispielhaftes Szenario zur Erreichung der Einsparungsziele im Heizenergiebedarf im Wohngebäudebestand bis zum Jahr 2050 dargestellt. In Abbildung 37 ist zuoberst der Verlauf der Sanierungsrate in % dargestellt. Die Blaue Kurve gibt einen optimalen Verlauf an, in welchem die Sanierungsrate stufenweise bis zu 3,5% jährlich angehoben wird. Nach Aufrechterhaltung dieser maximalen Sanierungsquote für etwa 10 Jahre, wird ein Rückgang um jährlich 0,1% bis zu einer jährlich konstanten Sanierungsrate von 2 % angenommen. Demgegenüber ist in oranger Farbe das Beibehalten der aktuellen Rate von jährlich ca. 1% dargestellt.

In der mittleren Graphik ist entsprechend dem zuvor erläuterten Verlauf der Sanierungsraten, der jährliche Endenergiebedarf für Heizen in TWh dargestellt. Deutlich ist eine starke Abnahme bei Durchführung der optimalen Sanierungsquote zu erkennen.

In der untersten der drei Graphiken sind die entstehenden jährlichen Kosten für Wärme für die beiden zuvor dargestellten Verläufe der Sanierungsquoten dargestellt. Es wurde mit einem Energiepreis von 0,08 €/kWh und einer Energiepreissteigerung von 5% gerechnet. Bei Durchführung der optimalen Sanierungsquote liegen die Wärmekosten deutlich unterhalb der anfallenden Kosten welche bei Beibehaltung der Sanierungsrate von 1% fällig würden. Dieser starke Anstieg ist auf die Energiepreissteigerung zurückzuführen. In diesem Zusammenhang sind in grauer Farbe die jährlich anfallenden Kosten für die Durchführung der optimalen Sanierungsrate dargestellt. Diese liegen deutlich unterhalb der Wärmekosten.

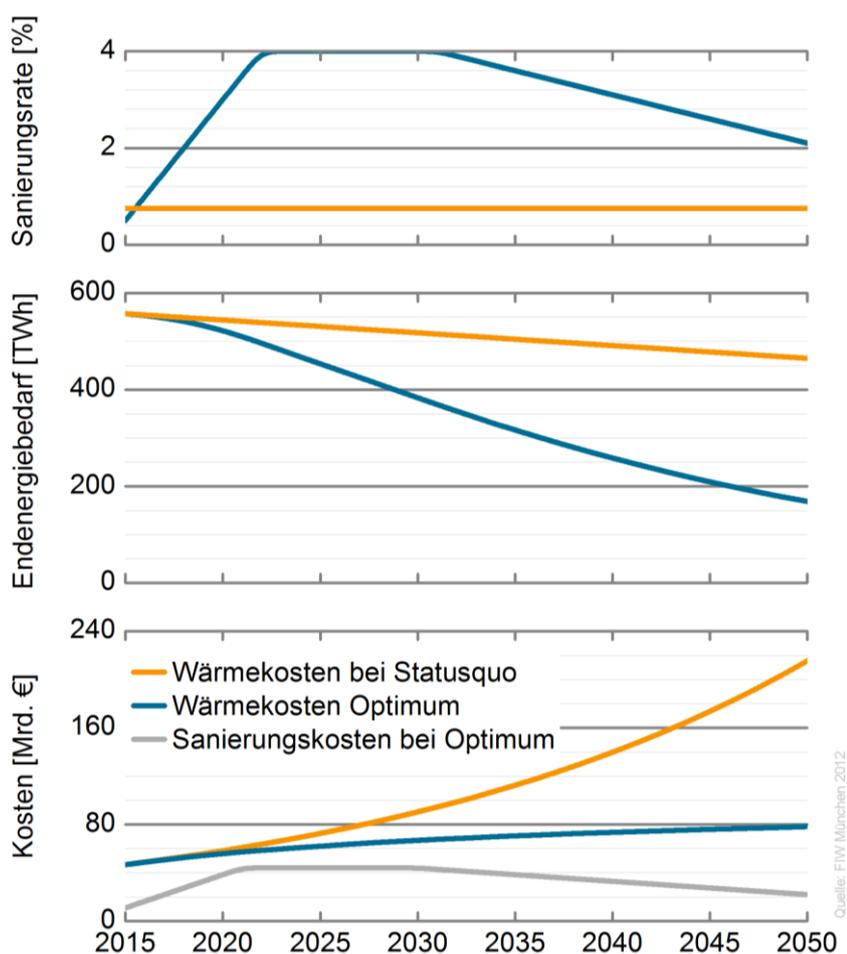


Abbildung 37: Verlauf des Endenergiebedarfs und den dadurch entstehenden Wärmekosten bei Durchführung eines optimalen Sanierungsfahrplans zum Erreichen der von der Bundesregierung angestrebten Reduzierung des Wärmebedarfs im Gebäudebereich bis zum Jahr 2050

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist der Verlauf der eingesparten kumulierten Wärmekosten im Vergleich zu den notwendigen Investitionen bzw. zum energiebedingten Anteil der der Investitionen bei Durchführung unterschiedlicher Sanierungsszenarien bis zum Jahr 2050 abgebildet.

Dargestellt sind zwei unterschiedliche Sanierungsfahrpläne. Der eine setzt eine sofortige konstante Sanierungsrate von 2,5 % pro Jahr voraus, der andere variiert entsprechend dem zuvor beschriebenen optimalen Szenario. Es ist zu erkennen, dass die kummulierte Einsparung für die Wärmekosten im optimalen Szenario um ca. 10% höher liegt. Gleichzeitig wird der Zeitpunkt, an dem die kumulierten Einsparungen der Wärmekosten erstmals die kumulierten Vollkosten der Sanierung übersteigen, sogar zwei Jahre früher erreicht.

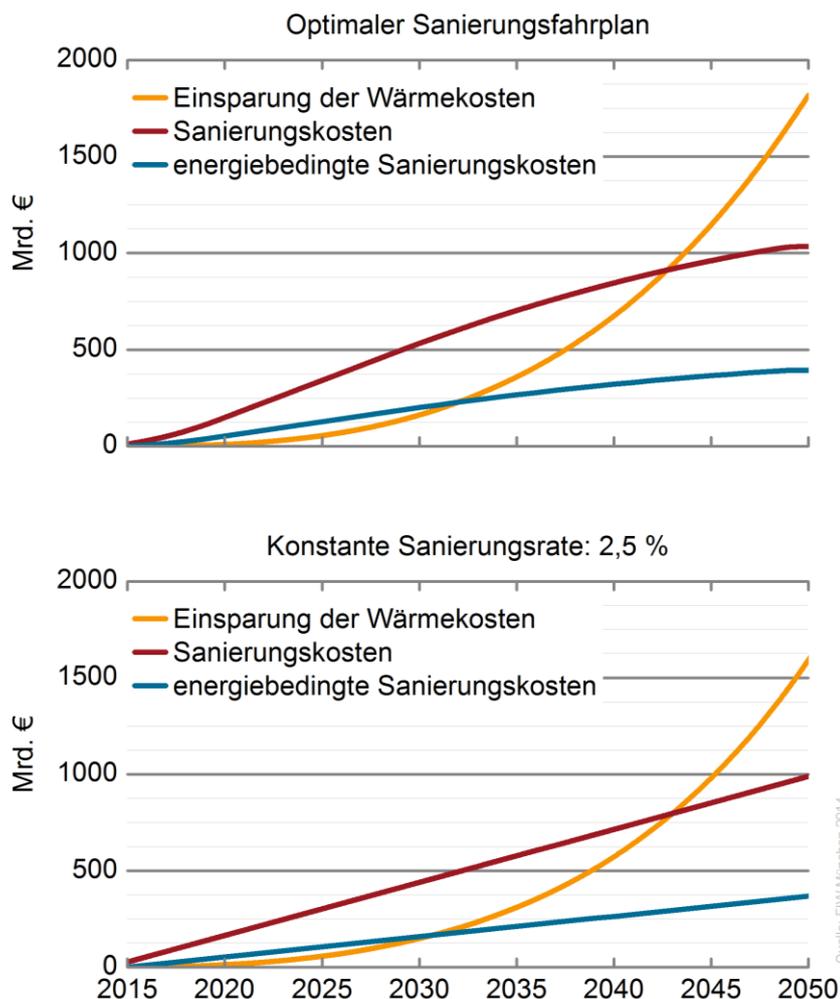


Abbildung 38: Verlauf der eingesparten kumulierten Wärmekosten im Vergleich zu den notwendigen Investitionen bzw. der energiebedingter Anteil der Investitionen bei Durchführung unterschiedlicher Sanierungsszenarien bis zum Jahr 2050.

Abbildung 39 stellt den Verlauf des spezifischen Transmissionswärmeverlustes über die Gebäudehülle nach Bauteilen aufgeteilt bei Annahme des optimalen Sanierungsfahrplans dar. Aufgrund der niedrigen Dämmquote sind die größten Einsparpotentiale bei den bestehenden Fassaden zu erzielen.

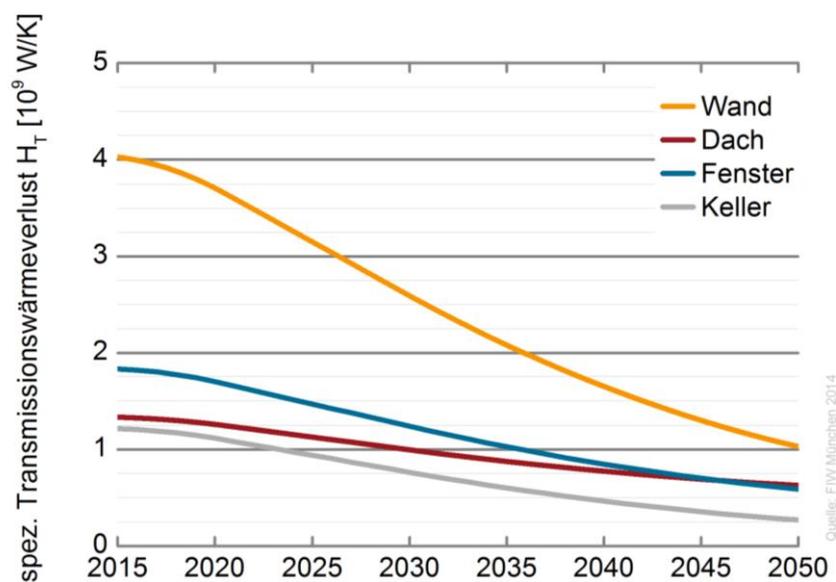


Abbildung 39: Verlauf des spezifischen Transmissionswärmeverluste über die Gebäudehülle nach Bauteilen aufgeteilt bei Annahme des optimalen Sanierungsfahrplans.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die von der Bundesregierung im Rahmen des Energiekonzeptes 2050 und der Energiewende beschlossenen Zielvorgaben bei der Reduzierung des Primärenergiebedarfes im Gebäudebereich sind nur erreichbar, wenn die Energieverluste über die Hülle der Gebäude sowohl im Neubau als auch im Bestand konsequent reduziert werden. Ohne Reduzierung der Wärmeverluste im Bestand geht die Rechnung zur Energiewende nicht auf.

Der gesamte jährliche Endenergieverbrauch in Deutschland kostet derzeit ca. 44 Mrd. Euro. Ein großer Teil davon wird durch nicht oder schlecht gedämmte Bauteile verursacht. Abbildung 40 zeigt einen Vergleich der erneuerbaren Endenergiebereitstellung und des Endenergieverbrauchs für Gebäude in Deutschland für das Jahr 2013. Zusätzlich ist das Potential der Wohngebäude bei Vollsaniierung aufgetragen. Werden diese entsprechend dem Stand der Technik gedämmt, verringert sich der gesamte Endenergiebedarf um fast 200 TWh. Hinzuzurechnen sind die Einsparungen aus der Erneuerung unsanierten Fenster, sowie durch Anpassung der Heizungsanlagen. Insgesamt könnte der Endenergiebedarf für Wohngebäude um 50% auf knapp 250 TWh gesenkt werden. Dieser Endenergiebedarf könnte heute schon durch erneuerbare Energie gedeckt werden.

Dabei müssen bei einer Sanierungsquote von durchschnittlich 2,5% bis zum Jahr 2050 insgesamt 1.100 Mrd. € in Sanierungsmaßnahmen investiert werden. Davon entfallen rund 400 Mrd. € auf die energiebedingten Maßnahmen bei der Sanierung. Im Gegenzug dazu bis zum Jahr 2050 ca. 2.000 Mrd. € an Heizkosten eingespart werden. Diese Einsparungen übersteigen die dafür notwendigen Investitionen deutlich.

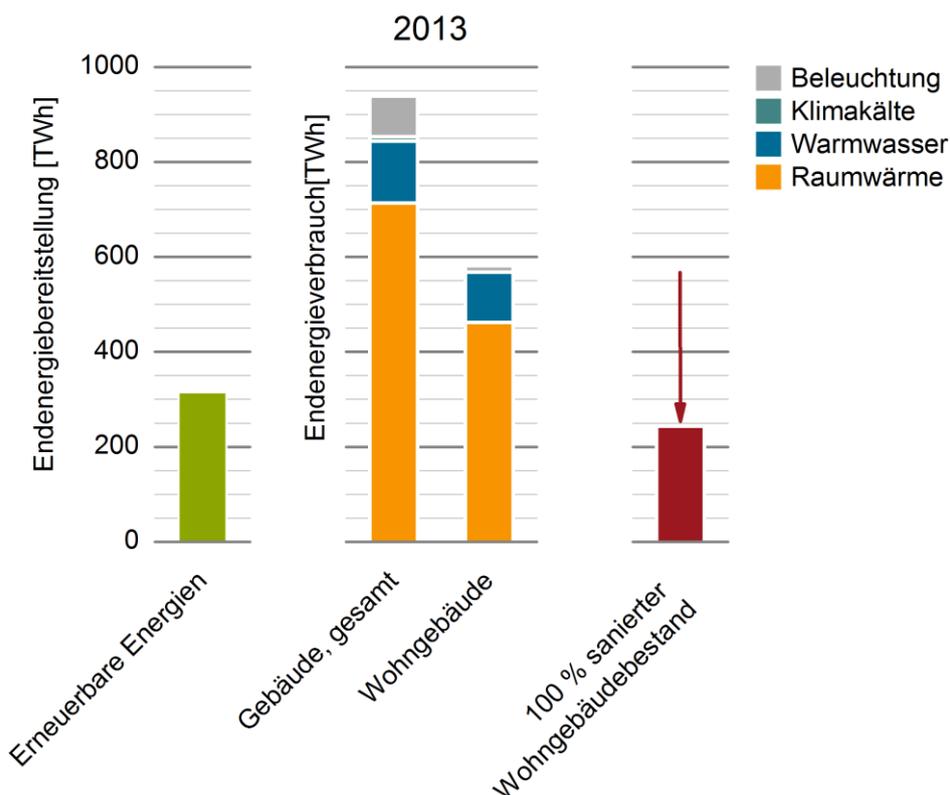


Abbildung 40: Endenergiebereitstellung und – Verbrauch in TWh für das Jahr 2013. Vergleich des aktuellen Bedarfs für Wohngebäude, der möglichen Reduzierung durch Vollsanieung und der aktuell vorhandenen erneuerbaren Endenergiebereitstellung.

Instandsetzungsmaßnahmen, unabhängig von einer energetischen Verbesserung, kosten aber Geld. Kosten werden zum Hindernis für eine energetische Sanierung, wenn den Eigentümern oder Investoren die finanziellen Möglichkeiten zur Umsetzung der Maßnahmen fehlen oder diese als nicht sinnvoll erscheint. Die entscheidende Frage bei allen energiesparenden Maßnahmen lautet, ob sich die im Moment der Bauerstellung oder Sanierung aufzubringenden Mehrkosten durch eine Reduzierung der Heizkosten im Laufe des Nutzungszeitraumes des Gebäudes wieder einspielen lassen.

Aussagen über die Wirtschaftlichkeit verschiedener Maßnahmen, die heute aus Kreisen der Industrie, Wohnungswirtschaft, Eigentümer aber auch der Wissenschaft angegeben werden, weisen zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Neben den klimatischen, bauphysikalischen, geometrischen und ökonomischen Parametern werden die Ergebnisse auch durch die gewählte Kalkulationsmethode selbst beeinflusst. Je nach Berechnungsansatz gelangt man zu unterschiedlichen Aussagen über die Wiedererwirtschaftbarkeit einer energiesparenden Maßnahme. Das führt dazu, dass zum Teil heftig über den Sinn solcher Maßnahmen in der Öffentlichkeit diskutiert wird.



Häufig kommen, wenn überhaupt, „Pseudokalkulationsmethoden“ zur Anwendung. Das heißt die Berechnungsmethoden sind ungenau, unvollständig oder nur überschlägig. Allerdings muss man eingestehen, dass auch einfache Ansätze nicht zu umgehen sind, da häufig genaue Kostenrelationen und Zusammenhänge fehlen oder mit einem vernünftigen finanziellen Aufwand nicht zu bekommen sind. Wichtig sind in diesem Fall eine offene Darlegung der getroffenen Vereinfachungen und eine Diskussion der sich daraus ableitenden Konsequenzen.

Grundsätzlich gilt: Art, Umfang und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen müssen exakt auf das Gebäude zugeschnitten sein und erfordern deshalb eine kompetente individuelle Analyse durch einen qualifizierten Energieeffizienz-Experten. Über eine gründliche Bestandsaufnahme kann er einen Sanierungsfahrplan erstellen, der beschreibt, in welcher Reihenfolge welche Maßnahmen sinnvoll und welche Sparpotenziale damit erreichbar sind. Zusätzlich ist zu beachten, dass sich Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle besonders dann lohnen, wenn z. B. ohnehin am Dach eines Hauses Reparaturen anfallen oder der Putz einer Fassade erneuert wird. Werden so energetische Verbesserungsmaßnahmen in eine allgemeine Modernisierung eingebunden, fallen die sog. „Einmalkosten“ wie z. B. Gerüstkosten, Baustelleneinrichtung, Bauschuttmulden usw. nur einmal an und reduzieren damit die Kosten für die eigentliche energetische Ertüchtigung.

Zur Aussagekraft von Allgemeingültigen Wirtschaftlichkeitsbewertungen

Diese Studie zeigt, dass die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme mit unterschiedlichsten Methoden und unter Angabe verschiedenster Kennwerte möglich ist. Anhand der bearbeiteten Beispiele und Varianten wird außerdem der starke Einfluss verschiedener Kenngrößen deutlich. Will man eine allgemeine Aussage zur Wirtschaftlichkeit und Rentabilität einer Sanierungsmaßnahme, z.B. nachträgliche Dämmung der Außenwand, machen, ergeben sich viele Unbekannte. Zum einen sind die Randbedingungen zur Ermittlung des energetischen Einsparpotentials, wie U-Wert im Bestand, Außen- und Innenklima und auch der energetische Zustand der anderen Bauteile entscheidend. Zum anderen sind die finanziellen Randbedingungen, wie tatsächliche Sanierungskosten, Kreditkosten- und Laufzeiten und die beabsichtigte Nutzungsdauer von großer Bedeutung. Neben diesen projektspezifischen Angaben, sind zudem allgemeingültige, jedoch unstete Parameter wie Energiepreis- und Energiepreissteigerung wichtig.

Das bedeutet, dass Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und Sinnhaftigkeit einer energetischen Sanierungsmaßnahme nur in der individuellen und ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes seriös darstellbar sind.

Bezugsgröße:

Allen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten geführten Rentabilitätsbetrachtungen muss zunächst die Frage nach der richtigen Bezugsgröße zugrunde gelegt werden,

denn neben den klimatischen, bauphysikalischen, geometrischen und ökonomischen Parametern werden die Ergebnisse auch durch die gewählte Kalkulationsmethode selbst beeinflusst.

Differenzierte Rentabilitätsbetrachtung:

So individuell die Gebäude, so individuell ist die Betrachtung der eingesetzten Mittel im Verhältnis zur Einsparung durch den Verbraucher.

Anteilige Betrachtung:

Wird eine energetische Sanierung innerhalb der regulären Sanierungszyklen durchgeführt, so sind nicht die Vollkosten in die Rentabilitätsberechnung der Maßnahme einzubeziehen, sondern nur der Anteil, der tatsächlich der verbesserten energetischen Bilanz des zu sanierenden Gebäudes zurechenbar ist.

Vollkosten Betrachtung:

Der Verbraucher trifft keine Unterscheidung zwischen den Vollkosten und den anteiligen Kosten für die energetischen Sanierungsmaßnahmen. Besonders bei dieser Betrachtung ist die Gesamtwirkung der energetischen Sanierungsmaßnahme zu berücksichtigen.

Gesamtwirkung:

Betrachtung der Gesamtwirkung einer energetischen Sanierung, d.h. neben der Energieeinsparung auch Berücksichtigung der Steigerung des Wohnkomforts und der Wertsteigerung des Gebäudes

Werterhalt:

Regelmäßige Sanierungen und Wartungen von Bauteilen (Fenster, Türen, Fassadenanstriche, etc.) sind in bestimmten Abständen ohnehin nötig, um den Wert einer Immobilie langfristig zu sichern und bei einer Anpassung der Mietpreise die Vermietbarkeit zu gewährleisten.

All diese Parameter sind notwendig, um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeitsbewertung durchzuführen. Diese zu verallgemeinern um eine allgemeingültige Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Dämmmaßnahmen zu treffen, ist äußerst schwierig. Die Schwankungsbreite der Ergebnisse, unter Annahme verschiedener positiv und negativ Szenarien, welche die Grenzen der plausiblen und realistischen Kennwertschwankungen abbilden, ist relativ groß.

Des Weiteren ist zu beachten, dass letztendlich der Bewohner und dessen Verhalten, noch immer den größten Einfluss auf die Effizienz eines Gebäudes haben. Dieser bestimmt letztendlich den Energieverbrauch auch über die Regelung der Heizung die Raumtemperatur und über sein Lüftungsverhalten.

Generell ist festzuhalten, dass jeder Planer und Architekt die Pflicht zu einem vernünftigen Wärmeschutz hinsichtlich Baustoffe und Bauart hat. Unvernünftige Aus-

wahlen werden stetes zu unwirtschaftlichen Lösungen führen. Umgekehrt gelingt es bei vernünftiger Auswahl auch stets die Mehrinvestitionen gering zu halten

Weiterführende Faktoren und Mehrwerte

Zum Abschluss dieser sehr monetär geprägten Studie, sollten der Vollständigkeithalber noch die Effekte einer Wärmedämmenden Maßnahme berücksichtigt werden, welche bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit nicht berücksichtigt werden:

Steigerung der Behaglichkeit

Kalte Oberflächen an Außenwänden, Böden oder an Fenstern empfinden wir als unangenehm. Durch das Anbringen einer Dämmschicht auf die opake Außenhülle oder den Austausch alter Fenster, wird die raumseitige Oberflächentemperatur des Bauteils erhöht. Dies steigert die thermische Behaglichkeit in den Wintermonaten.

Werterhalt Immobilie

Die einzelnen Bauteile eines Gebäudes haben nur begrenzte Lebensdauern. Vor allem die Außenbauteile wie Dach, Wand und Fenster, welche den Witterungen und Temperaturschwankungen übers Jahr ausgesetzt sind, haben einen bestimmten Sanierungszyklus, in denen Maßnahmen notwendig werden um einen dauerhaften Schaden am Bauteil zu vermeiden. Für den Werterhalt einer Immobilie sind Instandsetzungsmaßnahmen über den Lebenszyklus deshalb unerlässlich.

Wird bei diesen ohnehin notwendigen Instandsetzungen der Wärmeschutz verbessert, so wird nicht nur der Wert des Gebäudes erhalten, sondern durch die Senkung des Heizwärmebedarfs und gleichzeitig der Steigerung der Behaglichkeit erhöht.

Versorgungssicherheit

Durch Dämmung der Gebäudehülle werden die Transmissionswärmeverluste und damit auch der Heizwärmebedarf deutlich gesenkt. Durch Senkung des Brennstoffbedarfs wird auch die Abhängigkeit, bzw. die Betroffenheit bei möglicher Energieknappheit oder drastischen Preissteigerungen reduziert.

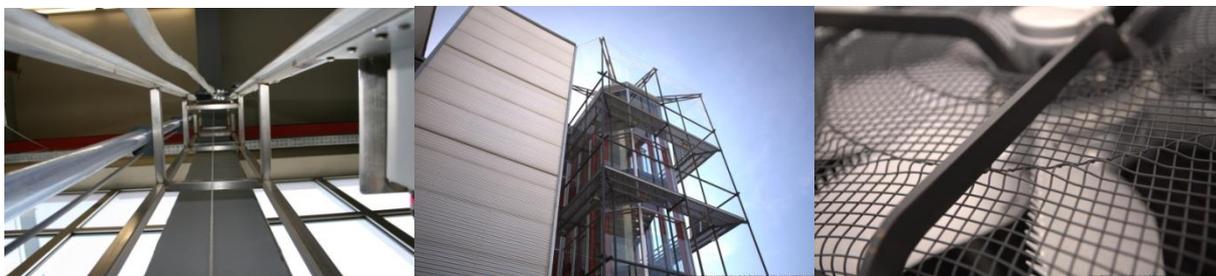
Beste Voraussetzung für Heizungsersatz

Wird die Gebäudehülle energetisch modernisiert, werden der Heizwärmebedarf, und somit auch die notwendige Heizleistung gesenkt. Dies ist die perfekte Ausgangssituation für einen Heizungsersatz. Die neue Anlage kann so deutlich kleiner dimensioniert werden und ist im Betrieb effizienter, als eine auf die unsanierte Situation ausgelegte Anlage.

Zudem besteht die Möglichkeit nach umfassender Sanierung auf eine Flächenheizung umzusteigen. Mit den dadurch möglichen geringen Vorlauftemperaturen ist der Einsatz einer effizienten und Energiesparenden Wärmepumpe möglich.

10 Literaturverzeichnis

- Bigalke. (2012). *Der dena-Gebäudereport 2012*. Deutsche Energie-Agentur (dena).
- BMVBS. (2012). *Wohnen und Bauen in Zahlen 2011 / 2012*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS.
- BMWI. (2010). *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- BMWI. (2014). Zahlen und Fakten Energiedaten.
- Diefenbach. (2010). *Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU).
- Fouad. (2010). *Bauphysik Kalender 2010*. Ernst & Sohn.
- Hauser. (1992). Wer den Gebäudebestand vergißt, kann alle Energiesparziele vergessen. *Umwelt & Energie-Report*.
- Hinz, E. (2012). *Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden*. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS).
- Loga. (2011). *Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt (IWU).
- Manteuffel, v. (2014). *Preisentwicklung Gebäudeenergieeffizienz - Initialstudie*. Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. - DENEFF.
- Walberg. (2011). *Wohnungsbau in Deutschland - 2011 - Modernisierung oder Bestandsersatz*. Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.



Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing info@fiw-muenchen.de | www.fiw-muenchen.de