

Graue Energie und Graue Emissionen von Dämmstoffen im Vergleich zum Einsparpotential

FIW München:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm
Christine Maderspacher
Wolfgang Schmidt

im industriellen Auftrag



FIW München

Forschungsbericht FO-2020/06

FO-2020/06

Graue Energie und Graue Emissionen von Dämmstoffen im Vergleich zum Einsparpotential

im industriellen Auftrag

Der Bericht umfasst: 21 Seiten
4 Seiten Anhang

Die Verantwortung für die Inhalte dieses Berichts liegt bei den Autoren.

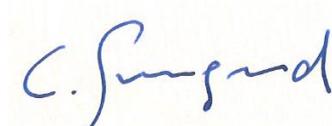
Gräfelfing, den 21. Mai 2021

Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Abteilungsleiter



Christoph Sprengard

Bearbeiter



Christine Maderspacher

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	4
2	Graue Energie und Treibhausgasemissionen für Dämmmaßnahmen	6
3	Einsparungen durch Dämmmaßnahmen	8
4	Auswertung Aufwand zu Einsparungen für verschiedene Bestandssituationen	10
5	Amortisationszeiten	12
6	Zusammenfassung und Ausblick	14
7	Anhang: Detaillierte Ergebnisse & weiterführende Informationen	15
	7.1 Verwendete Ökobilanzdaten	15
	7.2 Ergebnisse Ökobilanzierung Dämmung	17
	7.3 Ergebnisse erzielbare Einsparungen nach Energieträger	17
	7.4 Ergebnisse energetische Amortisationszeiten	18
8	Tabellenverzeichnis	19
9	Abbildungsverzeichnis	20

1 Kurzfassung

Der Gebäudesektor spielt eine zentrale Rolle für die **Umsetzung der Energiewende**: Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen müssen in allen bestehenden Gebäudetypen und für alle Baualtersklassen minimiert werden.

Ein wichtiger Schritt auf diesem Weg ist die **Dämmung der Gebäudehülle, um Wärmeverluste optimal zu reduzieren**. Im Hinblick auf eine ganzheitliche Bewertung solcher Maßnahmen sollten die Aufwendungen über den gesamten Lebenszyklus der Dämmstoffe - von der Herstellung bis zum Rückbau - berücksichtigt werden.

Für eine solche **Ökobilanz** werden alle relevanten Umweltauswirkungen ermittelt, die im Rahmen des Lebenszyklus eines Dämmstoffes erzeugt werden. Gängig ist hierfür die Ermittlung und Bewertung der einzusetzenden Primärenergie sowie der daraus entstehenden Treibhausgasemissionen als **Umweltindikatoren**. Für die vorliegende Studie wurden der **Primärenergiebedarf (gesamt)** und der Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Ressourcen, die sog. **Graue Energie (nicht erneuerbar)**, bewertet. Bei der Erzeugung Grauer Energie werden Treibhausgasemissionen frei – die sog. **Grauen Emissionen**. Auch sie werden in die Ökobilanzierung einbezogen.

Anhand der durchgeführten Ökobilanzierungen kann das jeweilige **Verhältnis des Energieaufwandes** für die Herstellung und den Rückbau beispielhafter Dämmmaßnahmen **zu den erzielbaren Heizenergieeinsparungen** aufgezeigt werden.

In den nachfolgenden Abbildung 1 ist dieses Verhältnis für die gängigen Dämmstoffe Mineralwolle, EPS, XPS und Polyurethan dargestellt.

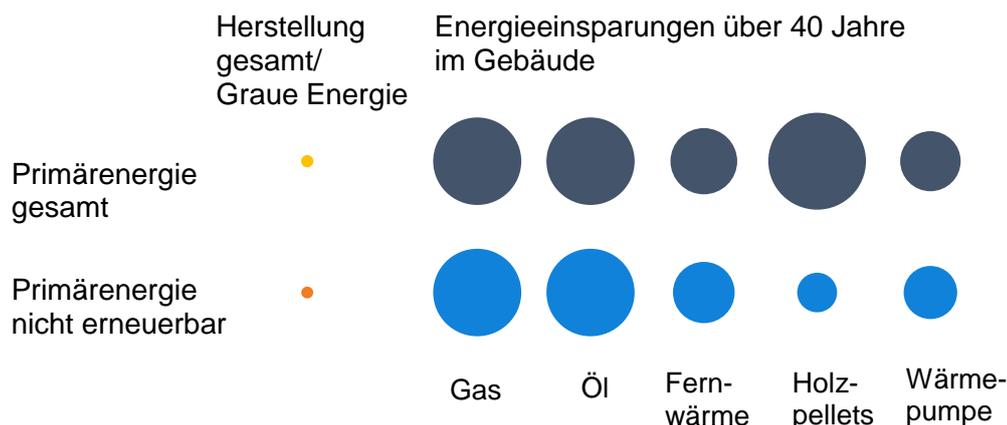


Abbildung 1: Verhältnis des Energieaufwandes für die Dämmstoffherstellung zu den über die Nutzungsdauer von 40 Jahren erzielbaren Einsparungen an Primärenergie für verschiedene Energieträger anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m²·K)

Es zeigt sich, dass der Primärenergiebedarf, sowohl insgesamt als auch bezogen auf die nicht erneuerbaren Primärenergieaufwendungen, unabhängig von der Wahl des Dämmstoffes sehr niedrig ist gegenüber den Einsparungen, die durch den Einsatz der Dämmung zur Senkung des Gebäudeenergieverbrauchs erzielt werden können. Gleiches gilt für die Betrachtung der Grauen Emissionen (Abbildung 2).

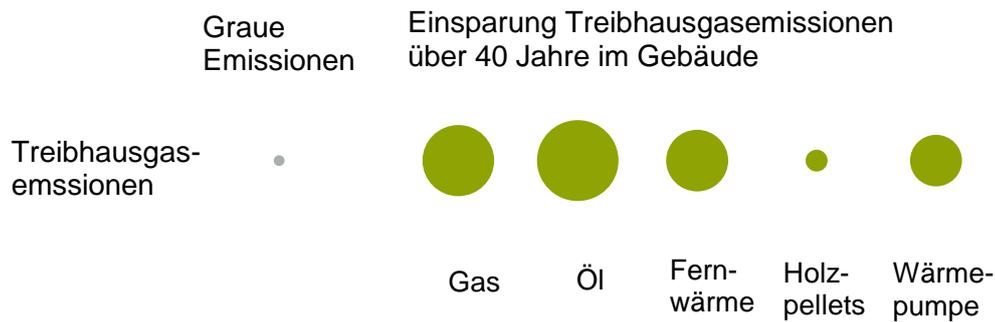


Abbildung 2: Verhältnis der Treibhausgasemissionen für die Dämmstoffherstellung zu den über die Nutzungsdauer von 40 Jahren erzielbaren Einsparungen für verschiedenen Energieträger anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m²·K)

Sehr deutlich zeigt sich dieses Verhältnis auch bei der Betrachtung der energetischen Amortisationszeit, also der Zeitdauer, bis zu deren Erreichen die Aufwendungen für die Dämmstoffherstellung durch die dadurch erzielbaren Einsparungen ausgeglichen sind. Nachfolgende Abbildung 3 zeigt den Zeitpunkt der **Amortisation** für den jeweiligen Umweltindikator im Laufe der Lebensdauer einer Dämmung.

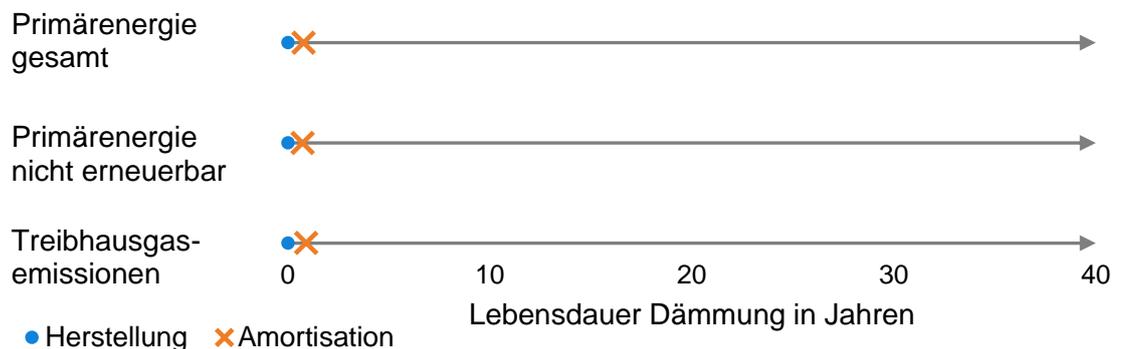


Abbildung 3: Darstellung Zeitpunkt der Amortisation im Vergleich zur Lebensdauer (40 Jahre) einer Dämmmaßnahme für die drei betrachteten Umweltindikatoren anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m²·K); Energieträger: Gas

Aus diesen Ergebnissen kann man generell ableiten, dass der Primärenergieaufwand (gesamt und nicht erneuerbar) sowie die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von Dämmstoffen im Verhältnis zu den dadurch erzielbaren Einsparungen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Dieses Verhältnis ist abhängig vom energetischen Zustand des Bauteils vor und nach der Dämmmaßnahme sowie vom Energieträger. Der Nutzen durch die Dämmung überwiegt dabei jedoch immer den Aufwand.

Dämmmaßnahmen im Allgemeinen, unabhängig von der Wahl des Dämmstoffes, der gewählten Dämmstärke und des energetischen Ausgangszustands des Bauteils sind aus nachhaltiger und gesamtenergetischer Sicht immer ein Gewinn.

2 Graue Energie und Treibhausgasemissionen für Dämmmaßnahmen

Um die Aufwendungen für den **Primärenergiebedarf** (*gesamt*) und den Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Ressourcen, die sog. **Graue Energie** (*nicht erneuerbar*), sowie die entstehenden **Treibhausgasemissionen (THG)** für die Herstellung und den Rückbau von Dämmungen valide bewerten zu können, wurden die Umweltproduktdeklarationen (kurz: EPD für *Environmental Product Declaration*) verschiedener Dämmprodukte herangezogen. Damit wurden anhand unterschiedlicher Indikatoren die Einflüsse auf die Umwelt des jeweiligen Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus bewertet. In Abbildung 4 sind die Werte wichtiger Datenquellen (Ökobaudat, Hersteller, Verbände) für die Herstellung und den Rückbau (Lebenszyklusphasen A1 - A3, C3 und C4) für die Primärenergien sowie die Treibhausgasemissionen (Graue Emissionen) für etablierte **Dämmstoffe aus EPS, PUR, XPS und Mineralwolle** dargestellt. Die Daten wurden zur besseren Vergleichbarkeit auf einen **Dämmwert R von 1 (m²·K)/W** normiert. Detaillierte Angaben zu den zugrundeliegenden Datensätzen sind in Anhang 7.1 zusammengefasst.

Begriffserklärung

Als **Graue Energie** wird der kumulierte nicht erneuerbare Primärenergiebedarf für die Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Lagerung und Entsorgung eines Produktes bezeichnet. Die im Rahmen dieser Prozesse freiwerdenden Treibhausgasemissionen bezeichnet man als **Graue Emissionen**. Diese Begrifflichkeiten sind in Deutschland jedoch weder normativ noch anderweitig definiert.

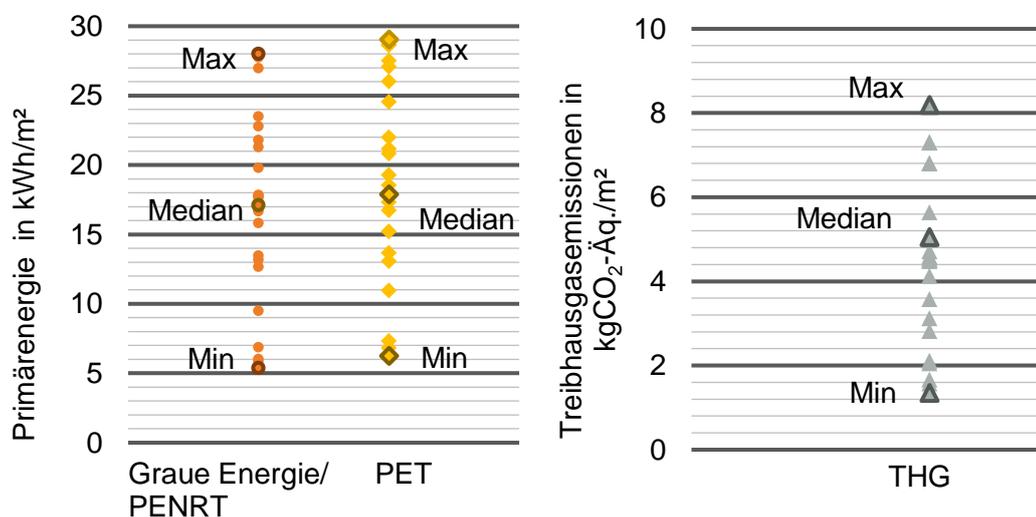


Abbildung 4: Ökobilanzdaten für Graue Energie (PENRT) und Primärenergie gesamt (PET), links, und Treibhausgasemissionen (THG, rechts) für die Herstellung und den Rückbau von Dämmmaßnahmen mit gleicher Dämmwirkung pro m²

Mit Hilfe dieser Auswertungen kann ein typischer Bereich für die drei zur Bewertung herangezogenen Umweltindikatoren definiert werden. Um diesen Bereich in den nachfolgenden Berechnungen abzubilden, wurde je Indikator der Minimal-, Maximal- und der Median-EPD- Datensatz ausgewählt.

Neben den Auswirkungen der Dämmstoffe auf die Umwelt müssen die thermischen Eigenschaften eines Bauteils vor und nach der Dämmmaßnahme definiert werden,

um die erforderliche **Dämmstärke** zu ermitteln. Diese hängt wiederum von der **Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs** ab. In Abbildung 5 ist der Zusammenhang der erforderlichen Dämmstärke in Abhängigkeit vom zu erreichenden U-Wert nach der Dämmmaßnahme und der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs in $W/(m^2 \cdot K)$ für ein Bauteil mit einem U-Wert von $0,8 W/(m^2 \cdot K)$ dargestellt. Dies entspricht einer unsanierten Konstruktion mit einem Baujahr zwischen 1987 und 1995.

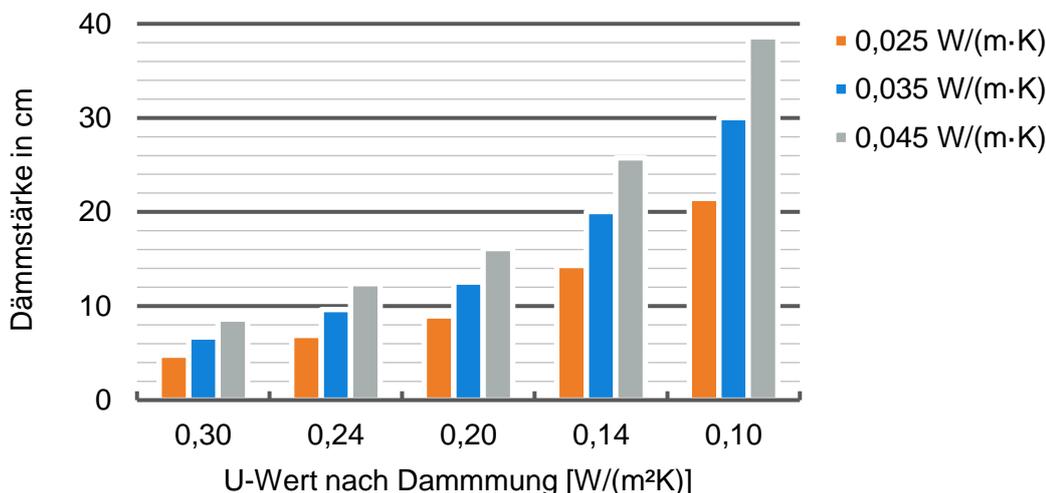


Abbildung 5: Erforderliche Dämmstärken bei einem Bestands-U-Wert von $0,8 W/(m^2 \cdot K)$ in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs

Für die jeweils erforderliche Dämmstärke können die Umweltauswirkungen der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen berechnet werden. Die gewählten Minimal, Maximal und Median-Werte für eine Dämmmaßnahme mit einem Bestands-U-Wert von $0,8 W/(m^2 \cdot K)$ sind in Abbildung 6 in Abhängigkeit vom gewählten Ziel-U-Wert nach der Sanierung abgebildet. Dabei wurde eine Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs von $0,035 W/(m \cdot K)$ angenommen.

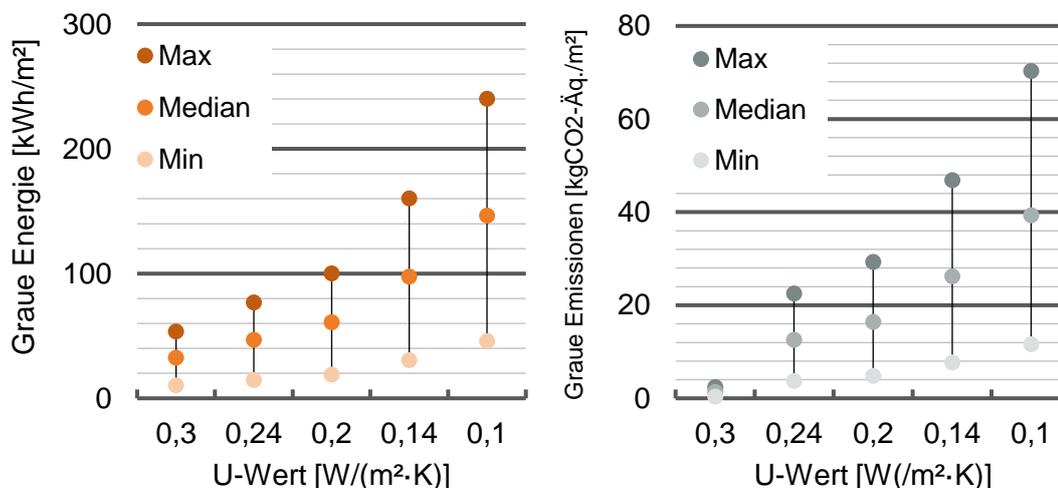


Abbildung 6: Bandbreite von Grauer Energie und Grauen Emissionen in Abhängigkeit des erzielten U-Wertes nach Dämmmaßnahme bei einem Bestands-U-Wert von $0,8 W/(m^2 \cdot K)$

3 Einsparungen durch Dämmmaßnahmen

Für die Berechnung der Heizenergieeinsparungen durch eine Dämmmaßnahme und um die daraus erzielbaren Einsparungen an Primärenergie und Treibhausgasemissionen zu berechnen, wird ein vereinfachter Ansatz unter alleiniger **Berücksichtigung der Transmissionswärmeverluste** angewendet. Lüftungswärmeverluste sowie interne und solare Gewinne werden dabei nicht berücksichtigt. Mit nachfolgender Formel können die **Heizenergieeinsparungen pro m² Bauteil** berechnet werden.

$$Q = U_1 \times F_{Gt,1} - U_2 \times F_{Gt,2}$$

wobei

U_1	U-Wert vor der Dämmmaßnahme in W/(m ² ·K)
U_2	U-Wert nach der Dämmmaßnahme in W/(m ² ·K)
$F_{GT,1}$	Gradtagszahlfaktor 84 kWh/a
$F_{GT,2}$	Gradtagszahlfaktor 66 kWh/a

Durch Anwendung unterschiedlicher Gradtagszahlfaktoren F_{Gt} wird der Tatsache Rechnung getragen, dass in der Regel durch eine Dämmmaßnahme die Raumtemperatur und die Heizgrenztemperatur ansteigen sowie die Heizperiode verkürzt wird.

In Abbildung 7 sind die durch diese Formel berechneten Heizenergieeinsparungen pro m² Bauteil in Abhängigkeit der U-Werte vor und nach der Dämmmaßnahme dargestellt.

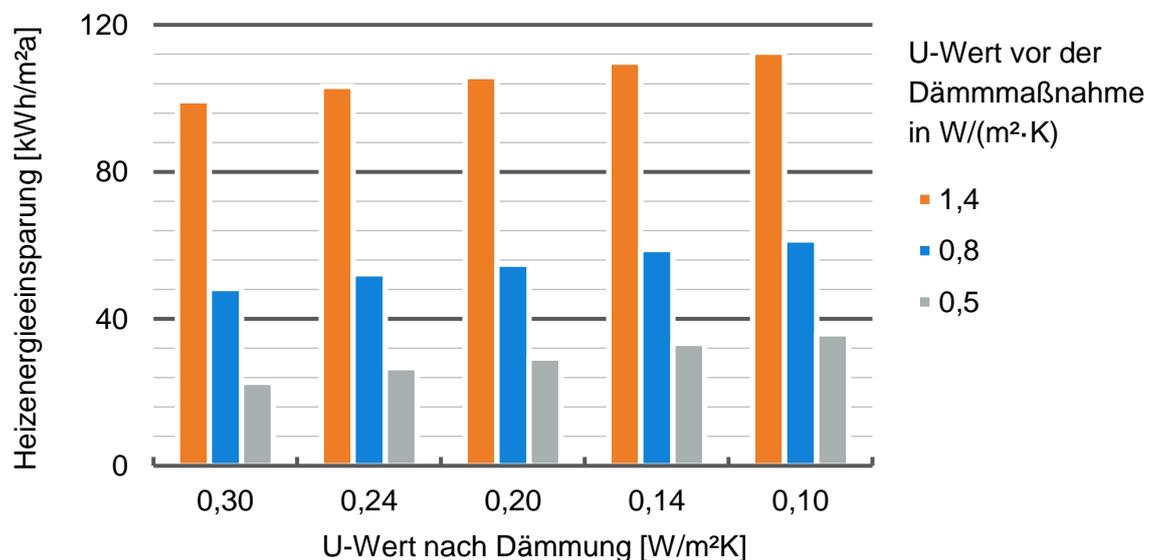


Abbildung 7: Mögliche Heizenergieeinsparungen pro m² Bauteil in Abhängigkeit des U-Wertes vor und nach der Dämmmaßnahme

Für die Umrechnung dieser Einsparungen in Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar sowie der Treibhausgasemissionen muss der Energieträger für die Beheizung berücksichtigt werden. Dafür werden die Heizenergieeinsparungen mit den entspre-

chenden Faktoren aus nachfolgender Tabelle 1 multipliziert. Auch muss der Wirkungsgrad der Heizungsanlage bzw. die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Primärenergiefaktoren (f_P) gesamt und nicht erneuerbar sowie Kennwerte für die Berechnung der Treibhausgasemissionen für verschiedene Energieträger

Energie-träger	Wirkungsgrad Anlage ¹	f_P gesamt ²	f_P nicht erneuerbar ³	Treibhausgas-emissionen ²
	$\eta[-]$	$[-]$	$[-]$	$[g/kWh]$
Gas	0,9	1,1	1,1	240
Öl	0,9	1,1	1,1	310
Fernwärme	1,0	0,7	0,6	200
Pellets	0,8	1,2	0,2	20
Wärmepumpe (Strom)	4,0	2,3	1,8	560

¹ Eigene Annahme

² Quelle: BMWi (2020): *Analyse von spezifischen Dekarbonisierungsoptionen zur Erreichung der Energie- und Klimaziele 2030 und 2050 bei unterschiedlichen Wohn- und Nichtwohngebäudetypologien*

³ Quelle: Gebäudeenergiegesetz (GEG)

4 Auswertung Aufwand zu Einsparungen für verschiedene Bestandssituationen

Durch die beschriebene Herangehensweise können die Aufwendungen für den Primärenergiebedarf (*gesamt*) und den Primärenergiebedarf aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Graue Energie) sowie die entstehenden Treibhausgasemissionen (THG) für die Dämmschicht in Abhängigkeit von der Dämmqualität des Bauteils vor und nach der Sanierung sowie die dadurch erzielbaren Einsparungen in Abhängigkeit des Energieträgers ermittelt werden. Dabei werden drei verschiedene Bestandssituationen betrachtet sowie ein Sanierungsziel auf Gebäudeenergiegesetz (GEG)-Niveau mit einem U-Wert von 0,24 W/(m²·K). Nachfolgend sind die angenommenen U-Werte für die Bestandssituationen und eine Zuordnung zur jeweiligen Baualtersklasse zusammengefasst:

- U = 1,4 W/(m²·K): Baujahr vor 1978
- U = 0,8 W/(m²·K): Baujahr zwischen 1978 und 1995
- U = 0,5 W/(m²·K): Baujahr ab 2002

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse für die Primärenergie gesamt (PET) und die Graue Energie (PENRT) zusammengestellt.

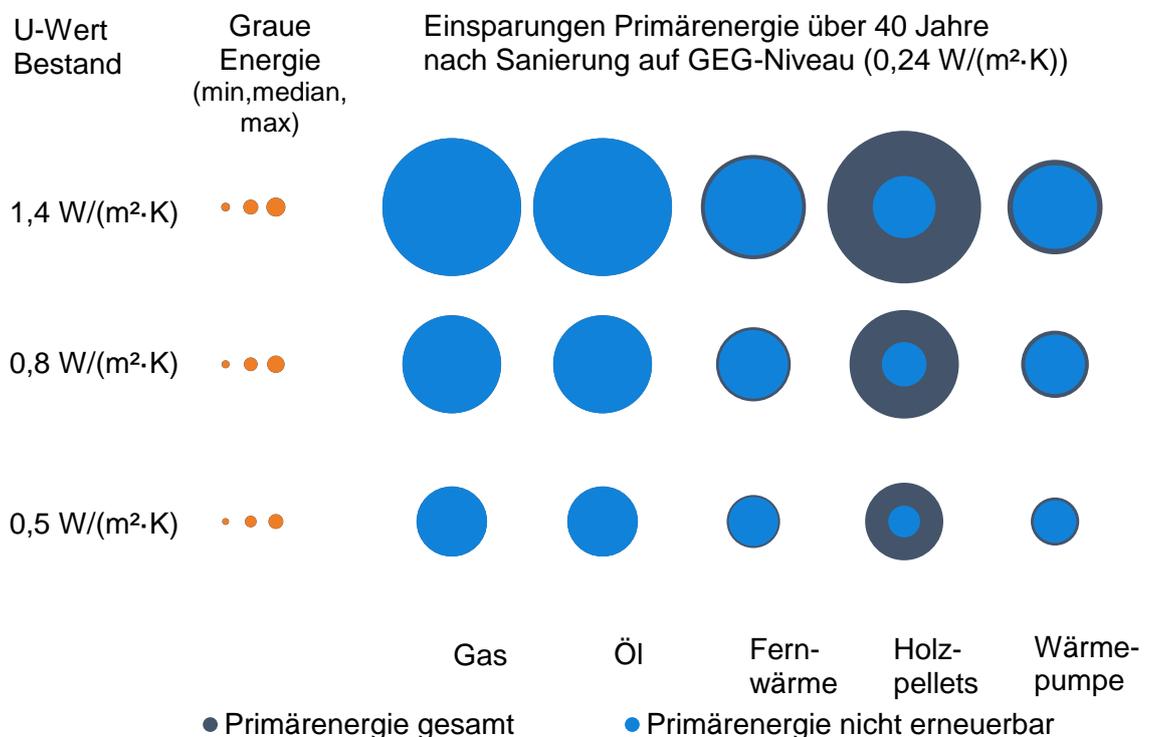


Abbildung 8: Vergleich Aufwand zu erzielbaren Einsparungen an Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar über 40 Jahre bei Sanierung auf einen U-Wert von 0,24 W/(m²·K) für verschiedene Bestandssituationen

Die Ergebnisse PET und PENRT sind für die einzelnen Varianten überlagert abgebildet. Die Aufwendungen für die Erstellung der Dämmschicht werden jeweils mit einem

Minimal-, Median- und Maximal-Wert angegeben. So kann die Bandbreite der verschiedenen am Markt verfügbaren Dämmstoffe dargestellt werden (vgl. Abbildung 4). Aufgrund der Größenverhältnisse innerhalb dieser Darstellung sind die Unterschiede zwischen PET und PENRT bei den Aufwendungen für die Dämmung nicht erkennbar. Dem gegenüber sind die über eine Nutzungsdauer von 40 Jahren erzielbaren Einsparungen für verschiedene Energieträger dargestellt. Generell lässt sich der Zusammenhang ablesen, dass **mit schlechterem Ausgangszustand höhere Dämmstärken und somit auch höhere Aufwendungen erforderlich** sind. Gleichzeitig sind dort aber auch größere Einsparungen erzielbar. Für alle betrachteten Bestandsvarianten sind die Einsparungen für alle Energieträger für PET sowie PENRT deutlich größer als die für die Erstellung der Dämmschicht erforderlichen Aufwendungen.

Die Energieträger Gas und Öl sind zu 100 % nicht erneuerbar, daher sind die Ergebnisse für die Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar gleich groß. **Beim regenerativen Energieträger Holzpellets sind die Unterschiede am größten.**

In Abbildung 9 sind die Ergebnisse für die Treibhausgasemissionen dargestellt. Prinzipiell sind die Zusammenhänge und Verhältnisse mit den Primärenergiedarstellungen vergleichbar. Deutliche Abweichungen gibt es für die regenerativen Holzpellets. Aufgrund der deutlich geringeren Treibhausgasemissionen pro kWh Heizenergieeinsparung sind die Emissionseinsparungen für diesen Energieträger im Vergleich deutlich geringer. Doch auch hier überwiegen die Einsparung gegenüber den Aufwendungen deutlich.

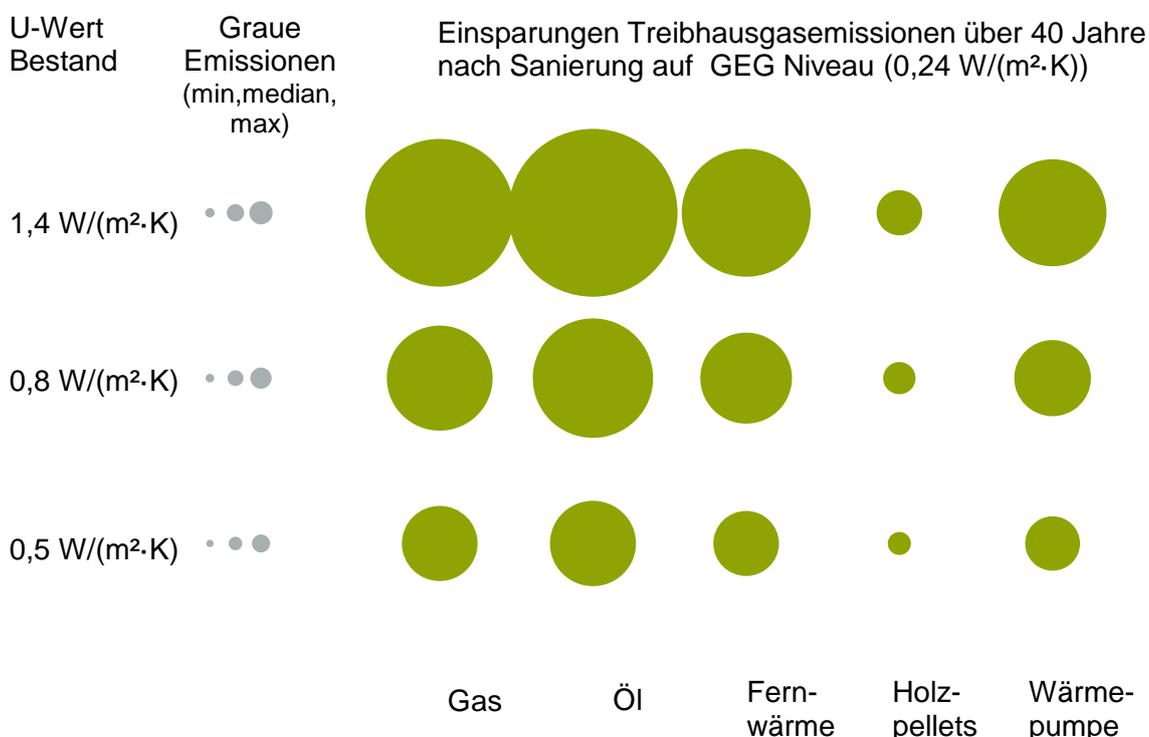


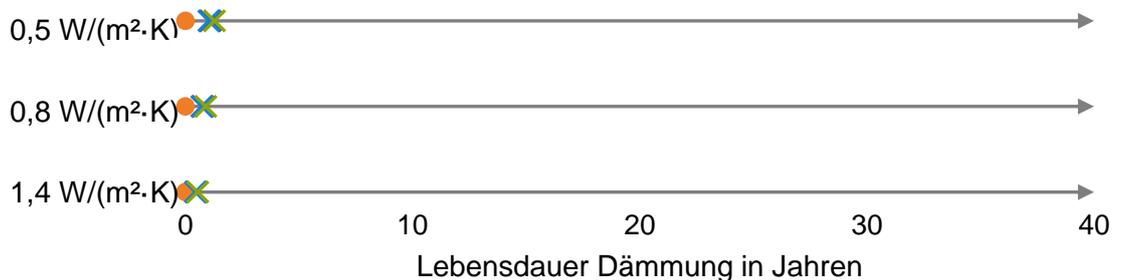
Abbildung 9: Vergleich Aufwand zu erzielbaren Einsparungen an THG über 40 Jahre bei Sanierung auf einen U-Wert von 0,24 W/(m²·K) für verschiedene Bestandssituationen

5 Amortisationszeiten

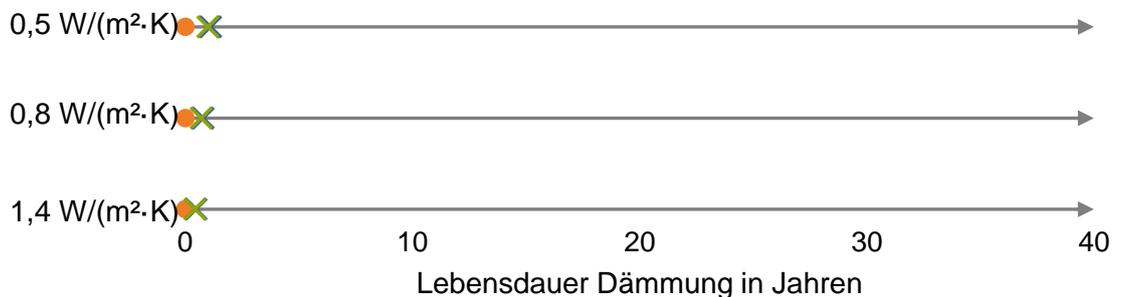
Aus den zuvor dargestellten Ergebnissen kann die energetische Amortisationszeit berechnet werden. Dies ist die Zeitspanne bis zu deren Erreichen die für die Erstellung der Dämmschicht aufgewendete Primärenergie durch die dadurch erzielbaren Einsparungen wieder ausgeglichen ist. In gleicher Weise kann eine Amortisation für die Treibhausgasemissionen errechnet werden. Diese sind in den nachfolgenden Abbildungen im Verhältnis zu einer Nutzungsdauer von 40 Jahren dargestellt. Für die Aufwendungen wurden jeweils die Medianwerte der Dämmstoffe angesetzt.

Prinzipiell werden die Amortisationszeiten mit zunehmender energetischer Qualität des Bestands etwas länger. Die ermittelten Amortisationszeiten variieren dabei für die drei betrachteten Umweltindikatoren für den jeweiligen Energieträger kaum. Eine Ausnahme stellen auch hier die Holzpellets dar. Für regenerative Energiequellen mit vergleichsweise geringem nicht erneuerbarem Anteil und Treibhausgasemissionen sind größere Zeitspannen zur Amortisation der Dämmmaßnahme nötig. Im Rahmen dieser beispielhaften Betrachtung wurden die längsten Amortisationszeiten für Holzpellets und einem Bestands-U-Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ermittelt. Doch selbst für dieses ungünstige Szenario sind die energetischen Amortisationszeiten im Vergleich zur Lebensdauer einer Dämmung von 40 Jahren und mehr sehr gering.

Amortisationszeiten bei Energieträger Gas

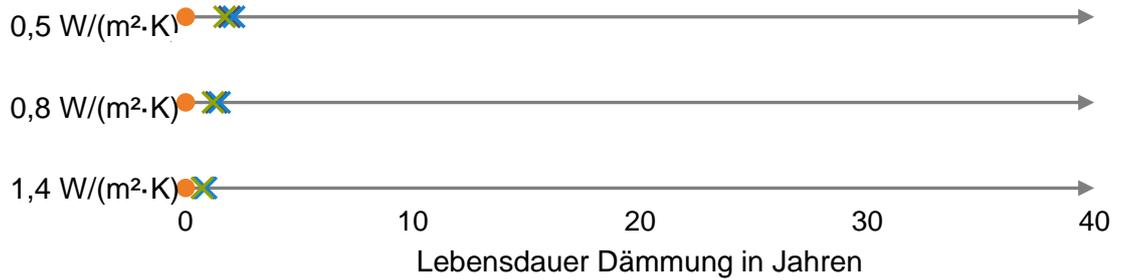


Amortisationszeiten bei Energieträger Öl

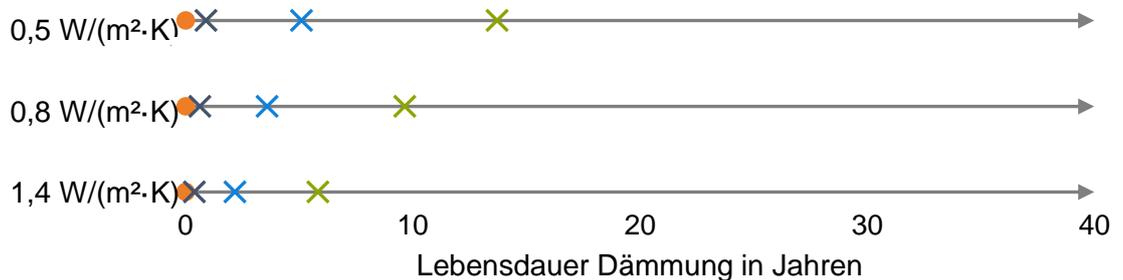


- Herstellung
- × Primärenergie nicht erneuerbar
- × Primärenergie gesamt
- × Treibhausgasemissionen

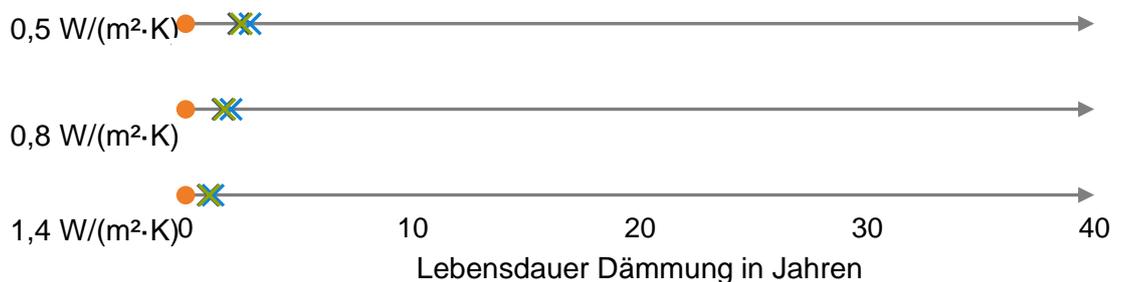
Amortisationszeiten bei Energieträger Fernwärme



Amortisationszeiten bei Energieträger Holzpellets



Amortisationszeiten bei Energieträger Wärmepumpe



- Herstellung
- × Primärenergie gesamt
- × Primärenergie nicht erneuerbar
- × Treibhausgasemissionen

Abbildung 10: Zeitpunkte der Amortisation der Primärenergie gesamt, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen für verschiedene Bestandssituationen und Energieträger bei Sanierung auf GEG-Niveau ($U\text{-Wert} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die beispielhaften Berechnungen im Rahmen dieser Studie belegen: **Dämmmaßnahmen sind aus nachhaltiger und gesamtenergetischer Sicht immer ein Gewinn.** Diese Aussage ist unabhängig vom energetischen Zustand des Bauteils vor und nach der Dämmmaßnahme sowie vom Energieträger, welcher für die Beheizung verwendet wird. Im Laufe einer typischen Lebensdauer einer Dämmmaßnahme von 40 Jahren und mehr sind die erzielbaren Einsparungen immer größer als die für die Dämmstoffherstellung notwendigen Aufwendungen. Dies gilt für alle etablierten Dämmstoffe, welche im Rahmen dieser Studie berücksichtigt wurden.

Mit der Ende Juni 2021 beschlossenen **Änderung des Klimaschutzgesetzes** will Deutschland bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral werden. Bereits bis zum Jahr 2030 sollen die Emissionen um 65 % gegenüber 1990 gesenkt werden. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, wurden die für den Gebäudebereich und andere Sektoren bislang geltenden CO₂- Minderungsziele angepasst.

Neben Effizienzsteigerung und Energieeinsparung ist auch die Umstellung auf hauptsächlich erneuerbare Energiequellen ein wichtiger Schritt zur Zielerreichung. Dadurch wird nicht nur der Verbrauch an Primärenergie und die dadurch entstehenden Treibhausgasemissionen für beispielsweise die Beheizung von Gebäuden eingespart. Diese Entwicklung der Dekarbonisierung der Energieversorgung wird sich auch positiv auf die Ökobilanz von Bauprodukten wie beispielsweise Dämmstoff auswirken.

Bei einer Nutzung von vermehrt regenerativen Energiequellen in der Produktion werden die Graue Energie und die Grauen Emissionen für die Herstellung von Dämmung gesenkt werden.

Es ist daher zu erwarten, dass auch in Zukunft die durch Dämmmaßnahmen erzielbaren Einsparungen größer sind als die Aufwendungen zur Herstellung (Graue Energie und Graue Emissionen) des Dämmstoffs.

7 Anhang: Detaillierte Ergebnisse & weiterführende Informationen

Nachfolgend werden die Datengrundlagen der Ökobilanzierung und die detaillierten Ergebnisse und Zahlenwerte der Berechnungen zusammengefasst.

7.1 Verwendete Ökobilanzdaten

In nachfolgender Tabelle 2 sind die berücksichtigten Umweltproduktdeklarationen (EPD) der verschiedenen Dämmstoffe zusammengefasst. Es wurden sowohl generische Datensätze der ÖkobaDat, als auch produktspezifische Ökobilanzdaten von Herstellern und Verbänden betrachtet. Die nach dem in Kapitel 4 beschriebenen Ansatz ausgewählten Minimal, Median und Maximal Datensätze für die Indikatoren Primärenergie gesamt (PET), Primärenergie nicht erneuerbar (PENRT) und Treibhausgaspotential (GWP) sind in der Tabelle entsprechend gekennzeichnet.

Tabelle 2: Zusammenstellung der im Rahmen der Berechnungen berücksichtigten EPD verschiedener Dämmstoffe mit Angabe der Minimal-, Median- und Maximal-Datensätze für die drei betrachteten Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP

Name / Produkt	Quelle	Deklarationsnummer
Mineralwolle (Boden-Dämmung)	Ökobaudat	-
Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	Ökobaudat	-
Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	Ökobaudat	-
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	Ökobaudat	-
Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	Ökobaudat	-
ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	Rockwool	EPD-DRW-20180119-IBC1-DE
ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebereich	Rockwool	EPD-DRW-20180065-IBC1-DE
ROCKWOOL Steinwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	Rockwool	EPD-DRW-20180118-IBC1-DE
Mineralwolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebereich	FMI	EPD-FMI-20210020IBG1DE
Mineralwolle-Dämmstoff im hohen Rohdichtebereich	FMI	EPD-FMI-20210021-IBG1-DE
Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	FMI	EPD-FMI-20210019IBG1DE
EPS-Hartschaum (grau) mit Wärmestrahlungsabsorber	IVH	EPD-IVH-20140137-IBB2-DE
Dämmplatte mit Neopor® Plus	BASF	EPD-BAS-20180142-IBA1-DE
Dämmplatte mit Neopor® Plus BMB	BASF	EPD-BAS-20190059-IBA1-DE
EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040	IVH	EPD-IVH-20140140-IBB2-DE
EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-035	IVH	EPD-IVH-20140138-IBB2-DE
EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040	IVH	EPD-IVH-20140141-IBB2-DE
EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035	IVH	EPD-IVH-20140139-IBB2-DE
Styrodur®	BASF	EPD-BAS-20190113-IBA1-DE
XPS-Dämmstoff	Ökobaudat	-
XPS mit halogenfreien Treibmitteln	FPX	EPD-FPX-20190111-IBE1-DE
PU-Dämmplatten aus Blockschaumstoff	IVPU	EPD-IVP-20160147-IBE1-DE
PU-Dämmplatten mit 50 µm Aluminium-Deckschicht	IVPU	EPD-IVP-20140207-IBE1-DE
PU-Dämmplatten mit Aluminium-Mehrlagen-Deckschicht	IVPU	EPD-IVP-20140208-IBE1-DE
PU-Dämmplatten mit Mineralvlies-Deckschicht	IVPU	EPD-IVP-20140206-IBE1-DE

7.2 Ergebnisse Ökobilanzierung Dämmung

Tabelle 3: Zusammenfassung der Ergebnisse pro m² Bauteil für die Ökobilanzierung einer Dämmschicht zu Erreichung eines U-Wertes von 0,24 W/(m²·K) in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes für die drei Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP

U-Wert Bestand [W/(m ² ·K)]	PENRT			PET			GWP		
	Min	Median	Max	Min	Median	Max	Min	Median	Max
	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]			[kgCO ₂ -Äq./m ²]		
1,4	17,58	56,08	91,90	20,29	59,25	95,33	4,44	15,06	26,90
0,8	14,71	46,92	76,90	16,97	49,58	79,77	3,71	12,60	22,51
0,5	10,69	34,11	55,90	12,34	36,04	57,99	2,70	9,16	16,36

7.3 Ergebnisse erzielbare Einsparungen nach Energieträger

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse für die Einsparungen pro m² Bauteil über 40 Jahre bei U-Wert-Verbesserung auf 0,24 W/(m²·K) in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes für die drei Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP

Energieträger	U- Wert Bestand [W/(m ² ·K)]	PENRT [kWh/m ²]	PET [kWh/m ²]	GWP [kgCO ₂ -Äq./m ²]
Gas	1,4	5.050,50	5.050,50	1.101,93
	0,8	2.554,11	2.554,11	557,26
	0,5	1.305,92	1.305,92	284,93
Öl	1,4	5.050,50	5.050,50	1.423,32
	0,8	2.554,11	2.554,11	719,80
	0,5	1.305,92	1.305,92	368,03
Fernwärme	1,4	2.479,33	2.892,56	826,44
	0,8	1.253,84	1.462,81	417,95
	0,5	641,09	747,94	213,70
Holzpellets	1,4	1.033,06	6.198,34	103,31
	0,8	522,43	3.134,59	52,24
	0,5	267,12	1.602,72	26,71
Wärmepumpe	1,4	1.859,50	2.376,03	578,51
	0,8	940,38	1.201,59	292,56
	0,5	480,82	614,38	149,59

7.4 Ergebnisse energetische Amortisationszeiten

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse für die energetische Amortisation einer Dämmmaßnahme auf einen U-Wert von 0,24 W/(m²·K) in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes und des Energieträgers

Energieträger	U- Wert Bestand [W/(m²·K)]	PENRT [a]	PET [a]	GWP [a]
Gas	1,4	0,44	0,47	0,55
	0,8	0,73	0,78	0,90
	0,5	1,04	1,10	1,29
Öl	1,4	0,44	0,47	0,42
	0,8	0,73	0,78	0,70
	0,5	1,04	1,10	1,00
Fernwärme	1,4	0,90	0,82	0,73
	0,8	1,50	1,36	1,21
	0,5	2,13	1,93	1,71
Holzpellets	1,4	2,17	0,38	5,83
	0,8	3,59	0,63	9,65
	0,5	5,11	0,90	13,72
Wärmepumpe	1,4	1,21	1,00	1,04
	0,8	2,00	1,65	1,72
	0,5	2,84	2,35	2,45

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Primärenergiefaktoren (f_p) gesamt und nicht erneuerbar sowie Kennwerte für die Berechnung der Treibhausgasemissionen für verschiedene Energieträger	9
Tabelle 2:	Zusammenstellung der im Rahmen der Berechnungen berücksichtigten EPD verschiedener Dämmstoffe mit Angabe der Minimal-, Median- und Maximal-Datensätze für die drei betrachteten Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP	16
Tabelle 3:	Zusammenfassung der Ergebnisse pro m^2 Bauteil für die Ökobilanzierung einer Dämmschicht zu Erreichung eines U-Wertes von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes für die drei Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP	17
Tabelle 4:	Zusammenfassung der Ergebnisse für die Einsparungen pro m^2 Bauteil über 40 Jahre bei U-Wert-Verbesserung auf $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes für die drei Umweltindikatoren PENRT, PET und GWP	17
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse für die energetische Amortisation einer Dämmmaßnahme auf einen U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ in Abhängigkeit des Bestands-U-Wertes und des Energieträgers	18

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verhältnis des Energieaufwandes für die Dämmstoffherstellung zu den über die Nutzungsdauer von 40 Jahren erzielbaren Einsparungen an Primärenergie für verschiedene Energieträger anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m ² ·K)	4
Abbildung 2: Verhältnis der Treibhausgasemissionen für die Dämmstoffherstellung zu den über die Nutzungsdauer von 40 Jahren erzielbaren Einsparungen für verschiedenen Energieträger anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m ² ·K)	5
Abbildung 3: Darstellung Zeitpunkt der Amortisation im Vergleich zur Lebensdauer (40 Jahre) einer Dämmmaßnahme für die drei betrachteten Umweltindikatoren anhand einer Beispielrechnung mit einer U-Wert-Verbesserung von 0,8 auf 0,24 W/(m ² ·K); Energieträger: Gas	5
Abbildung 4: Ökobilanzdaten für Graue Energie (PENRT) und Primärenergie gesamt (PET), links, und Treibhausgasemissionen (THG, rechts) für die Herstellung und den Rückbau von Dämmmaßnahmen mit gleicher Dämmwirkung pro m ²	6
Abbildung 5: Erforderliche Dämmstärken bei einem Bestands-U-Wert von 0,8 W/(m ² ·K) in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	7
Abbildung 6: Bandbreite von Grauer Energie und Grauen Emissionen in Abhängigkeit des erzielten U-Wertes nach Dämmmaßnahme bei einem Bestands-U-Wert von 0,8 W/(m ² ·K)	7
Abbildung 7: Mögliche Heizenergieeinsparungen pro m ² Bauteil in Abhängigkeit des U-Wertes vor und nach der Dämmmaßnahme	8
Abbildung 8: Vergleich Aufwand zu erzielbaren Einsparungen an Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar über 40 Jahre bei Sanierung auf einen U-Wert von 0,24 W/(m ² ·K) für verschiedene Bestandssituationen	10
Abbildung 9: Vergleich Aufwand zu erzielbaren Einsparungen an THG über 40 Jahre bei Sanierung auf einen U-Wert von 0,24 W/(m ² ·K) für verschiedene Bestandssituationen	11
Abbildung 10: Zeitpunkte der Amortisation der Primärenergie gesamt, nicht erneuerbar und der Treibhausgasemissionen für verschiedene Bestandssituationen und Energieträger bei Sanierung auf GEG-Niveau (U-Wert = 0,24 W/(m ² ·K))	13

Im Auftrag von:

Bundesverband energieeffiziente Gebäudehülle e.V. (BuVEG)

Friedrichstraße 95 (PB 138)

10117 Berlin

FMI Fachverband Mineralwolleindustrie e.V.

Friedrichstraße 95

10117 Berlin

FPX Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V.

Friedrichstraße 95

10117 Berlin

Industrieverband Hartschaum e.V. (IVH)

Friedrichstraße 95 /PB 152

10117 Berlin

IVPU- Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.

Heilbronner Straße 154,

70919 Stuttgart



 **Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München**
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing
Geschäftsführender Institutsleiter:

Bauaufsichtlich anerkannte
Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
von Baustoffen und Bauteilen.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des
Wärme- und Feuchteschutzes.

T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
info@fiw-muenchen.de | www.fiw-muenchen.de
Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm