Energieinstitut Hessen

energieinstitut-hessen

# Niedriginvestive Energiespartechniken für die Energiewende im Gebäudesektor

# Inhalt

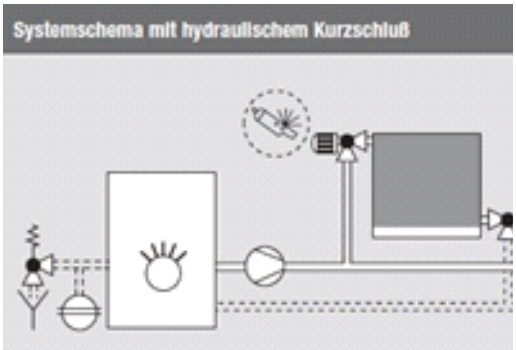

**1**
Heizenergieeinsparpotenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

**104**
Strom- und $CO_2$-Einsparpotenzial durch Einsatz von elektronischen Umwälzpumpen in Wohn- und Zweckbauten

**145**
Pumpenmodernisierung in der kommunalen und regionalen Trink- und Abwasserversorgung

**165**
Energie- und $CO_2$-Einsparpotenzial durch Austausch von Elektrokleinspeichern und E-Durchlauferhitzern durch elektronische Kleindurchlauferhitzer in Wohn- und Zweckbauten

**195**
Energie- und $CO_2$-Einsparpotenzial durch hydraulischen Abgleich mit Optimierung der Heizungsregelung



# Die Studie wurde erstellt durch:

Energieinstitut Hessen
Heinrich-Berbalk-Strasse 30, 60437 Frankfurt am Main
Tel: 0179-1264973; Eicke-Hennig@energieinstitut-hessen.de
www. energieinstitut-hessen.de

## Auftraggeber:

Fachverband Einblasdämmung
Mönchebrede 16
33102 Paderborn
www.fved.net

WILO SE,
Wilopark 1
44263 Dortmund
https://wilo.com

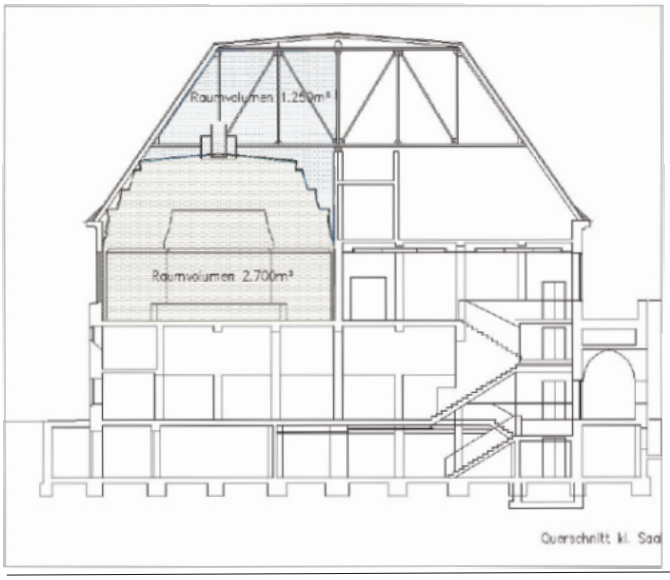
CLAGE GmbH,
Pirolweg 4,
21337 Lüneburg
www.clage.de

myWarm Deutschland GmbH,
Prenzlauer Allee 36F,
10405 Berlin
https://mywarm.de

FV ED
Fachverband Einblasdämmung

# Das Heizenergieeinsparpotenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

**Eine Studie im Auftrag des Fachverbandes Einblasdämmung**




Titelfoto: Die Bremer Glocke wurde 1928 errichtet. Der Wärmeschutz von Gebäuden war damals noch kein Thema. Erst im Jahr 2009 dämmte man die Decke des Musiksaals mit einer Einblasdämmung von 30 cm Dicke. Die Decke hängt an Drahtseilen am stählernen Dachstuhl, Von oben wurden auf ihrer Kaltseite Zelluloseflocken aufgeblasen. Die Dämmung und die Schliessung offener Fugen erzielten eine Einsparung von 30 %, entsprechend 45.000 Litern Heizöl pro Jahr. Wir danken der WFB Wirtschaftsförderung Bremen GmbH für die Verbrauchsmessung. Gedämmt wurde die abgetreppte Decke (schraffiert) über dem Musiksaal. Die Einblasdämmung passte sich den vielen Unebenheiten sehr gut an und erreichte auch die schwer zugänglichen Stellen.

Foto Titelseite Arnold Drewer, Schema: WFB Bremen

**Studie:**

## Das Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

**Durchgeführt von:**

Energieinstitut Hessen
Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig
Heinrich-Berbalk-Strasse 30, 60437 Frankfurt
www.energieinstitut-hessen.de

**Auftraggeber:**

Fachverband Einblasdämmung
Mönchebrede 16
33102 Paderborn
www.fved.net

Frankfurt am Main/Paderborn 2022

# Inhaltsverzeichnis


0 Vorwort ... 1
1 Kurzfassung ... 2
2 Heizenergieeinsparung durch Einblasdämmung in Wohn- und Zweckbauten ... 5
2.1 Methodik ... 5
2.2 Strukturdaten der wärmetauschen Gebäudehüllflächen ... 9
2.3 Die Technik der Einblasdämmung ... 9
2.4 Überblick über die Einblasdämmstoffe ... 14
2.5 Niedriginvestives Verfahren ... 15
3 Außenwandarten im Wohnungsbau ... 16
3.1 Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht ... 18
3.1.1 Die Technik der Kerndämmung ... 19
3.1.2 Dämmstoffe für die Kerndämmung ... 20
3.1.3 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial durch Kerndämmung ... 21
3.1.4 Investitionen und Wirtschaftlichkeit ... 22
3.2 Innendämmung von Fachwerkwänden ... 25
3.2.1 Die Einblastechnik für Fachwerkwände ... 26
3.2.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparung ... 27
3.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 28
3.3 Einblasdämmung Luftschichten von Fertighausaußenwänden ... 31
3.3.1 Die Technik der Einblasdämmung für Fertighäuser ... 32
3.3.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 33
3.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 34
3.4 Nachdämmung von Dreischicht-Betonwände im Geschosswohnungsbau ... 37
3.4.1 Die Technik der Einblasdämmung ... 37
3.4.2 Energie- und $CO_2$-Einsparung ... 38
3.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 39
4 Einblasdämmung bei Kellerdecken ... 42
4.1 Dämmung unter der Kellerdecke ... 42
4.1.1 Einblasdämmtechnik bei Kellerdecken ... 43
4.1.2 Luftschichten im Fußbodenaufbau ... 44
4.1.3 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 45
4.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 46
4.2 Dämmung von Kriechkellern ... 49
4.2.1 Dämmtechnik für die Kriechkellerdämmung ... 49
4.2.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparung ... 50
4.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 51
5 Steildächer ... 55
5.1 Dämmung von Dachschrägen mit dem Thermo-Bag ... 55
5.1.1 Die Technik des „Thermo-Bag“ ... 56
5.1.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 57
5.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 58
5.2 Einblasdämmung von Kehlbalkenlagen ... 61
5.2.1 Technik der Einblasdämmung ... 61
5.2.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 62
5.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 63
5.3 Einblasdämmung von Abseitenräumen ... 66
5.3.1 Die Einblasdämmtechnik für Abseiten ... 67
5.3.2 Heizenergie- und CO2-Einsparpotenzial ... 68
5.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 69
5.4 Einblasdämmung unbeheizter Dachböden ... 72
5.4.1 Einblasdämmtechnik für Dachböden ... 72
5.4.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 74
5.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 75
6 Einblasdämmung in belüftete Flachdächer ... 79

6.1 Dämmung von belüfteten Flachdächer aus Holz ... **79**
6.1.1 Einblasdämmtechnik für belüftete Flachdächer ... 79
6.1.2 Rolle des Belüftungsraumes ... 79
6.1.3 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 80
6.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 81
6.2 Volldämmung des Belüftungsraumes von Holz-Flachdächern ... **85**
6.2.1 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 85
6.2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 86
6.3 Dämmung im Belüftungsraum von Beton-Flachdächer ... **89**
6.3.1 Einblasdämmtechnik für belüftete Beton-Flachdächer ... 89
6.3.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 90
6.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 91
**7** Nachdämmung von Rollladenkästen ... **95**
7.1 Dämmtechnik für Rollladenkästen ... 95
7.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 96
7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 97
**8** Dämmung von Gebäudetrennfugen ... **101**
8.1 Einblasdämmung von Gebäudetrennfugen ... 101
8.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial ... 102
8.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 103

Endnoten ... **106**

# Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1: $CO_2$-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung nach Bauteilen im Wohngebäudebestand .....2
Abbildung 2: Anteil der für Einblasdämmung geeigneten opaken Bauteilflächen im Wohngebäudebestand .....2
Abbildung 3: Heizenergie-Einsparpotenzial der Einblasdämmung nach Bauteilen in TWh/Jahr.....3
Abbildung 4: Deutsche Wohngebäudetypologie - Wohnflächen und Gebäudeklassen bis 2009 .....5
Abbildung 5: Die Technik der Einblasdämmung - Vorher und Nachher auf dem Dachboden.....7
Abbildung 6: Aufbauschema der Berechnungsmethodik .....9
Abbildung 7: Funktion und Vorteile der Einblasdämmung.....12
Abbildung 8: 31 Anwendungsbereiche der Einblasdämmung.....13
Abbildung 9: Außenwandbauarten im Wohnungsbau bis 2009 in Prozent und Mrd. m² .....16
Abbildung 10: Erste gedämmte Aussenwände in einer Ausstellung 1924 .....16
Abbildung 11: Nachträgliche Dämmung bei Hohlmauerwerk in Prozent und Mio. m² .....18
Abbildung 12: Die häufigsten “Hohlmauer”-Arten 1881.....18
Abbildung 13: Offener Ortgang wegen Kerndämmung .....19
Abbildung 14: Rotationsströmung in der Luftschicht .....19
Abbildung 15: Kerndämmung- Heizenergieeinsparpotenzial in TWh/a nach Gebäudetypen im W-Gebäudebestand ..21
Abbildung 16: CO2-Einsparung der Kerndämmung nach Gebäudetypen im Wohngebäudebestand.....21
Abbildung 17: Kerndämmung im Wohngebäudebestand - Investition und Barwert in Mrd. EUR .....22
Abbildung 18: Kerndämmung - FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich.....22
Abbildung 19: Ergebnisübersicht - Potenzial der Kerndämmung im Wohngebäudebestand.....24
Abbildung 20: Dämmstandard der Fachwerkwände 2016 .....25
Abbildung 21: Feuchtegefahren unebener Wände bei Innendämmung.....25
Abbildung 22: Regen ist der Feind des Fachwerks.....25
Abbildung 23: Fachwerkinnendämmung mit Stegträger .....26
Abbildung 24: Heizenergie-Einsparpotenzial - Einblasdämmung Fachwerkwände in TWh/a .....27
Abbildung 25: Innendämmung von Fachwerkaußenwänden - Kosten der eingesparten Tonne CO2 .....27
Abbildung 26: Investition und Barwerte der Heizkosteneinsparung - Innendämmung Fachwerkwände .....28
Abbildung 27: FörderCent im Vergleich mit CO2-Steuersatz - Innendämmung Fachwerkaußenwände.....28
Abbildung 28: Übersicht Potenzial der Einblasdämmung Innendämmung von Fachwerkaußenwänden.....30
Abbildung 29: Fertighaus der späten sechziger Jahre. .....31
Abbildung 30: IBP-Untersuchung Wärmeschutz von Fertighaus-Außenwänden 1970-1980 .....31
Abbildung 31: 1920 ff - Holzbauweisen mit 10 cm Luftschicht .....32
Abbildung 32: 1950 - Erste Erfahrungen .....32
Abbildung 33: 1960 - Holzständer- und Rahmenbauarten .....32
Abbildung 34: 1970 - Holzbauweise mit 3 cm Luftschicht.....32
Abbildung 35: Einblasdämmung ist im Holzständer- oder Rahmenbau eine übliche Technik.....32
Abbildung 36: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Fertighausaußenwänden .....33
Abbildung 37: Kosten der eingesparten Tonne CO2 im Vergleich - Einblasdämmung Fertighausaußenwände.....33
Abbildung 38: Fertighausaußenwände - Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung .....34
Abbildung 39: Fertighausaußenwände - FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich.....34
Abbildung 40: Übersicht Potenzial der Einblasdämmung in Fertighausaußenwände .....36
Abbildung 41: Stadtteil Hamburg-Jenfeld, saniert 1990.....37
Abbildung 42: Größere Bohrung in der Wetterschale .....37
Abbildung 43: Blick in den funktionslosen Luftzwischenraum .....37
Abbildung 44: Heizenergieeinsparung durch Einblasdämmung Betonfertigteilaußenwände in TWh/a .....38
Abbildung 45: Kosten der eingesparten Tonne CO2 im Vergleich - Betonfertigteilaußenwände .....38
Abbildung 46: Investititon und Barwert der Heizkosteneinsparung - Betonfertigteilaußenwände.....39
Abbildung 47: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie- Betonfertigteilaußenwände ..... 39
Abbildung 48: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Betonfertigteilaußenwände .....41
Abbildung 49: 1850 ff. Kappendecke mit Luftraum zwischen Lagerhölzern.....43
Abbildung 50: 1920-1970: Luftraum zwischen Lagerhölzern .....43
Abbildung 51: 1890 ff: Kappendecke bereits gedämmt mit Einblasdämmung.....43
Abbildung 52: Verteilung der Kellerdeckenflächen nach Nutzung und Dämmstatus im Wohngebäudebestand ....44
Abbildung 53: Unebene Deckenuntersicht .....44
Abbildung 54: Rohre verschwinden unter Abhängung.....44
Abbildung 55: Heizenergie-Einsparpotenzial Einblasdämmung unter Kellerdecken in TWh/a .....45
Abbildung 56: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ Einblasdämmung unter Kellerdecken .....45

Abbildung 57: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung- Kellerdecken-Einblasdämmung .....46
Abbildung 58: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie im Vergleich .....46
Abbildung 59: Übersicht Potenzial der Einblasdämmung unter unebenen Kellerdecken .....48
Abbildung 60: In Holland und England übliche PU-Sprühdämmung in Kriechkeller .....49
Abbildung 61: Kellergrundriss von 1934 .....49
Abbildung 62: Fundamentplan für einen Kriechkeller 1968 .....49
Abbildung 63: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Kriechkellern in TWh/a .....50
Abbildung 64: Einblasdämmung bei Kriechkellern Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich .....50
Abbildung 65: Investititon und Barwert der Heizkosteneinsparung in Mrd. EUR Einblasdämmung Kriechkeller .....51
Abbildung 66: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie Einblasdämmung bei Kriechkellern .....51
Abbildung 67: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand .....53
Abbildung 68: Einsatzbereiche der Einblasdämmung im Steildach .....55
Abbildung 69: 1890 ff. Lehmstakung läßt Luft für Einblasdämmung .....55
Abbildung 70: Torfplatten unter den Sparren .....55
Abbildung 71: 1920 ff. Der Klassiker- 3,5-5 cm Holzwolleleichtbauplatte unter Sparren .....55
Abbildung 72: 1963 Schilfrohr als Dämmung und Putzträger .....55
Abbildung 73: 1975 zaghaft gedämmt- 2022 noch Luft für Einblasdämmung .....55
Abbildung 74: 1977 Fertighausdach mit Stegträgern .....55
Abbildung 75: Thermo-Bag zwischen den Sparren Bildfolge .....56
Abbildung 76: Thermo-Bag zwischen den Sparren Bildfolge .....56
Abbildung 77: Thermo-Bag zwischen den Sparren Bildfolge .....56
Abbildung 78: Thermo-Bag zwischen den Sparren Bildfolge .....56
Abbildung 79: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in Dachschrägen in TWh/a .....57
Abbildung 80: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$- Einblasdämmung in Dachschrägen .....57
Abbildung 81: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Dachschrägendämmung .....58
Abbildung 82: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie im Vergleich .....58
Abbildung 83: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag in Steildächern .....60
Abbildung 84: Beispiele für die Größe der Kehlbalkenlagen in Steildächern .....61
Abbildung 85: Ab 1800 z.B. dünne Sandschüttungen .....61
Abbildung 86: Einblasdämmung auf der Kehlbalkenlage 35 cm dick .....61
Abbildung 87: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Kehlbalkenlage in TWh/a .....62
Abbildung 88: Kosten der bis 2050 eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich (Kehlbalkenlage) .....62
Abbildung 89: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Dämmung Kehlbalken .....63
Abbildung 90: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie im Vergleich .....63
Abbildung 91: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung in Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand .....65
Abbildung 92: 1950 ff. Fehlende Dämmung auf der Decke der Abseite .....66
Abbildung 93: 1990 Schimmel unter der ungedämmten Decke der Abseite .....66
Abbildung 94: Das zugehörige Originalfoto zeigt die nackte Betondecke .....66
Abbildung 95: Abkühlflächen im Abseitenraum ungedämmt ohne Ende .....66
Abbildung 96: Abseitendämmung von außen durch aufgenommene Ziegel .....67
Abbildung 97: Abseitendämmung kombiniert mit Thermo-Bag .....67
Abbildung 98: Heizenergieiensparung durch Einblasdämmung in Abseitenräume in TWh/a .....68
Abbildung 99: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ durch Einblasdämmung in Abseitenräume .....68
Abbildung 100: Investtitonskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Einblasdämmung Abseitenräume .....69
Abbildung 101: FörderCent pro bis 2050 eingesparter KWh Heizenergie Einblasdämmung in Abseiten .....69
Abbildung 102: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung in Abseiten im Wohngebäudebestand .....71
Abbildung 103: BMBau Schriftenreihe 1963 ff Dachdecke Modellbauvorhaben mit 0,91 W/(m²K) .....72
Abbildung 104: BMBau Schriftenreihe 1963 ff, Dachdecke Modellbauvorhaben mit 1,4 W/(m²K) .....72
Abbildung 105: BMBau Schriftenreihe Dachdecke Modellbauvorhaben mit 0,59 W/(m²K) .....72
Abbildung 106: BMBau Schriftenreihe Dachdecke Modellbauvorhaben mit 1,37 W/(m²K) .....72
Abbildung 107: Dachbodendecken aus Holzbalken sind auch im Balkenzwischenraum zu dämmen .....73
Abbildung 108: Dachbodendecken aus Holzbalken sind auch im Balkenzwischenraum zu dämmen .....73
Abbildung 109: Heizenergieeinsparpotenzial der Einblasdämmung bei Dachböden in TWh/a .....74
Abbildung 110: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ bei der Einblasdämmung auf Dachböden im Vergleich .....74
Abbildung 111: Investitionskosten und Barwert der Heizenergieeinsparung Einblasdämmung Dachböden .....75
Abbildung 112: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie im Vergleich .....75
Abbildung 113: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung bei Dachböden im Wohngebäudebestand .....77
Abbildung 114: Flachdach 1960- Hoher Stegträger mit zeitgemäßer Dämmung .....79

Abbildung 115: Balkendach 1960 mit 3-6 cm Dämmung ....79
Abbildung 116: 1978 besser als gefordert 10 cm Dämmung ....79
Abbildung 117: Einblasdämmung vom Dachrand ....80
Abbildung 118: Einblasdämmung bei Beibehaltung der Belüftung U=0,3 W/(m²K) ....80
Abbildung 119: Heizenergieeinsparpotenzial durch Flachdachdämmung im Belüftungsraum in TWh/a ....81
Abbildung 120: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ durch Einblasdämmung in bel. Flachdach im Vergleich ....81
Abbildung 121: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung bei belüfteten Flachdächern ....82
Abbildung 122: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich ....82
Abbildung 123: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung bei bel. Flachdächern im Wohngebäudebestand ....84
Abbildung 124: Heizenergeieinsparpotenziale durch Einblasdämmung in bel. Flachdächer in TWh/a ....85
Abbildung 125: Flachdach-Volldämmung im Belüftungsraum U = 0,21 W/(m²K) ....85
Abbildung 126: Flachdach als Kombidach mit Volldämmung+Umkehrdach U = 0,1 W/(m²K) ....85
Abbildung 127: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ bei bel. Flachdächern (Volldämmung) ....86
Abbildung 128: Investititonskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Flachdach Volldämmung ....86
Abbildung 129: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie Flachdachvolldämmung ....86
Abbildung 130: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung Flachdach-Volldämmung Wohngebäudebestand ....88
Abbildung 131: Dimensionen belüfteter Flachdächer in der Betonbauweise ....89
Abbildung 132: Blick in einen Belüftungsraum auf einem MFH der Plattenbauweise ....89
Abbildung 133: Heizenergieeinsparpotenzial Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer in TWh/a ....90
Abbildung 134: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ durch Einblasdämmung Betonflachdächer ....90
Abbildung 135: Investitionssumme und Barwert der Heizkosteneinsparung in belüftete Betonfachdächer ....91
Abbildung 136: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie- Einblasdämmung Betonflachdach ....91
Abbildung 137: Übersicht- Potenziale der Einblasdämmung belüftete Flachdächer Betonfertigteilbauweise ....93
Abbildung 138: Rollladenkasten aus der Gründerzeit ....95
Abbildung 139: 1950 ff. Undicht und große Abkühlfläche ....95
Abbildung 140: 1980 Rollladenkasten mit U = 0,6 W/(m²K) ....95
Abbildung 141: Heizenenergieeinsparpotenzial durch Nachdämmung von Rollladenkästen in TWh/a ....96
Abbildung 142: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich Nachdämmung Rollladenkästen ....96
Abbildung 143: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Nachdämmung Rollladenkästen ....97
Abbildung 144: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie Nachdämmung Rollladenkasten ....97
Abbildung 145: Übersicht- Potenziale der Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand ....99
Abbildung 146: Trennwandfuge zwischen MFH Baujahr 1968 ....101
Abbildung 147: Offene Trennwandfuge mit Durchblick ....101
Abbildung 148: Offene Trennwandfuge ....101
Abbildung 149: Gedämmte Trennwandfuge ....101
Abbildung 150: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen in TWh/a ....102
Abbildung 151: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ Einblasdämmung Gebäudetrennwandfugen ....102
Abbildung 152: Investitionssumme und Barwert der Heizkosteneinsparung Gebäudetrennwandfugen ....103
Abbildung 153: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie (Trennwandfugendämmung) ....103
Abbildung 154: Übersicht- Potenziale Einblasdämmung Gebäudetrennwandfugen Wohngebäudebestand ....105

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hauptergebnisse Einsparpotenziale der Einblasdämmtechnik im Wohngebäudebestand ..... **4**
Tabelle 2: Wohngebäudetypologie mit Mengengerüst ..... **6**
Tabelle 3: Bauteilflächen im Wohngebäudebestand für die Baualtersklassen bis 2009 ..... **9**
Tabelle 4: Vergleich der ermittelten Hüllflächen zwischen 4 Studien ..... **10**
Tabelle 5: Dämmstoffarten für die Einblasdämmung ..... **14**
Tabelle 6: Sanierungskosten Einblasdämmung - herkömmliche Dämmsysteme ..... **15**
Tabelle 7: Dämmstoffe für die Kerndämmung ..... **20**
Tabelle 8: Mengengerüst Kerndämmung im Wohngebäudebestand ..... **23**
Tabelle 9: Mengengerüst Innendämmung von Fachwerkaußenwänden im Wohngebäudebestand ..... **29**
Tabelle 10: Mengengerüst Einblasdämmung in Fertighaus-Außenwände ..... **35**
Tabelle 11: Mengengerüst Einblasdämmung in Betonfertigteilfassaden im Wohngebäudebestand ..... **40**
Tabelle 12: Mengengerüst Einblasdämmung unter unebenen Kellerdecken ..... **47**
Tabelle 13: Mengengerüst Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand ..... **52**
Tabelle 14: Mengengerüst Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag in Dachschrägen ..... **59**
Tabelle 15: Mengengerüst Einblasdämmung in Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand ..... **64**
Tabelle 16: Mengengerüst Einblasdämmung in Abseitenräume im Wohngebäudebestand ..... **70**
Tabelle 17: Mengengerüst Einblasdämmung in Dachböden im Wohngebäudebestand ..... **76**
Tabelle 18: Mengengerüst Einblasdämmung belüftetes Flachdach Teildämmung im Wohngebäudebestand ..... **83**
Tabelle 19: Mengengerüst Einblasdämmung belüftetes Flachdach Volldämmung im Wohngebäudebestand ..... **87**
Tabelle 20: Mengengerüst Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer im Wohngebäudebestand ..... **92**
Tabelle 21: Mengengerüst Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand ..... **98**
Tabelle 22: Mengengerüst Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen im Wohngebäudebestand ..... **104**

# Fotonachweis

Die Fotos wurden freundlicherweise vom Fachverband Einblasdämmung und dessen Mitgliedsbetriebe zur Verfügung gestellt, die hie rim Einzelnen nicht genannt werden. Auskunft erteilt auf Anfrage der Fachverband. Die historischen Bautelskizzen entstammen der in Endnote 10 angegebenen umfangreichen historischen Fachliteratur, Einzelauskunft über die Herkunft einzelner Grafiken kann der Autor der Studie erteilen.

# 0 Vorwort

Die Technik der Einblasdämmung – seit über 100 Jahren vor allem in den USA bekannt- ermöglicht einen schnellen Einstieg in den Klimaschutz zu sozialverträglichen Bedingungen. Mit ihr werden vorhandene Hohlräume in den Baukonstruktionen zu Dämmzwecken genutzt, das ist äußerst kostengünstig und zügig in der Ausführung, die das Wohnen während der Bauarbeiten wenig beeinträchtigt. Die Investition fließt meist in weniger als 10 Jahren wieder zurück. Wo die Einblasdämmung eingesetzt wird, ist sie erfolgreich: Die Bremer „Glocke“ am Markt kennen viele, ihre Deckendämmung im Jahr 2009 mit einer 30 cm dicken Einblasdämmung, erzielte eine Energieeinsparung von 30 Prozent. Das Pultdach des ersten Passivhauses in Deutschland wurde 1990 mit 45 cm Einblasdämmung versehen. Noch nach 30 Jahren benötigt das Gebäude nur 1 m³ Erdgas pro m² und Jahr für die Heizung. Die Decke des Deutschen Museums in München wurde schon vor über 40 Jahren mit 20 cm Zelluloseflocken gedämmt.
In der äußeren Hüllfläche von Gebäuden gibt es viele Hohlschichtkonstruktionen. Sie befinden sich in Außenwänden, Decken und Dächern, bilden Kriechkeller oder Hohlräume in Holzbalkendecken. Sie verdanken ihre Existenz entweder dem Ziel der Materialeinsparung oder dem Regenschutz, manchmal auch einem unverstandenen Feuchteschutz.

Heute, wo wir den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch, Ressourcenvernichtung und $CO_2$--Emissionen verstehen, können wir diese Luftschichten für die Einblasdämmung nutzen. Ihre nachträgliche Dämmung erschließt in Deutschland ein Einsparpotenzial von 184 TWh pro Jahr. Wie diese Studie zeigt, sind die Flächen der Außenbauteile mit Hohlräumen nicht zu vernachlässigen. Durch Dämmung der noch ungedämmten 675 Mio. $m^2$ zweischaligen Mauerwerks, von 1 Mrd. $m^2$ ungedämmter Decken und 400 Mio. $m^2$ ungedämmter Dachflächen kann ein $CO_2$-Einsparpotenzial von 59 Mio. Tonnen erschlossen werden. Gleichzeitig schafft ein geringer Heizwärmebedarf unserer Gebäude die Voraussetzungen für den Einsatz erneuerbarer Energien in der Gebäudeheizung.
Mit der Einblasdämmung verbinden sich viele Vorteile:

- Schneller, kostengünstiger und finanzierbarer Einstieg in die Energie- und $CO_2$-Einsparung mit und ohne staatliche Förderung.
- Wirtschaftliche Energiespartechnik.
- Problemlose Ergänzung der Hohlraumdämmung durch spätere Außendämmung der Bauteile.
- Vorbereitung von Außendämmungen durch Unterbindung ihrer Kaltluft-Hinterströmung in Hohlräumen des Bauteils.
- Behaglichkeit: Erhöhung der Innentemperaturen der Bauteile im Winter, Verbesserung des sommerlichen Hitzeschutzes, Reduzierung von Zugluft.
- Kostengünstige Realisierung optimaler Dämmdicken in Passivhaus- oder KfW-40-Standard je nach Anwendungsbereich.
- Sicheres Modernisierungskonzept für belüftete Flachdächer in Verbindung mit dem Umkehrdach.
- Recycelbare Dämmstoffe.
- Auswahl unter mehr als 12 Einblasdämmstoffen für unterschiedliche Anwendungsbereiche.
- Kein Arbeitskräftemangel bei Marktausdehnung.

Sie erleichtert damit die Aufgabe, der von der EU formulierten energetischen Sanierung der „Worst performance Buildings“, da deren baulicher Zustand auf die ökonomischen Verhältnisse von Mietern und Eigentümern zurückgeht. Die kostengünstige Einblasdämmung besitzt das Potenzial, den $CO_2$-Einsparprozess in unserem Land zu beschleunigen.

***Arnold Drewer***
Geschäftsführer
Fachverband
Einblasdämmung

# 1 Kurzfassung

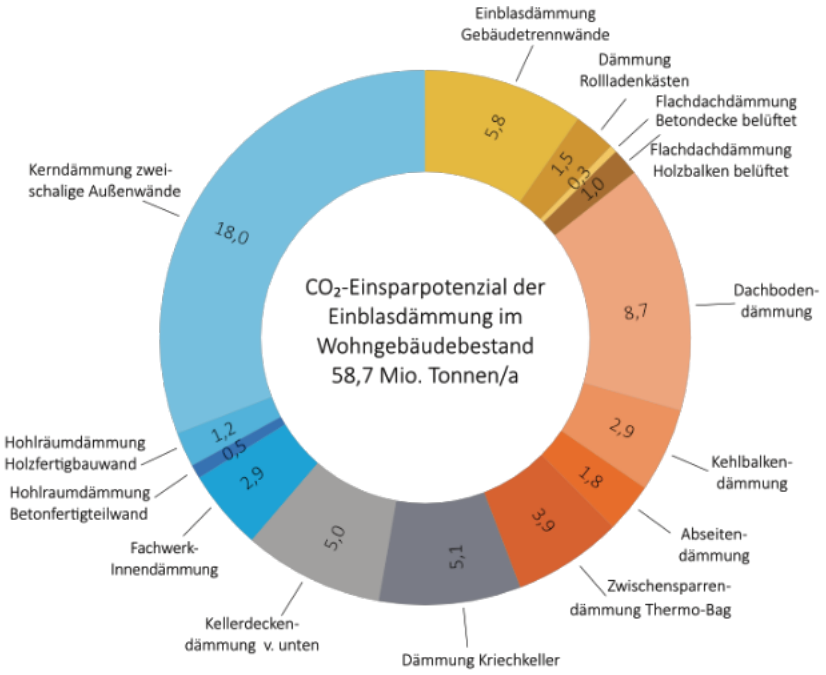
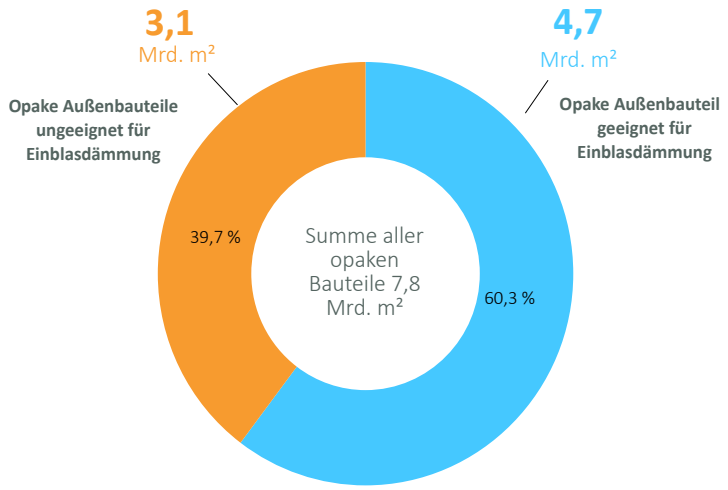



*Abb. 1: $CO_2$-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung nach Bauteilen im Wohngebäudebestand*

Die Einblasdämmung erschließt keine neuen, sondern die bereits vorhandenen Einsparpotenziale auf eine neue Art. Mit schlankem Produktionsaufwand hergestellte Dämmstoffe werden rationell über Schläuche in oder auf wärmetauschende Bauteile geblasen, wo ihr Einsatz in Hohlschichten und nicht nutzbaren Räumen den Aufwand für teure Abdeckschichten meist vermeidet, auch komplizierte Geometrien werden lückenlos gedämmt. Diese Eigenschaften machen sie zur niedriginvestiven Dämmtechnik. Zum Kostenvorteil treten kurze Ausführungszeiten und die geringe Belastung der Bewohner durch die Bauarbeiten, die Recyclingfähigkeit der Dämmstoffe und ihre kurzen energetischen Amortisationszeiten hinzu. Hervorzuheben ist desweiteren die jederzeit mögliche Ergänzung durch Außendämmmaßnahmen, deren Funktionsfähigkeit sie durch Schließen von Hohlräumen im gedämmten Bauteil sicherstellen. Funktionierend, einfach, bezahlbar, sozialverträglich und kompromisslos ökologisch bietet dieses Verfahren die Chance, der dringend erforderlichen Effizienzsteigerung im Gebäudesektor als Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz erneuerbarer Energien in der Gebäudeheizung neuen Schub zu verleihen.Mit der Technik des Wärmeschutzes können 80 % des heutigen Heizenergieverbrauchs permanent eingespart werden. Hierzu müssen kostenoptimale Wege gefunden werden. Die Einblasdämmung erschließt einen solchen für die Neu– und Altbauten. Die Studie zeigt über 31 Anwendungsfelder, für die über 13 passende und recyclingfähige Dämmstoffe zur Verfügung stehen. Zum Stichtag 2009 existierten in Deutschland 18,2 Mio. Wohngebäude mit insgesamt 7,8 Mrd. m² opaken Außenbauteilen, von denen sich 60 % oder 4,7 Mrd. m² für die Einblasdämmung eignen.

*Abb. 2: Anteil der für Einblasdämmung geeigneten opaken Bauteilflächen im Wohngebäudebestand bis 2009*




Die Schwerpunkte des Potenzials befinden sich in den Bereichen:

- Kerndämmung Hohlmauern,
- Dämmung Dachböden/Kehlbalken,
- Dämmung Abseiten/Dachschrägen,
- Dämmung Gebäudetrennwände,
- Keller- und Kriechkellerdämmung.

Mit dieser Dämmart lässt sich im Wohngebäudebestand ein Raumwärmeeinsparpotenzial von 41 % des bisherigen Verbrauches von 454 TWh pro Jahr einsparen und ein $CO_2$-Einsparpotenzial von rund 58 Mio. Jahrestonnen oder 29 % der Emissionen des Gebäudesektors inklusi-

ve Nichtwohnbau erschließen. Die Amortisationszeit beträgt im Durchschnitt 8,1 Jahre, so dass sich die Investitionen über 40 Jahre mehrfach zurückzahlen. Auch bei der $CO_2$-Einsparung verzeichnet die Einblasdämmung wirtschaftliche Pluspunkte: Die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. liegen im Durchschnitt mit 54,50 EUR/to nur bei einem Zwölftel der Schadensbeseitigungskosten jeder emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv.. Für Hauseigentümer ist es billiger $CO_2$ einzusparen, da auch die für 2030 anvisierte steuerliche Belastung der fossilen Energieträger von 65 EUR/Tonne $CO_2$ über den Vermeidungskosten liegt.

Die Einblasdämmung steht für einen bezahlbaren Einstieg in den Klimaschutz, löst in vielen Fällen die durch begrenzte Mietzahlungsfähigkeit im Geschosswohnungsbau, die im EFH-Bestand bestehende Finanzierungsproblematik und forciert damit Klimaschutz zu sozialverträglichen Bedingungen, der wichtigsten Voraussetzung, um diesem im Gebäudesektor das notwendige Tempo zu verleihen.

Beim gegenwärtigen Fördersatz nach BEG von 20 % entsteht ein jährlicher Förderaufwand von 0,6 Mrd. EUR Jede bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie würde mit nur 0,454 Cent gefördert.

Die Technik verhindert „lock-in-Effekte“, indem sie jederzeit durch eine Außendämmung ergänzt werden kann, die sie durch Schließung mit Außenluft hinterströmter Hohlräume im Bauteil vorbereitet.

Bei einer Marktausweitung entsteht kein Arbeitskräftemangel, sondern erwachsen neue Beschäftigungsmöglichkeiten im Bereich der Anlernberufe. Das Dämmverfahren ist unkompliziert, schnell erlernbar, in Bauteams werden neue Arbeitskräfte geschult.

Die Decarbonisierung des Gebäudesektors hat die Energieeffizienz als Vorbedingung. Die Potenziale der erneuerbaren Energien reichen nur zur Deckung eines Rest-Heizenergieverbrauches auf dem Niveau des Passivhausstandards. Es käme einer neuen Ressourcenverschwendung in Beton, Sand, Stahl, Chemikalien, Balsaholz, Holz, Silizium und Kupfer gleich, wählte man stattdessen den Weg, Wind,- Sonnen- und Biomassekraftwerke für einen vermeidbaren Heizenergieverbrauch zu bauen. Die Energieeffizienz erzwingt den optimalen Wärmeschutz für die 23 Mio. Wohn- und Zweckbauten in Deutschland. Ihre wärmeverlustreichen Gebäudehüllen wurden bis 1977 ohne die Einbeziehung energetischer Gesichtspunkte gebaut und ab 1977 nur mit schwachen Standards für Neubauten und noch schwächeren für die Altbaunachrüstung ausgestattet, die schon heute wieder zu staatlich geförderten energetischen Sanierungsfällen geworden sind. Die Erfahrungen der letzten 100 Jahre zeigen: Der Weg in die Zukunft absolviert sich besser mit der Bautechnik der Zukunft.

*Abb. 3: Heizenergie-Einsparpotenzial der Einblasdämmung nach Bauteilen in TWh/Jahr*

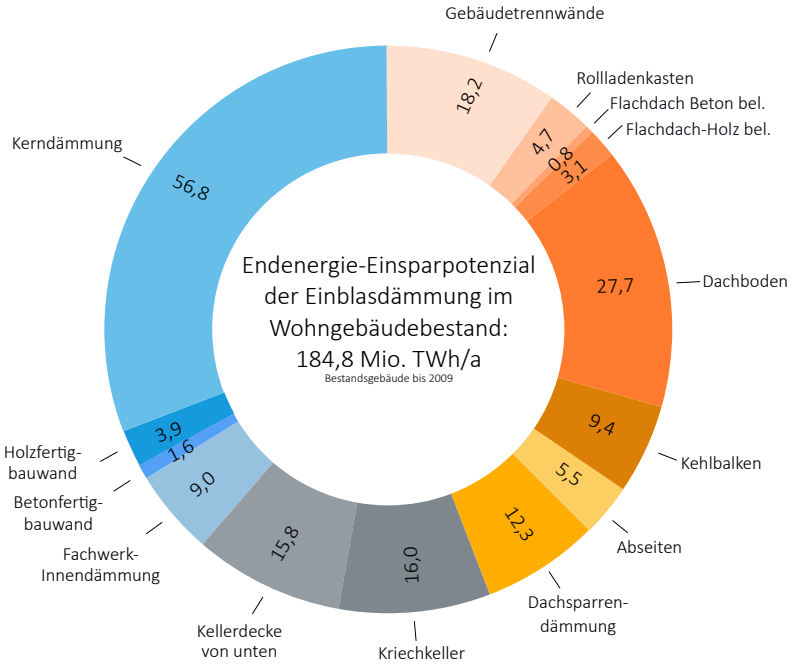


*Tabelle 1: Übersicht - Hauptergebnisse Potenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand*

| Bauteil/ Energiesparmaßnahme | Heizenergieeinsparung | $CO_2$-Einsparung | Wohngebäude | Zu dämmende Bauteilfläche | Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ | Massnahme-Kosten | Investition | Barwert Heizkosten-einsparung | Amortisation Barwert | 20 %-Fördermittel über 30 Jahre | FörderCent pro eingesparte kWh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TWh pro Jahr | Mio. to $CO_2$-Äquiv. p.a. | Mio. Stck. | Mio. m² / Mio. Stück Rollladenkästen | EUR/Tonne $CO_2$ über 40 Jahre | EUR/m² | Mrd. EUR | Mrd. EUR über 40 Jahre | Jahre | Mio. EUR/Jahr | Cent/kWh bis 2050 |
| Kerndämmung zweisch. Mauerwerk | 56,8 | 18 | 3,5 | 675,5 | 19,3 | 15-19 | 12,1 | 138,3 | 3 | 80,7 | 0,16 |
| Fertighauswände EBD | 3,9 | 1,2 | 0,761 | 150,8 | 49,1 | 15 | 2,3 | 9,5 | 9 | 15,3 | 0,41 |
| Vorgefertigte Betonwände EBD | 1,5 | 0,5 | 0,211 | 41,8 | 44 | 20 | 0,8 | 3,8 | 8 | 5,3 | 0,37 |
| Fachwerkwände Innendämmung | 9 | 2,9 | 0,263 | 42,3 | 37,1 | 75 | 3,7 | 22 | 6 | 24,7 | 0,31 |
| Kellerdecken-EBD | 15,8 | 5 | 2,2 | 322,1 | 96,7 | 60 | 19,3 | 38,4 | 19 | 128,7 | 0,81 |
| Kriechkeller-EBD | 16 | 5 | 5 | 210,2 | 139,1 | 72 | 15,1 | 38,2 | 14 | 100,7 | 1,17 |
| Dachschrägen Thermo-Bag, EBD | 12,3 | 3,9 | 5 | 212,8 | 62,1 | 45 | 6,6 | 30 | 8 | 44,0 | 0,52 |
| Abseiten-EBD | 5,5 | 1,8 | 6 | 45,5 | 15,9 | 75 | 1,04 | 13,1 | 3 | 6,9 | 0,13 |
| Kehlbalken-EBD | 9,5 | 3 | 6 | 139 | 56,2 | 35 | 4,9 | 22,6 | 8 | 32,7 | 0,47 |
| Dachboden-EBD | 27,7 | 8,8 | 3,8 | 497,2 | 36,4 | 23 | 8,9 | 66,1 | 5 | 59,3 | 0,3 |
| Flachdach Holz, belüftet, EBD | 3,1 | 1 | 0,263 | 34,5 | 31,1 | 35 | 1,1 | 7,5 | 6 | 7,3 | 0,2 |
| Flachdach Holz, Volldämmung, EBD Vorstufe Kombidach | 3,4 | 1,1 | 0,263 | 34,5 | 65,9 | 35 | 1,7 | 8,25 | 8 | 11,3 | 0,5 |
| Flachdach Beton belüftet, EBD | 0,8 | 0,3 | 0,086 | 11,3 | 53,5 | 35 | 0,4 | 2 | 7 | 2,7 | 0,5 |
| Rollladenkasten, Nachdämmung | 4,7 | 1,5 | 9 | 59,4 | 104 | 100/Stck. | 5,1 | 11,5 | 16 | 34,0 | 0,9 |
| Dämmung Haustrennwände, EBD*) | 18,2 | 5,8 | 0,6 | 108 | 6,7 | 15 | 3,2 | 44,1 | 3 | 21,3 | 0,06 |
| **Summe** | **184,8** | **58,7** | **-** | **2525,5** | **54,5** | **-** | **86,24** | **455,35** | **8,1** | **574,9** | **0,454** |
| National Gebäudesektor Heizenergie/$CO_2$-Emissionen/ Gebäude/Bauteilfläche brutto | 454 | 200 | 18,2 | 7,4 | | | | | | | |
| **Anteil Potenzial Einblasdämmung** | **41 %** | **29 %** | | | | | | | | | |

EBD = Einblasdämmung; Angabe der $CO_2$-Emissionen nach den Verursacherprinzip ohne Anteil TWW (geschätzt); *) Sonderfall Trennwände erhalten durch Dämmung adiabatische Funktion (2 Nachbarn)

# 2 Heizenergieeinsparung durch Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

## 2.1 Methodik

Die Studie erhebt erstmalig das Potenzial der Einblasdämmung. Sie berechnet das durch diese aktivierbare Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial für den Wohngebäudebestand. Hierzu entwickelt sie die für die Potenzialberechnung erforderlichen Daten der Außenbauteile aus den Datenquellen, die den deutschen Wohngebäudebestand unter baukonstruktiven und energetischen Gesichtspunkten strukturieren. Zusätzlich greift sie auf die einschlägigen historischen Darstellungen der Bauteilkonstruktionen von Außenwänden, Flachdächern, Steildächern, Decken zurück, mit denen die Bauteilflächen, Hohlschichtkonstruktionen und U-Werte im Wohngebäudebestand sowie die für die Einblasdämmung erschließbaren Bauteilflächen und ihr gegenwärtiger Dämmstandard valide ableitbar sind. Die folgenden Datenquellen wurden herangezogen:

- Institut Wohnen und Umwelt , Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern, Studie im Auftrag der Bundestags-Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ im Auftrag der DBU, Darmstadt 1994. Die Studie erarbeitete die erste wärmetechnische deutsche Wohngebäudetypologie mit 46 Gebäudetypen, deren Wohnflächen, Gebäudeanzahl, wärmetechnischer Bauteilbewertung und Energiekennwerten.
- Hessische Energiesparaktion, Wohngebäudetypologie Hessen, IWU Darmstadt 2003. Die Studie verifiziert die Deutsche Gebäudetypologie und liefert Strukturdaten für die Gebäude Mitteldeutschlands.
- Gebäudetypologie Schleswig-Holstein, Kiel 1996 und Gebäudetypologie Schleswig-Holstein, Kiel 2012, liefern Daten für die nördlichen Bundesländer
- Ökoinstitut Darmstadt, Nachhaltiges Bauen und Wohnen in Schleswig-Holstein, Darmstadt 2003, detaillierte Flächenanalysen aus der S-H-Gebäudetypologie.
- IWU, Gebäudetypologie Bayern mit 11 Hausdatenblättern, Darmstadt 2006, mit Strukturdaten der Bauweise in den südlichen Landesteilen Deutschlands.
- Deutsche Wohngebäudetypologie TABULA, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcope/2015_IWU_LogaEtAl-_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypo-

*Abb 4: Deutsche Wohngebäudetypologie - Wohnflächen und Gebäudeklassen bis 2009*

| Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 | | Baualtersklassen | | | | | | | | | | Summe | Anteil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stichtag: 9.5.2011 | | bis 1860 | 1861 - 1918 | 1919 - 1948 | 1949 - 1957 | 1958 - 1968 | 1969 - 1978 | 1979 - 1983 | 1984 - 1994 | 1995 - 2001 | 2002 - 2009 | | |
| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | | |
| Deutscher Wohngebäudebestand Baujahre bis 2009 | **EFH** | | | | | | | | | | | | |
| | Anzahl Wohngebäude in Tsd. | 330 | 966 | 1.131 | 859 | 1.509 | 1.507 | 704 | 1.160 | 1.035 | 775 | **9.976** | *55%* |
| | Anzahl Wohnungen in Tsd. | 399 | 1.213 | 1.389 | 1.060 | 1.948 | 1.915 | 881 | 1.397 | 1.204 | 858 | **12.263** | *31%* |
| | Wohnfläche in Mio. m² | 46 | 135 | 150 | 116 | 218 | 233 | 110 | 178 | 158 | 119 | **1.463** | *41%* |
| | **RH** | | | | | | | | | | | | |
| | Anzahl Wohngebäude in Tsd. | 148 | 492 | 710 | 447 | 633 | 611 | 335 | 652 | 619 | 384 | **5.030** | *28%* |
| | Anzahl Wohnungen in Tsd. | 181 | 617 | 840 | 546 | 749 | 685 | 374 | 722 | 674 | 409 | **5.796** | *15%* |
| | Wohnfläche in Mio. m² | 19 | 62 | 82 | 52 | 76 | 79 | 45 | 85 | 80 | 52 | **633** | *18%* |
| | **MFH** | | | | | | | | | | | | |
| | Anzahl Wohngebäude in Tsd. | 54 | 442 | 388 | 356 | 586 | 412 | 146 | 309 | 244 | 85 | **3.023** | *17%* |
| | Anzahl Wohnungen in Tsd. | 214 | 2.177 | 1.911 | 2.003 | 3.348 | 2.313 | 852 | 1.826 | 1.390 | 461 | **16.495** | *42%* |
| | Wohnfläche in Mio. m² | 16 | 163 | 129 | 125 | 225 | 169 | 64 | 133 | 104 | 39 | **1.168** | *33%* |
| | **GMH** | | | | | | | | | | | | |
| | Anzahl Wohngebäude in Tsd. | 0,6 | 28,7 | 7,4 | 17,3 | 34,0 | 50,1 | 15,0 | 28,7 | 20,9 | 7,6 | **210** | *1%* |
| | Anzahl Wohnungen in Tsd. | 11 | 526 | 126 | 308 | 818 | 1.366 | 356 | 605 | 408 | 151 | **4.674** | *12%* |
| | Wohnfläche in Mio. m² | 0,7 | 35,8 | 7,9 | 17,0 | 47,1 | 86,7 | 21,9 | 34,8 | 25,5 | 10,4 | **288** | *8%* |
| **Anzahl Wohngebäude in Tsd.** | | **533** | **1.929** | **2.236** | **1.679** | **2.762** | **2.580** | **1.200** | **2.150** | **1.919** | **1.251** | **18.239** | |
| *Anteil* | | *3%* | *11%* | *12%* | *9%* | *15%* | *14%* | *7%* | *12%* | *11%* | *7%* | | |
| **Anzahl Wohnungen in Tsd.** | | **806** | **4.533** | **4.265** | **3.915** | **6.863** | **6.279** | **2.463** | **4.550** | **3.675** | **1.880** | **39.228** | |
| *Anteil* | | *2%* | *12%* | *11%* | *10%* | *17%* | *16%* | *6%* | *12%* | *9%* | *5%* | | |
| **Wohnfläche in Mio. m²** | | **82** | **396** | **370** | **309** | **567** | **569** | **240** | **431** | **368** | **220** | **3.552** | |
| *Anteil* | | *2%* | *11%* | *10%* | *9%* | *16%* | *16%* | *7%* | *12%* | *10%* | *6%* | | |

Gewählte Zuordnung: EFH: freistehende Ein-/Zweifamilienhäuser; RH: Ein-/Zweifamilienhäuser als Doppelhaushälfte,Reihenhaus oder sonstiger Gebäudetyp
MFH: Mehrfamilienhäuser mit 3-12 Wohnungen, GMH: Mehrfamilienhäuser ab 13 Wohnungen
Die Angaben beziehen sich ausschließlich auf Wohngebäude (ohne Wohnheime, ohne "sonstige Gebäude mit Wohnraum", ohne "bewohnte Unterkünfte")

IWU

Quelle: Institut Wohnen und Umwelt, Deutsche Wohngebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, Darmstadt 2015

logie.pdf Die Studie verdichtet die 46 Gebäudetypen auf 41 und erweitert die Baualtersklassen bis 2009, berechnet 2 Einsparszenarien und fasst die Strukturdaten kompakt zusammen.

- Bauakademie der DDR, Gebäudeatlas Mehrfamilienhäuser der Baujahre 1880 bis 1980, Teil 1 und 2, Berlin 1990. Eine komplette Untersuchung des Gebäudebestandes im Gebiet der neuen Bundesländer von 1880 bis 1980, Abgrenzung typischer Gebäude mit sehr detaillierten Strukturdaten der Außen- und Innenbauteile, ergänzt die Bauteilkennziffern zur Berechnung der Außenbauteilflächen.
- IWU/Bremer Energieinstitut, Datenbasis Gebäudebestand, Darmstadt 2010. Die Studie erhebt in einer Umfrage an über 14.000 Gebäuden die Art der Außenbauteile, Beheizung und Dämmzustand.
- IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018. Die Studie schreibt die Erhebung von 2010 fort, liefert aktuelle Daten über durchgeführte energetische Modernisierungen.
- IWU, Marktpotenzial – Grobanalyse, Darmstadt 1999, die Kurzstudie liefert Daten über die energetisch zu modernisierenden Außenbauteile im Wohngebäudebestand sowie Kennziffern zur Berechnung der Bauteilfläche aus der Wohnfläche gemäß Wohngebäudetypologie Deutschland und für Nichtwohngebäude.
- Institut Wohnen und Umwelt, Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich, Zielerreichungsszenario, Bonn/Darmstadt, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 03/2013; Die Studie enthält Daten für 6 Modellgebäude.
- Forschungsinstitut für Wärmeschutz, Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050, München 2018, die Studie enthält eine Abschätzung der Außenbauteilflächen die zum Vergleich herangezogen werden.
- BMBau (Hrsg.) Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen, Schriftenreihe 06.044, Bonn 1980. Die Studie bietet eine erste Einordnung von Bauteiltypen innerhalb von Siedlungsstrukturtypen.
- Deutsche Energieagentur, Der Dena-Gebäudereport 2012 bis 2021, Berlin 2012 ff., enthält Daten zu Wohn- und Nichtwohngebäuden.
- TU Dresden, Prof. Clemens Deilmann u.a., Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und $CO_2$-Minderungspotenzialen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013
- Gierga, M.; H. Erhorn: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland, Forschungszentrum Jülich, 1994; die Strukturdaten zu den Nichtwohngebäuden lassen derzeit eine detailliertere Ermittlung von Außenbauteilflächen und -zuständen nur schwer zu.
- IEFEU/BEUTH-Hochschule Berlin, Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestandes, Berlin 2015

| Wohngebäude-Typ | Anzahl Wohngebäude | Wohnfläche | Anzahl Wohneinheiten | Energiebezugsfläche Typgebäude | Wohngebäude-Typ | Anzahl Wohngebäude Stück | Wohnfläche | Anzahl Wohneinheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Einfamilienhäuser | Gebäude | m² | WE | m² | Kleine MFH | Gebäude | m² | WE |
| EFHA-1918 | 330.000 | 46.000.000 | 399.000 | 199 | MFHA-1918 | 54.000 | 16.000.000 | 214.000 |
| EFHB-1918 | 966.000 | 135.000.000 | 1.213.000 | 129 | MFHB-1918 | 442.000 | 163.000.000 | 2.177.000 |
| EFHC 1919 | 1.131.000 | 150.000.000 | 1.389.000 | 275 | MFHC 1919 | 388.000 | 129.000.000 | 1.911.000 |
| EFHD 1949 | 859.000 | 116.000.000 | 1.060.000 | 101 | MFHD 1949 | 356.000 | 125.000.000 | 2.003.000 |
| EFHE 1958 | 1.509.000 | 218.000.000 | 1.948.000 | 111 | MFHE 1958 | 586.000 | 225.000.000 | 3.348.000 |
| EFHF 1969 | 1.507.000 | 233.000.000 | 1.915.000 | 158 | MFHF 1969 | 412.000 | 169.000.000 | 2.313.000 |
| EFHG 1978 | 704.000 | 110.000.000 | 881.000 | 196 | MFHG 1978 | 146.000 | 64.000.000 | 852.000 |
| EFHH 1984 | 1.160.000 | 178.000.000 | 1.397.000 | 136 | MFHH 1984 | 309.000 | 133.000.000 | 1.826.000 |
| EFHI 1995 | 1.035.000 | 158.000.000 | 1.204.000 | 111 | MFHI 1995 | 244.000 | 104.000.000 | 1.390.000 |
| EFHJ 2003-09 | 775.000 | 119.000.000 | 858.000 | 133 | MFHJ 2003-09 | 85.000 | 39.000.000 | 461.000 |
| **Summe EFH** | **9.976.000** | **1.463.000.000** | **12.264.000** | | **Summe MFH** | **3.022.000** | **1.167.000.000** | **16.495.000** |
| Reihenhäuser | | | | | Große MFH/HH | | | |
| RHA vor 1918 | 148.000 | 19.000.000 | 181.000 | 87,2 | GMHA-1918 | 600 | 700.000 | 11.000 |
| RHB vor 1918 | 492.000 | 62.000.000 | 617.000 | 103 | GMHB-1918 | 28.700 | 35.800.000 | 526.000 |
| RHC 1919 | 710.000 | 82.000.000 | 840.000 | 103 | GMHC 1919 | 7.400 | 7.900.000 | 126.000 |
| RHD 1949 | 447.000 | 52.000.000 | 546.000 | 136 | GMHD 1949 | 17.300 | 17.000.000 | 308.000 |
| RHE 1958 | 633.000 | 76.000.000 | 749.000 | 72 | GMHE 1958 | 34.000 | 47.100.000 | 818.000 |
| RHF 1969 | 611.000 | 79.000.000 | 685.000 | 98 | GMHF 1969 | 50.100 | 86.700.000 | 1.366.000 |
| RHG 1978 | 335.000 | 45.000.000 | 374.000 | 116 | GMHG 1978 | 15.000 | 21.900.000 | 356.000 |
| RHH 1984 | 652.000 | 85.000.000 | 722.000 | 135 | GMHH 1984 | 28.700 | 34.800.000 | 605.000 |
| RHI 1995 | 619.000 | 80.000.000 | 674.000 | 138 | GMHI 1995 | 20.900 | 25.500.000 | 408.000 |
| RHJ 2003-09 | 384.000 | 52.000.000 | 409.000 | 168 | GMHJ 2003-09 | 7.600 | 10.400.000 | 151.000 |
| **Summe RH** | **5.031.000** | **632.000.000** | **5.797.000** | | **Summe GMH** | **210.300** | **287.800.000** | **4.675.000** |

*Tabelle 2: Gebäudetypologie Wohngebäude mit Mengengerüst*

Abbildung 4 zeigt die deutsche Gebäudetypologie für Wohngebäude mit Stand 2009 mit ihren Baualtersklassen und Gebäudetypen in Bezug auf die Anzahl der Wohngebäude, -einheiten und -flächen. Um die noch nicht gedämmten Bauteilflächen zu identifizieren, werden diese Daten um die Verhältniszahlen von Wohnfläche und Bauteilfläche, den in den „Datenerhebung Gebäudebestand" ermittelten Anteilen der einzelnen Bauteilarten, den Beheizungszuständen von Gebäudeteilflächen sowie dem ermittelten Anteil nachträglich gedämmter Bauteilflächen ergänzt. Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ausgangsdaten der Gebäudetypologie nach dem aktuellen Stand im TABULA-Projekt.[1]

Auf Basis der Studien zur Datenbasis Gebäudebestand wurden für die Wohngebäude die Art der Baukonstruktion, der Beheizungszustand von Kellern und Dächern sowie das Ausmaß ausgeführter Wärmeschutzmassnahmen und daraus die noch zu dämmenden Flächen bestimmt. Für die ausgeführten Dämmmaßnahmen im Bestand ist das Jahr 2016 als bestimmender Status durch die letzte Umfrageerhebung des IWU angelegt. Die folgenden Elemente der wärmetauschenden Hüllfläche wurden quantifiziert:

- Außenwandarten Hohlschichten
- Steildach beheizt/teilbeheizt
- Dachböden unbeheizt
- Flachdach insgesamt und belüfteter Aufbau
- Kellerdecken gegen unbeheizt
- Kriechkeller

Abgestützt auf die Bauteilflächensumme wurden weitere Differenzierungen aus typischen Gebäude Geometrien und Dachneigungen von Wohnhäusern berechnet:

- Flächengröße von Abseiten
- Flächengrößen Kehlbalkenlagen
- Anzahl der Rollladenkästen
- Fläche Gebäudetrennwände

Der Datenbestand für Nichtwohngebäude ermöglicht noch keine genauere Potenzialbestimmung, deshalb wird in dieser Studie darauf verzichtet.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Kosten der Einblasdämmvarianten beim Fachverband Einblasdämmung auf Grundlage einer 1500 Objekte umfassenden Kostendatenbank erhoben. Die Berechnung erfolgte unter den Annahmen: Energiepreissteigerung 1,5 % p.a., Kapitalzins: 2,5 % p.a., Laufzeit 40 Jahre, dynamische Berechnung (Barwert). Alle angegebene Baupreise sind ohne Mehrwertsteuer.

Block A der Abbildung 6 dient der Berechnung der Brutto-Bauteilflächen. Sie werden über die Wohnflächen bzw. beim Bauteil Steildach über die Gebäudeanzahl der jeweiligen Baualtersklassen mit den aus der Deutschen Wohngebäudetypologie und den DDR-Gebäudeatlanten nach den Gebäudetypgruppen EFH, RH, KMH, GMH und HH ermittelten Verhältniszahlen von Bauteilfläche zu Wohnfläche ermittelt. In der Summe aller Wohngebäude Deutschlands ergeben sich für die Bauteile die in Tabelle 3 genannten Zahlen. Der Vergleich mit Daten weiterer Untersuchungen zeigt eine hohe Übereinstimmung. Lediglich bei der Außenwandfläche weist die Untersuchung des FIW höhere Werte auf, die durch die Einbeziehung der Gebäudetrennwände entstehen, die in dieser Studie getrennt aufgeführt werden.

In Block B findet die Berechnung der für die Einblasdämmung in Frage kommenden Nettobauteilflächen statt. Hierzu werden die Bauteilflächenanteile gegen beheizte oder unbeheizte Räume und ihr Nachdämmungsgrad aus den Erhebungen „Datenbasis Gebäudebestand“ des IWU übernommen und daraus die noch ungedämmten Bauteilflächen entwickelt. Stand der Daten ist das Jahr 2016, es wurden keine Fortschreibungen getätigt.

In Block C wird die Energieeinsparung mit der Bauteilmethode berechnet. Die U-Werte des Ist-Zustandes werden aus den zur Bauzeit der Altbauten geltenden Anforderungen sowie den Gebäudetypologien entnommen. Maßgeblich sind die Bauordnungen der Preußischen Länder, ab 1952 die Fassungen der DIN 4108-2 und ab 1977 die Wärmeschutzverordnung bzw. ab 2002 die Energieeinsparverordnung. Die Endenergie wurde mit einem Heizanlagenjahreswirkungsgrad von 0,87 und mittleren Heizgradstunden von 75 kKh ermittelt, die nach EnEV 2007 für Altbauten mit leicht nachgebessertem Wärmeschutz gelten. Wärmebrücken finden bei der Bauteilmethode bilanztechnisch keine Berücksichtigung.

Grundlage für die Ermittlung der mittleren $CO_2$-Einsparung ist der Heizenergieträgermix nach AG Energiebilanzen in der Fassung der Bayrischen Landesanstalt für Umwelt von 2021: https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnen-sie-ihre-treibhausgasemissionen-mit-co2-rechner. Entsprechend wurden die nach dem Verursacherprinzip festgestellten $CO_2$-Emissionsdaten für den Raumwärmesektor zum Vergleich benutzt.

Block D dokumentiert die Heizenergie- und $CO_2$-Einsparung sowie Kosten und Wirtschaftlichkeit. Hierzu werden die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. berechnet, die Investition dem Barwert der Heizkosteneinsparung bei 40 Jahren Betrachtungszeitraum gegenübergestellt und die Amortisationszeit nach der Barwertmethode berechnet. Der Betrachtungszeitraum entspricht mit 40 Jahren dem Gebäuderenovierungszyklus.

Abb. 5: Die Technik der Einblasdämmung - Vorher und Nachher auf einem Dachboden

# Berechnungsmethodik - basierend auf der deutschen Gebäudetypologie mit 41 Typgebäuden

**A**

**Gebäudetypen: Wohneinheiten, Wohnfläche, Gebäude-typdaten, Hüllflächenkennziffern, Baualtersklassen**

**B**

**Bauteil-Grunddaten, Flächenanteile Konstruktion, beheizt/unbeheizt, gedämmt/ungedämmt**

**C**

**Wärmetechnische Berechnung, Bauteilverfahren**

**D**

**Ergebnisberechnung: Heizenergie-, $CO_2$-Einsparung, Kosten, Wirtschaftlichkeit**

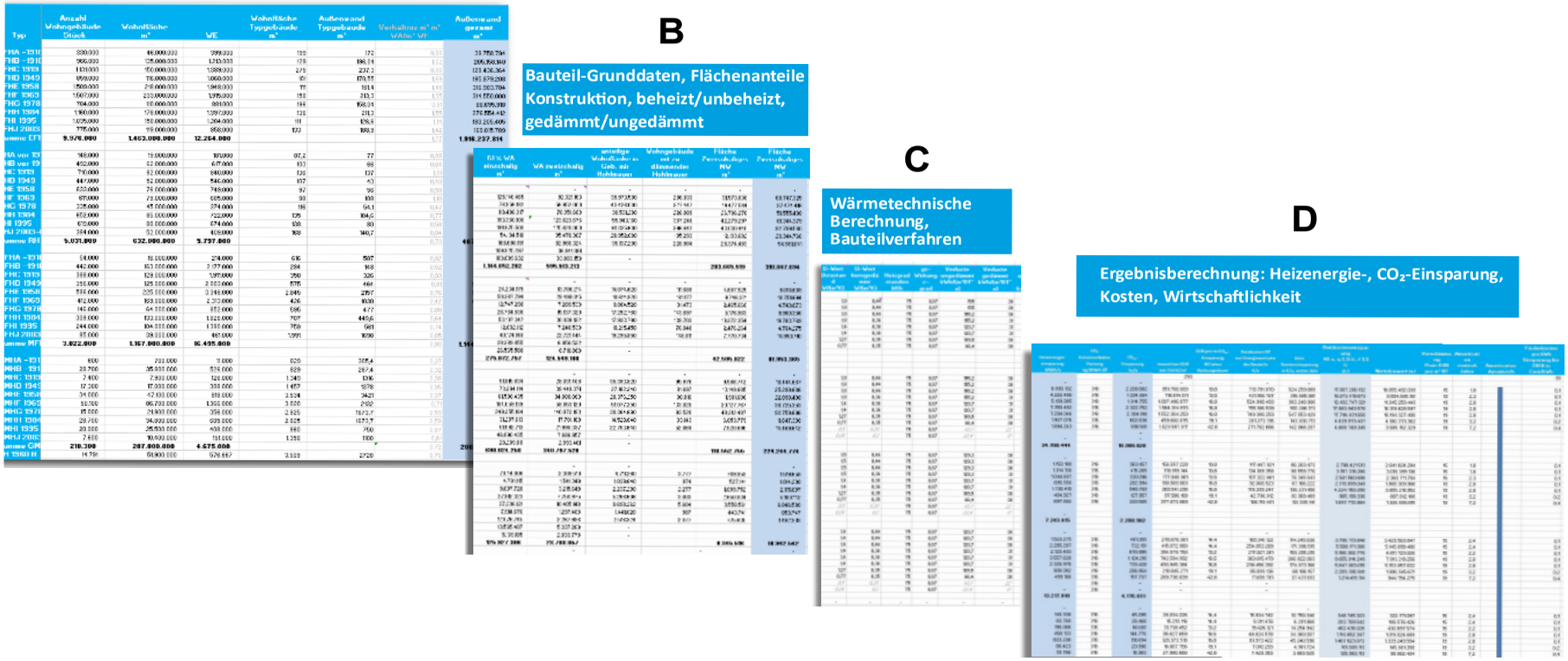


*Abb. 6: Schema der Berechnungsmethodik*

## 2.2 Strukturdaten der wärmetauschenden Gebäudehüllflächen

Das Ergebnis der Bauteilflächenberechnung auf Grundlage der Gebäudetypologie und den oben genannten Datenquellen kommt zu den in Tabelle 3 gezeigten Resultat. Von den rund 7,8 Mrd. m² opaker Außenwandflächen entfallen 4,7 Mrd. m² oder 60 % auf Bauteile, die mit der Einblastechnik verbessert werden können. Hiervon sind zwischen 15 und 61 % bereits in unterschiedlichen Qualitäten gedämmt. Die noch zu dämmende Fläche umfasst 2,2 Mrd. m². Hinzu tritt ein nicht bestimmbarere Teil von Massnahmen an suboptimal gedämmten Flächen, die Aktivierung dieses Potenzials hängt von der Energiepreisentwicklung ab.

Ein Vergleich der ermittelten Bauteilflächen mit drei weiteren Studien zeigt eine gute Übereinstimmung. Lediglich bei der Außenwandfläche weist die Studie des FIW München deutlich höhere Werte auf, die auf die Berücksichtigung der Gebäudetrennwände zurückgehen. Der Tabelle 4 auf Seite 10 sind die Werte zu entnehmen.

| Bauteil | Bruttoflächen | Anteile Teilflächen | davon ungedämmte Flächen |
|---|---|---|---|
| | m² | Prozent | m² |
| Summe Aussenwand | 3.561.117.867 | 100 % | - |
| - davon einschalig | 2.129.496.620 | 60 % | 1.620.546.927 |
| - davon zweischalige Wand | 1.030.927.251 | 29 % | 675.429.701 |
| - davon WA Holz | 182.559.325 | 5 % | 150.794.003 |
| - davon Fertigteile Beton | 97.626.511 | 3 % | 41.786.118 |
| - davon Fachwer-ID | 94.759.661 | 3 % | 48.247.814 |
| Summe Kellerdecke | 1.716.311.986 | 100 % | |
| - Kellerdecke unten | 667.560.943 | 39 % | 322.179.419 |
| - Kriechkeller | 318.508.612 | 19 % | 210.174.185 |
| - gedämmt o.beheizter Keller | 730.242.432 | 42 % | - |
| | | | |
| Flach- und Steildach Summe | 2.391.841.550 | 100 % | |
| Steildach Summe | 2.183.474.307 | 91 % | |
| - Dachschrägen | 562.619.784 | 26 % | 212.822.917 |
| - Abseiten | 130.976.662 | 6 % | 45.579.878 |
| - Kehlbalken | 475.799.539 | 22 % | 139.023.633 |
| - Dachboden | 904.095.638 | 41 % | 497.252.601 |
| Flachdach Summe | 208.367.244 | 9 % | |
| - Flachdach Holz belüftet | 104.129.661 | 50 % | 34.458.805 |
| - FD Beton-belüftet | 33.972.028 | 16 % | 11.314.138 |
| | | | |
| Haustrennwände (nur ungedämmt) | 108.000.742 | 3 % von Summe AW | 108.000.742 |
| Rollladenkästen | 54.185.220 Stück | - | 27.092.610 Stück |

In den nicht auf 100 % summierenden Bauteilreihen sind keine bereits gedämmten oder sonstigen

*Tabelle 3: Bauteilflächen im Wohngebäudebestand für die Baualtersklassen bis 2009*

## 2.3 Die Technik der Einblasdämmung

Basierend auf Beschlüssen der EU-Kommission und bestrebt, diese umzusetzen ist es das erklärte Ziel der deutschen Energie- und Klimapolitik, die Emissionen von Treibhausgasen bis zum Jahr 2045 gegenüber 1990 um 80 % bis 95 % zu senken. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz schreibt in seiner Eröffnungsbilanz 2022 dazu: „Unsere Klimaschutzpolitik wird nur dann erfolgreich sein, wenn wir neben der wirksamen Reduzierung der Treibhausgasemissionen auch wirtschaftliche Prosperität und sozialen Ausgleich als zentrale Gestaltungsprinzipien mit in den Blick nehmen. Wir können es uns angesichts der enormen Herausforderungen und der Dringlichkeit nicht länger leisten, Klimaschutz, Wirtschaftspolitik und Sozialverträglichkeit gegeneinander auszuspielen. Wir denken diese zentralen Aspekte der Gesellschaftspolitik künftig konsequent zusammen. Diesem Grundprinzip unserer Klimapolitik folgend müssen etwa klimaschutzbedingte Anforderungen für Bürgerinnen und Bürger sozial verträglich ausgestaltet werden, um die Akzeptanz für den Transformationsprozess zu erhalten. Das spiegelt sich in der Erhöhung des Klimawohngelds und des Mindestlohns, ebenso wie in der Förderung der Industrie und in der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit. Alle diese Elemente sind Kernbestandteile einer zukunftsgerichteten Klimapolitik. Private Investitionen in klimaneutrale Gebäude, Energie- und Industrieanlagen, Infrastrukturen sowie Mobilitätssysteme sind das Herzstück einer klimaneutralen Volkswirtschaft. Angesichts niedriger Zinsen und eines hohen Niveaus an an-

| | Energieinstitut Hessen | Institut Wohnen und Umwelt | Forschungsinstitut für Wärmeschutz | IFEU/BEUTH-Hochschule |
|---|---|---|---|---|
| | Einzelwerte 41 Gebäudetypen | Mittelwerte 6 Modellgebäude | Gebäudetypologie + weitere Datengrundlagen | Gebäudetypologie + weitere Datengrundlagen |
| Zeitraum | bis 2009 | bis 2009 | bis 2009 | bis 2009 |
| Aussenwandflächen m² | 3.561.117.867 | 3.085.378.848 | 3.490.000.000 | 3.280.000.000 |
| Dachflächen m² | 2.391.841.550 | 2.164.666.791 | 2.430.000.000 | 2.160.000.000 |
| Kellerdecke m² | 1.716.311.986 | 1.804.246.197 | 2.0800.00.00 | 1.760.000.000 |
| Fenster | - | - | (780.000.000) | (800.000.000) |
| Gebäudetrennwände | 108.000.741 | - | - | - |
| **Summe** | **7.777.272.144** | **7.054.291.836** | **8.000.000.000*)** | **7.200.000.000**)** |

*)ohne Fensterflächen **) iDatenangabe nur als Grafik, ohne Fensterfläche: Quellen: BMVBS-Online-Publikation, Nr. 03/2013 Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario, Bonn/Darmstadt 2013; Forschungsinstitut für Wärmeschutz, München Metastudie Wärmedämmstoffe, Gräfelfing 2013; IFEU/Beuth-Hoschule Berlin, Dämmbarkeit des deutschen Gebäudebestandes, Berlin 2015

*Tabelle 4: Vergleich der ermittelten Gebäudehüllflächen zwischen 4 Studien*

lagesuchendem Kapital ist die Gelegenheit für kapitalintensive Veränderungen günstig. Unsere Klimapolitik hat das Ziel, dieses private Kapital zu mobilisieren." In diese Zielformulierung passt sich die Einblasdämmung mit ihren Vorteilen im Gebäudesektor ideal ein:

- Sie ist eine niedriginvestive sozialverträgliche Energie- und $CO_2$-Sparmaßnahme.
- Sie ist schnell ausführbar und sichert zügig spürbare Erfolge.
- Sie kann durch später ausführbare teurere Dämmmassnahmen ergänzt werden und ermöglicht an vielen Bauteilen von Bestandsgebäuden den Passivhausstandard zu geringen Kosten.
- Sie kann aufgrund ihrer Kostengunst durch privates Kapital des Hauseigentümers finanziert werden und reduziert die umzulegenden Modernisierungskosten im Mietwohnungsbau.
- Sie ist eine einfache Technik, die bei steigender Nachfrage auf ein großes Arbeitskräftepotenzial zugreifen kann, da keine Spezialausbildung erforderlich ist.
- Sie schafft durch Senkung des Heizwärmeverbrauches gute Bedingungen für den Einsatz der erneuerbaren Energien in der Gebäudeheizung.
- Sie kann sich zu einem niedriginvestiven Einstieg in den Klimaschutz auch für Bevölkerungskreise mit geringerem Einkommen entwickeln.

Unsere Gesellschaft steht vor einem grundlegenden Umbau ihrer Energieversorgungsstrukturen. Die in der bisherigen Geschichte als Naturgunst in Form von Holz, Kohle Öl, Uran und Gas verfügbare Energie muss durch neu aufzubauende technische Infrastrukturen oberirdisch erzeugt werden und erfordert ihrer innovativen Nutzung angepasste Umwandlungstechniken mit hohen Wirkungsgraden. Hierfür existiert kein indirekt wirkender ökonomischer Antrieb wie in der agrarischen oder industriellen Revolution, in denen Millionen Einzelhandlungen hinter dem Rücken der Akteure zu einem neuen gesellschaftlichen Status führten, für den kein Ziel formuliert war. Demgegenüber setzt sich eine klimafreundliche Ökonomie nicht auf einem indirekten Weg durch, sondern muss bewusst und geplant gegen Widerstände ökonomischer und mentaler Art durchgesetzt werden. Für den erfolgreichen alle Verbrauchssektoren umfassenden Umbau ist es unabdingbar, keine vermeidbarem Energiebedarf geschuldeten Energieerzeugungs- oder Umwandlungsanlagen zu errichten. Dieses Gebot der Effizienz muss der Reduktion der Energienachfrage vor dem bis dato gängigen einfachen Wechsel zu einer anderen Energieart Priorität einräumen. In der Wärmewende sind die technisch veralteten Hüllflächen unserer rund 23 Mio. Gebäude in Deutschland durch Wärmeschutz zu modernisieren, Wärmeleistungsgrößen und ihre zeitliche Inanspruchnahme zu verringern und zu steuern sowie Stand-by-Verbräuche abzuschalten. Ein solcherart reduzierter Heizenergieverbrauch sichert die Netzdienlichkeit der künftig über Wärmepumpen strombeheizten Gebäude, indem reduzierte Heizstromverbräuche und Stromleistungsbedarfe durch die Möglichkeit von Heizpausen in optimal gedämmten Gebäuden während windschwacher Hochtarifperioden ergänzt werden.

Ausschließlich der Wärmeschutz hat dieses Potenzial, den Gebäude-Nutzwärmebedarf bis zu 80 % zu senken und damit die Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz erneuerbarer Energien im Raumwärmesektor zu schaffen. Auf dem umgekehrten Weg stiege das Heizkostenrisiko für den Verbraucher, verblieben bzw. entstünden wiederum geringe Anlagenwirkungsgrade für die neuen Umwandlungstechnologien in den Gebäuden, erhielte die neue Erzeugungsstruktur ineffiziente Komponenten, z.B. wären Windkraftwerke für einen überflüssigen Heizenergieverbrauch zu bauen. Dennoch bliebe der Anteil der erneuerbaren Energien zu gering, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Die Ergebnisse der AGORA-Studie „Wert der Energieeffizienz"[2] zeigen in allen betrachteten Szenarien einen Standortbedarf für Windkraftwerke auch in europäischen oder afrikanischen Nachbarländern, während diese Länder bei ihrer eigenen Energiewende solche Bedarfe ebenfalls an ihre Nachbarländer formulieren werden oder diesbezügliche Projekte seit 1931 immer wieder scheiterten.[3] Deshalb muss jede Möglichkeit zur Reduktion der Erneuerbaren-Energien-Ausbaubedarfe ausgeschöpft werden. Für unsere Gebäude bedeutet das, den physikalisch optimalen Wärmeschutz in Neubau und Gebäudebestand zu verwirklichen.

Die Energiesparmöglichkeiten im Gebäudebestand wurde seit 1993 in zahlreichen Studien nachgewiesen.[4] Schon bei den niedrigen Öl- und Gaspreisen um 1990 existierte ein wirtschaftliches Einsparpotenzial von über 50 %. Heute liegt das technische Potenzial bei 80-90 % des Endenergieverbrauches. Die wirtschaftlich ausschöpfbare Größe hängt von der Höhe des Energiepreises oder staatlichen Lenkungshilfen durch finanzielle Förderung und die $CO_2$-Abgabe ab. Seine Ausschöpfung wird derzeit noch durch wirtschaftliche und kulturelle Einflüsse behindert. Hierzu gehören ein irrationales Unbehagen an der Wärmedämmung und für die untere Hälfte der Einkommensbezieher eine schwieriger werdende Finanzierbarkeit energiesparender Investitionen an Gebäuden. Zugespitzt wird diese Lage durch spekulationsbedingte Verteuerung der Heizenergien, die die erforderlichen Investitionsmittel binden und die individuellen Handlungsspielräume einschränken. Verschärft werden die Finanzierungsschwierigkeiten durch eine sinkende Mietzahlungsfähigkeit der unteren Einkommensgruppen, die bei den wohnungswirtschaftlichen Verbänden eine abwehrende Haltung gegenüber optimalen Dämmstandards und stattdessen die Hoffnung auf Lösungswege im Ausbau von Wind- und Solarkraftwerken erzeugt, ohne deren Kostenwirksamkeit zu betrachten. Die Kostenanstiege bei Strom und Heizenergieträgern werden bei Bezug von Wind- und Solarstrom für die künftige Beheizung von gering gedämmten Gebäuden eine neue hohe Heizkostenbelastung ergeben.[5] Ein weiterer Ausdruck der Finanzierungsprobleme ist eine schleppende Investitionstätigkeit im 14,5 Millionen Gebäude umfassenden Einfamilienhausbesitz und in der Durchführung scheinbar billiger aber technisch suboptimaler Energiesparmassnahmen.

Die Einblasdämmtechnik gehört zu den niedriginvestiven Energiesparmassnahmen. Sie schafft keine neuen Potenziale, sondern ermöglicht eine zügige und kostengünstige Erschließung der Einsparpotenziale im Raumwärmesektor.

Entgegen ihrer Qualitätsmerkmale ist der Bekanntheitsgrad der Einblasdämmung zur Energieeinsparung an Gebäuden in der Baufachdebatte und bei Hauseigentümern noch gering. So wird die nachträgliche Dämmung von Altbauten mit zweischaligem Mauerwerk zu 64 % mit einer Außen- oder Innendämmung vorgenommen, den Eigentümern ist manchmal die Existenz der Luftschicht im Mauerwerk bekannt, nicht aber das kostengünstigere, schnellere und einfachere Verfahren der Kerndämmung.

Die Abbildung 7 auf Seite 12 zeigt die Funktionen und Vorteilsbereiche der Einblasdämmung.

Die Anwendung der Einblasdämmung erstreckt sich neben den zweischaligen Außenwänden mit Luftschicht auf insgesamt 31 Einsatzbereiche (Abb. 8, Seite 13). In den Außenbauteilen von Wohn- und Zweckbauten befinden sich zahlreiche konstruktiv bedingte oder aus Gründen der Materialeinsparung hergestellte Hohlräume in Dach, Wand und Decken, von denen folgende Hauptgruppen identifiziert wurden:

- Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht
- Gebäudetrennfugen zwischen Reihen- oder Doppelhäusern und Anbauten
- Hohlräume in EG- und OG-Decken sowie Kehlbalkenlagen
- Hohlräume in Fußbodenaufbauten von Kellerdecken
- Belüftungsebene von belüfteten Flachdächern
- Raumseitige Belüftungsebene von Steildächern hinter der Innenbekleidung
- Abseitenräume am Fußpunkt von Steildächern
- Freier Luftraum über OG-Decken und Kehlbalkenlagen
- Hergestellte Abhängungen bei unebenen Kellerdecken oder vielen Rohrführungen unter der Decke
- Schwer erreichbare Kriechkeller
- Umbau von Schwachstellen (Rollladenkästen, Heizkörpernischen)

Es existieren mindestens 20 Dämmverfahren, bei denen die Flocken-, Faser-, Granulat- oder flüssigen Dämmstoffe ein- oder aufgeblasen bzw. aufgesprüht werden können:

- Einblasdämmung in geschlossene Hohlräume, die zur Dämmung angebohrt werden, wie z.B. hohlschichtiges Mauerwerk oder Fertighauswände bis Baujahr 1990.
- Aufblasen von Dämmstoff in Spitzböden auf Kehlbalken und Abseitenräumen (nicht begehbar)
- Aufblasdämmung auf unebene Binderdächer, nicht begehbar.
- Aufblasdämmung auf Böden, Kuppeln und sonstige unebene, geometrisch komplizierte und schwer erreichbare Dachsituationen
- Aufblasdämmung auf Dachböden (nicht begehbar).
- Aufblasdämmung auf Dachböden (begehbar).
- Füllung von Hohlräumen in Holzbalkendecken unter Dielung und zwischen Innenputz und Einschub als eine erste begrenzte Teildämmung, die auch Kaltluftströmungen von den Außenwänden her unterbindet
- Füllung von Hohlräumen unter Dielung von EG- und OG-Decken als eine erste begrenzte Teildämmung, die auch Kaltluftströmungen von den Außenwänden her unterbindet.
- Einblasdämmung in die Dächer von Schleppgauben und geschleppten Dachansätzen von Anbauten.
- Einblasdämmung in die Belüftungsebene belüfteter Flachdächer, zusammen mit einem Umkehrdach, als feuchtetechnischer Optimallösung.
- Einblasdämmung in die Belüftungsebene belüfteter Flachdächer, bei hohem Belüftungsraum unter Beachtung der Belüftungsregeln.

- Sprühdämmung von unten gegen die Decke von Kriechkellern.
- Einblasdämmung in Kriechkeller bei höherem Hohlraum.
- Einblasdämmung im Thermo-Bag-Verfahren in den Luftraum zwischen den Sparren als erste Teildämmung und als Vorbereitung einer späteren Aufsparrendämmung, da sonst Kaltluftströmungen im Luftraum die Aufsparrendämmung hinterströmen können.
- Einblasdämmung in die Hohlräume zwischen Gebäudetrennwänden.
- Einblasdämmung in Dreischicht-Sandwichplatten im Betonbau (Fehlstellenfüllung).
- Unterbindung von Luftströmungen und Verbesserung des Brandschut-

Abb. 7: Funktionen und Vorteile der Einblasdämmung

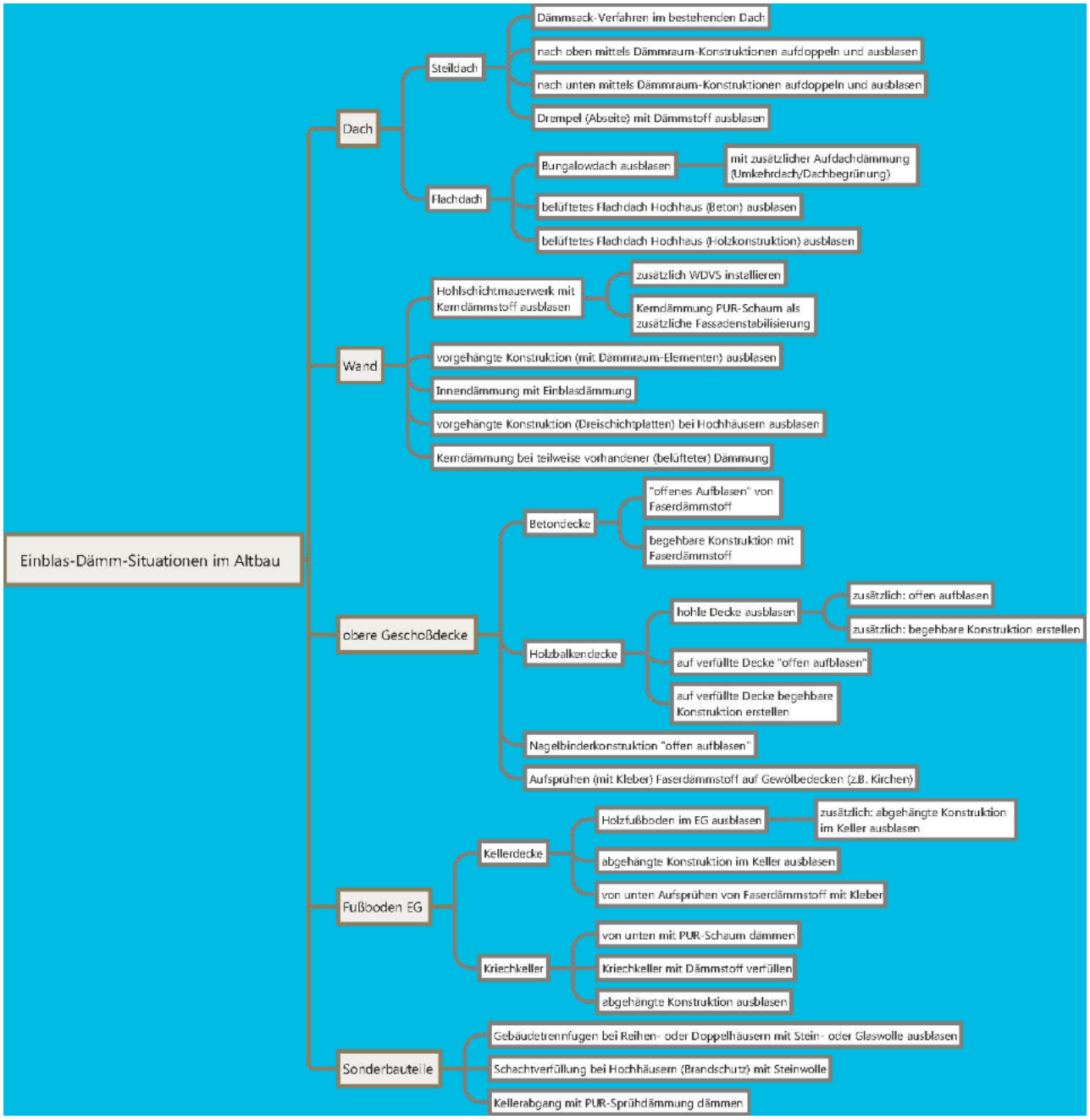
| Funktion | Einsatzbereich | Eigenschaft/Vorteil |
|---|---|---|
| Zügiger Einstieg in den Klimaschutz durch Dämmung vorhandener Hohlräume in Bauteilen. | **Hohlschichtmauerwerk**<br>**Fertighaus-Außenwände**<br>**Holzbalkendecken/Flachdach**<br>**Gebäudetrennwände**<br>**Hohlraum zwischen Sparren** | Schnell ausführbarer kostenoptimaler Wärmeschutz durch kostensenkende Nutzung baulicher Gegebenheiten. Einsparung von Deckschichten wie Außenputz, Dacheindeckung, Belägen. Geringe Beeinträchtigung durch Ausführungsarbeiten. |
| Vorbereitung des physikalisch optimalen Wärmeschutzes als Voraussetzung des EE-Ausbaus im Wärmemarkt | **Hohlschichtmauerwerk**<br>**Hohlraum zwischen Sparren**<br>**Belüftungsraum Flachdach**<br>**Hölzerne OG-Decken** | Unterbindung der Kaltlufthinterströmung einer zusätzlichen Außendämmung auf Wand und Dach sowie bei Kombi-Flachdachdämmung. Optimaler Wärmeschutz reduziert die nötige EE-Infrastruktur für den Wärmemarkt und erhöht ihre Wirkungs- und Deckungsgrade. |
| Dämmtechnische Lösung bei schwierigen Bauteilgeometrien | **Kuppel- und Gewölbedämmung,**<br>**komplizierte unzugängliche Bauteiloberflächen**<br>**unebene Kellerdecken und Kriechkeller** | Einblasdämmung über 5-Meter Wurfweite möglich, dichtes Anliegen des Dämmstoffes ohne Fugen an Anschlüssen und Durchdringungen. Kriechkeller: PU-Anspritzdämmung auch als Feuchteschutz. Wände: Statische Sicherung von Verblendschalen. |
| Verbilligung des physikalisch optimalen Wärmeschutzes. Sozialverträgliche Energiewende | **Dachboden**<br>**Kehlbalkenlage**<br>**Abseiten**<br>**Hohe Belüftungsräume im Flachdach** | **Kostengünstige Ausführung großer Dämmdicken: Kombination von preiswerten Dämmstoff + unaufwendiger Einblastechnik. Ein geringer Heizenergieverbrauch bleibt auch in Zukunft bezahlbar. Optimaler Wärmeschutz senkt den ökologischen Fußabdruck des Gebäudesektors bis 80 %.** |
| Ausreichendes Arbeitsangebot bei Marktausweitung | **Alle Ausführungsarten** | **Kein Fachkräftemangel. Einblasdämmung ist ein idealer Anlernberuf und gäbe bei Marktausweitung vielen Arbeitssuchenden eine berufliche Chance.** |

zes durch Füllung von Kabel- und sonstigen Schächten in Gebäuden.

- Verfüllung stillgelegter Rollladenkästen oder Dämmung von Heizkörpernischen.
- Einblasdämmung von neuen Vorhangfassaden auf Altbauwänden zur Erzielung des Wärmeschutz-Optimums.
- Innendämmung im Altbau durch Einblasen in den Hohlraum zwischen hierzu angebrachten Stegträgern mit Innenbekleidung (besonders bei unebenen Innenoberflächen der Außenwände).
- Einblasdämmung im Aufdachverfahren (Dämmraum-Element) zusammen mit der Verfüllung des Sparrenzwischenraumes zur Erzielung des Wärmeschutz-Optimums.
- Einblasdämmung in die Hohlräume von Holzständerkonstruktionen im Neubau.

Mit dieser Vielfalt und ihrer Kostengunst ermöglicht die Einblasdämmung eine hohe Umsetzungsgeschwindigkeit der dringend erforderlichen wärmetechnischen Gebäudemodernisierung für den Klimaschutz.

Abbildung 8: 31 Anwendungsfelder der Einblasdämmung



## 2.4 Überblick über die Einblasdämmstoffe

Einblasdämmstoffe gibt es in großer Vielfalt. Die Entwicklung begann in den 1970ziger Jahren mit dem schüttbaren Dämmstoff Perlite, in den 1980ziger Jahren folgten Zellulosedämmstoffe und Steinwollflocken. Ihr Einsatz konzentrierte sich besonders auf den Holzrahmenbau im Neubau. Seit der Jahrtausendwende wurden weitere Dämmstoffe entwickelt, die Anwendungen in allen baulichen Bereichen ermöglichen. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick.

Für die Einblasdämmung stehen mindestens 13 Dämmstoffarten zur Verfügung. Je nach technischer Anforderung verteilt sich ihr Einsatzgebiet auf die Bauteile, z.B. hydrophobierte Dämmstoffe für Kern- und Kriechkellerdämmung, wegen des geringen Setzungsverhaltens Flocken für die Kerndämmung, Granulat auch für dünnere Luftschichten usw..

Eine grobe Orientierung gibt die Klassifizierung gemäß DIN 4108-10, „Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Dämmstoffe“. Die Dämmstoffe verfügen über eine Zulassung, in verschiedenen Fällen über eine ETA. Auffällig ist ihr geringer Preis: Für einen Bauteil-U-Wert von 0,2 W/(m²K) entsprechend Dämmdicken je nach WLS des Dämmstoffes zwischen 11 und 20 cm fallen Dämmstoffkosten im Bereich der marktführenden Einblasdämmstoffe von nur 6-30 EUR an. Damit ist auch der Passivhausstandard zu günstigen Preisen möglich, z.B. bei der Aufblasdämmung auf Decken und Abseiten. Dämmstoffe mit höherer Wärmeleitfähigkeit erfordern höhere Dämmdicken für eine gleichwertige Wärmedämmqualität und damit einen höheren Preis.

Die ökologische Bewertung zeigt für den Bewertungsmaßstab Primärenergie: Die Herstellungsenergie zahlt sich innerhalb weniger Monate zurück. Auch in Sonderfällen mit geringem Marktanteil (2 Fälle) beträgt die Rückflusszeit der Primärenergie um 1 Jahr, während die Lebensdauer der Dämmstoffe bei 50 und mehr Jahren liegt, ein Verhältnis von mindestens 1 : 50. Da Altbauten durch einen optimalen Wärmeschutz der Gebäudehülle diejenige Wohnqualität erzielen, die eine weitere Nutzung entsprechend der heutigen Anforderungen ermöglicht, ist vom Herstellungs-Primärenergieaufwand der Dämmstoffe die Herstellungsenergie eines vermiedenen Ersatzrohbaus abzuziehen. Daraus resultiert eine Gutschrift, sowohl bei der Herstellungs-Primärenergie als auch bei den $CO_2$-Emissionen in Folge.

Nähere Eignungskriterien finden sich in Drewer u.a. „Wärmedämmstoffe“ und in Kurztexten für den iSFP auf der Internetseite des Fachverbandes Einblasdämmung[6]: https://www.fved.net/

Der Verband offeriert eine Liste der Verbandsmitglieder, die sich auf einen einheitlichen Qualitätsstandard verpflichtet haben und gemeinsam Schulungen durchführen.

*Tabelle 5: Die Dämmstoffarten für die Einblasdämmung*

| Dämmstoff Ziel-U-Wert 0,2 W/(m²K) | Rohwichte | Wärmeleitfähigkeit | Dämmdicke | Herstellungs-Primärenergie | Primärenergie-Einsparung über 50 Jahre | Energetische Amortisation Dämmstoff | Baustoffklasse | Diffusionswiderstand | Materialkosten***) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/(mK) | cm | kWh/m² | kWh/m² | Monate | - | µ | EUR pro m² |
| PUR-Recyclinggranulat | 45 | 0,036 | 15,5 | 7,7 | 5690 | 0,8 | B 2 | 30-200 | 7,74 |
| Glaswolle-Einblasfaser | 35 | 0,035 | 15,1 | 24,9 | 5690 | 2,6 | A 1 | 1-2 | 9,03 |
| Steinwolleflocken | 96 | 0,035 | 15,1 | 47,5 | 5690 | 5,0 | A 1 | 1-2 | 13,55 |
| EPS-Granulat (grau) | 20 | 0,033 | 14,2 | 39,4 | 5690 | 4,2 | B2 | 5 | 15,61 |
| Silikatleichtschaumgranulat SLS | 30 | 0,04 | 17,2 | 9,5 | 5690 | 1,0 | A 1 | 3 | 30,10 |
| Blähperlit | 85 | 0,045 | 19,4 | 228,2 | 5690 | 24,1 | A 1 | 3 | 32,9 |
| Polyurethan-Gießschaum*) | 55 | 0,027 | 11,6 | 28,9 | 5690 | 3,0 | B 2 | 110 | 78,95 |
| Zelluloseflocken | 45 | 0,039 | 16,8 | 3,4 | 5690 | 0,4 | B 2 | 1-2 | 5,87 |
| Holzfaser | 70 | 0,04 | 17,2 | 8,6 | 5690 | 0,9 | B3 | 1-3 | 6,02 |
| Grasfaser | 50 | 0,042 | 18,1 | 3,6 | 5690 | 0,4 | B3 | 1-3 | 12,64 |
| Einblasstroh | 96 | 0,057 | 18,5 | 2,9 | 5690 | 0,3 | k.A.**) | 1 | 12,94 |
| Neptunfaser (Einblas) | 50 | 0,046 | 19,8 | 8,9 | 5690 | 0,9 | B3 | 1-2 | 55,21 |
| Aerogel-Granulat****) | 150 | 0,021 | 6,5 | 428 | 5690 | 45,1 | B1 | 2-3 | 419,25 |
| Polyurethan-Sprühschaum | 45 | 0,03 | 12,9 | 98,8 | 5690 | 10,4 | B2 | 110 | 54,2 |

*) Sonderanwendungen außer Konkurenz: Sicherung instabilerAußenschalen durch Klebekräfte des PU,Ausgangs-U-Wert 1,4 W/(m²K); **) in ETA nicht geregelt; ***) ohne MWST: Stand 2022****) derzeit keine AbZ

## 2.5 Niedriginvestives Dämmverfahren

Die Einblasdämmung ist ein niedriginvestives Dämmverfahren, ein Faktor, der für den Fortgang der $CO_2$-Einsparung im Gebäudesektor von Bedeutung sein kann. Diese Relevanz sieht auch der Europa-Direktor des englischen „Regulatory Assistance Project", einer Denkfabrik für saubere Energie mit seiner Aussage, „..dass die Isolierung von Dachböden und Hohlwänden zu den Maßnahmen gehört, die das beste Preis-Leistungs-Verhältnis in Bezug auf die Reduzierung von Kohlenstoff haben."[7]

Die Kostendimension kommt schon bei den Einblasdämmstoffen zum Tragen, deren geringe Fertigungstiefe ihren Ausdruck im Preis findet. Die Marktführer unter den Einblasdämmstoffen liegen bei den reinen Materialkosten bei einem Ausgangs-U-Wert von 1,4 W/(m²K) und erforderlichen Dicken von 16-18 cm für einen Ziel-U-Wert von 0,2 W/(m²K) zwischen 6 und 30 EUR pro m². Hinzu tritt die einfache und zügige Ausführbarkeit und die Nutzung vorhandener Hohlschichten statt teurer Abdeckungen. Bei einem Vergleich mit Dämmsystemen höherer Dicke wie Aufsparrendämmung, Vorhangfassade und WDVS ist folgender Sachverhalt von Relevanz: Eine Kerndämmung oder eine Sparrenfüllung mit dem Thermo-Bag-Verfahren leiten den Einstieg in den Klimaschutz ein. Für netzdienliche Gebäude mit geringsten Heizenergieverbrauch benötigen die Bauteile eine zusätzliche Dämmung als Außenwand- oder Aufsparrendämmung. Als erster Schritt auf diesem Weg ist die Einblasdämmung physikalisch unverzichtbar, da sie die volle Funktionsfähigkeit der Außendämmung sichert. Dämmdicken können geringer ausfallen und bei der Aufsparrendämmung teure Plattendämmstoffe über den unbeheizten Bereichen der Abseiten und Spitzböden durch billigere Sparrenexpander ersetzt werden. In dieser Hinsicht ist die folgende Tabelle nicht als Konkurrenz zwischen Dämmsystemen zu interpretieren. Sie zeigt den Stellenwert des Einblasverfahrens als finanziell erschwinglichen Impuls für einen darauf aufbauenden und weiterreichenderen Klimaschutz am Gebäude.

*Tabelle 6: Sanierungskosten Einblasdämmung - herkömmliche Dämmsysteme*

| **Einblasdämmsysteme** | **Kosten** | **Platten-Dämmsysteme** | **Kosten** |
|---|---|---|---|
| | **EUR/m²** | | **EUR/m²** |
| Kerndämmung 6-10 cm | 15-19 | Wärmedämmverbundsystem 14-20 cm | 150-180 |
| Einblasen vorgefertigte Holzwände | 15 | Vorhangfassade 14-20 cm | 200-250 |
| Einblasen vorgefertigt Betonwände | 20 | | |
| Innendämmung Fachwerkwände 14 cm | 75 | Innendämmung Plattendämmstoffe 14 cm | 100-140 |
| Kellerdecke von unten 12-14 cm | 60 | Kellerdeckendämmung Dämmplatten | 50-80 |
| Kriechkeller 15 cm | 72 | | |
| Steildach zwischen Sparren 12-14 cm | 45 | Aufsparrendämmung Dämmplatten | 230-260 |
| Abseitendämmung 35-40 cm | 75 | | |
| Kehlbalkenlage 35 cm | 35 | | |
| Dachbodendämmung 35 cm | 23 | | |
| Flachdach Einblasen mit Belüftung 6-8 cm | 35 | | |
| Flachdach Einblasen ohne Belüftung 10-12 cm | 35 | | |
| FD Beton belüftet 35 cm | 35 | | |
| (Kombidach) | 242 | | |
| Haustrennwände (nur ungedämmt) 10 cm | 15 | | |
| Rollladenkästen (Stück) 0,65 W/(m²K) | 100/Stück | Vorsatzrolladen (Stück) 0,2 W/(m²K) | 500-700 |

## 3 Außenwandbauarten im Wohnungsbau

Der deutsche Wohnungsbestand umfasst etwa 18,2 Mio. Wohngebäude in den Baualtersklassen bis 2009, ihre Außenwand-Gesamtfläche beträgt rund 3,6 Mrd. m². „Etwa 90 % der Außenwände in deutschen Wohngebäuden sind Mauerwerkswände, unter diesen rund zwei Drittel einschalige und ein Drittel zweischalige Wände. Auffällig sind die großen Unterschiede zwischen Nord- und Süddeutschland (alte Bundesländer). Im Süden dominiert deutlich mit mehr 80 % das einschalige, im Norden mit 56 % das zweischalige Mauerwerk.“[8] Das Fachwerk hat einen Anteil von 2,7 % an allen Außenwandflächen Sie liegen insbesondere in den Baualtersklassen bis 1919. Der Betonfertigbau dominiert mit der Dreischichtplatte im Geschoßwohnungsbau der Baualtersklassen zwischen 1969 und 1977, der Zeit des Wiederaufbaus nach 1945. Der Fertigbau (Holz, Fertigteile) beginnt signifikant erst im Eigenheim-Bauboom ab 1960 und erreichte Marktanteile an den Neubauten um 14-17 %. Sein Schwerpunkt liegt bei den Einfamilien- und Reihenhäusern.[9] Außer in einschaligen Wänden befinden sich in den übrigen Wandkonstruktionen Hohlräume, die durch die Einblasdämmung energetisch verbessert werden können.

*Abb 9.: Außenwandbauarten im Wohnungsbau bis 2009 in % und Mrd. m²*

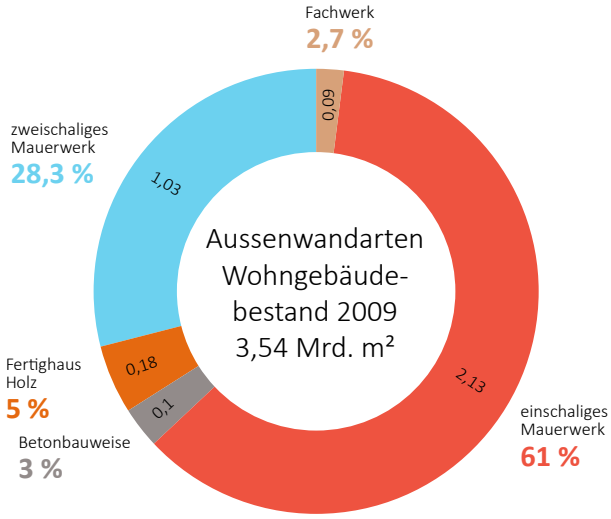



*Abb. 10: Erste gedämmte Aussenwände in einer Ausstellung 1924 - Bildmitte: Kerndämmung als damals neue Technik*

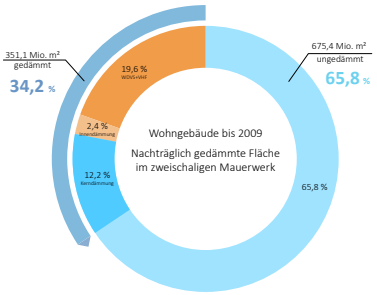
# Einblasdämmung bei Außenwänden

Die Kerndämmung reduziert den Heizenergieverbrauch des Wohngebäudebestands um bis zu 13 %. Mit diesem großen Potenzial, ihrem niedrigen Preis und der zügigen Ausführbarkeit kann sie ein Hebel für den Klimaschutz werden.

## 3.1 Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht

Von den 18,2 Mio. bis 2009 errichteten Wohngebäuden besitzen 5,2 Mio. zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht. An den insgesamt 3,6 Mrd. m² Außenwandflächen hat es einen Anteil von 28,2 % oder 1,02 Mrd. m². Davon sind bereits 34,2 % gedämmt, so dass 0,63 Mrd. m² oder zwei Drittel der zweischaligen Mauerwerkswände an 3,5 Mio. Wohngebäuden noch wärmetechnisch verbessert werden müssen. Abbildung 11 sind die Anteile von gedämmten und ungedämmten zweischaligen Mauerwerks zu entnehmen. Der größte Anteil dieser Flächen liegt mit 72 % im Bereich der

*Abb. 11: Nachträglichen Dämmung bei Hohlmauerwerk in % und Mio. m²*

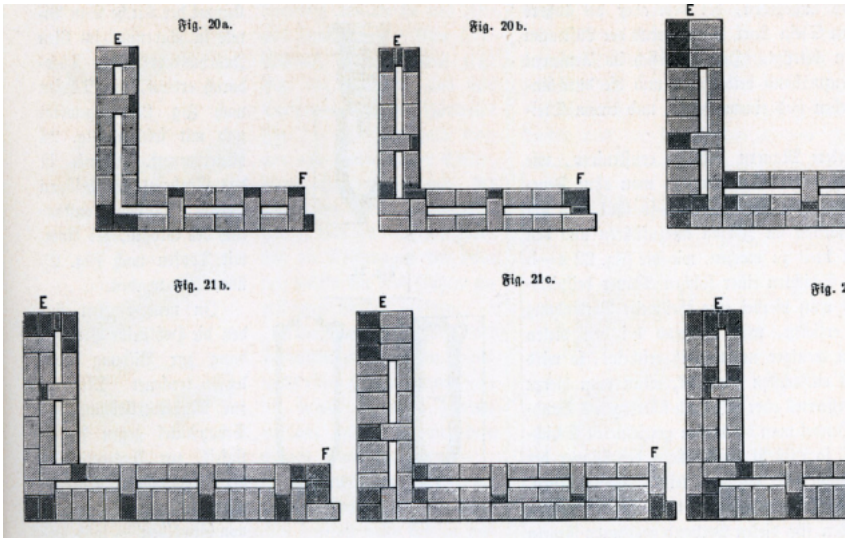



EFH und Reihenhäuser, ein Indiz für zukünftig erforderliche Hauseigentümer-Informationen für diesen Gebäudetyp.

Die Baualtersklassen vor 1918 Fachwerk und die Altersklassen nach 1995 sowie der Hochhaustyp wurden nicht berücksichtigt, da in diesen Baualtersklassen oder Gebäudetypen einschalige Wände existieren oder schon beim Neubau eine Dämmung plus Luftschicht angeordnet wurde, deren geringe Dicke eine nachträgliche Kerndämmung nur nach Einzelfallprüfung ermöglicht. Zur Ermittlung des Einsparpotenzials werden die Anteile zweischaligen Mauerwerks an der gesamten Gebäudesubstanz auf die Gebäudetypen und Baualtersklassen der deutschen Gebäudetypologie verteilt und mit Rückgriff auf die historische Fachliteratur die Ausgangs-U-Werte gemäß Tabelle 4 ermittelt.[10] Sie basiert auf der Auswertung von 41 historischen Baukonstruktionen für zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht. Wegen vielfältiger Undichtheiten sind auch Luftschichten ohne Belüftung als „schwach belüftet" anzunehmen. Der in der deutschen Wohngebäudetypologie angenommene U-Wert von 1,64 W/(m²K) für eine 30 cm dicke Vollziegelwand mit ruhender Luftschicht wurde wegen Neubewertung der Luftschicht als „schwach belüftet" auf Werte zwischen 1,6 und 1,8 W/(m²K) korrigiert.[11]
Nur 36 % des nachträglich gedämmten zweischaligen Mauerwerks erhielten eine Kerndämmung, 64 % hingegen eine Außen- oder Innendämmung. Bei dieser Gruppe kann eine Verfüllung der Luftschicht zusätzliche Heizenergie einsparen. Weitere Energiesparmöglichkeiten liegen bei den ab 1974 bereits teilgedämmt errichteten Wänden, die eine dünne Dämmung mit belüfteter Luftschicht aufweisen. Beide Zusatzpotenziale wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Schätzungsweise können sie das errechnete Potenzial um 2-4 % erhöhen.

Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht gibt es unter der Bezeichnung „Hohlmauer" seit Ende des 19. Jahrhunderts. Die Bauweise wurde aus Gründen der Materialeinsparung und des Regenschutzes eingeführt. Die Abbildung 12 zeigt aus einer Quelle von 1881 die beiden Klassiker unter den zahlreichen Material- und Konstruktionsvarianten. Vor dem I. Weltkrieg dominierten die Varianten mit Auflagerschichten von 25-38 cm innen oder außen, bei ländlichen „Kleinhäusern" bis 2 Geschossen wurde auch „Kästelmauerwerk" mit 2*12 cm Innen- und Außenschale in unterschiedlichen Luftschichtdicken angewendet und mit Bindersteinen im Sonderformat verbunden. Nach 1918 ermöglichten die Bauordnungen bei Gebäuden bis 2 Stockwerken zur Materialersparnis auch 30 cm dicke Außenwände mit 6 cm Luftschicht (12*6*12 cm). Für Mehrfamilienhäuser kamen nach wie vor Konstruktionen mit mindestens 25 cm innerer Tragschale, Luftschicht und 12 cm Wetterschale oder umgekehrter Schichtenfolge in Ausführung. Die oberen beiden Stockwerke von Mehrfamilienhäusern konnten zweischalig mit Luftschicht ausgeführt werden. Nach Ende des I. Weltkriegs verbreitete sich aufgrund der Knappheit der für die Baustoffherstellung notwendigen Kohlen das Anwendungsgebiet über ganz Deutschland. Nach 1920 traten auch Bimsstein-Hintermauerungen aus 25 cm dicken Schwemmsteinen hinzu. Bei MFH war es möglich, die oberen beiden Stockwerke zweischalig mit Luftschicht zu erstellen, was der üblichen Verjüngung der Au-

*Abb. 12: Die häufigsten „Hohlmauer"-Arten 1881*



ßenmauern von MFH nach oben entspricht. Nach 1945 ergänzt sich das Angebot um Kalksandsteininnenschalen aus Vollsteinen und Lochsteinen, KS-Außenschalen aus Vormauersteinen und die Hintermauerung mit Loch- und porosierten Ziegeln. Die Wärmeschutz-Anforderungen der DIN 4108 1952-1977 konnten auch ohne Dämmung im Luftraum nachgewiesen werden, jedoch unter der nicht praxisgerechten Annahme einer „ruhenden Luftschicht". Bei Neubauten ab WSchVO 1977 schmälerten dünnere Dämmplatten die Luftschicht, so dass nur ein von der DIN 1053 geforderter mindestens 4 cm breiter Spalt verblieb.

Die Verbindung zwischen den beiden Wandschalen wurde ab der Entstehung der Wandbauweise durch Bindersteine hergestellt, erst nach 1945 setzte sich der Drahtanker durch. Die Wärmebrü-

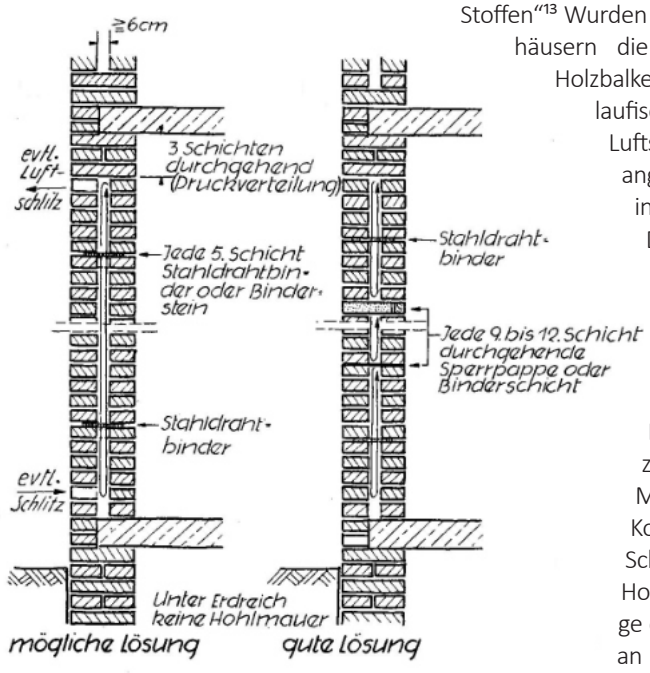



*Abb. 14: Rotationsströmung in der Luftschicht (symbolisch) 1958*

ckenwirkung von Bindersteinen wird durch einen Zuschlag von 5 % auf den Ziel-U-Wert berücksichtigt.

## Die Rolle der Luftschicht

Der unklare Begriff „Isolierschicht" führte nach 1918 zu dem Fehlurteil, sie besitze energiesparende Funktion, diese erfüllte das zweischalige Mauerwerk wegen zahlreicher Undichtheiten nicht. Auch sorgte eine Rotationsströmung der Luft, in Abb. 4 im Jahr 1959 zeichnerisch dargestellt, von der warmen Innen- zur kalten Außenschale für Wärmeverluste und einen Feuchtetransport. Die dort gezeigte „gute Lösung" verzichtet auf eine Belüftung. Dr. Helmut Künzel, Prof. Schüle und L. Sautter wiesen Durchfeuchtungen und Vereisungen in der Luftschicht nach.[11] Von einer „ruhenden Luftschicht" konnte auch dann keine Rede sein, wenn die Außenschale keine Belüftungsöffnungen aufwies und verputzt war. Schon 1904 verwies der Darmstädter Professor für Baukonstruktion Walbe auf ein Manko der „Ersatzbauweisen", zu denen das Hohlmauerwerk zählte. Es sei „..hohles Mauerwerk. Hierbei große Hohlräume, in denen ruhende Luft, die allein genügenden Schutz gegen Wärmeverluste gibt, nicht anzunehmen ist" und empfahl „Daher Ausfüllung mit Torfmull, Schlacke, Bimskies oder anderen schlechtleitenden Stoffen"[13] Wurden bei Mehrfamilienhäusern die Hohlräume der Holzbalkendecken als „Umlaufisolierung" an die Luftschicht der Wände angeschlossen und in den unbeheizten Dachraum geführt, kam es zu systematischem Kaltlufteintritt in die Decken. Nach 1920 finden sich Beispiele von zweischaligem Mauerwerk mit Kohlengrus oder Schlackenfüllung der Hohlschicht als Belege der frühen Zweifel an ihrer dämmenden Funktion. Das zweischalige Mauerwerk wurde zwischen 1860 und 1952 ohne jegliche Belüftung ausgeführt und funktionierte als solches feuchtetechnisch so gut, dass keine darauf beruhenden Schäden in der Literatur dokumentiert sind. Erst nach 1952 forderte die DIN 1053 äußere Be- und Entlüftungsöffnungen, zunächst als Wahlmöglichkeit („..dürfen angeordnet werden"), dann ab 1973 als Mussbestimmung. Diese Anforderung ging nicht auf wissenschaftliche Erkenntnis zurück,

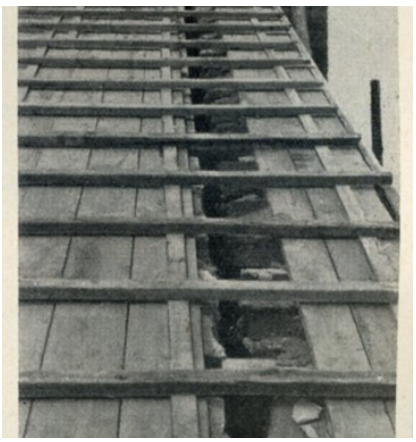


*Abb.13: Ortgang offen wg. Hohlschicht*

im Gegenteil wies die DIN 4108 in ihrer Ausgabe von 1962 extra darauf hin, dass Luftschichten in zweischaligem Mauerwerk „unzweckmäßig und zu vermeiden" seien, eine Formulierung, die auf Forschungen des Fraunhofer Institutes in Holzkirchen beruhte.[14] In den 1990ziger Jahren war die Schadensfreiheit der „Kerndämmung" offensichtlich und die Bauweise zählt zu den anerkannten Regeln der Technik. Hierzu trugen auch Veröffentlichungen über die Kerndämmung in den Niederlanden bei, wo der Staat seit 1974 die nachträgliche Dämmung der Luftschichten bis heute fördert und ihre Schadensfreiheit durch Forschung nachwies. Zur Trockenhaltung ist eine Belüftung des zweischaligen Mauerwerks nicht erforderlich. Ab 1996 nennt auch die DIN 1053 die „Kerndämmung" ohne Luftschicht als eine Möglichkeit der Ausführung, weil

### 3.1.1 Die Technik der Kerndämmung

sie in der Praxis schadensfrei blieb. Seither können ohne Verstoß gegen die DIN 1053 alle zweischaligen Wände nachträglich kerngedämmt werden.
Die beschriebenen Undichtheiten zeigen, eine äußere Wärmedämmung auf der Wand ersetzt keine Kerndämmung. Die Hohlschicht würde durch die Kaltlufthinterströmung das Ziel untergraben, mit einer Außendämmung weitere Energie einzusparen. Die beiden Dämmtechniken ergänzen einander, zur Erreichung eines optimalen Wärmeschutzes sind beide Techniken erforderlich. Bei denkmalgeschützten Fassaden kann eine Kern- mit einer Innendämmung

kombiniert werden.
Mit der Dämmung der Luftschicht wird ein 150 Jahre existierender Mangel abgestellt, der auf falschen physikalischen Vorstellungen beruhte. Die Kerndämmung führt die Luftschicht in Außenwänden einer sinnvollen Aufgabe zu.
Die Luftschichtdicken betrugen im 19. Jahrhundert ¼ Stein oder 6 cm Dicke und erhöhen sich mit der DIN 4172 ab 1952 auf 7,5 bis 10 cm. Der Mauerwerks-Schalenabstand durfte nach DIN 1053 noch in den 1990ziger Jahren ohne Tragfähigkeitsnachweis der Verankerung maximal 15 cm betragen. Die Luftschicht wird durch Bohrlöcher von außen oder innen mit „fließfähigen", setzungssicheren und hydrophobierten Dämmstoffen gefüllt (Flocken, Granulate, Anwendungsgruppe WZ). Staubförmige Materialien sind wegen der vielen Wand-Undichtheiten nicht geeignet. Mit leichtem Überdruck wird der Dämmstoff durch Bohrlöcher eingeblasen, pro 1,5 m² Wandfläche genügt ein Bohrloch, es sitzt bei Sichtmauerwerk optisch unauffällig in den Kreuzungspunkten der Fugen. Die Dämmung erhöht die Oberflächentemperatur in der Fensterlaibung i.d.R., Dämmplatten in den Laibungsflächen geben Sicherheit. Die Kerndämmung ist mit 15-30 EUR/m² eine kostengünstige Energiesparmaßnahme. Nur bei Sonderfällen, wie der statischen Sicherung von Wetterschalen fallen höhere Kosten an (Tabelle 7). Die Maßnahme kann innerhalb eines Tages durchgeführt werden, sie benötigt bis 2 Stockwerken kein Gerüst. Die Wohnbeeinträchtigung durch die Arbeiten reduziert sich auf die Bohrungen und die Dichtung der Rollladenkästen.

### 3.1.2 Dämmstoffe für die Kerndämmung

Eine Kerndämmung ergibt einen um den Faktor 8-10 besseren Wärmeschutz als die Luftschicht. Weitere Vorteile: Im Sommer auftretende Feuchtigkeit und Schimmel in Raumecken treten nicht mehr auf, Zugluft aus zahlreichen Undichtheiten wird unterbunden und der Schallschutz der Wand verbessert.
Für das GEG ist der bei Modernisierungen geforderte U-Wert von 0,24 W/(m²K) durch eine Kerndämmung mit Mindest-WLS von 0,045 W/(mK) erfüllt, die BEG-Förderung ist mit WLS ab 0,035 W/(mK) möglich. Hierfür bieten sich vier Produkte an, insgesamt gibt es gegenwärtig sieben Dämmstoffe für die Kerndämmung, die je nach Einsatzbedingungen gewählt werden können.[15] Die Marktführer liegen im Bereich der WLS 0,035 W/(mK). Der Polyurethan-Gießschaum kommt zum Einsatz, wenn die Hohlschichtdämmung auch die Mauerwerk-Außenschale durch Verklebung sichern soll. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Materialien.

Die Herstellungsenergie für die Einblasdämmstoffe gleicht sich in wenigen Monaten durch die Energieeinsparung aus (Tab. 7, Spalte 7). Dämmstoffe spielen zusätzlich eine wichtige Rolle bei der Erhaltung von Altbauten und sparen damit den Herstellungsenergieaufwand für einen Ersatzneubau ein. Mit dieser Gutschrift ist ihre Energiebilanz immer positiv.

Tabelle 7: Dämmstoffe für die Kerndämmung

| Dämmstoff | Rohwichte | Wärmeleitfähigkeit | Dämmdicke U-Wert 0,4 W/(mK)*) | Herstellungs-Primärenergie | Primärenergie-Einsparung über 50 Jahre | Energetische Amortisation Dämmstoff | Baustoffklasse | Diffusionswiderstand | Mittlere Materialkosten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/(mK) | cm | kWh/m² | kWh/m² | Monate | - | µ | EUR pro m² |
| PUR-Recyclinggranulat | 45 | 0,036 | 6,1 | 3,1 | 4741 | 0,4 | B 2 | 30-200 | 3-4 |
| Glaswolle-Einblasfaser | 35 | 0,035 | 6 | 9,8 | 4741 | 1,2 | A 1 | 1 | 4-5 |
| Steinwolleflocken | 96 | 0,035 | 6 | 18,8 | 4741 | 2,4 | A 1 | 1-2 | 5-6 |
| EPS-Granulat (grau) | 20 | 0,033 | 5,6 | 15,6 | 4741 | 2 | B2 | 5 | 4-5 |
| Silikatleichtschaumgranulat SLS | 30 | 0,04 | 6,8 | 3,7 | 4741 | 0,5 | A 1 | 3 | 12-14 |
| Blähperlit | 85 | 0,045 | 7,7 | 90 | 4741 | 11,4 | A 1 | 3 | 13-15 |
| Polyurethan-Gießschaum**) | 55 | 0,027 | 5,1 | 39,1 | 4741 | 5 | B 2 | 110 | 20-25 |

*)Entspricht mind. 6 cm Dämmstoffdicke; **) Sonderanwendungen außer Konkurenz: Sicherung instabilerAußenschalen durch Klebekräfte des PU

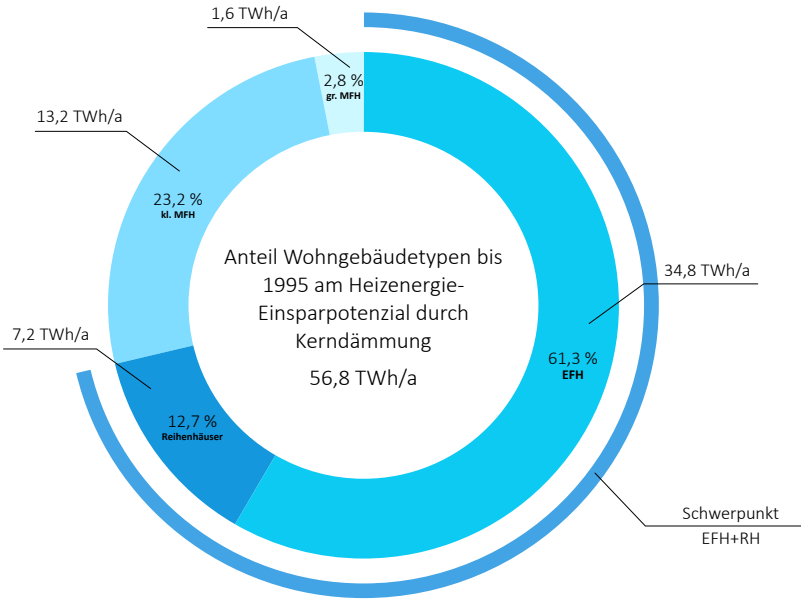
## 3.1.3 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial der Kerndämmung

### Potenzial Heizenergieeinsparung

Das Heizenergieeinsparpotenzial wurde für die Baualtersklassen bis einschließlich 1984 unter der Annahme von Kerndämmung der Luftschicht mit Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(mK) berechnet. Die Wärmeverluste aller zweischaligen Außenwände im Wohnhausbestand liegen bei 79,3 TWh pro Jahr.

Je nach Gebäudetyp sind 6-10 cm Kerndämmung mit Ziel-U-Werten um 0,4 W/(m²K) möglich. Es kann ein Heizenergieeinsparpotenzial von 56,8 TWh pro Jahr oder 13 % des Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude erschlossen werden. Dem kommt entgegen, dass der Schwerpunkt im Bereich der kleinen Gebäudetypen mit hohem Selbstnutzeranteil liegt. Damit existiert ein kostengünstiger Hebel für den Einstieg in den Klimaschutz. Die Abbildung 19 zeigt die Hauptergebnisse, die Tabelle 8 wichtige Daten des Mengengerüstes.

*Abb. 15: Kerndämmung - Heizenergieeinsparpotenzial in TWh/a nach Gebäudetypen im Wohngebäudebestand*

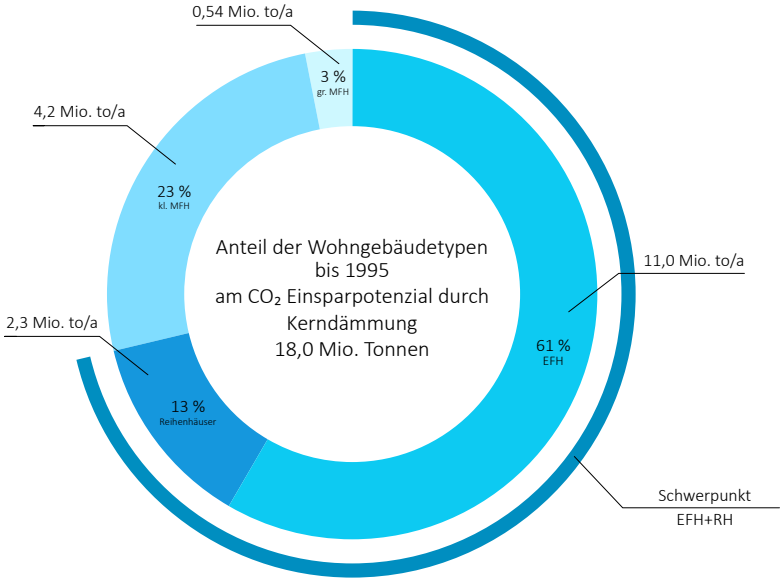



### Potenzial $CO_2$-Einsparung

Die $CO_2$-Einsparung wurde mit dem $CO_{2, Äquiv.}$-Emissionsfaktor 316 g/kWh des deutschen Strommixes berechnet. Die Kerndämmung erzielt in den 3,6 Mio. Wohngebäuden mit ungedämmten zweischaligen Mauerwerk eine $CO_2$-Einsparung von 18 Mio. Tonnen pro Jahr. Das entspricht 9 % der Gesamtemissionen des Gebäudesektors von 200 Mio. Jahrestonnen $CO_{2, äquiv.}$ Die Verteilung auf die Wohngebäudetypen entspricht der bei der Endenergieverbrauchseinsparung, es dominieren mit 74 % oder 13,3 Mio. Tonnen $CO_2$-Einsparung die Ein- und Zweifamilien- und Reihenhäuser.

Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. liegen im Durchschnitt bei 19 EUR und je nach Gebäudetyp zwischen 10 und 41 EUR pro Tonne. Die Schadensvermeidung ist folglich billiger als die Kosten für die Schadensbeseitigung, die das UBA auf 698 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv. schätzt (Wohlfahrtsverlust) und der 2030 angestrebten steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv..

*Abb. 16: $CO_2$-Einsparung der Kerndämmung nach Gebäudetypen im Wohngebäudebestand in Mio. Tonnen/a*



### 3.1.4 Investitionen und Wirtschaftlichkeit

Mit Kosten unter 30 EUR/m² ist die Kerndämmung das kostengünstigste Dämmsystem an der Außenwand.
Die in der Studie angenommenen Aufwendungen mit Preisstand 2019 und ohne MWST liegen je nach Hohlschichtdicke bei 15-19 EUR pro m², die reinen Materialkosten bei 4-5 EUR/m². Die Gesamtsumme der Kerndämmung an 3,5 Mio. Wohngebäuden beträgt 12 Mrd. EUR oder rund 3.800 EUR pro Gebäude. Dem steht unter Annahme von 2,5 % Kapitalzins und 1,5 % Energiepreissteigerung eine 12-fach höhere Heizkosten-Sparnis (Barwert) über 40 Jahre von 138,3 Mrd. EUR gegenüber. Der Nettobarwert liegt bei 126,2 Mrd. EUR. Der jährliche nationale Förderbedarf entsprechend einem 20 % Zuschuss oder dem Erlass der Mehrwertsteuer liegt bei 80 Mio. EUR pro Jahr.

Der angesetzte Zeitraum von 40 Jahren entspricht den Renovierungsintervallen an Gebäuden, eine Kerndämmung bleibt bis zum Abriss des Gebäudes in Nutzung. Die Amortisationszeit, ermittelt mit der Barwertmethode, ergibt im Mittel 4 Jahre, ohne Berücksichtigung der Förderung. Der Zuschuss für Einzelmassnahmen-BEG beträgt für die Kerndämmung 20 %.

Die nationale Jahres-Fördersumme von ca. 80 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Kerndämmung bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie nur 0,19 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen. Ab 2030 stehen der Förderung doppelte Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Gas- und Ölverbrauch in Höhe von 1,3- 1,7 Cent pro kWh gegenüber.

*Abb. 17: Investititonen und Barwert in Mrd. EUR - Kerndämmung im Wohngebäudebestand*

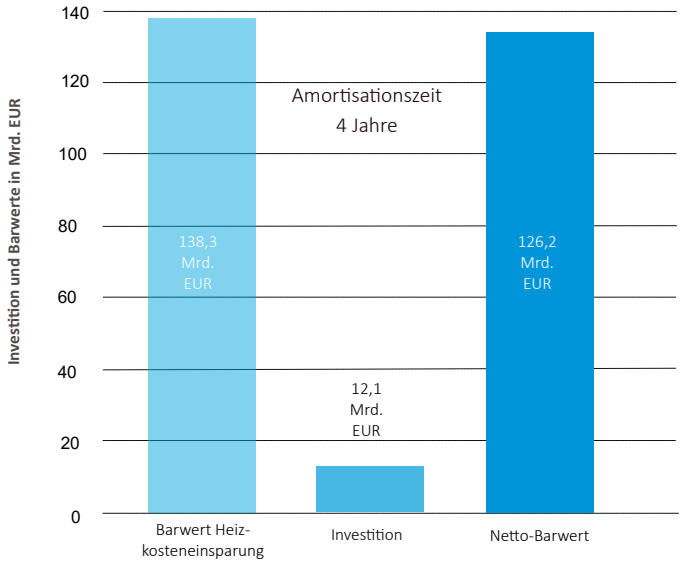



*Abb. 18: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich - Kerndämmung im Wohngebäudebestand*

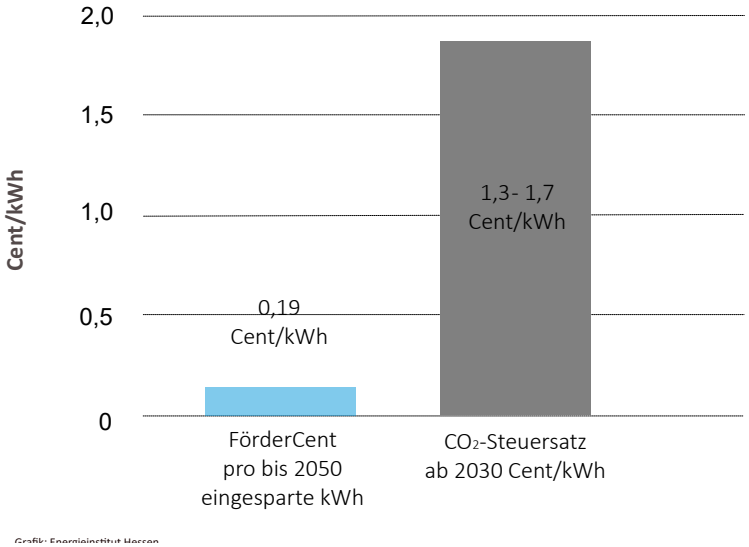


*Tabelle 8: Mengengerüst Kerndämmung im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 Summe | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit zweischaligem Mauerwerk | Mio. Stck. | 5,2 |
| davon ungedämmt | Mio. Stck. | 3,5 |
| Fläche Außenwände gesamt | Mrd. m² | 3,6 |
| Fläche zweischaliges Hohlmauerwerk | Mrd. m² | 1,02 |
| Fläche zweisch. Hohlmauerwerk ungedämmt | Mrd m² | 0,675 |
| Anteil zweisch. Hohlmauer an Außenwandfläche | % | 28,2 |
| Anteil zweischaliges MW bereits gedämmt | % | 34,2 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 AW | % | > 1,2 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,77- 1,74 |
| U-Werte gedämmt (mit Wärmebrückenzuschlag) | W/(m²K) | 0,37- 0,46 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 56,8 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 18 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 19,3 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 12 |
| Barwert der Einsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 138,3 |
| Nettobarwert | Mrd. EUR | 126,2 |
| Amortisationszeit dynamische Berechnung | Jahre | 3 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 20 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Raumwärme | % | 13 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Raumwärmesektor | % | 9 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude Deutschland 2021 | TWh | 454 |
| $CO_2$- Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen | 200 |

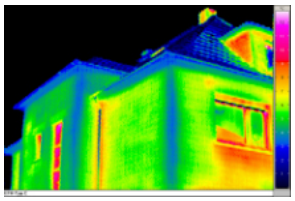
# Potenzial der Kerndämmung zweischaliger Außenwände im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Wandfläche m²

675 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

3,5 Mio



Endenergieverluste Außenwände ungedämmt

80 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

57 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

18 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

19 EUR/to

bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to

Investitions-volumen

11,9 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

128 Mrd. EUR

Dynamische Amortisation

3 Jahre

Kosten der Maßnahme

15-30 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

*Abb.19: Ergebnisübersicht Potenzial der Kerndämmung zweischaliger Außenwände im Wohngebäudebestand*

## 3.2. Innendämmung von Fachwerkwänden

In Deutschland gibt es rund 95 Mio. m² Fachwerkaußenwände bei rund 0,5 Mio. Fachwerkhäusern, ergibt die Studie des IWU, Datenerhebung Gebäudebestand 2016.[17] Diese Bauweise des Mittelalters wurde in der Industrialisierung vom Massivbau verdrängt, der damit der Holzknappheit begegnete, für deren Lösung die holzsparende Fachwerkbauweise nicht mehr ausreichte. Fachwerk gibt es als Sicht- und verkleidetes Fachwerk, letzteres wird in der Studie nicht berücksichtigt.

Von den 94,8 Mio. Quadratmetern Fachwerkaußenwänden sind 48,3 Mio. m² ungedämmt. Diese Summe wird für die Innendämmung angesetzt und die in Frage kommenden Gebäudeflächen in allen Baualtersklassen, außerhalb des Fachwerkgebäudetyps A, nur zu 50 % herangezogen. Insgesamt sind etwa 0,244 Mio. Fachwerkgebäude für eine Innendämmung mit der Einblasmethode geeignet. Fachwerkgebäude sind nur in den frühen Baualtersklassen vor 1918 bis 1958 (A bis D) vorhanden, bei den Reihenhäusern nur in A+B vor 1918, bei den Mehrfamilienhäusern gemäß einer Erhebung des Statistischen Bundesamtes allein in der Baualtersklasse A vor 1918, bei letzterem existiert das Fachwerk oft nur in den oberen beiden Stockwerken.

Im Wohnungsbau bestehen Fachwerkwände meist aus 12-16 cm dicken Holzkonstruktionen, ursprünglich mit Lehmsteinen oder Lehmgflecht ausgefacht. Diese Materialien wurden ab 1850 durch billige und witterungsbeständigere Maschinenziegel oder andere Kunststeine ersetzt. Seltener kam ab 1920 eine Innendämmung aus Holzwolleleichtbauplatten zum Einsatz, die historische „Innendämmung“ war das brusthohe Holzpaneel, das die Innenoberflächentemperatur der Wand im Aufenthaltsbereich der Menschen leicht erhöhte. Die U-Werte bewegen sich je nach Baualtersklasse, Dicke und Ausfachungsmaterial zwischen 1,4 und 2,5 W/(m²K).

*Abb. 20: Dämmstatus der Fachwerkwände 2016*

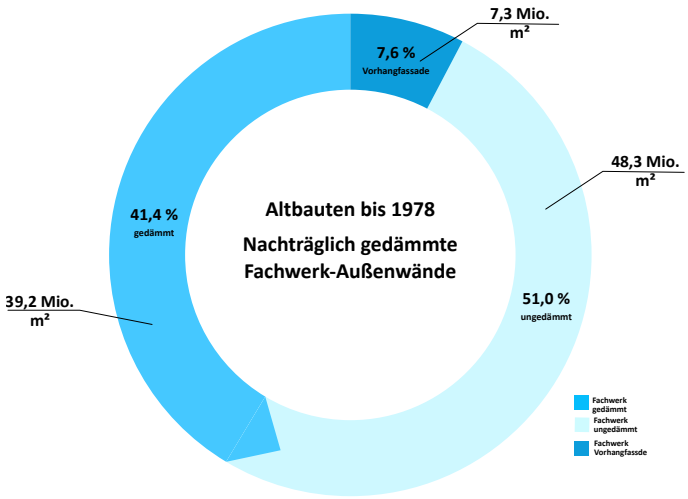
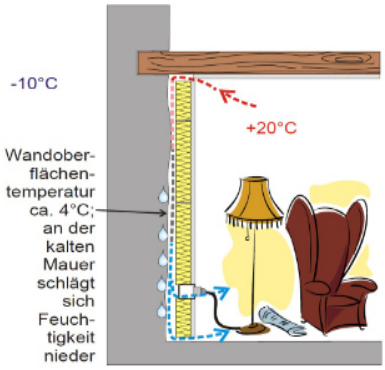



*Abb. 21: Feuchtegefahren unebener Wände*




*Quelle: HMWVL, Energiespar-Information Nr. 11*

*Abb. 22: Regen ist der Feind des Fachwerks*

Fachwerkaußenwände besitzen in der Regel keine ebenen Wandflächen. Zur Behebung dieses Mangels muss der angewandte Dämmstoff einen Flächenausgleich zu einer lotrechten neuen Wandbekleidung unterstützen, ohne dass kostenaufwendige Ausgleichsmassen erforderlich sind. Die Einblasdämmung erfüllt diese Anforderung und kombiniert kostensparend Wärmeschutz und Flächenausgleich im selben Baustoff und in einem Arbeitsgang. Zur Vermeidung von Feuchteschäden ist ein von undichten Fugen und offenen Ritzen freier Aufbau der Vorsatzschale erforderlich. Historische Innendämmungen funktionierten feuchtetechnisch vor allem aufgrund der Luftdichtung durch einen Innenputz.

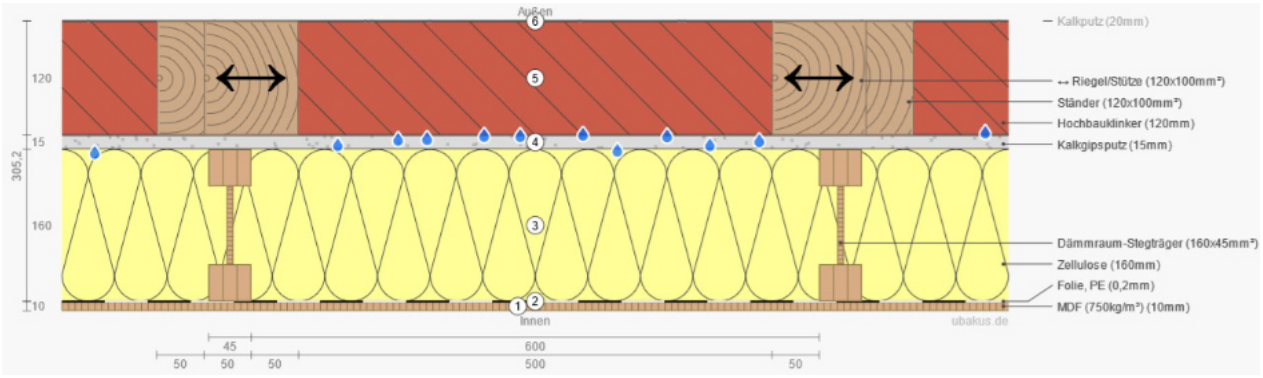
### 3.2.1 Einblastechnik für Fachwerkwände

Der für eine Einblasdämmung erforderliche Hohlraum kann durch eine Vorsatzschale aus diffusionshemmenden Holzwerkstoffplatten oder anderen Materialien mit separater diffusionshemmender Schicht bestehen. Die Einhaltung der feuchtetechnischen Bedingungen der DIN 4108 ist für den gewählten Dämmstoff und das Innenbekleidungsmaterial sowie bei dampfdichteren Wandbaumaterialien nachzuweisen. Die Bekleidung wird auf hölzernen Expandern, Holzlattung oder Metallständern 14 cm von der alten Wand entfernt montiert. Metallständer sind durch Dämmstoffstreifen thermisch von der Wand zu entkoppeln, Holzexpander sind durch ihren schmalen Steg wärmebrückenreduziert. Wird der alte Wandputz beseitigt, ist wieder ein luft- und regendichter Aufbau (Putz, Bewurf) auf der Innenseite der Wand erforderlich.
Über Einblasöffnungen in der Innenbekleidung wird der Hohlraum mit Dämmstoffflocken verfüllt. Die Rohdichte des eingeblasenen Dämmstoffs ist in seiner Zulassung geregelt. Kaltwasserleitungen und Heizungsrohre sind vor die Innendämmung zu verlegen, auch Steckdosen dürfen nicht direkt in der nun kälteren alten Wand liegen. Durch die Innendämmung sinkt die Temperatur in der Fensterlaibung, dem wirken Dämmplatten in der Laibung entgegen, hier können sowohl kapillaraktive als auch diffusionshemmende Arten eingesetzt werden. Der ausführende Betrieb sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.

Für einen optimalen Wärmeschutz, der den Wohnraumverlust nicht zu groß werden läßt, wurden in der Studie im Mittel 14 cm Dämmdicke aus Zellulose gewählt, die zu Ziel-U-Werten um 0,25 W/(m²K) führen. Die Dämmdicke ist durch Dämmstoffe der WLS 0,033-0,035 statt 0,039 W/(mK) bei gleichem U-Wert um 1-2 cm reduzierbar. Die Regelung des GEG sieht bei Baudenkmälern und erhaltenswerter Bausubstanz Ausnahmeregelungen vor.

Der Feind des Sichtfachwerks ist der äußere Regenangriff. Regen läuft in die zahlreich vorhandenen Fugen und zusätzlich entstehenden Ritzen ein und verbleibt wochenlang in den sich durch Fäulnis vergrößernden Zapflöchern. Von hier aus nimmt die Fachwerkzerstörung ihren Anfang (liegende Hölzer, saugende Stiele). Für die Trocknung solcher Nässekonzentrationen sind die Heizwärmeverluste nicht ausreichend, die in Folge des oben genannten U-Wertes theoretisch erfolgen sollten. Das Anbohren aller Zapflöcher von außen und die regelmäßige Inspektion aller Hölzer sind hier eine angemessene und überlieferte Vorgehensweise. Vor Beginn der Arbeiten ist die Fachwerkwand auf möglicherweise bereits vorhandene Schäden an den Traghölzern zu begutachten und Hinweise auf deren Beseitigung zu geben.

*Abb. 23: Fachwerkinnendämmung mit Stegträger, feuchtetechnisch OK mit diffusionshemmender fugendichter Innenbekleidung*



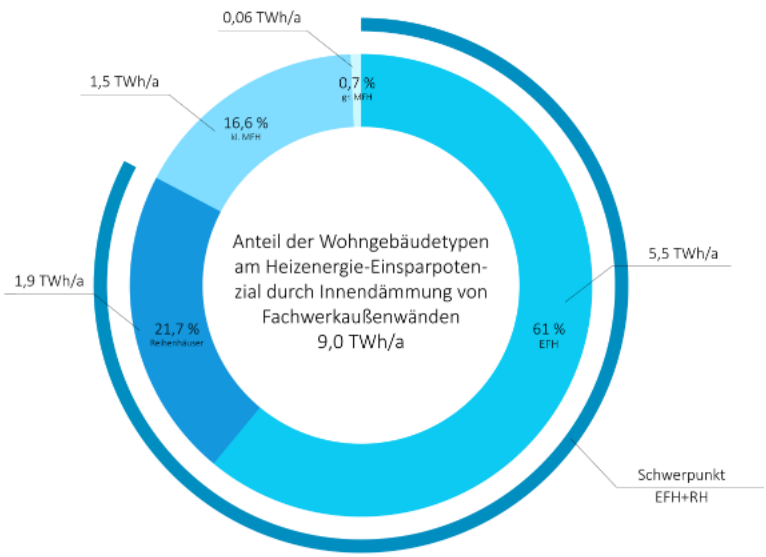
## 3.2.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparung

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Das Heizenergie-Einsparpotenzial wurde für einen Ziel-U-Wert von 0,25-0,27 W/(m²K), entsprechend Dämmdicken von ca. 14 cm errechnet. Die durch diesen Wärmeschutz erzielbare Heizenergieeinsparung liegt bei 9,0 TWh pro Jahr oder 2 % des jährlichen Raumwärmeverbrauchs aller Wohngebäude.

Das Potenzial entfällt zu 83 % auf die Einfamilien- und Reihenhäuser. Wie schon bei der Kerndämmung unterstreicht dieses Faktum die Sinnhaftigkeit einer Informationskampagne in diesem Gebäudesektor.

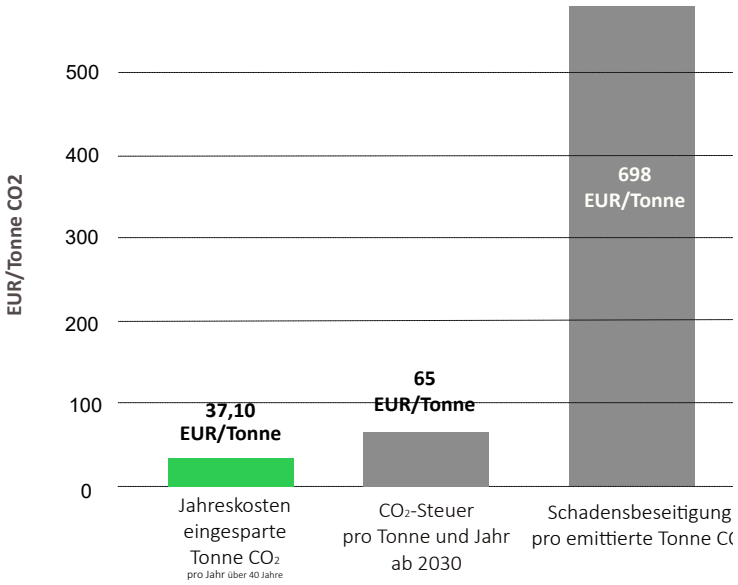
*Abb. 24: Heizenergie-Einsparpotenzial der Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkaußenwänden nach Gebäudetypen in TWh/a*




### $CO_2$-Einsparpotenzial

Mit 2,9 Mio. Tonnen pro Jahr reduzierte die zu erwartende $CO_2$-Einsparung die jährliche $CO_2$-Emissionen aus dem Gebäudesektor (inkl. Nichtwohnbau) um 2 Prozent. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. liegen mit 37,10 EUR weit unter dem vom UBA errechneten erwartbaren Wohlstandsverlust, den die Emission jeder Tonne $CO_2$-Äquiv. hervorruft (698 EUR/to) und beträgt weniger als die im Jahr 2030 erreichte steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv..

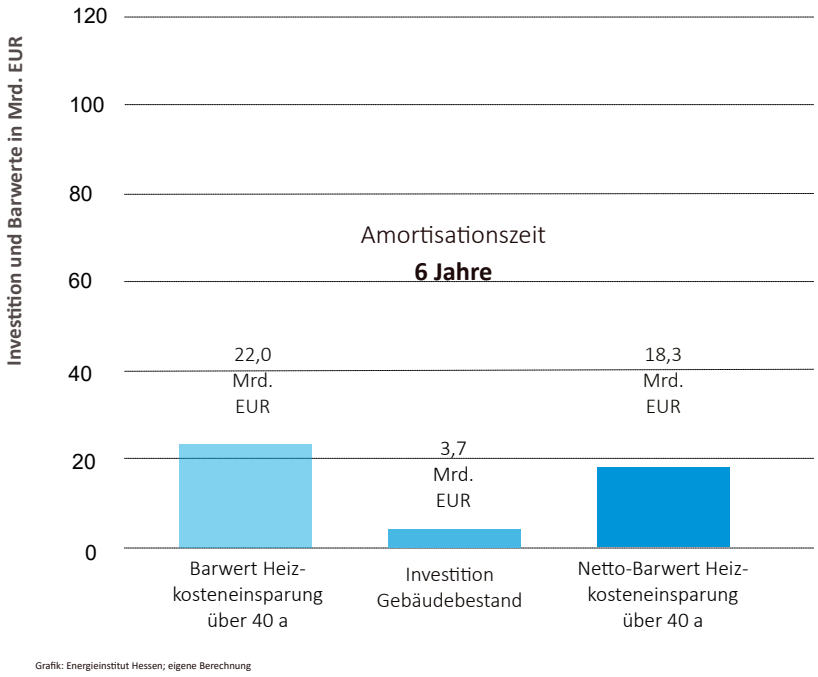
*Abb. 25: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Innendämmung von Fachwerkwänden.*



### 4.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Aufsummiert über alle 0,24 Mio. Fachwerkhäuser ergibt sich ein nationales Investitionsvolumen von 3,7 Mrd. EUR für die Innendämmung der dafür in Frage kommenden Fachwerkwände.
Dem steht ein Barwert der über 40 Jahre ersparten Heizkosten von 22 Mrd. EUR gegenüber. Unter Abzug der Investition ergibt sich ein Nettobarwert von 18,3 Mrd. EUR. Demnach zahlt sich die Investitionssumme fünffach zurück.

Der durchschnittliche Amortisationszeitpunkt liegt bei 6 Jahren. Die Netto-Maßnahmenkosten wurden mit 76 EUR/m² Bauteilfläche angesetzt.

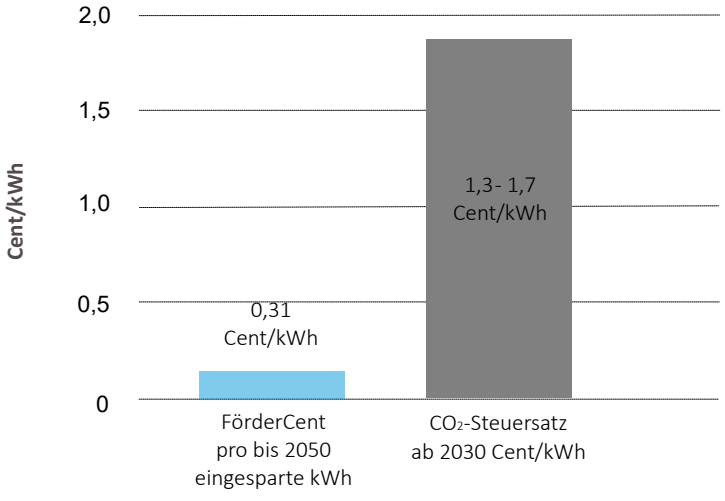



Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Abb. 26: Investitions- und Barwertsummen in Mrd. EUR - Einblasdämmung Innendämmung Fachwerkwände im Wohngebäudebestand*

Die Innendämmung von Fachwerkwänden ist eine hoch wirtschaftliche Investition, bei der die Energieeinsparung auch die Kosten der neuen Innenbekleidung amortisiert. Die Wirtschaftlichkeit wird durch die 20-prozentige BEG-Förderung zusätzlich gesteigert. Die nationale Jahres-Fördersumme von ca. 25 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Fachwerk-Innendämmung bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,31 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen. Ab 2030 stehen der Förderung doppelte staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Gas und Öl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung.

*Abb. 27: FörderCent im Vergleich mit $CO_2$-Steuersatz pro kWh - Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkwänden im Wohngebäudebestand*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 9: Mengengerüst Potenzial der Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkaußenwänden im Wohngebäude-bestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Fachwerk-Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 0,5 |
| Fachwerk Wohngebäude ungedämmt | Mio. Stck. | 0,243 |
| FW-Außenwandfläche | Mio. m² | 94,8 |
| FW gedämmte Fläche | % | 39,2 |
| FW ungedämmte Fläche | Mio. m² | 55,6 |
| FW Flächenansatz für Innendämmung | Mio m² | 48,3 |
| Anteil Fachwerk an gesamter Außenwandfläche | % | 2,7 |
| Anteil gedämmte Fachwerkwände | % | 41,4 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 AW | % | 1,2 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 1,4- 2,5 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,25- 0,27 |
| Heizenergieeinsparung | TWh | 9 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen | 2,9 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 37,1 |
| Investitionskosten | Mio. € | 3,7 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 22 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 18,3 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 6 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 76 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 2 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Gebäudesektor 2021 | % | 2 % |
| Endenergie Wohngebäude Raumwärme 2021 | Twh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

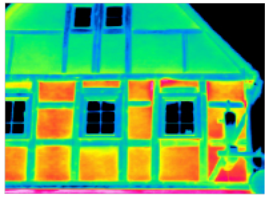
# Potenzial der Innendämmung bei Fachwerkhäusern im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Wandfläche m²

48,2 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

0,244 Mio

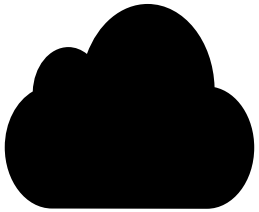


Heizenergieverluste AW ungedämmt

10,1 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

9 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

2,9 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

37,1 EUR/to

**bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to**

Investitions-volumen

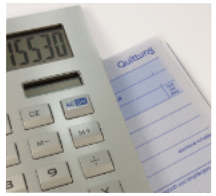
3,7 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

22 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

6 Jahre



Maßnahmekosten

76 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

*Abb. 28: Übersicht Potenzial der Einblasdämmung bei der Innendämmung von Fachwerkwänden im Wohngebäudebestand*

## 3.3 Einblasdämmung in Luftschichten von Fertighauswänden

Fertighäuser gibt es erst seit dem in den 1960ziger Jahren einsetzenden EFH-Bauboom in statistisch relevanter Zahl. Geprägt wurde der Begriff von dem Architekten Ernst Neufert. Die Voraussetzung für den Fertighausbau bot die Erfindung der Holzfaserplatten durch die Bauindustrie. Sie leistete damit einen frühen Beitrag zur Ressourceneinsparung und zum Holzbau. Zwischen 1961 und 1983 entstanden in kurzer Zeit 350.000 hölzerne Fertighäuser mit Massivkeller (Hybridbauweise) als Einfamilienhäuser. Fertighäuser haben seither ihren Anteil an allen jährlichen Neubauten auf 17 % gesteigert und sind der wesentliche Hybrid-Holzbautyp in Deutschland, jedoch gibt es sie auch in anderen Materialvarianten.[17] Ihre Außenwandkonstruktion differiert je nach Hersteller und Baualtersklasse von massiven Leichtbaustoffen über Fachwerk bis zum Holzständerwerk mit Hohl- und Dämmschichten. Die „Datenerhebung Gebäudebestand“ des IWU stellte explizit den Anteil vorgefertigter Holzbauwände an allen Außenwandflächen mit 5,1 % fest, von denen wiederum 17,4 % bereits eine nachträgliche Dämmung erhalten haben. Der Fertighausbestand mit Holzständerwänden u.ä. Konstruktionen wird bis 2009 gemäß der Datenerhebung Gebäudebestand auf 0,9 Mio. Gebäude berechnet. Von den insgesamt 182,6 Mio. m² vorgefertigten hölzernen Fertighausaußenwänden verfügen 150,8 Mio. m² über keine nachträgliche Dämmung. Damit können an 762.000 Gebäuden Hohlräume von 3-6 cm Dicke eine Einblasdämmung erhalten.

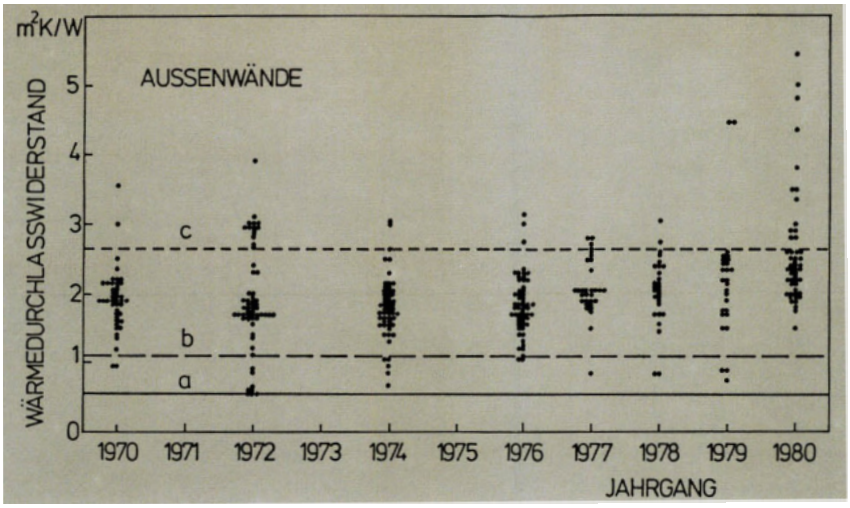
Der Wärmeschutz der Fertighauswände musste nach DIN 4108 besser als die Anforderungen an Massivwände ausgeführt werden. Diese Regelung geht auf den sommerlichen Wärmeschutz zurück, den die DIN 4108 bei Leichtbaukonstruktionen unter 300 kg/m² Flächengewicht mit einem Zuschlag belegte.

Die Ursprungs-U-Werte der Fertighauswände wurden in dieser Studie zwischen 0,9 und 0,5 W/(m²K) evaluiert.

*Abb. 29: Fertighaus der späten sechziger Jahre*

Auf der Seite 32 sind 4 typische Fertighauswandkonstruktionen abgebildet, um die Lage der Hohlschichten zu demonstrieren. Durch Füllung der Luftschichten von 3-6 cm Dicke werden U-Werte von 0,34 bis 0,43 W/(m²K) erzielt. Die Annahmen der Ursprungs-U-Werte unterstützt eine Untersuchung des Fraunhofer IBP an 500 Fertighäusern der Baujahre 1970 bis 1980, deren U-Werte zwischen mit einer Häufung im Bereich von 0,6 W/(m²K) zwischen 0,5 und 0,9 W/(m²K) liegen.[18] Ab 1980 setzt die Fertighausindustrie auf stärkeren Wärmeschutz und nahm schon früh ab 1995 den Niedrigenergiestandard in ihr Angebot auf. Damit reduzieren sich die Luftschichtdicken in der Holzrahmenbauweise bis hin zur Volldämmung. Ab den siebziger Jahren gehört die Dampfsperre dazu, die heute als diffusionshemmende Schicht bezeichnet wird, meist wird diese PE-Folie noch in funktionstüchtigem Zustand vorgefunden. Die innere Luftschicht im Bereich des Gefaches kann für die Einblasdämmung genutzt werden.

*Abb. 30: IBP-Untersuchung Wärmeschutz von Fertighaus-Außenwänden 1970 bis 1980 als Wärmedurchlasswiderstand*



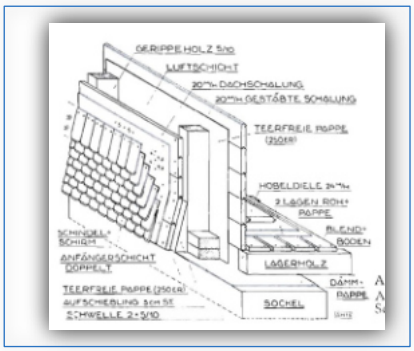



*Abb. 31: 1920 ff Holzbauweisen mit 10 cm Luftschicht oder Torffüllungen usw.*

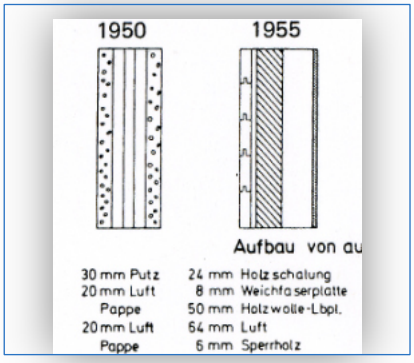



*Abb. 32: 1950 Erste Erfahrungen, 2*2,0 und 6 cm Luftschichten waren dabei*

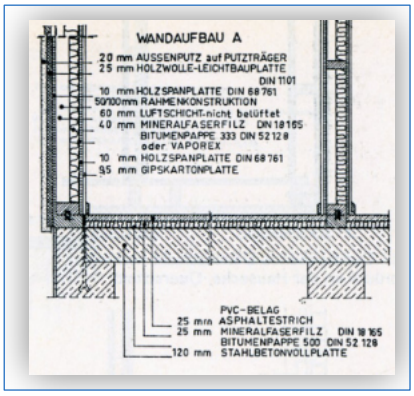



*Abb. 33: 1960 Holzständer- und Rahmenbau mit wenig Dämmung und hier z.B. 6 cm Hohlraum*

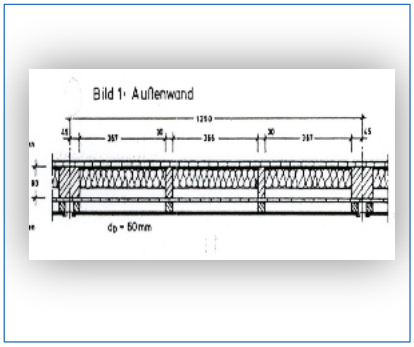



*Abb. 34: 1970 Holzbauweise mit 3 cm Luftschicht, die Dämmdicken wachsen*

## 3.3.1.Technik der Einblasdämmung für Fertighäuser

Die Lage von Hohlschichten ergibt sich über die in den Baualtersklassen ab 1960 in der Regel verfügbaren Baubeschreibungen. Die Luftschichten liegen im Gefachbereich, bis 1980 wurde die Breite des Holzrahmens für die darin angebrachte Dämmung nicht voll ausgeschöpft. Sie sind je nach Hersteller auch außen auf den Holzständerwänden hinter auf 24 mm Abstand gesetzte Holzbauplatten zusätzlich angeordnet. Es handelt sich um unbelüftete Schichten. Die Dicke der Luftschichten bestimmt die Wahl des Einblasdämmstoffs, da ein Einfließen in die Hohlräume gewährleistet sein muss. Die WLS der Dämmstoffe sollte angesichts der dünnen Dämmschicht möglichst gering sein und nicht mehr als 0,033 bis 0,035 W/(mK) betragen. Die Außenbekleidung wird bis auf die erste oder gegebenenfalls vorhandene zweite Luftschicht durchbohrt und der Dämmstoff durch die Löcher eingeblasen. Diese werden mit dem kreisrunden Materialausschnitt durch Verklebung wieder verschlossen und geschliffen. Diese Arbeiten können wahlweise mit einer ohnehin anstehenden Modernisierung verbunden werden, bei der die äußere Bekleidung durch eine Außendämmung ersetzt wird. Der Verschluss der inneren Hohlschichten ist auch bei äußerer Dämmung erforderlich, da sonst Außenluft hinter die neue Dämmung einströmen kann und deren Dämmwirkung mindert.

Das Ausblasen der Hohlräume hat keinen Einfluss auf etwaige Schadstoffbelastungen der Innenraumluft durch Spanplatteninhaltsstoffe aus der Bauzeit des Hauses. Ist dieses Problem vorhanden, muss es separat gelöst werden.

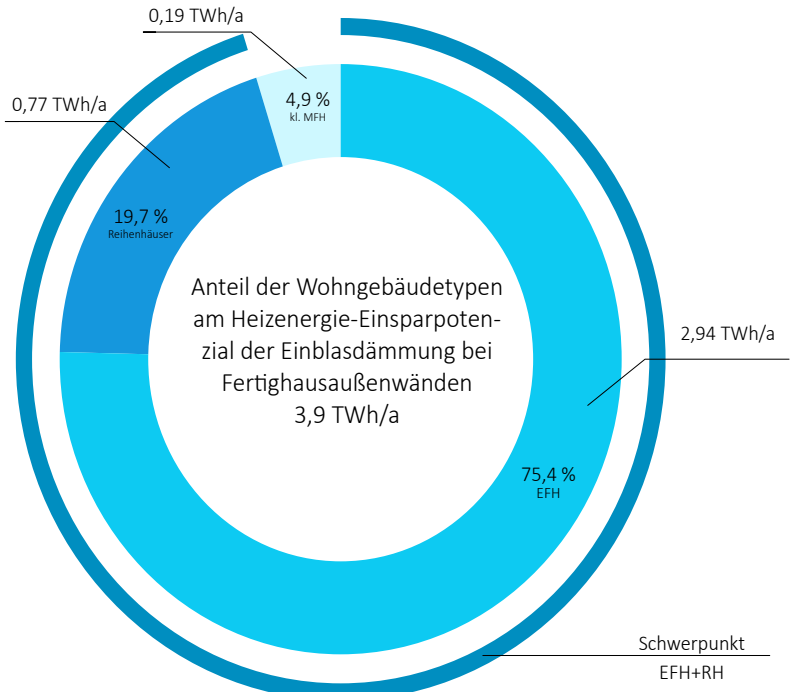
*Abb 35: Einblasdämmung ist im Holzständer- oder Rahmenbau eine übliche Technik*

### 3.3.2. Heizenergie und $CO_2$-Einsparpotenzial

#### Heizenergie-Einsparung

Fertighäuser weisen bereits einen leicht verbesserten Wärmeschutz der Außenwände auf. Deshalb fällt die erzielbare Energieeinsparung bei einer Zusatzdämmung in den Wandhohlräumen und erreichbaren Ziel-U-Werten von 0,34-0,43 W/(m²K) geringer aus. Das Heizenergieeinsparpotenzial aller 0,76 Mio. Fertighäuser in vorgefertigter Holzbauweise beträgt 3,9 TWh/a und umfasst damit 1 % des jährlichen Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude. Fertighäuser fanden ihren Markt beim Einfamilienhausbau. Entsprechend dominieren mit 95 % diese beiden Gebäudetypen das Einsparpotenzial.

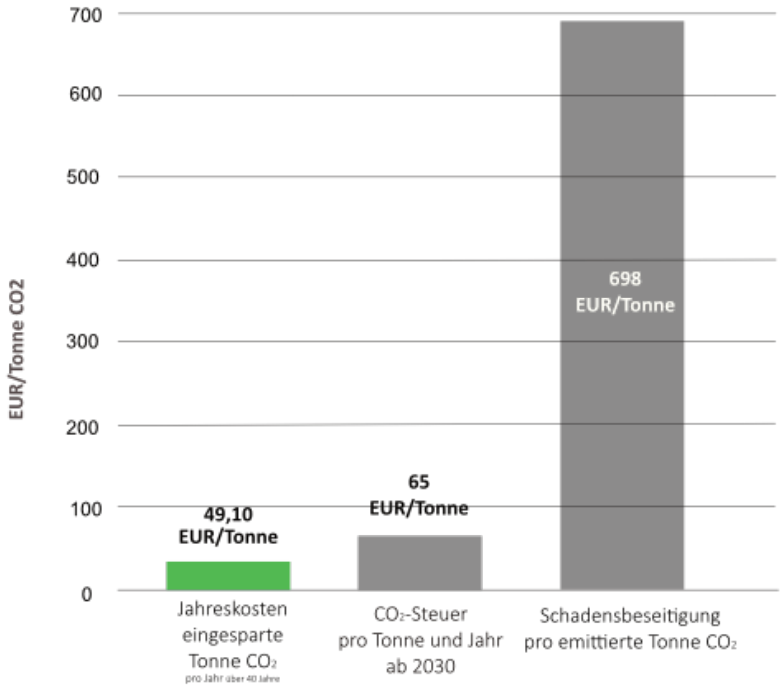
*Abb. 36: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Fertighausaußenwänden im Wohngebäudebestand*




#### $CO_2$-Einsparung

Die $CO_2$-Einsparung bewegt sich mit 1,2 Mio. Tonnen pro Jahr in derselben Relation, allerdings in Bezug auf den gesamten Gebäudesektors inkl. Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. ergeben sich zu 49,10 EUR. Sie liegen damit unter den erwarteten Schadensbeseitigungskosten für jede emittierte Tonne $CO_2$-Äquiv. von 698 EUR/Tonne und der 2030 erreichten steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv. Die Einblasdämmung erreicht bei diesem Wandkonstruktionstyp keinen optimalen Wärmeschutz. Sie ist aber auch dann erforderlich, wenn die Wände eine äußere Dämmung erhalten, um deren Kaltluft-hinterströmung zu verhindern.

*Abb 37: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Einblasdämmung in Fertighausaußenwände*



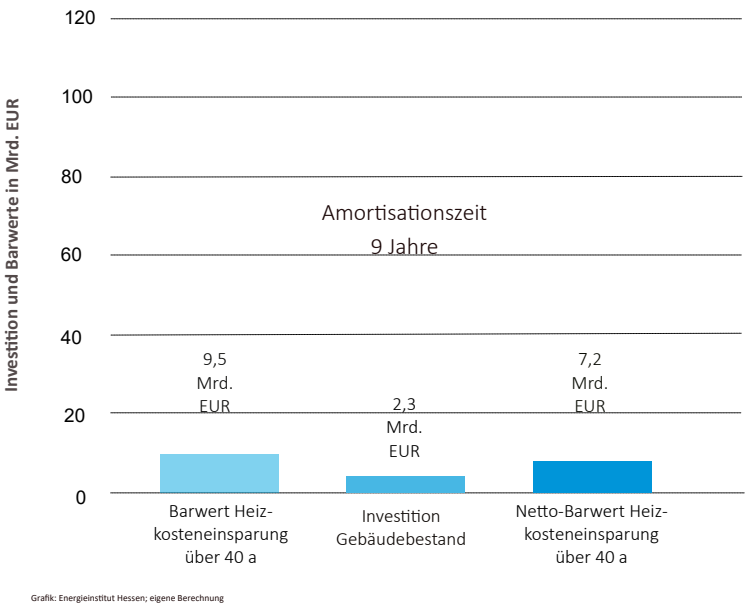
### 3.3.3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Das Investitionsvolumen an allen 0,76 Mio. Gebäuden beträgt 2,3 Milliarden EUR. Die Kosten der Maßnahme wurden mit 15-20 EUR/m² berechnet. Der Investition steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 9,5 Mrd. EUR gegenüber, dies entspricht dem vierfachen der Investitionssumme.

Die dynamische Amortisation liegt im Durchschnitt bei 9 Jahren, während die Lebensdauer der Einblasdämmung sowohl der Gebäude- als auch der Bauteillebensdauer entspricht.

Die Nachdämmung von Fertighaus-Außenwänden ist eine wirtschaftliche Investition. Die Wirtschaftlichkeit würde durch die 20-prozentige BEG-Förderung zusätzlich gesteigert, diese setzte voraus, dass die Hohlraumdämmung als vorbereitende Massnahme einer Außendämmung gefördert würde..

*Abb. 38: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre - Einblasdämmung in Fertighausaußenwände*

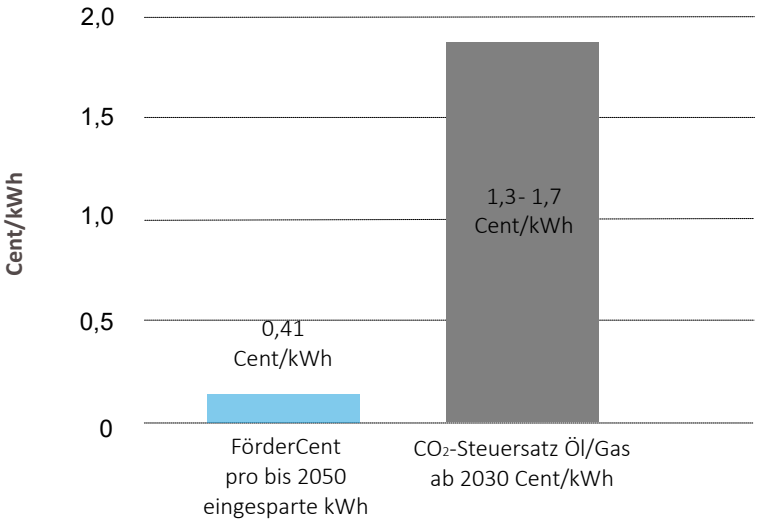



Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 15 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Fertighausaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,41 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung doppelte staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Gas und Öl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und für Hauseigentümer kostensparender als die $CO_2$-Steuerbelastung.

*Abb. 39: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich zur Belastung durch die $CO_2$-Steuer*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 10: Mengengerüst Einblasdämmung in Fertighausaussenwände im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude Fertigbauweise Holz | Mio. Stck. | 0,9 |
| davon mit freien Wandhohlräumen | Mio. Stck. | 0,762 |
| Fläche Außenwände gesamt | Mio. m² | 3600 |
| Fläche Außenwände Fertigbauweise Holz | Mio. m² | 182,6 |
| Außenwandfläche Fertigbauweise freie Wandhohlräume | Mio m² | 150,8 |
| Anteil Außenwandfläche Fertigbau Holz an Außenwandfläche | % | 5,1 |
| Anteil Fertigbauweise Holzfassaden bereits nachgedämmt | % | 17,4 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 AW | % | 0,9-1,2 % |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,5-0,8 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,34- 0,36 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 3,9 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 1,2 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 49,1 |
| Investitionsvolumen | Mrd. € | 2,3 |
| Barwert Heizkosteneeinnsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 9,5 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd EUR | 7,2 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 15-20 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 9 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 1 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 1 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 40: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Fertighausaußenwände im Wohngebäudebestand

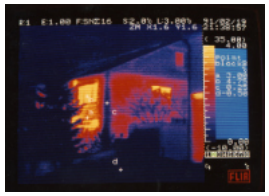
# Potenzial der Hohlraumdämmung bei Fertighausaußenwänden im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Wandfläche m²

151 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

0,762 Mio



Heizenergieverluste AW ungedämmt

7,7 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

4 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

1,23 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

49,1 EUR/to

**bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to**

Investitions-volumen

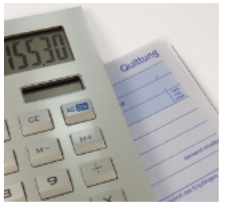
2,4 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

9,5 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

9 Jahre



Maßnahmekosten

15-20 EUR/m²

## 3.4 Nachdämmung von vorgefertigten Betonwänden

Der Betonfertigteilbau hatte einen großen Anteil an der Behebung der Wohnungsknappheit und setzte damit der Wohnungskrise der Nachkriegszeit ein Ende. Die vorgefertigten Fassadenkonstruktionen gibt es als Sandwichplatten (Dreischichtplatten) und in zahlreichen anderen Konstruktionen, die auch als Einzelfertigung objektweise oder in Kleinserien hergestellt wurden. Das Repertoire der Betonwerke enthielt Dreischichtplatten mit Belüftungsschicht und andere Aufbauten für Vorhangfassaden. Auf dem Höhepunkt des Wohnungs- und Verwaltungsbaus Mitte 1970 bis 1980 hatten diese Konstruktionen Hochkonjunktur.

In dieser Zeit entstand auch die um 1990 modernisierte Wohnsiedlung Hamburg-Jenfeld, deren nichttragende vorgehängte Betonfasssadentafeln aus 7 cm raumseitige Betonplatten, 6 cm MF-Dämmung, 8 cm Luftraum und 6-10 cm Betonwetterschale mit Waschbetonornamentik bestand. Modernisiert wurde sie nach statischer Sicherung der Fassade. Ihr Wärmeschutz wurde mit 8 cm Einblasdämmung und 10 cm WDVS verbessert. Durch den ergänzenden Einsatz der beiden Dämmtechniken erreichte die Wand den U-Wert 0,15 W/(m²K). Abb. 43 zeigt einen Blick in die noch ungedämmte Luftschicht. Darüber ein größeres Bohrloch, in der Siedlung verdeckte der weitere Wandaufbau mit einem WDVS die optische Erscheinung der Bohrlöcher.

Vorhandene ungedämmte oder teilgedämmte Hohlschichten sind dämmbar, das beweist die nun seit 60 Jahren schadensfreie dreischichtige Betonsandwichplatte im Massenwohnungsbau, die keine Belüftung aufweist. Eine nachträgliche Dämmung hat den Vorteil, dass die Befestigungsstähle der Luftfeuchtigkeit des Luftraumes oder Luftstromes entzogen werden. Durchschlagende Feuchte kann bei Schwerbeton weitgehend ausgeschlossen werden, die Wetterschalen sind zwischen 6 und 10 cm dick.

*Abb 41: Stadtteil Hamburg Jenfeld, saniert 1990*

Mit 97,6 Mio. m² entsprechend 2,7 % aller Fassadenflächen ist der Anteil vorgefertigter Betonfassaden in Deutschland eher klein. Davon sind 44,5 % bereits nachträglich gedämmt, so dass für einen Anteil von 41,8 Millionen m² in 200.000 Gebäuden dieser Schritt noch aussteht.

### 3.4.1 Die Technik der Einblasdämmung

Die Außenschale wird in den dauerelastischen Fugen oder die Betonwetterschale angebohrt und der Dämmstoff durch die Bohrlöcher eingeblasen. Deren Anzahl richtet sich nach dem Luftzwischenraum und seinem durch Endoskopierung erfassten Zustand. Die Art des Dämmstoffes hängt ebenfalls davon ab. Zum Einsatz kommen hydrophobierte Dämmstoffe in Flocken oder Granulatform. Vor der Ausführung der Arbeiten sind Undichtheiten zu beseitigen, möglicherweise eine teilweise Fugensanierung erforderlich. Die ausführende Firma sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.

*Abb 42: Größere Bohrung in der Wetterschale*

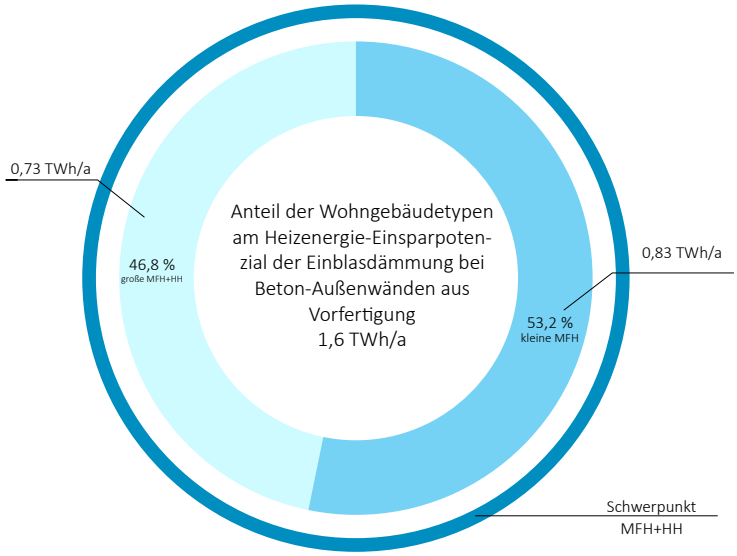
*Abb 43: Blick in den funktionslosen Luftzwischenraum*

## 3.4.2 Energie- und $CO_2$-Einsparung

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Die vorgefertigten Fassaden weisen Hohlräume von 4-10 cm Dicke auf, die mit flockigem Dämmmaterial der WLS 0,035 W/(mK) gedämmt werden. Bei Ausgangs-U-Werten von 0,5-0,9 W/(m²K) und Ziel-U-Werten von 0,30 – 0,35 W/(m²K) besteht ein Heizenergie-Einsparpotenzial von 1,6 TWh/a, entsprechend 0,35 % des Heizenergieverbrauches aller Wohngebäude. Auch diese Dämmmaßnahme fungiert als eine ohnehin erforderliche Vorbereitung einer zusätzlichen Außenwanddämmung, in dem sie deren Hinterströmung mit Kaltluft verhindert. Sie erschließt mit einer Außendämmung der Montagewand das dämmtechnische Optimum.

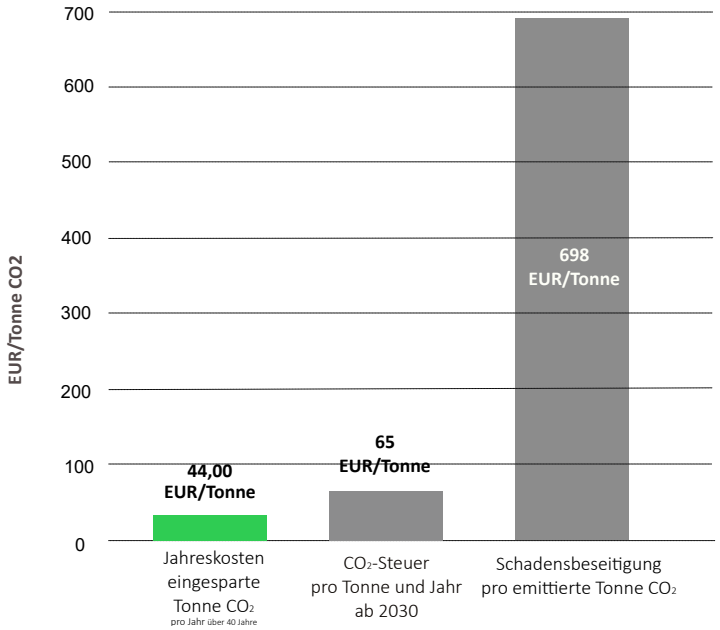
*Abb. 44: Energieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Betonfertigteil-Außenwände in TWh/a im Wohngebäudebestand*




### $CO_2$-Einsparpotenzial

Die mögliche $CO_2$-Einsparung liegt bei 0,5 Mio. Tonnen pro Jahr, eine kleinere Reduktion von 0,25 % des $CO_2$-Ausstoßes des gesamten Gebäudesektors inkl. Nichtwohngebäude. Die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. betragen 44 EUR, während die der Schadensbeseitigung jeder emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv. 698 EUR ausmachen und die steuerliche Belastung für das 2030 mit 65 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv. angekündigt ist.

*Abb. 45: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Einblasdämmung in Betonfertigteil-Außenwände im Wohngebäudebestand*



### 3.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Das Investitionsvolumen für die Einblasdämmung der vorgefertigten Betonfassaden aller 0,2 Mio. noch ungedämmter Gebäude beträgt 836 Millionen EUR. Die Maßnahmenkosten liegen bei 20 EUR pro m². Der Barwert der Einsparungen ist mit 3,8 Mrd. EUR um den Faktor 4,6 höher als die Investitionskosten. Die dynamische Amortisationszeit beträgt 8 Jahre, die Standzeit der geschützt liegenden Dämmung entspricht der Lebensdauer des Gebäudes.

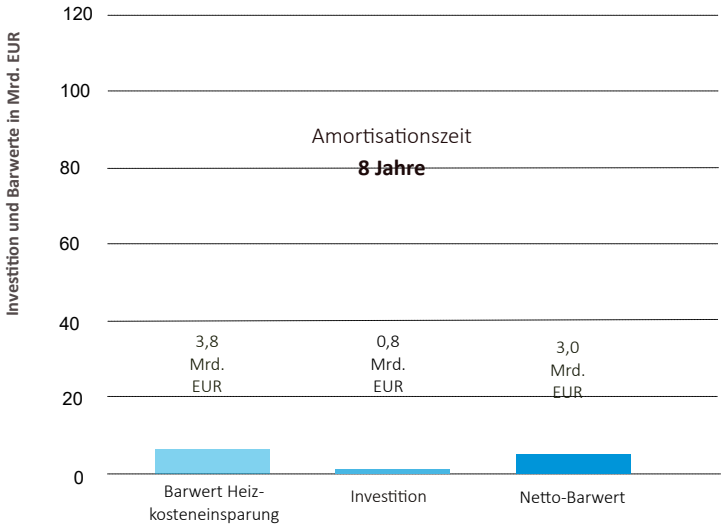



*Abb. 46: Investitionssumme und Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 6 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,37 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung vierfache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 47: FörderCent pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie versus $CO_2$-Steuerbelastung jeder verbrauchten kWh ab 2030*

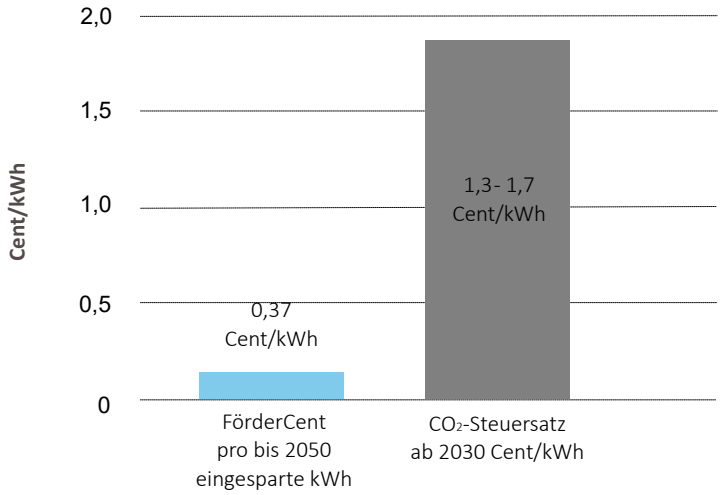


*Tabelle 11: Mengengerüst - Einblasdämmung in vorgefertigte Betonfertigteilaußenwände im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude vorgefertigter Betonbau | Mio. Stck. | 0,5 |
| davon ohne nachträgliche Dämmung | Mio. Stck. | 0,211 |
| Fläche Außenwände gesamt | Mrd. m² | 3,6 |
| Fläche Außenwände aus vorgefertigtem Betonbau | Mio. m² | 97,6 |
| davon ohne nachträgliche Dämmung | Mio m² | 41,8 |
| Anteil Außenwand aus Betonfertigbau an AW Wohnbau | % | 2,7 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Außenwand | % | < 1,2 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,6- 0,9 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,30- 0,35 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 1,6 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 0,5 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 44 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 0,84 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 20 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 3,8 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 2,96 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 8 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 0,35 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Gebäudesektor | % | 0,25 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

*Abb. 48: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in vorgefertigte Betonaußenwände im Wohngebäudebestand*

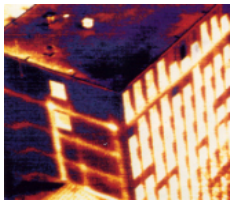
# Potenzial der Hohlraumdämmung bei Beton-Fertigteilwänden im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Wandfläche m²

42 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

0,21 Mio



Heizenergieverluste AW ungedämmt

2,7 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

1,6 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

0,49 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

44 EUR/to

Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to

Investitions-volumen

0,8 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

3,8 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

8 Jahre

Maßnahmekosten

20 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Einblasdämmung bei Kellerdecken und Kriechkellern

Die Kellerdeckendämmung mit der Einblas- und Sprühdämmung in Kriechkellern kann den Heizenergieverbrauch im Wohngebäudebestand um bis zu 7 % oder 32 TWh/Jahr reduzieren.

# 4 Einblasdämmung bei Kellerdecken

## 4.1 Dämmung unter der Kellerdecke

Von den bis 2009 errichteten 18,2 Mio. Wohngebäuden sind 95 % unterkellert, davon 81,4 % ganz oder teilweise mit Kellerräumen, von denen 42,6 % voll- und teilbeheizt sind. Einen Kriechkeller besitzen 18,6 % der Gebäude. Von den insgesamt 1,7 Mrd. m² Kellerdeckenflächen grenzen 38,9 Prozent das Erdgeschoss gegen unbeheizte Kellerräume ab, von diesen sind 15,7 % bereits gedämmt. Folglich sind noch 668 Mio. m² Kellerdeckenfläche in 6 Mio. Wohngebäuden ungedämmt, von denen 322 Millionen m² für eine Einblasdämmung und weitere 210 Mio. m² für eine Dämmung von Kriechkellern in Frage kommen. Die Flächenanteile sind in der Abb. 52 auf der nächsten Seite dargestellt.

### 4.1.1 Konstruktionen und Hohlräume

Die traditionelle Kellerdeckenkonstruktion ist die Massivdecke, vor dem 19. Jahrhundert als Naturstein-Gewölbedecke, seit dem 19. Jhdt. als gemauerte oder in Beton gegossene Kappendecke. Ende des 19 Jhdts. entstanden notwendiger Holzeinsparung Rechnung tragend und zugunsten von Überdeckungen höherer Spannweiten die Stahlsteindecken mit geringen Deckendicken. Diese massiven Fertigdecken bestehen vor allem aus Ziegel-, oder Bimshohlkörpern. Es gab sie in hunderten von Patenten. Ihre Hohlkörper besitzen keinen nennenswerten Dämmwert, ihre R-Werte liegen um 0,25 m²K/W, eine 38 cm dicke VZ-Außenwand verfügt mit 0,47 m²K/W über den doppelten Wärmewiderstand und ist dennoch schlechter Wärmeschutz. Entscheidend bei diesen Kellerdeckenkonstruktionen sind Existenz und Qualität einer Wärmedämmschicht. Diese wurde mehr als 150 Jahre lang zwischen den Lagerhölzern der Dielung appliziert und bestand aus kaum dämmenden Materialien wie Bauschutt, Sand, Rostschlacke, Hochofenschlacke, Bimskies. Erst mit dem aus Gründen des Brandschutzes erteilten Verbot der Holzbalkendecken in Mehrfamilienhäusern nach 1949 und der dadurch bewirkten Ablösung der Hohlkörperdecken durch die Betonplattendecke wurde eine Trittschalldämmung erforderlich, die aus Holzwolleleichtbauplatten, Steinwolle, Kork, Glaswolle, Polystyrol usw. mit Randstreifen und in den Dicken 1,0- 3,5 cm hergestellt wurde.[19] Sie wurde zum ersten „Massengeschäft“ der deutschen Dämmstoffhersteller. Erst die WSchVO 1995 erforderte entweder dickere Trittschalldämmungen über 5 cm oder eine zusätzlich Dämmschicht unter der Kellerdecke. Die U-Werte von Kellerdecken liegen in den Baualtersklassen von vor 1918 bis 1995 in einer Bandbreite von 0,35 bis 1,4 W/(m²K). Als Zielwert wurde 0,2 W/(m²K) formuliert.

### 4.1.2 Einblasdämmtechnik für Kellerdecken

Die haustechnischen Standards führten nach 1945 zum Einbau einer Vielzahl von Rohrleitungen unter den Kellerdecken, die trotz solcher Unebenheiten mit der Einblasdämmung sicher zu dämmen sind, da diese vom Dämmstoff dicht umhüllt werden. Auch Kappendekken benötigen eine besondere abgehängte Konstruktion für die Dämmung. Durch diese Deckenabhängung entstehen besondere Kosten. Bei unebenen Decken mit vielen Rohren gibt es 2 Wege der Kellerdeckendämmung: 1. Abhängung aus hochdämmenden Dämmplatten wie extrudiertem Polystyrol, Resolharzschaum, Polyurethan mit Wärmeleitfähigkeit 0,021-0,03 W//(mK). In diesem Verfahren werden Dämmplatten auf Latten oder dicken Dämmstoffstreifen in 15-20 cm Abstand von der Decke befestigt und der entstehende Hohlraum mit Einblasdämmstoffen ausgeblasen. So liegen auch die Heizungsrohre im gedämmten Raum. Über die Art ihrer Befestigung entscheidet der ausführende Betrieb. 2. Zur Kosteneinsparung kann alternativ auch eine reißfeste Folie (0,3 mm) oder eine 5 mm dünne Hartfaserplatte auf einem anzubringenden Lattenrost verlegt werden. In beiden Fällen werden in den entstehenden Hohlraum Dämmstoffflocken eingeblasen. Es entsteht eine homogene Dämmschicht, die sich auch an Unebenheiten anpasst. Die vorhandene Dämmung der Rohre kann erhalten bleiben. Unter der Decke befindliche größere Einbauten, die viel Höhe beanspruchen, lassen sich mit Kästen oder sonstigen Lösungen verkleiden. Im Bereich der Kellerfenster wird die Höhe der Abhängung und der Dämmdicke der jeweiligen Sturzhöhe angepasst. Die Rohdichte des eingeblasenen Dämmstoffs ist in seiner Zulassung geregelt. Die Arbeiten nehmen für ein Einfamilienhaus etwa zwei Tage in Anspruch

Abb. 49: 1850 ff Kappendecke mit Luftraum zwischen Lagerhölzern

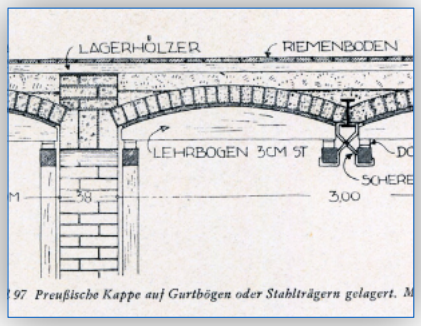



Abb. 50: 1920-1970 Luftraum zwischen den Lagerhölzern

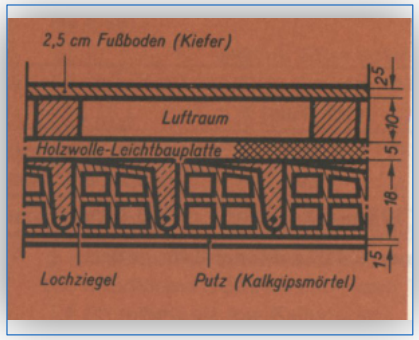
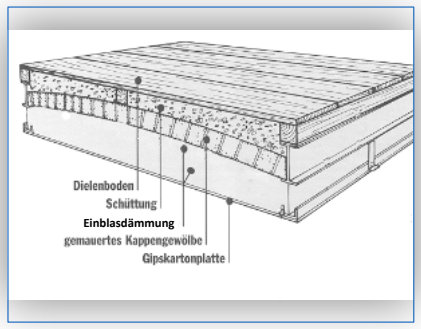



Abb. 51: 1890 ff. Kappedecke, bereits mit Einblasdämmung von unten gedämmt



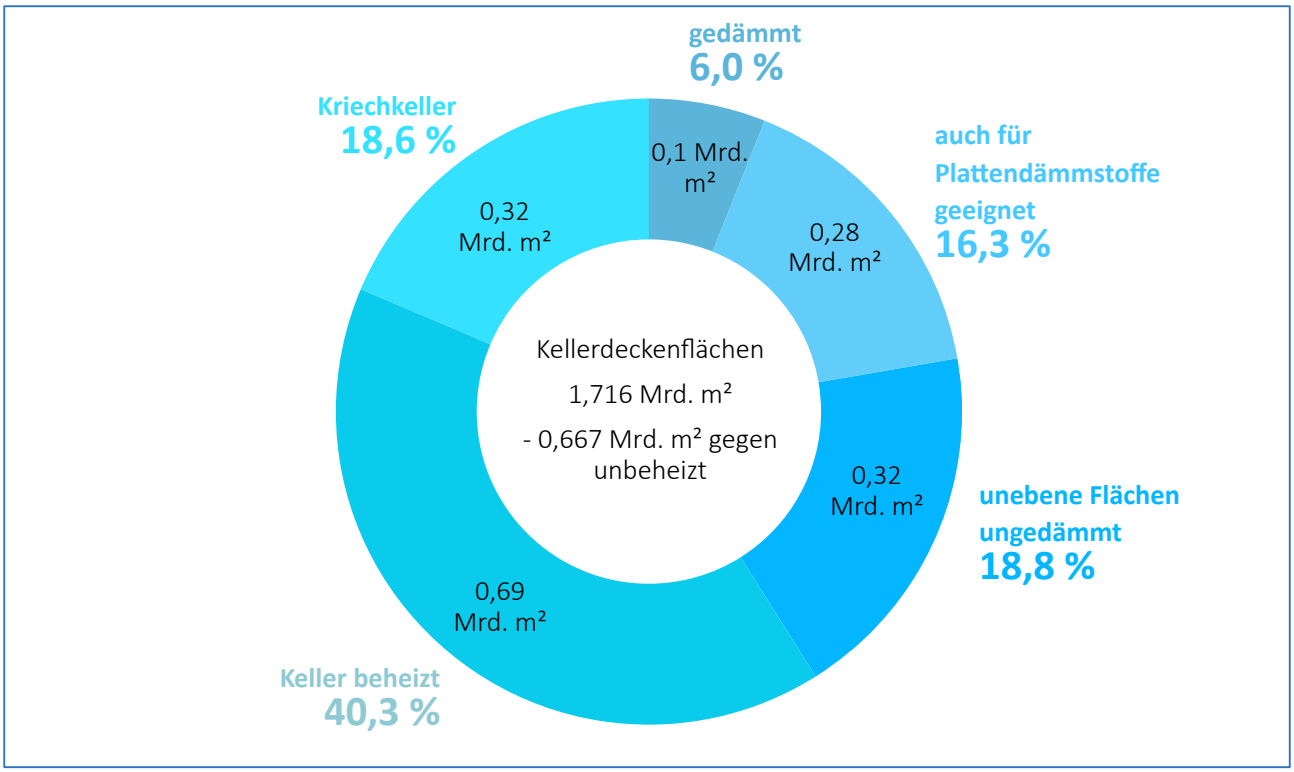



*Abb. 52: Verteilung der Kelllerdeckenflächen nach Nutzung und Dämmstatus im Wohngebäudebestand*

und beeinträchtigen die Wohnnutzung kaum. Der ausführende Betrieb sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.

### 4.1.3 Luftschichten im Fußbodenaufbau

Ältere Kellerdecken mit Baujahr bis in die 1950ziger Jahre können als Holzbalken, Stahlstein- oder Stahlbetondecken Dielenaufbauten enthalten, zwischen deren Lagerhölzern mit Hohlräumen von rund 8-10 cm Höhe (8/8 oder 10/10 cm) zwei für eine Einblasdämmung nutzbare Ausführungsarten vorfindbar sind:

- Sand- oder Schlackenfüllung in Höhe der Lagerhölzer oder mit begrenzter Füllung und Luftraum
- Leere Zwischenräume.

Je nach Ausführungsart ist es machbar, einen Teil der Dämmdicke von der Unterseite der Kellerdecke auf eine Einblasdämmung unter der Dielung zu verlagern. Dies kann auch in zeitlichem Abstand geschehen, weshalb eine Einblasdämmung in einen vorhandenen Fußbodenaufbau auch dann förderfähig sein sollte, wenn der geforderte U-Wert der Förderung noch nicht erreicht wird – es ist eine vorbereitende Maßnahme. Die Verfüllung dieser Luftschichten dient auch der Verhinderung von Kaltlufteinströmung aus dem Randbereichen des dort unverputzten Mauerwerks. Sie verbessert den Schallschutz (dröhnen) und erzeugt einen fußwärmeren Boden.

*Abb. 53: Unebene Kellerdeckenuntersicht*

*Abb. 54: Rohre verschwinden unter der Abhängung (rote Kreise = abgeklebte Einblasöffnungen für den Dämmstoff)*

## 4.1.4 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Für die Studie wurde wegen der begrenzten lichten Höhe in Kellerrräumen ein Ziel-U-Wert von 0,2 W/(m²K) festgelegt, der bei Dämmstoffen der WLS um 0,035 mit 15 cm Dämmdicke erreicht wird. Bei 2,40 m lichter Kellerhöhe verbleiben inkl. Deckschicht noch 2,24 m lichte Kopfhöhe. Neben den oben genannten Eingrenzungen der für eine Einblasdämmung verfügbaren Kellerdeckenfläche, reduziert sich die Potenzialfläche durch einen Abschlag von 40 % für ebene Kellerdeckenflächen ohne Rohrleitungen, insbesondere in den jüngeren Baualtersklassen, die kostengünstiger mit Dämmplatten ohne Deckschicht ausrüstbar sind.

Bei einem Ziel-U-Wert von 0,2 W/(m²K) beträgt das nationale Einsparvolumen über alle 2,2 Wohngebäude 15,8 TWh/a oder 3,5 % des Heizenergieverbrauches.

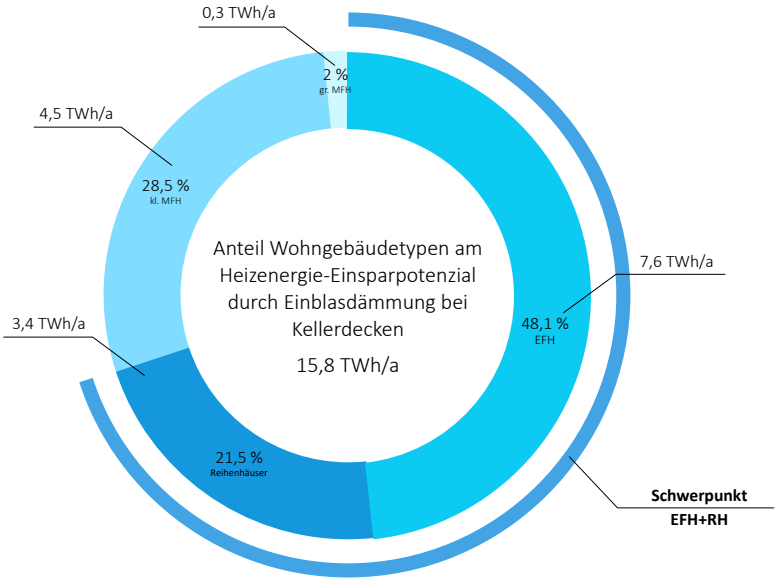
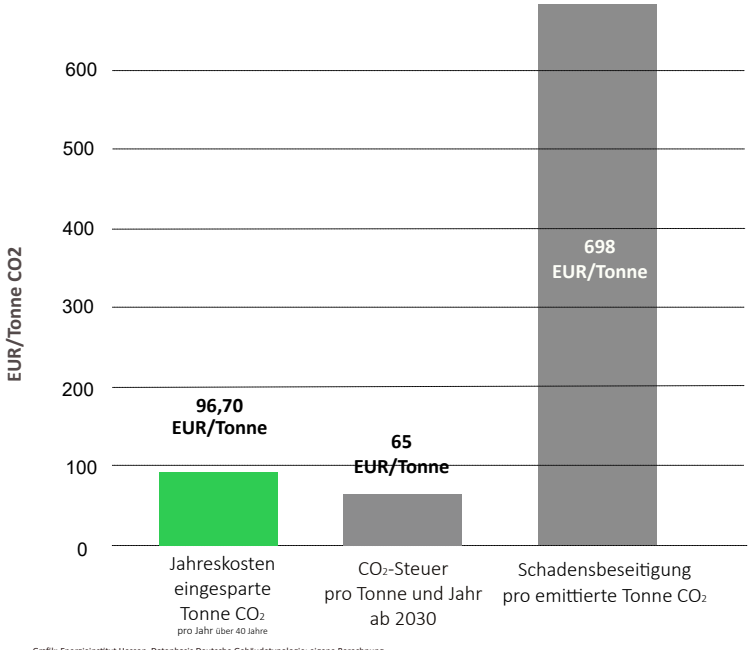



*Abb. 55: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung unter Kellerdecken im Wohngebäudebestand in TWh/a*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

Das $CO_2$-Einsparpotenzial liegt bei 5,0 Mio. Jahrestonnen entsprechend 2, 5 % der $CO_2$-Emissionen des Gebäudesektors inkl. Nichtwohnbauten. Die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. umfassen 97 EUR und damit nur ein Fünftel der Schadensbeseitigungskosten einer emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv. Von 698 EUR/Tonne. Sie übersteigen jedoch die zukünftig zu erwartende steuerliche Belastung der Tonne $CO_2$-Äquiv. Von 65 EUR/Tonne ab 2030, dies geht auf die den oben genannten Reduktionsfaktor Fx und die unebene Kellerdeckenuntersicht mit den Folgekosten der Abhängung zurück.

*Abb. 56: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ durch Einblasdämmung unter Kellerdecken im Vergleich*



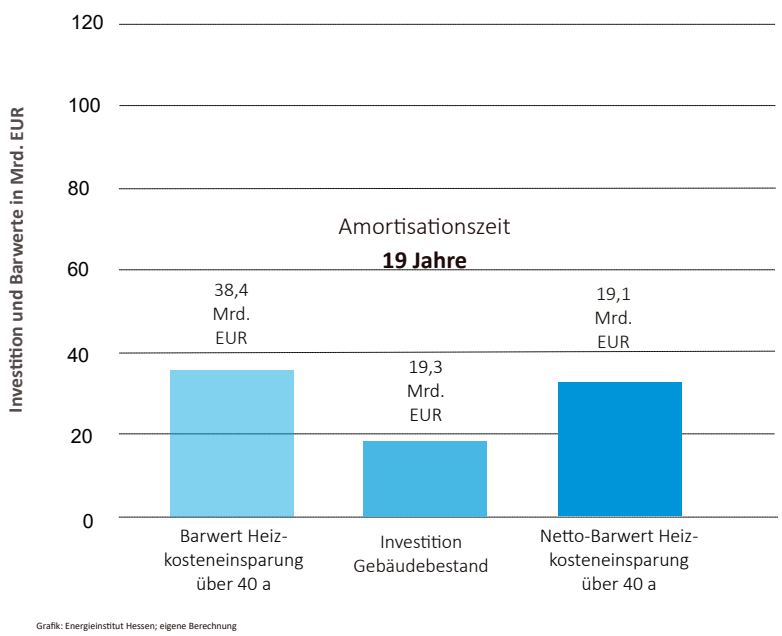
### 4.1.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Herstellung der Abhängung, Deckschicht plus Einblasdämmung mit dem Ziel-U-Wert von 0,2 W/(m²K) entstehen Kosten von 60 EUR pro m². Die Wärmeverluste von Kellerdecken sind gegen das Erdreich gerichtet und werden wegen dessen höherer Temperatur in der Berechnung mit dem Faktor 0,6 abgemindert. Entsprechend der dadurch geringeren Heizenergieeinsparung zeitigt der Rückfluss für die 20,4 Mrd. EUR Investitionssumme über alle 3,4 Mio. Gebäude im Mittel der Baualtersklassen 19 Jahre. Der Barwert der Heizkosteneinsparung beträgt 39,1 Mrd. EUR, der Nettobarwert 18,7 Mrd. EUR.

Die Einblasdämmung wird bei der Kellerdeckendämmung mit den Kosten für die Herstellung der erforderlichen Dämmraumbegrenzung belastet. Durch die über 40 Jahre schrittweise abgesenkten U-Werte von den Wärmeschutzverordnungen bis zum GEG ergeben sich ab der Baualtersklasse 1984 negative Barwerte bei der Kellerdeckendämmung. Diese Baualtersklassen wurden deshalb aus der Potenzialerhebung ausgenommen. Ab einer staatlichen Förderung von 40 % erweiterte sich das wirtschaftliche Potenzial der Kellerdämmung auf diese Baualtersklassen.

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 139 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,31 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

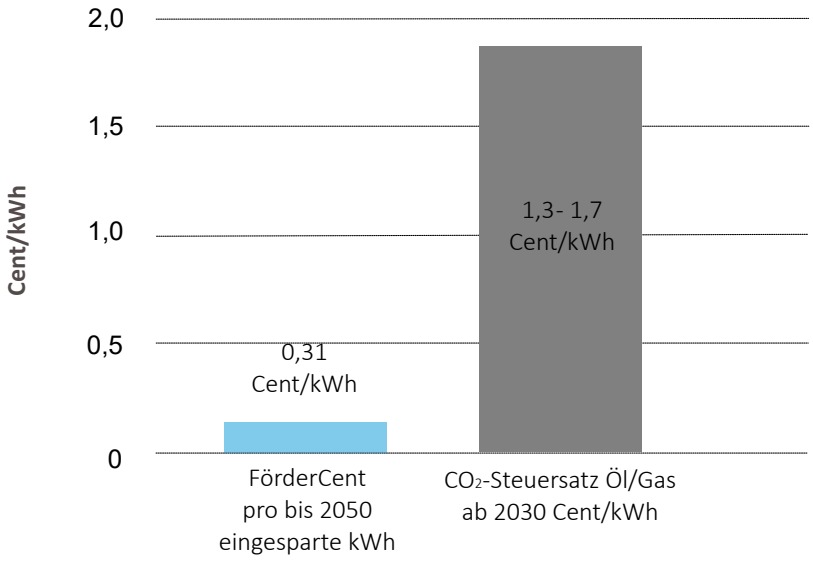
Ab 2030 stehen der Förderung höhere staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.




Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Abb. 57: Kellerdecken-Einblasdämmung - Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung in Mrd. EUR*

*Abb. 58: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich zur $CO_2$-Steuer ab 2022 auf Heizöl und Erdgas*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 12: Mengengerüst Einblasdämmung unter unebenen Kellerdeckenflächen im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Unterkellerung | Mio. Stck. | 17,4 |
| davon voll- und teilbeheizt | Mio. Stck. | 7,3 |
| Gebäude mit ungedämmter Kellerdecke | Mio Stck. | 6,6 |
| Fläche Kellerdecken gesamt | Mrd. m² | 1,7 |
| unbeheizter Keller Deckenfläche | Mio. m² | 668 |
| unbeheizte Keller, Deckenanteil für Einblasdämmung | Mio m² | 322 |
| Anteil unterkellerter Flächen an allen Kellerdeckenflächen | % | 81,4 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 | % | 0,37 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,35- 1,4 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,2 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 15,8 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 5 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | EUR/Tonne $CO_2$ | 97 |
| Kosten der Massnahme | EUR/m² | 60 |
| Investitionskosten | Mrd. EUR | 19,3 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 38,4 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 19,1 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 19 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 3,5 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 2,5 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 67: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung unter unebenen Kellerdecken im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Kellerdeckendämmung im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

322 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

3,4 Mio

Heizenergieverluste KD ungedämmt

19 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

16 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

5 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

97 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

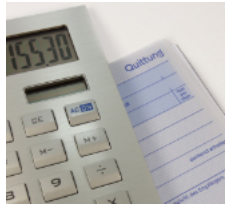
19,3 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

38,4 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

20 Jahre



Maßnahmekosten

60 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

## 4.2 Dämmung von Kriechkellern

Kriechkeller finden in der technischen Energiespardebatte kaum Beachtung, obwohl ihre Fläche unter deutschen Wohngebäuden rund 318 Mio. m² beträgt. Rund 19 % der Flächen des unteren Gebäudeabschlusses der 18,2 Mio. Wohngebäude sind nicht unterkellert. Hier wurden in der Regel Kriechkeller ausgebildet, deren Luftraum von Erdreich bis Erdgeschossdecke zwischen 0,30 und 1,0 Meter Höhe besitzen kann.

Die Ausgangs-U-Werte der Decken entsprechen denen von Kellerdecken und liegen je nach Baualtersklasse zwischen 0,3 und 1,2 W/(m²K). Nur 17,1 % aller Kriechkeller sind bereits gedämmt, es ergibt sich eine noch zu dämmende Fläche von 210 Mio. m².

*Abb 60: In Holland und England übliche PU-Sprühdämmung ist in feuchten Milieu geeignet*

### 4.2.1 Dämmtechnik für den Kriechkeller

Der vernachlässigte Wärmeschutz von Kriechkellern beschränkt sich wie bei der Kellerdecke älterer Baualtersklassen auf die Trittschalldämmung. Nur bei vorgefertigten Leichtbetondeckenplatten tritt die dämmtechnische Qualität des Leichtbetons hinzu. In Deutschland bestehen die Erdgeschoßdecken zum Kriechkeller wegen der Feuchtebelastung in der Regel aus massiven Baustoffen. Die Verdunstung der Erdreichfeuchte erzeugt eine höhere Luftfeuchte, zu deren Begrenzung meist, aber nicht üblicherweise, Lüftungsöffnungen in die Wände eingebaut wurden. Im Winter verläuft die Lufttemperatur im Kriechkeller etwa 4 ° C über der Außenluft, an Frosttagen sinkt sie kaum unter die 0 °C. Die Luftfeuchten sind durch die stete Verdunstung aus dem Erdreich hoch und können nur durch Belüftung abgeführt werden, dabei herrschen z.Z. noch Unklarheiten über die Wirkung des Feuchteeintrags bei hölzernen Kellerdecken. [20]
Die Dämmung eines Kriechkellers erfordert eine Folie auf dem Erdreich, um die von dort ausgehende Verdunstung zu begrenzen. Wo sie fehlt, ist sie vor der Dämmung auszulegen. Es existieren drei Dämmverfahren. 1. Bei sehr niedrigen Kriechkellern unter 30 cm wird der gesamte Raum mit feuchteunempfindlichen Dämmgranulat ausgeblasen. 2. Ab 50 cm Einbauhöhe ist das Polyurethan-Sprühschaumverfahren anwendbar. Dieses Verfahren ist in Holland und England sehr häufig in Anwendung. Bei niedrigen Kellern kann es auch über kleine Roboterwagen von außen gesteuert werden. Der Polyurethandämmstoff verklebt unter der Decke und ist bei seiner chemischen Einstellung in diesem Verfahren feuchteunempfindlich (Schäumhaut). 3. Bei größeren Kriechkellerhöhen ist der Einbau einer Abhängung in Verbund mit einer den Feuchteeintrag in die Einblasdämmung begrenzenden diffusionshemmenden Folie möglich. Geeignet sind hier nur hydrophobe Dämmstoffe.

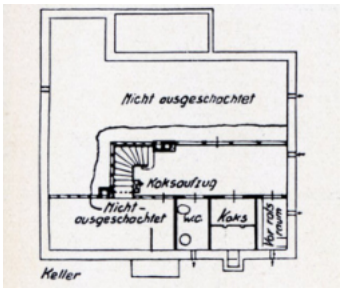



*Abb. 61: Kellergrundriss von 1934*

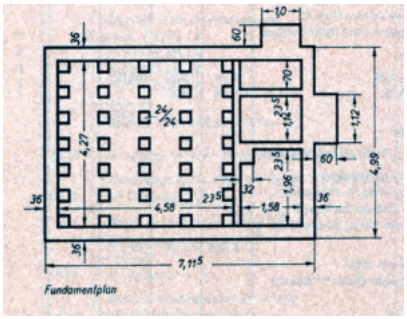



*Abb. 62: Fundamentplan für einen Kriechkeller 1968*

## 4.2.2 Heizenergie und $CO_2$-Einsparung

### Heizenergieeinsparung

Bei 17-18 cm Dämmdicke und einem Ziel-U-Wert von 0,15 W/(m²K) hat das Heizenergieeinsparpotenzial durch die Dämmung von Kriechkellern eine Größenordnung von 16 TWh pro Jahr, entsprechend 3,5 Prozent des Raumwärmeverbrauches aller Wohngebäude. Da es bei diesem Bauteil keine Einsatzbeschränkungen für die Einblas- und Sprühdämmung gibt, eine höhere Dämmdicke eingebaut werden kann und der U-Wert-Abminderungsfaktor Fx mit 0,9 statt 0,6 ebenfalls das Ergebnis bestimmt, liegt das Einsparpotenzial trotz geringerer Fläche gleichauf mit der Kellerdeckendämmung von unten, die für die Baualtersklassen ab 1984 aus wirtschaftlichen Gründen nicht in die Potenzialberechnung aufgenommen wurde.

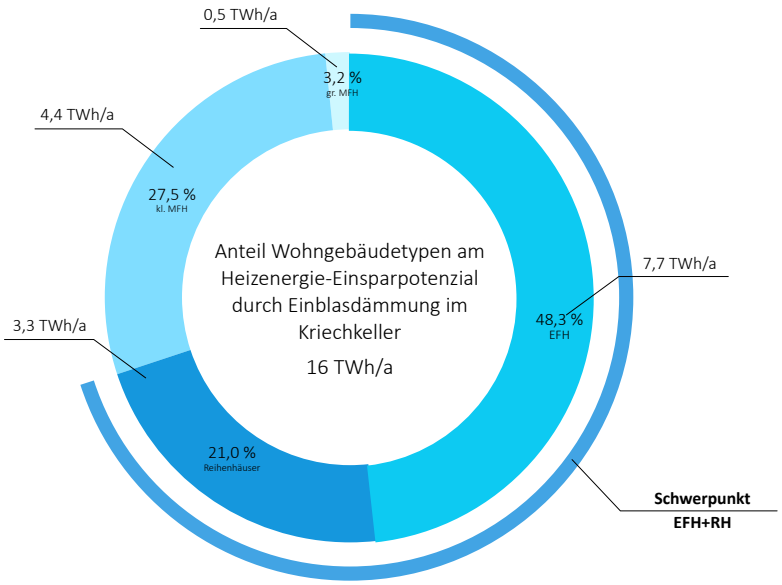
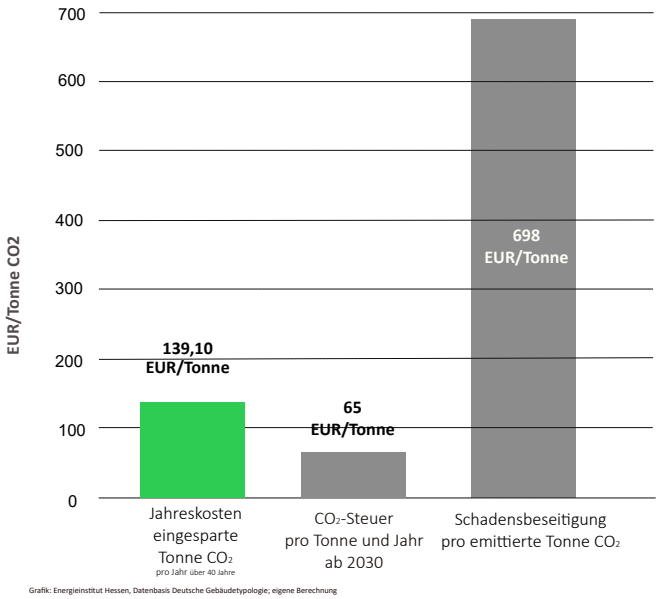



*Abb. 63: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent*

### $CO_2$-Einsparung

Die $CO_2$-Einsparung hat mit 5 Mio. Tonnen pro Jahr einen Anteil von 2,5 % an allen $CO_2$-Emissionen des Gebäudesektors inkl. Nichtwohngebäuden, die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. betragen 139 EUR und sind damit um den Faktor 5 geringer als die langfristigen Schadenskosten eines emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv. (698 EUR/Tonne).

*Abb. 64: Einblasdämmung bei Kriechkellern - Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich im Wohngebäudebestand*

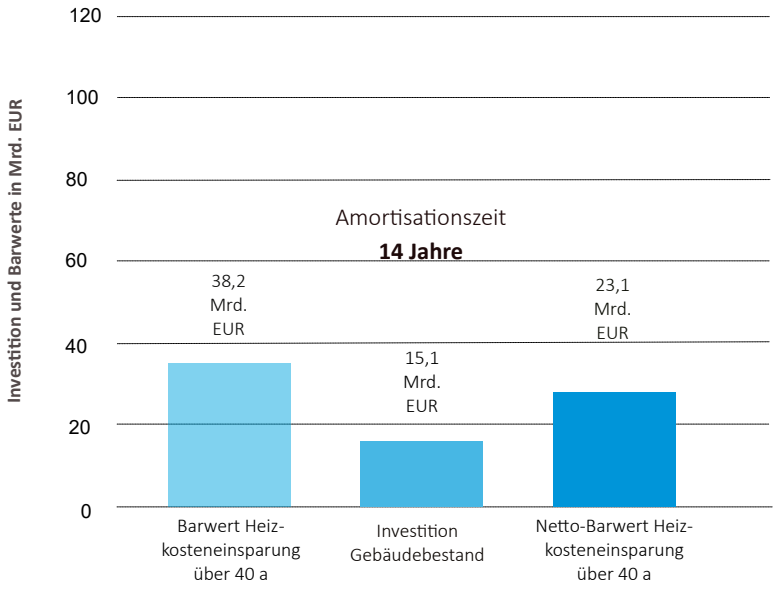


### 4.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Dämmung von 210 Mio. m² Kriechkellerfläche erfordert ein Investitionsvolumen von 15,1 Mrd. EUR. Der Barwert der eingesparten Heizkosten über 40 Jahre übersteigt mit 28,3 Mrd. EUR die Investition, die Massnahme zahlt sich fast zweifach zurück. Die dynamische Amortisationszeitberechnung ergibt 14 Jahre bis zum Kapitalrückfluss.

In den Baualtersklassen 1978-1995 mit leicht verbesserten Ausgangs-U-Werten von 0,3-0,45 W/(m²K) kann eine Wirtschaftlichkeit nur mit einem Aufwand unter 50 EUR pro m² erzielt werden. Die Kosten wurden mit 72 EUR/m² angesetzt.

Die Kosten sind vor allem durch die besondere Situation in Kriechkellern bestimmt und führen zu einer geringeren Feuchtebelastung der Kellerdecke, ein Zusatznutzen, der ebenfalls für die Dämmung spricht.



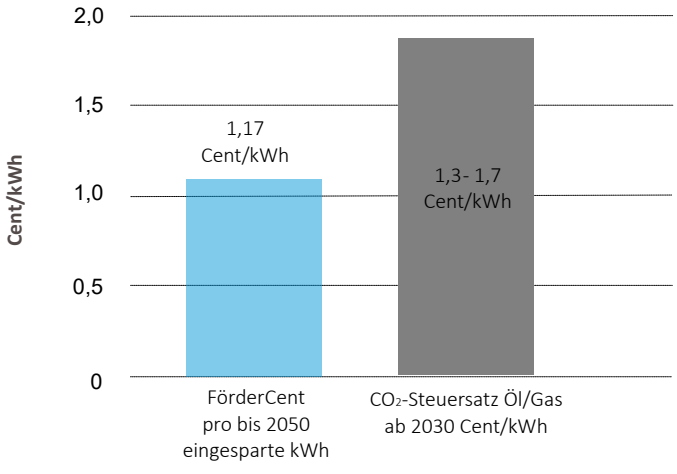

Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Abb. 65: Investition und Barwert der Heizkosteneinsparung in Mrd. EUR - Dämmung von Kriechkellern*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 101 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 1,17 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Dämmung des Kriechkellers ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung höhere staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 66: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich - Dämmung von Kriechkellern*



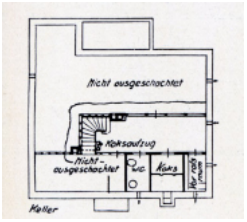

Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 13: Mengengerüst - Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Kriechkeller | Mio. Stck. | 3,4 |
| davon Gebäude Kriechkeller ungedämmt | Mio Stck. | 2,82 |
| Fläche Kellerdecken gesamt | Mrd. m² | 1,7 |
| Fläche Kriechkeller gesamt | Mio. m² | 319 |
| ungedämmte Kriechkellerflächen | Mio. m² | 210,3 |
| Anteil Kriechkeller an allen Kellerdeckenflächen | % | 18,6 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 | % | 0,23 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,35- 1,2 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,15 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 16 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 5 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | EUR/Tonne $CO_2$ | 139 |
| Kosten der Massnahme | EUR/m² | 72 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 15,1 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 38,2 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 23,1 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 14 |
| Anteil Heizenergie-Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 3,5 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 2,5 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

*Abb.67: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Kriechkeller im Wohngebäudebestand*

# Potenzial der Kriechkellerdämmung im Wohngebäudebestand




Zu dämmende Fläche m²

210 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

2,2 Mio

Heizenergieverluste KK ungedämmt

18,4 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

15,9 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

5 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

139 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

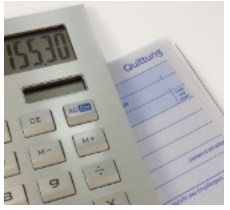
15,1 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

38,2 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

14 Jahre



Maßnahmekosten

72 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Einblasdämmung Steildächer und Dachböden

Die Einblasdämmung auf Dachböden, Kehlbalken in Abseiten und zwischen Dachschrägen kann den Heizenergieverbrauch deutscher Wohngebäude um 55 TWh/Jahr oder 12 % reduzieren. Wo die Dämmung offen aufgeblasen werden kann, ist sie unschlagbar kostengünstig.

# 5 Heizenergieeinsparung durch Einblasdämmung in Steildächer

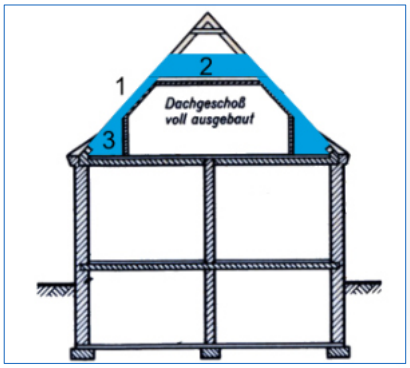
Von den bis 2009 errichteten 18,2 Mio. Wohngebäuden besitzen 91,3 % oder 16,6 Mio. Gebäude ein Steildach und 8,7 % oder 1,6 Mio. Gebäude ein Flachdach.

- Mit 38 % sind mehr als ein Drittel der Steildächer nicht ausgebaut. Solche unbeheizten Dachböden lassen sich mit oder ohne Herstellung einer Begehbarkeit mit der Einblasdämmtechnik verbessern. Die Dämmung liegt direkt auf der wärmetauschenden Ebene.
- Fast zwei Drittel der Steildächer werden voll- oder teilbeheizt (62 %). Hiervon sind 39 % noch ungedämmt und können mit dem Thermo-Bag-Verfahren optimiert werden.

Die Einblasdämmung ist ein neuer Modernisierungsweg für Dächer. Mit ihr werden die kostengünstig erschließbaren Einsparpotenziale ausgeschöpft und die Voraussetzung für eine spätere Aufsparrendämmung geschaffen. Bei den bisherigen Verfahren wird die Dämmung ausschließlich zwischen oder auf den Sparren eingebaut. Da auf diese Weise auch Abseitenräume oder Spitzböden im Sparrenbereich überdämmt werden, entstehen große gedämmte Flächen über unbeheizten Räumen. Die Einblasdämmung liegt hingegen direkt an den Bauteilgrenzen zwischen warmen und kalten Hausbereichen. Dieses Vorgehen gliedert die Dachfläche in 3 Teilflächen

- Dachschräge (1)
- Kehlbalkenlage (2)
- Dreieck des Abseitenraumes (3)

*Abb. 68: 3 Einsatzbereiche der Einblasdämmung im Steildach*




## 5.1 Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag-Verfahren

Von den 562,8 Mio. m² Dachschrägenfläche liegen 348,7 Mrd. m² im beheizten Bereich von Steildächern. Davon sind 61 % bereits mehr oder weniger gedämmt, so dass eine ungedämmte Sparrenfläche von 212,8 Mio. m² existiert. Davon wurden 175,9 Mio. m² in den Baualtersklassen vor 1918 bis 1995 (A-H) für die Berechnung des Einsparpotenzials herangezogen. Die Ausgangs-U-Werte liegen zwischen 0,3 und 1,39 W/(m²K), die mit dem Thermo-Bag-Verfahren erreichbaren U-Werte zwischen 0,30 und 0,24 W/(m²K).

Ab 1995 verfügen die Dächer über keine hinreichende Luftraumhöhe im Sparren mehr, um das Verfahren einzusetzen und bleiben deshalb in der Studie unberücksichtigt.

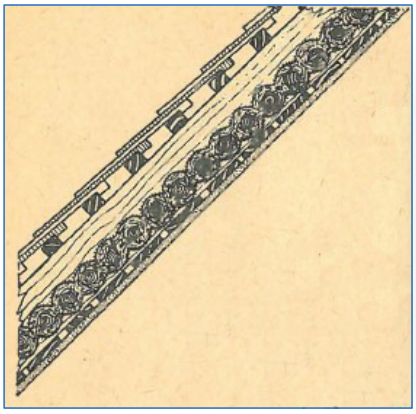


*Abb. 69: 1890 ff. Lehmstakung lässt Luft für Einblasdämmung*

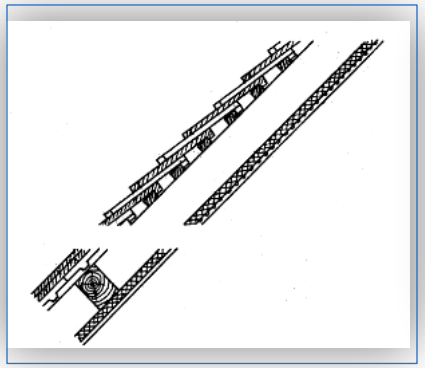


*Abb. 70: 1920 ff Torfplatten unter den Sparren*

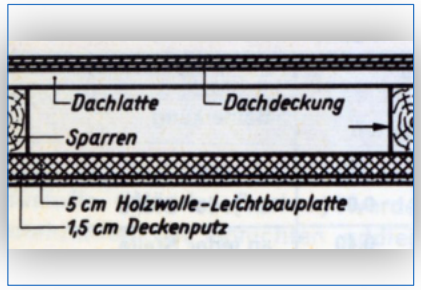



*Abb. 71: 1920 ff. Klassiker Holzwolleichtbauplatte mit 10 - 14 cm Luftschicht*

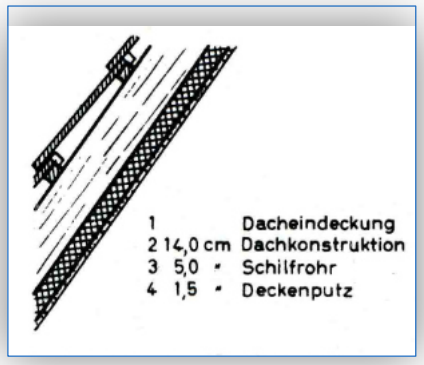



*Abb. 72: 1963 Schilfrohr als Dämmung und Putzträger, große Luftschicht*

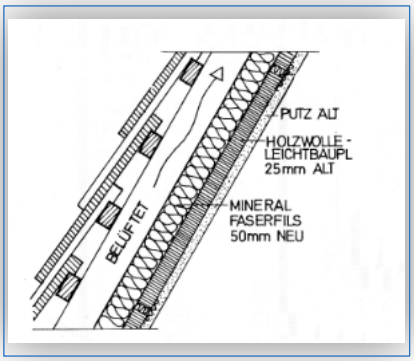



*Abb. 73: 1975 zaghaft gedämmt, 2022 noch Luft für die Einblasdämmung*

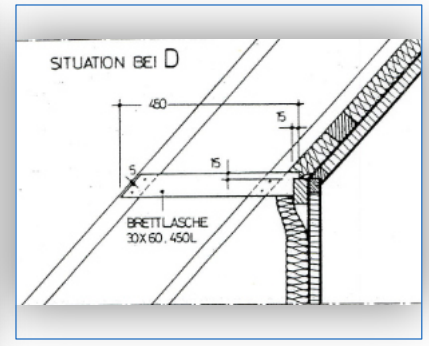



*Abb. 74: 1977 Fertighausdach mit Stegträgern, dem Passivhausstandard steht nichts im Wege*

Zwischen den Sparren ist zwar nur eine begrenzte Dämmdicke möglich, die Füllung dieser Ebene stellt aber eine unverzichtbare Vorbereitung für eine spätere Aufsparrendämmung dar. Mit dem Einblasverfahren wird auf der Kehlbalkendecke und im Abseitenraum die optimale Dämmdicke des netzdienlichen Passivhausstandards möglich.

### 5.1.1 Die Technik des Thermo-Bag

Ältere Steildächer weisen einen geringen Wärmeschutz mit Lehmwickeln oder Dämmschichten von nur 2-6 cm auf. Über mehr als 70 Jahre wurde die Dämmung als Putzträgerplatte unter den Sparren angebracht und hinterließ den gesamten Sparrenzwischenraum freiliegend. Ist zwischen den Sparren eine Hohlraumhöhe von 6-12 cm vorhanden, kann dieser mit der Einblasdämmung verfüllt werden. Diese Dämmmaßnahme ist dann besonders geeignet, wenn weder die Innenbekleidung unter den Sparren noch die Dacheindeckung mittelfristig erneuert werden sollen. Sie stellt die erste schnell ausführbare Teildämmung des Daches dar und wird später von einer Auf- oder Untersparrendämmung ergänzt. Die Aufsparrendämmung benötigt ohnehin die Schließung des Sparrenzwischenraumes, um ihre Hinterströmung durch kalte Außenluft zu verhindern.
Von der OG-Decke oder dem Spitzboden her wird der Hohlraum der Dachschräge fugenfrei mit Dämmstoff gefüllt. Hierzu wird zunächst ein Thermo-Bag, bestehend aus einer Folie mit innenraumseitiger Dampfbremseigenschaft und der äußeren Qualität einer diffusionsoffenen Unterdeckbahn zwischen den Sparren heruntergelassen. Eine mittig oberhalb des Bags längs unter den Dachlatten angebrachte Latte verhindert das Hochdrücken der Ziegel beim Einblasvorgang, indem sie vom sich füllenden Thermo-Bag gegen die Dachlattung gedrückt wird. Als Dämmstoffe sind Flocken mit den WLS 0,035 bis 0,039 W/(mK) sinnvoll. Wegen der geringen Höhe des Sparrenzwischenraumes empfehlen sich Dämmstoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit um 0,035 W/(mK). Die Rohdichte des eingeblasenen Materials ist in seiner Zulassung geregelt. Die Arbeiten nehmen bei einem Einfamilienhaus etwa einen Tag in Anspruch. Die Wohnbeeinträchtigung beschränkt sich auf das Treppenhaus. Alternativ kann auch unter Nutzung eines Gerüstes oder Hubsteigers durch aufgenommene Ziegel von außen gearbeitet werden. Der ausführende Betrieb sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.

*Abb 75 - 78: Thermo-Bag zwischen den Sparren wird mit Zellulosedämmstoff gefüllt. Der Bag wird mit dem überschüssigen Material gestopft und verklebt. Nun kann auf der Kehlbalkenlage mit dem Einblasdämmverfahren fortgefahren werden.*

## 5.1.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Das Heizenergieeinsparpotenzial beträgt bei einem mit dem Thermo-Bag-Verfahren erreichbaren Ziel-U-Wert um 0,3 W/(m²K) rund 12 TWh oder 2,7 Prozent des Heizwärmeverbrauches aller Wohngebäude.

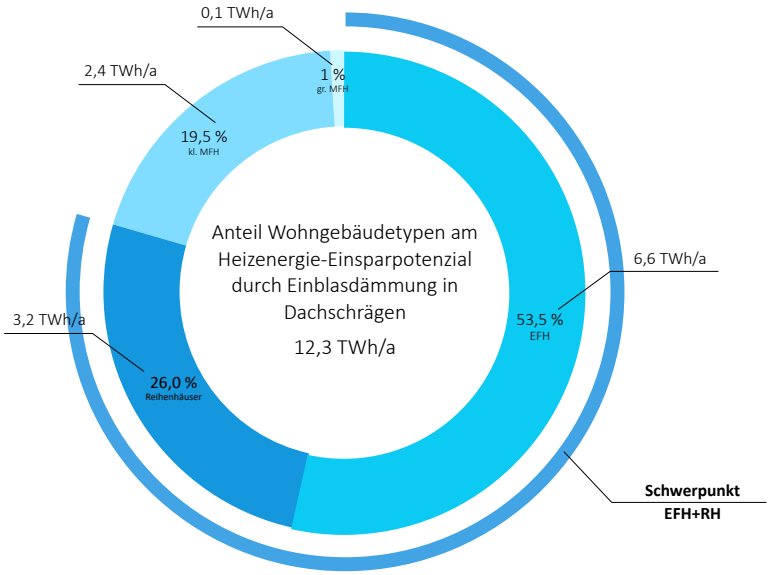
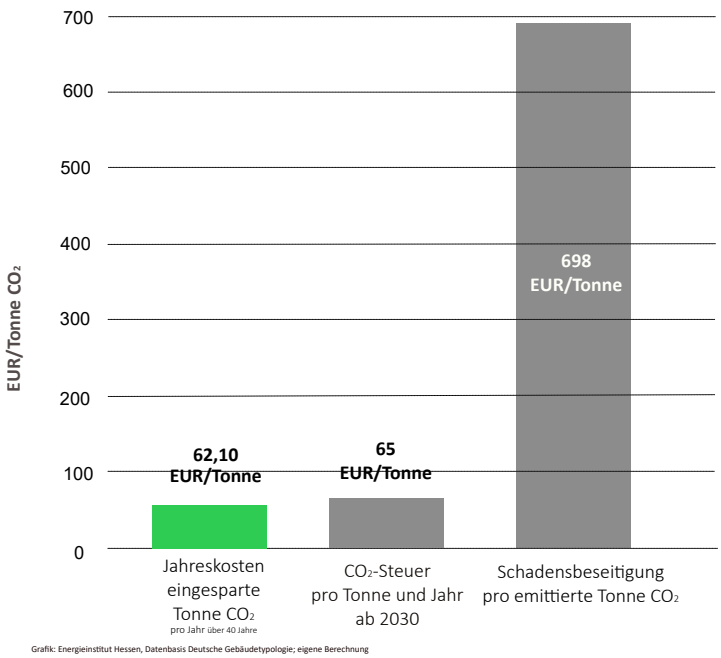



*Abb. 79: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung In Dachschrägen im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

Daraus ergibt sich eine $CO_2$-Einsparung von 3,9 Mio. Jahrestonnen oder 3,2 Prozent aller $CO_2$-Emissionen des Gebäudesektors inkl. der Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonnen $CO_2$ liegen mit 62,10 EUR noch unter der 2030 erreichten $CO_2$-Steuerbelastung von 65 EUR/Tonne auf Heizenergieträger und weit unter den 698 EUR Schadenskosten einer emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv..

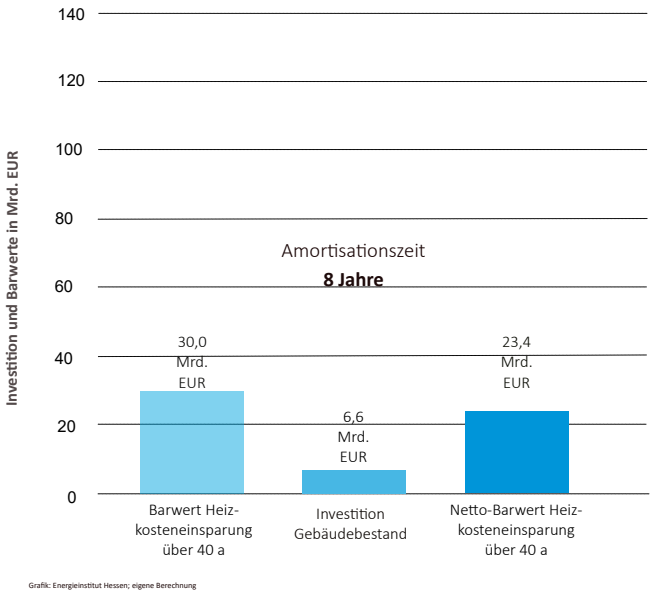
*Abb. 80: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Einblasdämmung in Dachschrägen im Wohngebäudebestand*



### 5.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Massnahmenkosten betragen 40-50 EUR pro m² Sparrenfläche. Das gesamte nationale Investitionsvolumen ergibt sich daraus zu 6,6 Mrd. EUR, dem mit 29,9 Mrd. EUR ein Barwert der eingesparten Heizkosten in 4,5-facher Höhe gegenübersteht. Der Nettobarwert beträgt 23,3 Mrd. EUR.

Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt einen Kapitalrückfluss im 8. Jahr. Damit gehört auch die Dämmung der Sparrenfelder mit dem Thermo-Bag zu den niedriginvestiven Verfahren mit hoher Wirtschaftlichkeit.



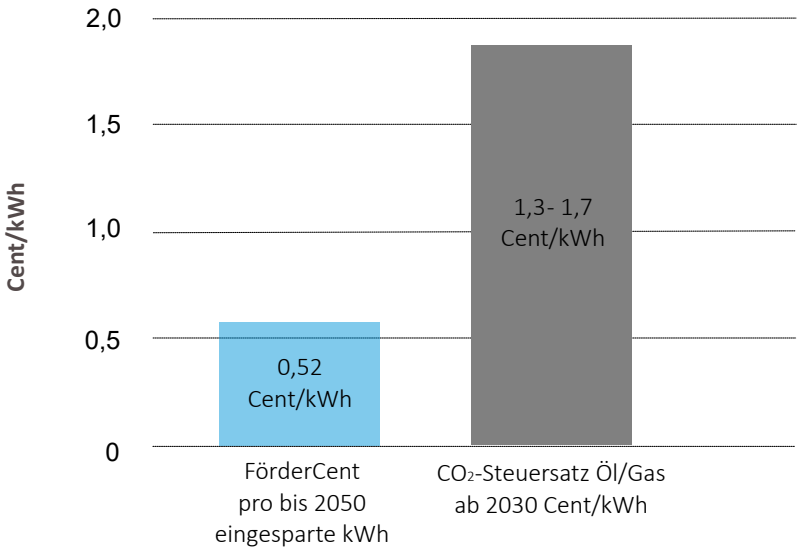

Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Abb. 81: Investitionskosten, Barwert der Heizkosteneinsparung und Amortisationszeit - Dachschrägendämmung mit dem Thermo-Bag*

Eine auf die Dachschrägendämmung auszuweitende 20-prozentige Förderung durch das GEB führt zu einem Förderaufwand pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie von 0,52 Cent. Die $CO_2$-Steuer ab 2030 auf jede verbrauchte kWh Heizenergie beträgt 1,3 bis 1,7 Cent. Das erforderliche jährliche Fördervolumen liegt etwa bei 44 Mio. EUR, bei 20 % Förderzuschuss und dem Ziel, das ausgewiesene Heizenergieeinsparpotenzial bis 2050 zu erreichen.

Der erzielbare U-Wert erreicht nicht die bisherigen Fördervoraussetzung. Hier ist eine Änderung erforderlich, denn die Dämmung des Sparrenzwischenraumes ist nicht nur ein Einstieg in den Energiesparprozess am Dach, sie ist auch Voraussetzung für eine spätere Aufsparrendämmung.

*Abb. 82: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich mit $CO_2$-Steuer - Dachschrägendämmung mit dem Thermo-Bag*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 14: Mengengerüst - Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag in Dachschrägen im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Steildach | Mio. Stck. | 16,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Dachschrägen gesamt | Mio m² | 562,5 |
| davon beheizt und Abzug Dachbodenflächen | Mio m² | 348,8 |
| davon ungedämmte Flächen Baualtersklasse bis H | Mio. m² | 175,9 |
| Anteil Dachschrägen an gesamten Dachfläche Wohnbau | % | 23 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Dach | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,3- 1,39 |
| U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbares Ziel | W/(m²K) | 0,24*) |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 12,3 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 3,9 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 62,1 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 6,6 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 44 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 29,9 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Jahre | 23,2 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 8 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 2,7 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Gebäudesektor | % | 2,0 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

*) Dämmdicke durch Sparrenzwischenraum begrenzt, Vorstufe zu ergänzender Aufsparrendämmung

Abb. 83: Übersicht- Potenzial der Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag in Dachschrägen im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung bei Dachschrägen im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

176 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

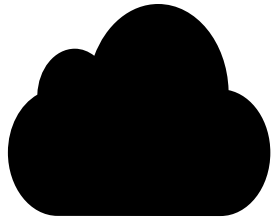
5,1 Mio

Heizenergieverluste DS ungedämmt

15,4 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

12,3 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

3,9 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

62 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

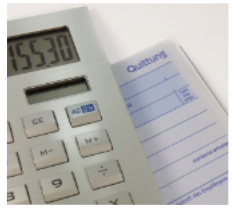
6,6 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

30 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

8 Jahre



Maßnahmekosten

44 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

## 5.2 Einblasdämmung bei Kehlbalkenlagen

Kehlbalkenlagen über dem beheizten Bereich von Steildächern bilden den „Spitzboden“. Ihre Flächengröße wird meist unterschätzt, da sie im heutigen Bauen keine große Rolle mehr spielen. Abb. 84 aus den fünfziger Jahren zeigt einige Beispiele. Auch beim Wärmeschutz wurden sie häufig übergangen. Eine nachträgliche Dämmung erfolgte meist von der Traufe bis zum First zwischen oder auf den Sparren. Daraus resultiert zum einen ein verstärkter Wärmeverlust über die beiden Giebeldreiecke der Außenwand ab Kehlbalkenlage und zum anderen eine Vergrößerung der Dämmfläche. Die geringen Höhen der Kehlbalken sind häufig nur mit Lehm- oder Sandfüllungen, auch Bauschutt zwischen den Balken oder Zangen verse-

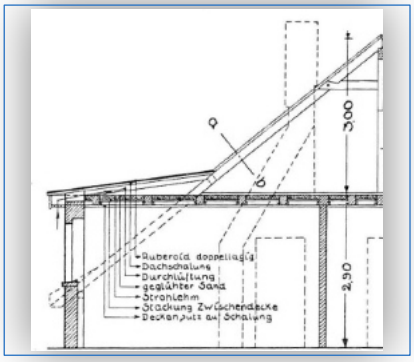



*Abb. 85: Ab 1800 Dünne Sandschüttung*

hen. Auch völlig ungedämmte Zangenkonstruktionen gehören zur Ausführung der Vergangenheit. Es gibt sowohl die Variante mit geschlossener Dielenlage als auch die mit Laufbrett zum Schornsteinfegerausstieg. Die Gesamtfläche aller Kehlbalken in Deutschland wurde aus 5 typischen Dachgeometrien ermittelt und stellt eine Untergrenze dar.

### 5.2.1.Technik der Einblasdämmung

Favorisiert werden Dämmstoffflocken, die auf den Spitzboden aufgeblasen werden. Die homogene Dämmschicht schließt dicht an die Giebelwände und die Dacheindeckung oder Unterspannbahn an. Flocken sind rieselfähigen Dämmstoffen vorzuziehen. Falls der Boden nicht oder sehr selten begangen

*Abb. 84: Beispiele für die Größe der Kehlbalkenlage - Dächer aus den 1950ziger Jahren*

wird, ist auf der neuen Dämmung keine neue begehbare Schicht erforderlich, wobei seltenere Begehungen kein Problem darstellen, der Dämmstoff kann im Anschluss wieder aufgelockert werden. Auch die Hohlräume der Kehlbalkendecke sind sowohl unter der Dielung als auch zwischen Einschub und Deckenputz zu behandeln, um eine von den Dachflächen und den Giebelmauern erfolgende Hinterlüftung zu unterbinden, die die Dämmwirkung beeinträchtigte. Die bereits vorhandenen Füllungen bilden zusammen mit der neuen Dämmung einen guten sommerlichen Hitzeschutz. Ist die Kehlbalkenlage nicht zugänglich, kann auch durch aufgenommene Dachziegel von außen gearbeitet werden. Eine Belüftungsmöglichkeit des Spitzbodenraumes ist von Vorteil (Giebelfenster, Tonröhren). Anderenfalls empfiehlt sich eine Folie unter der Dämmschicht. Führt eine Bodentreppe in den Spitzboden, ist auch deren Klappe z.B. mit Hartschaumplatten mit WLS 0,021-0,023 W/(mK) zu dämmen und rundherum mit einer Dichtung zu versehen. Die Arbeiten nehmen etwa einen Tag in Anspruch, die Maßnahme ist sehr kostengünstig.

*Abb 86: Einblasdämmung 35 cm dick auf der Kehlbalkenlage*

## 5.2.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Bei der Kehlbalkenlage sind 30 bis 40 cm Einblasdämmung möglich, ohne an Raumbeschränkungen zu stoßen. Damit liegt der erzielbare U-Wert bei 0,1 W/(m²K).

Bei diesem zukunftsfähigen Wärmeschutz beträgt das Heizenergieeinsparpotenzial 9,5 TWh pro Jahr oder 2,1 % des heutigen Heizwärmeverbrauchs aller Wohngebäude.

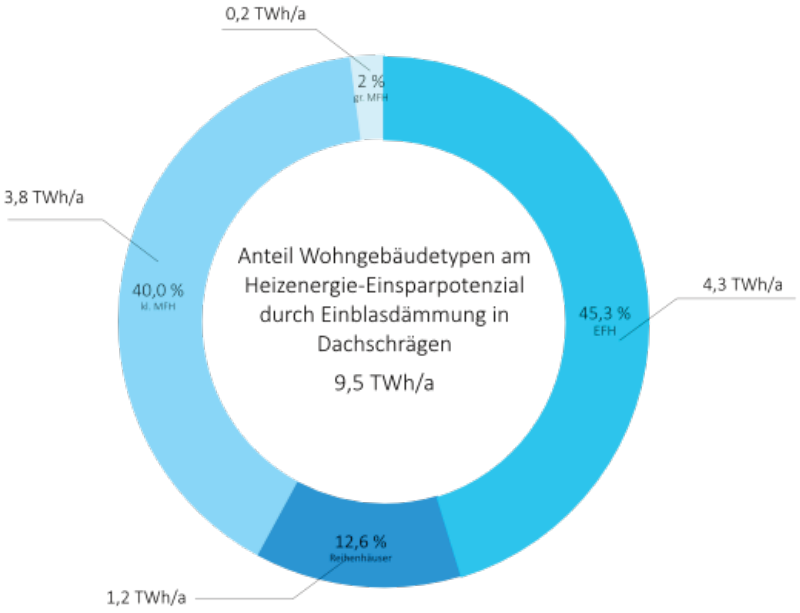
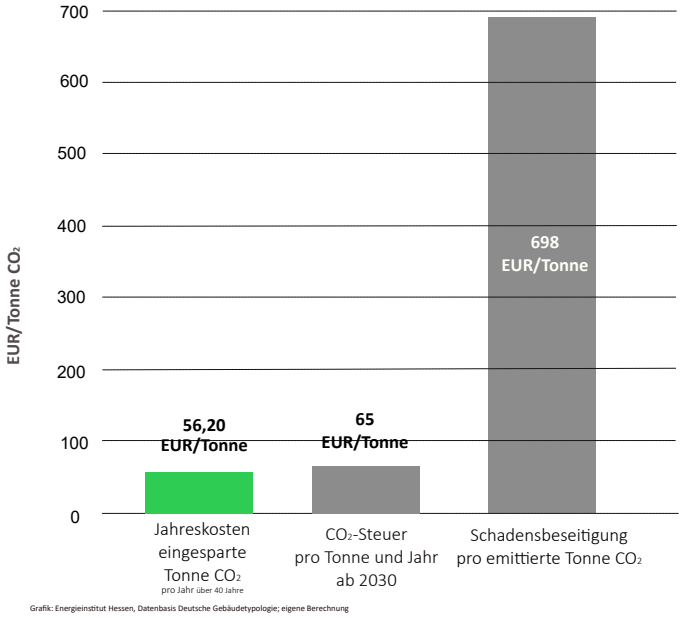



*Abb. 87: Heizenergieeinsparpotenzial nach Gebäudetypen in TWh/Jahr und Prozent - Einblasdämmung von Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

Das $CO_2$-Einsparpotenzial beträgt 3 Mio. Jahrestonnen. Mit 56,20 EUR liegen die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. unter der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung in Höhe von 65 EUR pro Tonne $CO_2$-Äquiv.. Die Dämmung von Kehlbalkenlagen in dieser Qualität senkt die $CO_2$-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 2,4 Prozent.

*Abb. 88: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Einblasdämmung Kehlbalkenlage im Wohngebäudebestand*



### 5.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei Kosten von 35 EUR pro m² Dämmung auf der Kehlbalkenlage bei 35 cm Dicke ergibt sich durch Kehlbalkendämmung ein nationales Investitionsvolumen von 4,9 Mrd. EUR. Dem steht ein um den Faktor 4,6 höherer Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 22,6 Mrd .Mio. EUR gegenüber.

Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt einen Amortisationszeitraum von 8 Jahren.

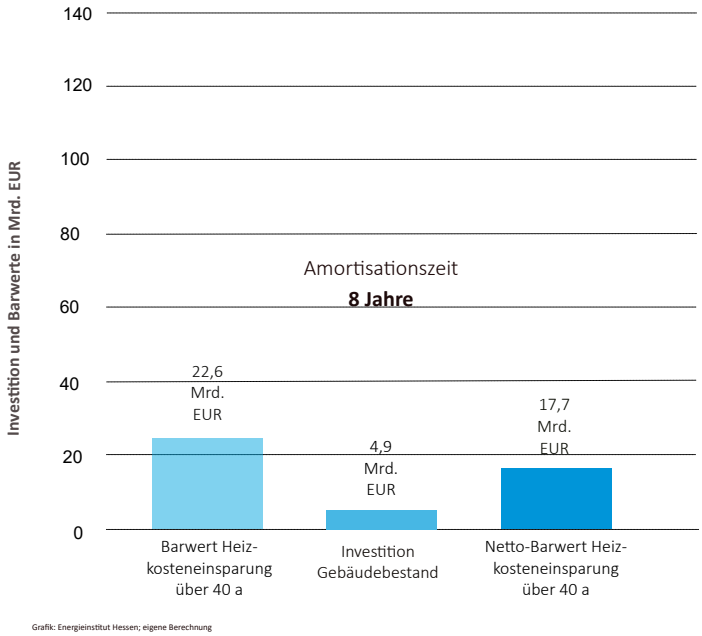



*Abb. 89: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinparung in Mrd. EUR durch Einblasdämmung auf Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 33 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,47 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung fünffache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 90: FörderCent pro eingesparte kWh bis 2050 im Vergleich - Einblasdämmung Kehlbalkenlage*

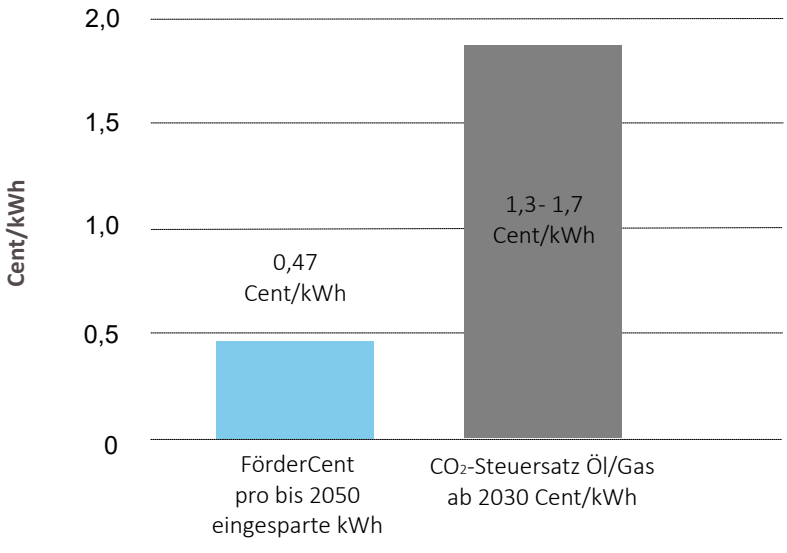


*Tabelle 15: Mengengerüst - Einblasdämmung in Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Steildach | Mio. Stck. | 16,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Kehlbalkenlage gesamt | Mio m² | 915 |
| davon noch ungedämmt | Mio. m² | 139 |
| Anteil Kehlbalken an gesamten Dachfläche Wohnbau | % | 38 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,3-1,39 |
| U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbares Ziel | W/(m²K) | 0,1 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 9,5 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 3 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 56,2 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 4,9 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 100 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 22,6 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 17,7 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 8 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 2,1 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 1,5 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 91: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung von Kehlbalkendecken im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

139 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

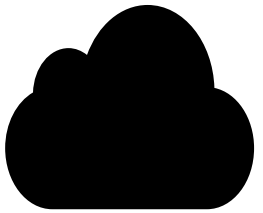
5,1 Mio

Heizenergieverluste KBD ungedämmt

10,3 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

9,5 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

3 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

56 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

4,9 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

22,6 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

9 Jahre

Maßnahmekosten

35 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

## 5.3 Einblasdämmung für Abseitenräume

Abseitenräume entstehen durch eine den nicht nutzbaren Dachteil am Sparrenfußpunkt abtrennende Stellwand. Der Wärmeschutz des Deckenstreifens entspricht der Trittschalldämmung, oft wurde insbesondere bei Stahlbetondecken auf diese verzichtet. Auch die vertikale Abstellung besteht meist aus einfachsten Konstruktionen, die nicht dem Mindestwärmeschutz entsprechen. Folgende Aufbauten sind anzutreffen: Vollziegelabmauerungen 12 oder 11,5 cm, Kalksandsteine 12/11,5 cm, Bimsplatten 6-8 cm. Gipsbauplatten 6 cm, Gipskarton- oder Heraklithplatten auf Lattengerüst usw.. Die mit 1,0 bis 2,1 W/(m²K) angenommenen U-Werte für die Abwicklung aus Abstellung und Bodenstreifen sind häufig noch schlechter. Die 12 cm dicke Vollziegelabmauerung mit Innenputz ergibt 2,7 W/(m²K), die ungedämmte Betondeckenplatte 3,6 W/(m²K). Der Fx-Wert von 0,8 berücksichtigt die durch die Dacheindeckung geschützte Lage und die günstigeren Strahlungsverhältnisse. Die Studie entwickelte die Fläche der Abseitenabwicklung aus fünf verschiedenen typischen Dachgeometrien, sie ist als konservative Abschätzung angelegt. Ein Abschlag berücksichtigt den Anteil unbeheizter Dachböden, Einbauten wie Treppenhäuser, Gauben, Schornsteine, ein Anteil Dächer mit hohen Drempeln statt Abseiten usw.. Die Daten und Einschätzungen ergeben sich aus der Erhebung der Strukturdaten zum Wohngebäudebestand des IWU und den oben genannten historischen Lehrbüchern mit ihren Dachtypologien. Die Fläche der Abseiten beträgt im Wohngebäudebestand rund 130 Mio. m², davon sind mindestens 46 Mio. m² noch ungedämmt.

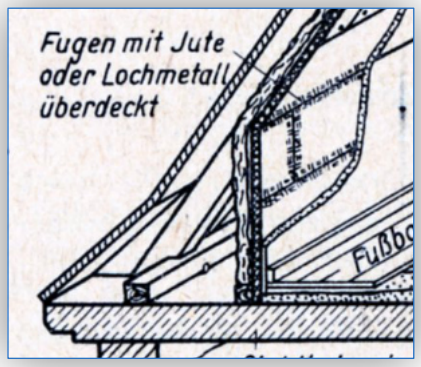



*Abb. 92: 1950 ff. Fehlende Dämmung auf der Decke der Abseite*

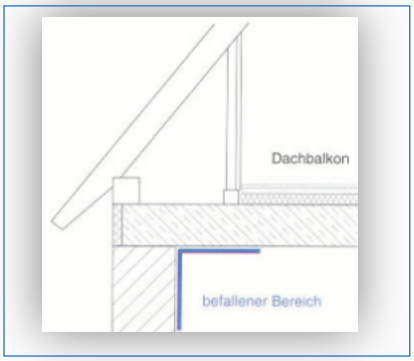



*Abb. 93: 1990 Abseitenraum Schimmel unter ungedämmter Stahlbetondecke*

*Abb. 94: 1990 Das zugehörige Originalfoto zeigt die nackte Betondecke*

*Abb. 95: Abkühlflächen im Abseitenraum - die Normalität*

### 5.3.1. Einblasdämmtechnik für Abseitenräume

Die Füllung des Abseitenraumes bis knapp unter die Unterspannbahn erfolgt entweder von innen über in der Abseitenwand befindliche kleine Öffnungsklappen oder der Abseitenraum wird von außen über aufgenommene Dachziegel gedämmt. Das eingebrachte Material endet im Abstand von 2-3 cm zur Unterspannbahn oder den Dachziegeln. Die Menge entspricht einer 35-40 cm dicken Dämmschicht auf Wand und Boden.

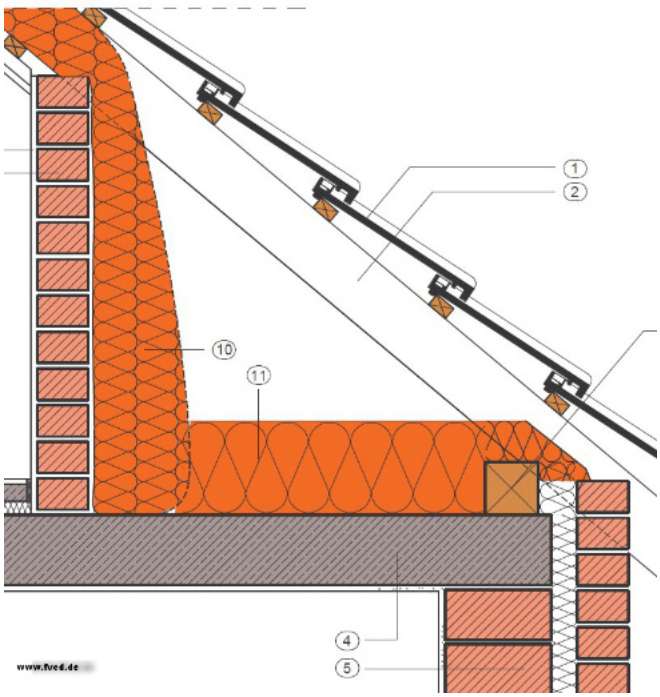
*Abb. 96: Abseitendämmung von außen durch aufgenommene Dachziegel*

#### Die Belüftungsfrage

Unterspannbahnen müssen auf ihrer Unterseite nicht belüftet werden, die Belüftungsregeln betreffen den Spalt zwischen Unterspannbahn und Dacheindeckung. Bei älteren Eindeckungen ohne Unterspannbahn kann ein kleiner Hohlraum zwischen Dämmung und Eindeckung verbleiben, jedoch ist auch eine Verfüllung bis an die Ziegel unproblematisch, da der Dämmstoff hydrophobiert ist. Die geringen Feuchtemengen, die in den sternenklaren Winternächten bei Frost-Tauwechseln als Oberflächenkondensat unter den Ziegeln entstehen, trocknen durch Fugenundichtheiten der Ziegel wieder ab. Liegt das Dämmmaterial an den Ziegel an, gelangt auch weniger feuchte Luft von innen an die Ziegel, was die anfallende Kondensatmenge reduziert. Die Dämmung füllt den gesamten Abseitenraum aus.[22]

Die Einblasdämmung der Abseiten ist unkompliziert und ermöglicht damit den Passivhausstandard mit einem U-Wert von 0,1 W/(m²K) zu geringstmöglichen Kosten.

*Abb. 97: Abseitendämmung kombiniert mit Thermo-Bag*



## 5.3.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Die Einblasdämmung der 45,6 Mio. m² Abseitenabwicklung mit 35-40 cm Dämmdicke erschließt ein Einsparpotenzial von 5,2 TWh pro Jahr, 1,1 % des Raumwärmeverbrauchs der Wohngebäude entsprechend.

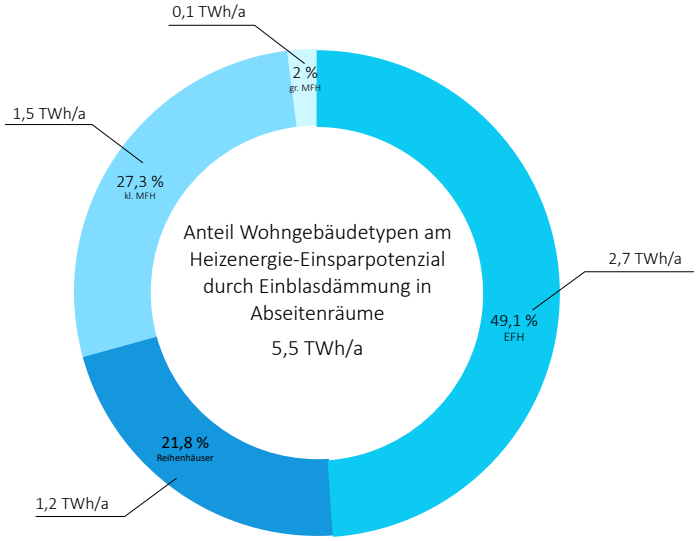
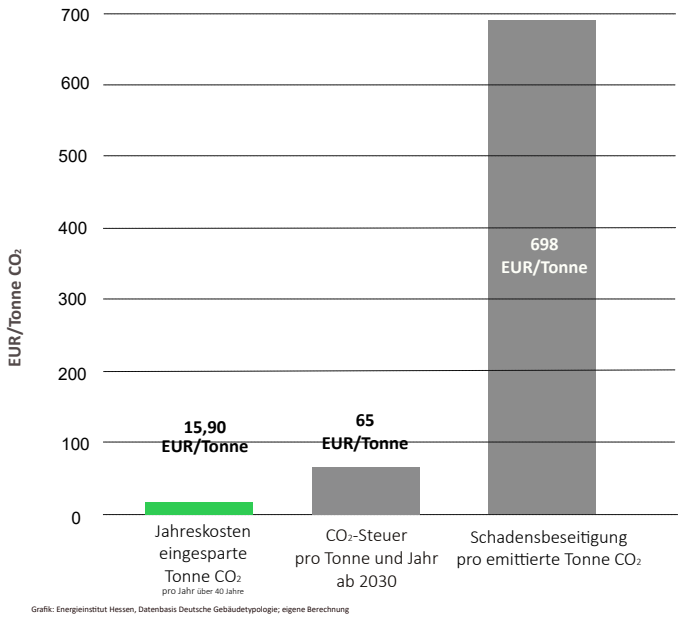



*Abb. 98: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Abseitenräume im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

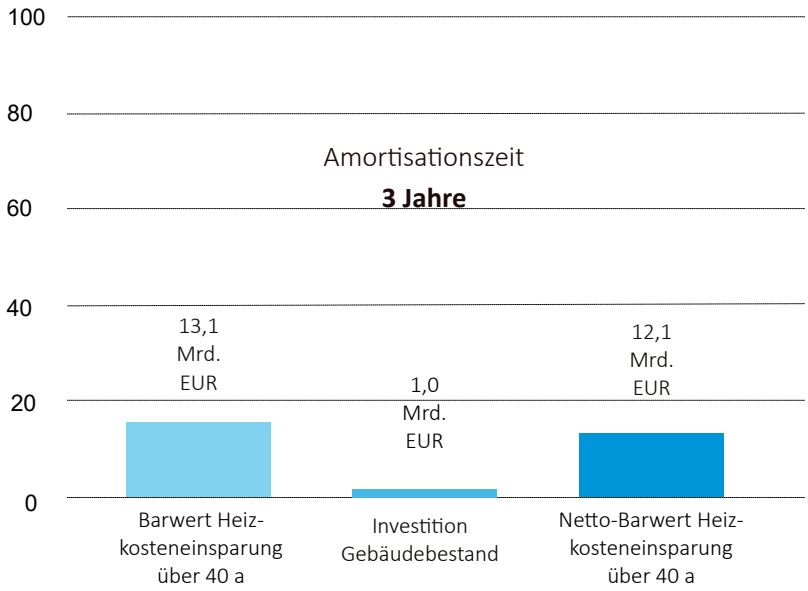
Das $CO_2$-Einsparpotenzial beträgt 1,8 Mio. Jahrestonnen oder 0,9 % der jährlichen $CO_2$-Emissionen aller Wohn- und Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. liegen mit 15,90 EUR erheblich unter den Schadensbeseitigungskosten von 698 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv. Und weit unter der für 2030 anvisierten $CO_2$-Steuerbelastung auf Erdgas und Heizöl von 65 EUR/Tonne.

*Abb. 99: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich - Einblasdämmung In Abseitenräume*



### 5.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Investitionssumme beträgt für den Wohngebäudebestand 1,04 Mrd. EUR, der ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 13,1 Mrd. EUR gegenübersteht, das 13-fache der Investition. Die dynamische Berechnung der Amortisationszeit zeigt bereits im 3. Jahr den Kapitalrückfluss. Dieses Resultat ist mehr als ein Fingerzeig darauf, wie wirkungsvoll der Passivhausstandard im Gebäudebestand zu hochwirtschaftlichen Bedingungen zu generieren ist.

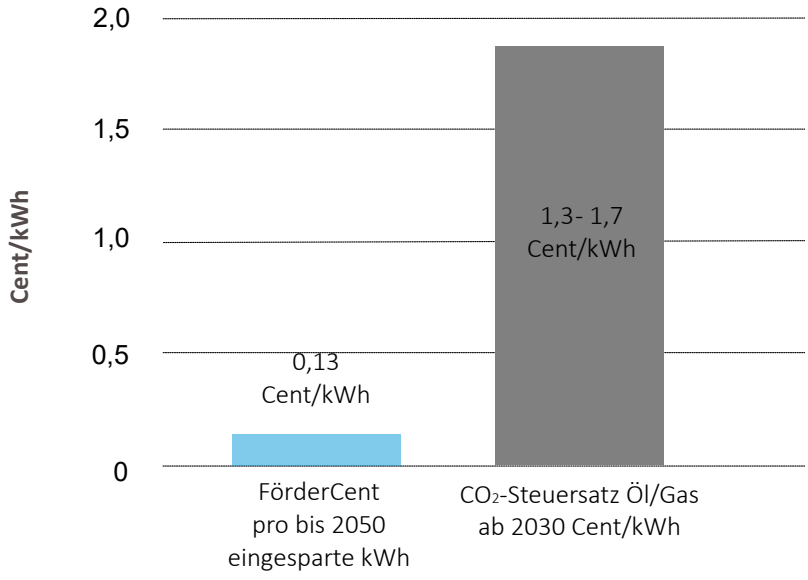



Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Abb. 100: Investitions- und Barwertsummen in Mrd. EUR bei der Einblasdämmung in Abseitenräume im Wohngebäudebestand*

Die 20-prozentige Förderung durch das GEB führt zu einem Förderaufwand pro bis 2050 eingesparter kWh Heizenergie von 0,13 Cent. Die $CO_2$-Steuer ab 2030 auf jede verbrauchte kWh Heizenergie beträgt 1,3 bis 1,7 Cent.Das erforderliche jährliche Fördervolumen des Staates beläuft sich auf 7 Mio. EUR, bei 20 % Förderzuschuss und dem Ziel, das ausgewiesene Heizenergieeinsparpotenzial in knapp 30 Jahren bis 2050 zu erreichen. Die Förderung schöpft sich aus der $CO_2$-Steuer und für Hauseigentümer ist eine Abseitendämmung der günstigere Weg.

*Abb. 101: FörderCent pro eingesparter kWh bis 2050 und $CO_2$-Steuersatz 2030 für Öl und Erdgas - Einblasdämmung in Abseitenräume im Wohngebäudebestand*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 16: Mengengerüst - Einblasdämmung Abseitenräume im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Steildach | Mio. Stck. | 16,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Abseitenabwicklung | Mio m² | 130 |
| davon noch ungedämmt | Mio. m² | 45,6 |
| Anteil Abseitenabwicklung an gesamten Dachfläche Wohnbau | % | 5 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 AW | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 1,0- 2,1 |
| U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbar | W/(m²K) | 0,1 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 5,5 |
| CO2-Einsparung | Mio Tonnen/a | 1,8 |
| Kosten der eingesparten Tonne CO2 | €/Tonne CO2 | 15,9 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 1,04 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 70 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung 40 Jahre | Mrd. EUR | 13,1 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 12 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 3 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 1,2 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 0,9 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

*Abb.102: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Abseitenräume der Steildächer im Wohngebäudebestand*

# Potenzial der Einblasdämmung bei Abseiten im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

46 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

5,1 Mio

Heizenergieverluste Abseiten ungedämmt

6 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

5,5 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

1,8 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

16 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

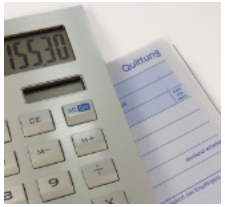
1,1 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

13,1 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

3 Jahre



Maßnahmekosten

70 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

## 5.4 Einblasdämmung unbeheizter Dachböden

Unbeheizte Dachböden besitzen einen Anteil von 38 % an allen Dachflächen. Zu unterscheiden sind solche, die beispielsweise wegen flacher Dachneigung nicht genutzt werden können und Böden, die mit einer neuen begehbaren Schicht über der Dämmung ausgestattet werden müssen. Bis zum II. Weltkrieg wurden die OG-Decken fast ausschließlich aus Holzbalken ausgeführt, danach dominierte die Stahlbetondecke. Die erste Variante erhielt eine Sand- oder Schlackenschüttung mit Hohlräumen oberhalb der Schüttung oder blieb ohne Füllung. Stahlbetondecken blieben oft ohne Estrich und Trittschalldämmung, weil in puncto Dachboden kein Schallschutz erforderlich war. Die Dämmung kam erst nach der Energiekrise 1974 mit der Wärmeschutzverordnung 1977 zum Zuge. Der Mindestwärmeschutz der DIN 4108 wurde bereits mit einem U-Wert um 1,5 W/(m²K) eingehalten. Bei Holzbalkendecken mit Sand-/Schlackeschüttung liegen die U-Werte bis 1949 bei 1,1 W/(m²K). Bei Massivdecken sind sie mit 1,4 W/(m²K) ungünstiger, auch kommen selbst im Bungalow-Baustil oberste Geschoßdecken mit nackter Betondecke und U = 3,4-3,6 W/(m²K) vor. Nach der DIN 4108 von 1952 wird der Standard besser, hat aber noch kurz vor der Energiekrise erst die nebenstehenden Werte erreicht, die aus Modellbauvorhaben des Bundes stammen.

Gegenwärtig konzentrieren sich Modernisierungen bei unbeheizten Dachböden noch zu oft auf die Dämmung der Dachschrägen. Dadurch entsteht ein großer kontraproduktiver Luftraum, der zu weiteren Wärmeverlusten durch die Decke und über die beiden Giebeldreiecke der Außenwand führt.

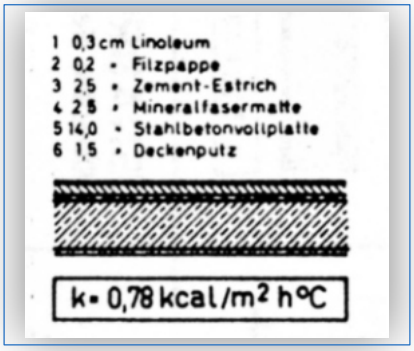



*Abb. 103: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 0,91 W/(m²K)*

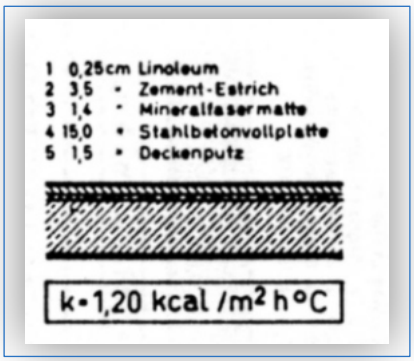



*Abb. 104: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 1,40 W/(m²K)*

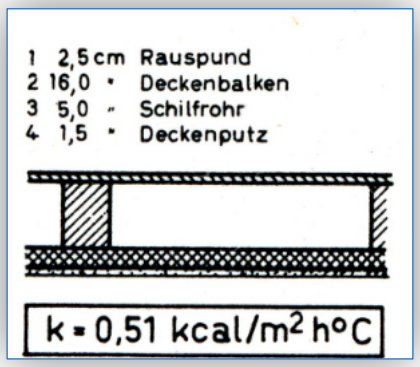



*Abb. 105: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 0,59 W/(m²K)*

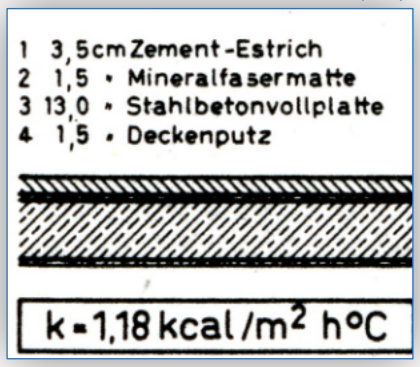



*Abb. 106: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 1,37 W/(m²K)*

### 5.4.1 Einblasdämmtechnik für Dachböden

Soll die Wärmedämmung bestimmungsgemäß vor Wärmeverlusten schützen, ist es zwingend, den beheizten Gebäudebereich eng zu umschließen. Aus diesem Grunde muss das Material bei nicht ausbaubaren Dächern in oder auf der Obergeschoßdecke verlegt werden.

Die Einblasdämmung ist sowohl für Holzbalken- als auch Massivdecken geeignet. Als Dämmstoffe kommen vor allem Flocken in Frage, die bei Fugen und Ritzen nicht ausrieseln können. Von Gras- über Zellulose- bis Glaswoll- und Steinwollflocken oder Holzfaser und Seegras steht eine Vielzahl von Mitteln zur Wahl. Tabelle 5 zeigt die Dämmwerte und Kosten.

Eine der kostengünstigsten Dämmmaßnahmen beschränkt sich physikalisch richtig auf die vorhandene Dachbodenfläche, ohne einen begehbaren Belag herzustellen. Dieses Verfahren bietet sich bei nicht begehbaren oder dauerhaft ungenutzten Dachböden an. Der Dämmstoff wird aufgeblasen, seine Oberfläche kann bei windundichten Dächern mit einem Kleber gesichert werden.

Im Falle der Nutzung eines Dachbodens als Lager o.ä. wird über der geplanten Dämmung auf dem bereits bestehenden ein neuer Fußboden aufgebaut. Dazu dienen z.B. wärmebrückenarme Abstandhalter aus Papphülsen oder DämmRaum-Elemente, die den neuen Belag z.B. aus Holzwerkstoffplatten tragen, sie mindern den U-Wert nur geringfügig. Je nach Größe der Fläche reicht oft eine teilweise Begehbarkeit in Form einer Laufbahn. Bei Holzbalkendecken wird auf dem alten Fußboden eine Dampfbremsfolie verlegt, bei Massivdecken ist sie nicht vonnöten. Dämmstoffflocken oder Granulat werden in den entstandenen Hohlraum eingeblasen. Die homogene Dämmschicht schließt dicht an die Giebelwände und die Dacheindeckung oder Unterspannbahn an.

Hohlräume in Holzbalkendecken sind sowohl unter der Dielung als auch zwischen Einschub und Deckenputz zu dämmen,

um deren Hinterlüftung zu vermeiden. Vorhandene Dämmschichten, Sandschüttungen usw. bilden zusammen mit der Dämmung einen guten sommerlichen Hitzeschutz. Die Treppe in den Dachraum ist ebenfalls zu berücksichtigen, bei Bodentreppen wird die Klappe z.B. mit Hartschaumplatten mit WLS 0,021-0,023 W/(mK) versehen und abgedichtet. Treppenhäuser mit Aufbauten in den kalten Dachraum werden auf der Kaltseite mit Platten gedämmt. Die Arbeit an der OG-Decke dauert etwa einen halben Tag, das begrenzt die Kosten. Ist eine Begehbarkeit erforderlich, kann diese auch als kostensparende Laufspur oder flächige Hartfaser- oder OSB-Plattenschicht ausgeführt werden. In diesem Falle wird erst die begehbare Schicht herrichtet, hierzu stehen Dämm-Raum-Elemente oder Dämmhülsen zur Verfügung, im Anschluss wird Dämmstoff in den Hohlraum geblasen. Die Ausgaben für die Herstellung einer Begehbarkeit übersteigen die für die Dämmschicht. Sie werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Auch bei Unebenheiten und durch Hölzer entstandene Durchdringungen, kann der Dämmstoff mit seiner Eigenschaft, sich an alle komplizierten Geometrien anzulegen, aufgeblasen werden. Frühere Anwendungen der Einblasdämmung von freihängenden Kuppelkonstruktionen wie der Bremer Glocke oder des Fuldaer Doms, belegen ihre entsprechende Prädestination. Ein weiterer Vorteil: Alte Dämmstoffe verbleiben auf dem Dachboden und behalten ihre Funktion, dadurch kann ihre Entsorgung deutlich hinausgezögert werden.

*Abb. 107 + 108: Dachbodendecken aus Holzbalken sind auch im Balkenzwischenraum zu dämmen*

## 5.4.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Das Heizenergieeinsparpotenzial der Dachbodendämmung beträgt bei einem Ziel-U-Wert von 0,1 W/(m²K) 27,7 TWh pro Jahr, entsprechend 6,1 % des jährlichen Heizenergieverbrauches aller Wohnbauten .

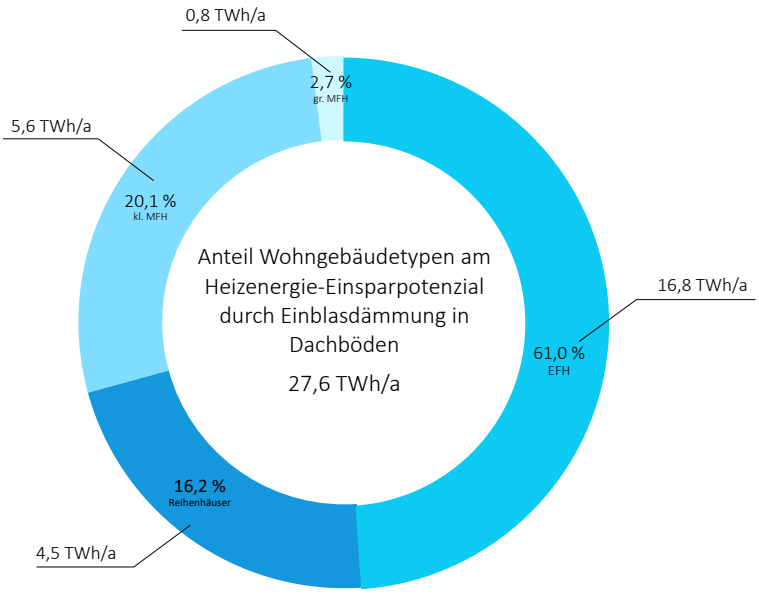
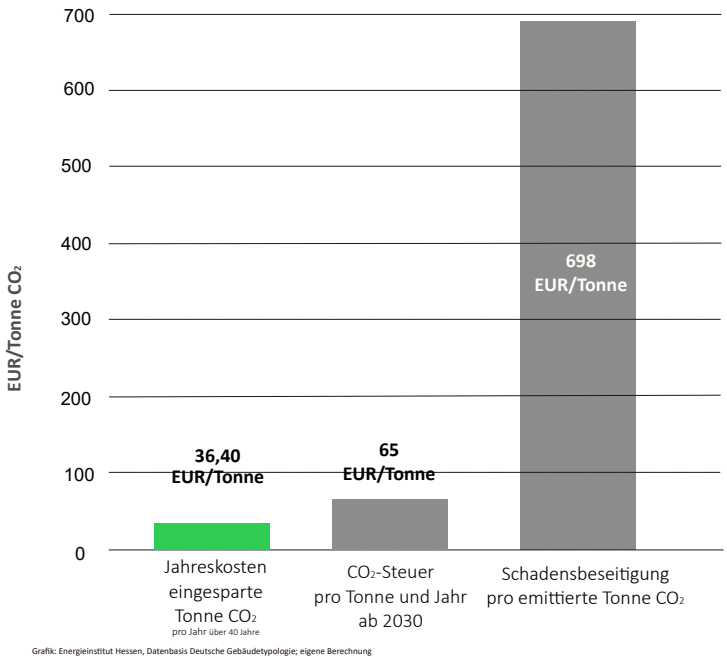



*Abb. 109: Heizenergiesparpotenzial der Einblasdämmung bei Dachböden im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

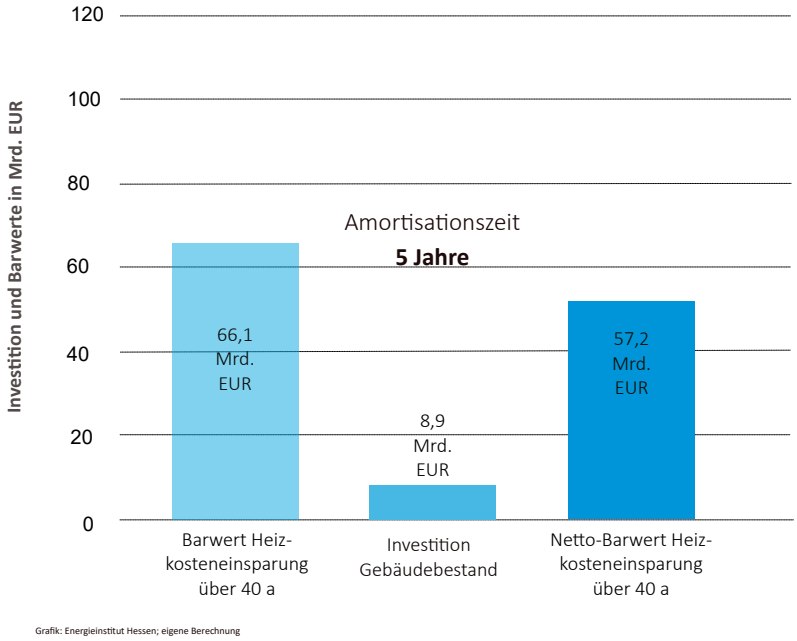
Die erzielbare $CO_2$-Einsparung umfasst 8,7 Mio. Jahrestonnen, die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. betragen 36,40 EUR und liegen damit weit unter der ab 2050 erreichten steuerlichen Belastung durch die $CO_2$-Abgabe auf fossile Energien sowie den Kosten für die Schadensbeseitigung pro emittierter Tonne $CO_2$-Äquiv. von 698 EUR/Tonne. Es läßt sich eine Einsparung von 7,1 % der jährlichen $CO_2$-Äquiv.-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten erzielen.

*Abb. 110: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ für die Einblasdämmung in und auf Dachböden im Vergleich*



### 5.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei Maßnahmenkosten von 23 EUR/m² Bauteil ergibt sich ein nationaler Investitionsaufwand von 8,9 Mrd. EUR für die Einblasdämmung auf Dachböden. Dem steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung in einem Zeitraum von 40 Jahren von 66,1 Mrd. EUR gegenüber, die Amortisationszeit beträgt 5 Jahre. Die Einblasdämmung von Dachböden ist eine hochwirtschaftliche Energiesparmaßnahme.



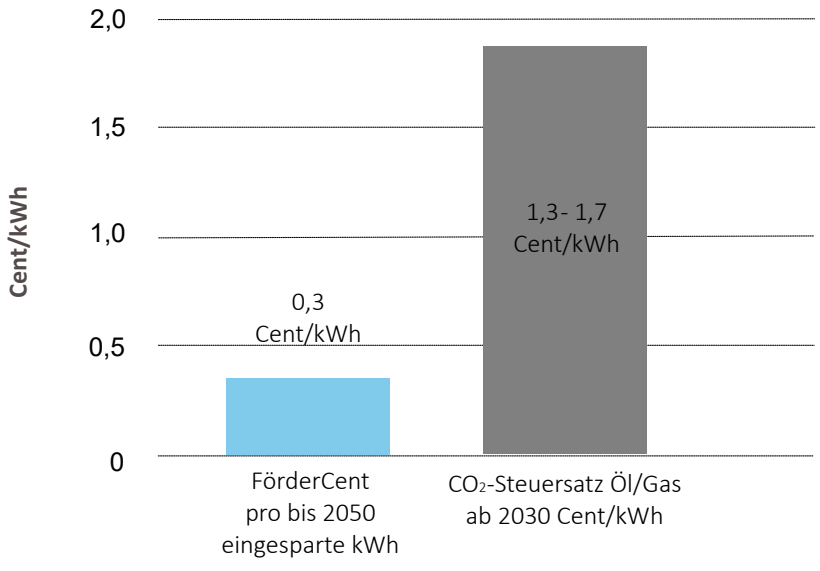

Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

*Ab. 111: Investitions- und Barwertsumme in Mrd. EUR bei der Einblasdämmung Dachböden im Wohngebäudebestand*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 59 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,30 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung fünffache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 112: FörderCent pro eingesparte kWh bis 2050 und $CO_2$-Steuerbelastung pro verbrauchter kWh Öl und Erdgas - Einblasdämmung in Dachböden*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 17: Mengengerüst Einblasdämmung in Dachböden im Steildach (Wohngebäudebestand)*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Steildach | Mio. Stck. | 16,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Dachboden unbeheizt | Mio m² | 904 |
| davon noch ungedämmt | Mio. m² | 427 |
| Anteil Dachböden an gesamten Dachfläche | % | 38 % |
| Modernisierungsrate (flächengewicht.) ab 2010 | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,3 - 1,2 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,1 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 27,7 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 8,8 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 36,4 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 8,9 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 70 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 66,1 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 57,2 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 5 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch | % | 6,1 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 4,4 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 113: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Dachböden im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung bei Dachböden im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

497 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

3,8 Mio

Heizenergieverluste AW ungedämmt

31 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

28 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

8,7 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

36 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

8,9 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

66,1 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

5 Jahre

Maßnahmekosten

21 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Einblasdämmung Belüftete Flachdächer

Die Einblasdämmung in belüftete Flachdachkonstruktionen kann den Heizenergieverbrauch der Wohngebäude um 4,2 TWh/Jahr oder 1 % reduzieren. Als Volldämmung bei kleineren Gebäude schafft sie die Möglichkeit, mit einem U-Wert von 0,1 W/(m²K) den optimalen Wärmeschutz herzustellen und löst die Feuchteprobleme belüfteter Konstruktionen.

# 6 Einblasdämmung in belüftete Flachdächer

In Deutschland wurden bis 2009 rund 1,6 Millionen Wohngebäude mit Flachdach errichtet. Die Bauart kam erst nach 1960 richtig in Mode und eroberte sich schnell einen Platz vorwiegend bei Reihenhäusern und Bungalows. Den Steildächern ähnlich bestehen viele Flachdächer aus belüfteten Holzbalkenkonstruktionen und Betondecken mit belüftetem Aufbau aus Beton oder Holz, deren Wärmeschutz sich durch die vorhandenen, meist überdimensionierten Belüftungsquerschnitte einfach und kostengünstig verbessern lässt.

## 6.1 Dämmung von belüfteten Flachdächern aus Holz

Belüftete Flachdächer wurden ab 1960 bei Reihenhäusern und Bungalows meist aus Holzbalkendecken, zwischenliegender dünner Dämmung und einer inneren Dampfsperre ausgeführt. Bei rund 50 % der Flachdächer handelt es sich um belüftete Holzbalkenkonstruktionen, die mit dem Vordringen der Betonbauweise im Neubau peu á peu durch unbelüftete Betonkonstruktionen abgelöst wurden. Die U-Werte der DIN 4108 für leichte Dachaufbauten von 200 kg/m² lagen ab 1951 bis zur WSchVO 1977 zwischen 1,39 und 0,8 W/(m²K), seit 1984 durch die WSchVO bei 0,3 W/(m²K). Nachdem sich der Verzicht auf diffusionshemmende Schichten als Fehler herauskristallisierte, war der Belüftungsraum für die Aufgabe, die durch Wasserdampfdiffusion eindringenden geringen Feuchtemengen abzuführen überdimensioniert. Diese überhöhten Querschnitte bieten sich heute für eine nachträgliche Einblasdämmung an.

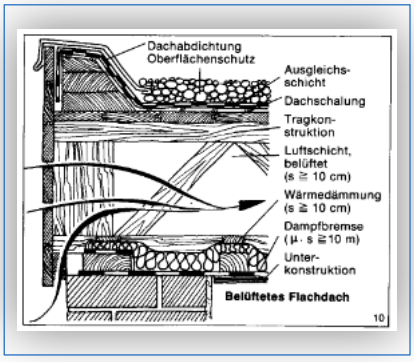



*Abb. 114: Flachdach 1960 hoher Stegträger mit wenig Dämmung*

Von den rund 208 Mio. m² Flachdach bis 2009 sind rund 104 Mio. m² belüftete Holzbalkendecken. Davon sind bereits 62 % gedämmt, die noch zu dämmende Fläche dieses Flachdachtyps liegt bei 34,4 Mio. m².

### 6.1.1 Einblasdämmtechnik für belüftete Flachdächer

Die Dämmung wird von der zu diesem Zweck entfernten Attikaverblendung oder von Öffnungen in der Dachfläche her vorgenommen. Bei Beibehaltung eines Mindestbelüftungsraumes läßt sich mit 6-10 cm Dämmdicke ein U-Wert von 0,3 W/(m²K) erzielen. Bei Balkenhöhen von 22-24 cm und einer Mindesthöhe von 4-5 cm für den notwendigen Belüftungsraum (Dachdeckerfachregeln derzeit: mind. 5 cm) verbleiben bei den bereits vorhandenen Dämmdicken mind. 10 cm für eine Einblasdämmung. In Frage kommen fast alle Einblasdämmstoffe, u.a. unbrennbare oder faserförmige, auch aus nachwachsenden Rohstoffen. Granulate sind für diese Anwendung ungeeignet. Glas- und Steinwollflocken besitzen Wärmeleitfähigkeiten um 0,035 W/(mK), NawaRo-Dämmstoffe meist 0,039 bis 0,05 W/(mK). Die Rohdichte des eingeblasenen Materials

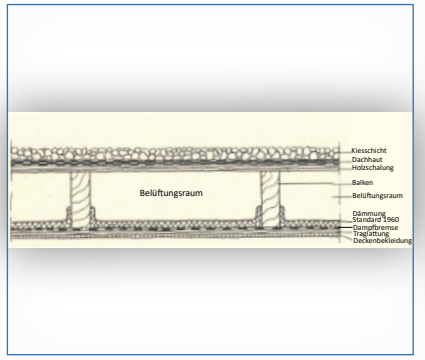



*Abb. 115: Balkenflachdach 1960 mit 3-6 cm Dämmung U = 0,61-0,97 W/(m²K)*

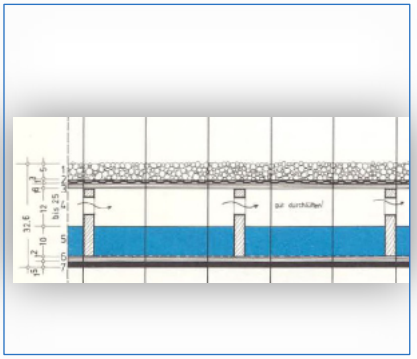


*Abb. 116: 1978 besser als gefordert mit 10 cm Dämmung, 12 cm Belüftung U = 0,35 W/(m²K)*

ist in seiner Zulassung geregelt. Bei Zweifeln in die luftdichte Ausführung der damaligen Dampfsperre kann eine höhere Rohdichte mit höherem Strömungswiderstand gewählt werden. Flachdächer, die ganztägig der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, profitieren durch die Nachdämmung im Hinblick auf den für sie besonders wichtigen Hitzeschutz in hohem Maße. Die Arbeiten nehmen bei einem Einfamilienhaus etwa einen Tag in Anspruch und können von außen vorgenommen werden. Der ausführende Betrieb sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.
Weitere Schritte zur wärme- und feuchtetechnischen Optimierung bieten sich mit der Balkenvolldämmung (siehe Kapitel 6.2) und dem Kombidach an.

*Abb. 117: Einblasen von Dämmmflocken vom Dachrand*

## 6.1.2 Rolle des Belüftungsraumes

Die Einführung der Belüftung des Flachdaches nach 1949 basierte nicht auf wissenschaftlicher Begründung. Sie entstand aus der verunsichernden Vielfalt der nach dem II. Weltkrieg aufkommenden neuen Konstruktionen. Der dichte Dachbelag des Flachdachs gab den Ausschlag für die sich verbreitende Anordnung des Belüftungsraumes, den man aus der Belüftung des Steildachs kannte. Dort war er jedoch konstruktiv aus der Notwendigkeit eines Putzträgers unter den Sparren entstanden, nicht aus Gründen der Holztrocknung und wurde in den 1990ziger Jahren wieder aufgegeben als sich ähnlich wie beim zweischaligen Mauerwerk seine für die Holzkonstruktion auffeuchtende Funktion klärte. Beim Flachdach sollte die Belüftung feuchtwarme Luft aus dem Hausinneren abführen, wurde zunächst ohne Dampfsperre gebaut und versagte. Die Lösung kam als Dampfsperre (diffusionshemmende Schicht), deren Einbau den Hohlraum überflüssig machte. Zur Abfuhr großer Feuchtemengen durch Fugen und Ritzen war er ohnehin nie vorgesehen. Schon mit einem geringen $S_d$-Wert der diffusionshemmenden Schicht von nur 10 m (ALU- und PE-Folienbesitzen höhere $S_d$-Werte), ist ein unbelüfteter Aufbau möglich, da die rechnerischen Tauwassermengen um 120 Gramm pro m² und Tauperiode sehr klein sind und eine sommerliche Austrocknung gegeben ist. Bei der Berechnung wurde eine µ-Wert der diffusionshemmenden Schicht von nur 20.000 angenommen. Bei weiterer Belüftung oder Balkenvolldämmung hilft die Einblasdämmung die Qualität der bauphysikalischen Situation zu steigern, indem die Luftdichtheit des Dachaufbaus erhöht wird. Hierzu sind flockige und faserige Dämmstoffe mit ihrem Strömungswiderstand gut geeignet. Die physikalisch beste Konstruktion ist das Kombi-Dach.

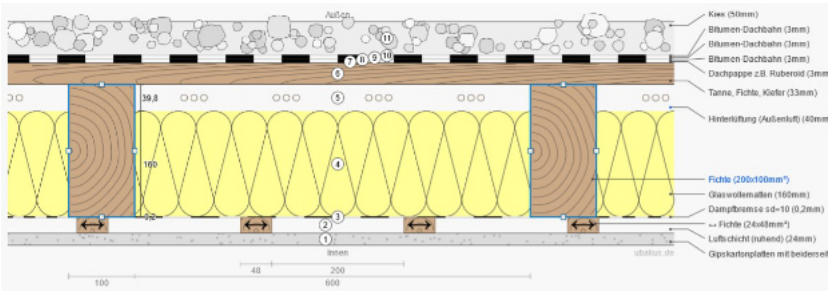



*Abb. 118: Einblasdämmung in Belüftungsraum bei weiterer Belüftung U = 0,3 W/(m²K), der obere Dachbereich bleibt im Winter weiterhin sehr kalt.*

Grafik: Ubakus.de, Eicke-Hennig

## 6.1.3 Heizenergie und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Der bei dieser Lösung zu verbleibende Belüftungsquerschnitt von 4-5 cm Höhe begrenzt die Dämmdicke und damit den erreichbaren Ziel-U-Wert auf 0,3 W/(m²K). Das Heizenergieeinsparpotenzial beträgt unter dieser Bedingung 3,1 TWh pro Jahr oder 0,7 % des Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude.

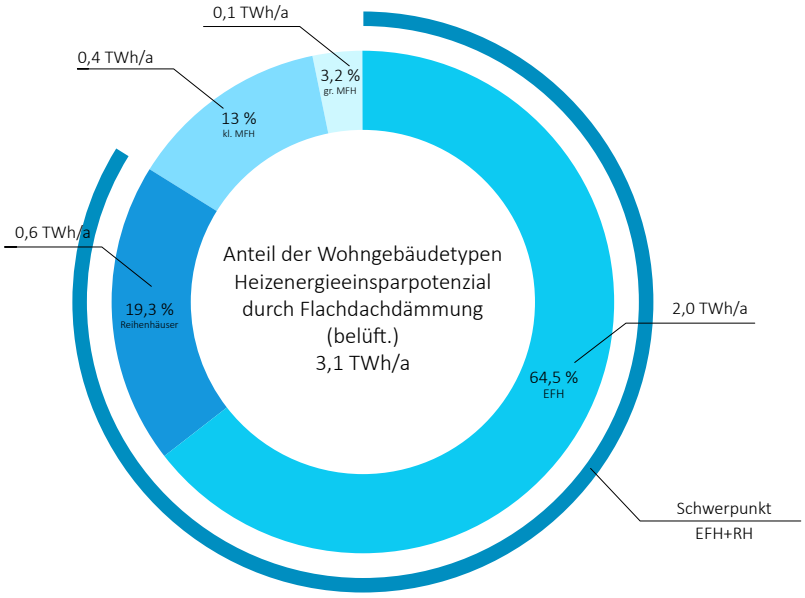
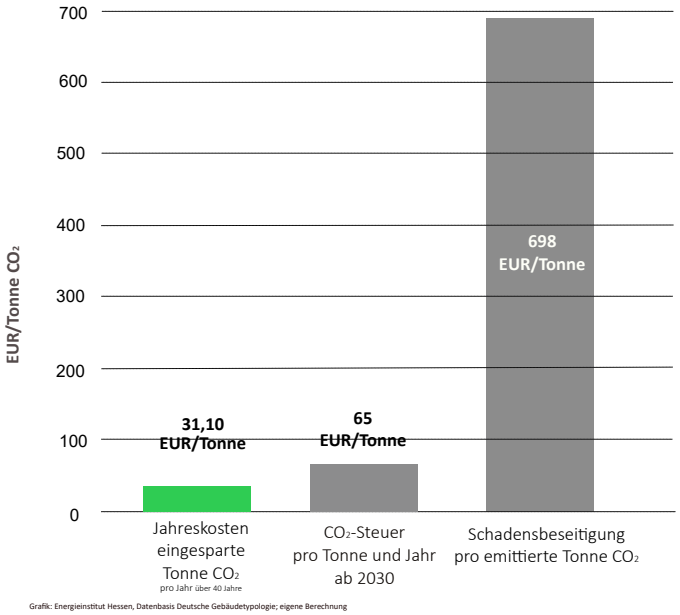



*Abb. 119: Heizenergieeinsparpotenzial durch Flachdachdämmung im Belüftungsraum nach Gebäudetypen in TWh/a und Prozent*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

Das $CO_2$-Einsparpotenzial umfasst 1 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. belaufen sich auf 31,1 EUR und betragen damit nur die Hälfte der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung auf verbrauchte kWh Öl und Erdgas in Höhe von 65 EUR pro Tonne $CO_2$. Die Dämmung in dieser Qualität senkt die $CO_2$-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 0,8 Prozent.

*Abb. 120: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ durch Einblasdämmung im Belüftungsraum von Flachdächern im Vergleich*



### 6.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei Kosten der Massnahme von 35 EUR pro m² ergibt sich ein nationaler Investitionsaufwand von 1,1 Mrd. EUR für die Einblasdämmung belüfteter hölzerner Flachdächer. Dem steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 7,5 Mrd. EUR gegenüber, das 7-fache der Investition. Die Amortisationszeit beträgt 6 Jahre. Eine hochwirtschaftliche Energiesparmaßnahme mit dem Zusatzeffekt des verbesserten sommerlichen Wärmeschutzes.

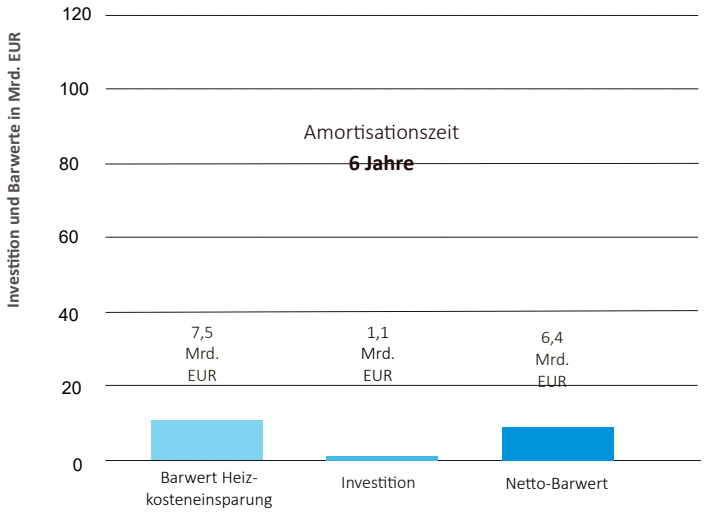
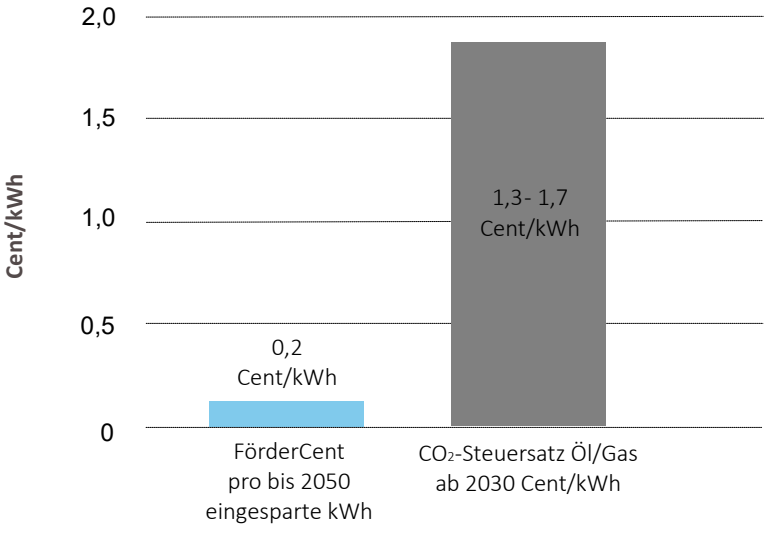



*Abb. 121: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung bei Einblasdämmung in belüftete Flachdächer*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 7 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,2 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Flachdachdämmung ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung siebenfache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 122: FörderCent pro eingesparter kWh Heizenergie bis 2050 im Vergleich mit $CO_2$-Steuerbelastung auf Öl und Gas*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 18: Mengengerüst Einblasdämmung in belüftetes Flachdach (Teildämmung) im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Flachdach | Mio. Stck. | 1,6 |
| Fläche Flachdach gesamt | Mio. m² | 208,4 |
| Fläche Flachdach belüftet | Mio. m² | 104 |
| davon mit noch ungedämmter Belüftungsschicht | Mio m² | 34,4 |
| Anteil Flachdach belüftet an allen Dachflächen | % | 8,7 |
| Anteil bereits gedämmt | % | 62,2 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 | % | 1,6 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,8-1,39 |
| U-Werte bei Dämmung+Belüftung | W/(m²K) | 0,3 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 3,1 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 1 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 61,2 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 1,07 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 35 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 7,5 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 6,4 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 6 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 0,68 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor | % | 0,50 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 123: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung bei belüfteten Flachdächern im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung bei belüfteten Flachdächern im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

35 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

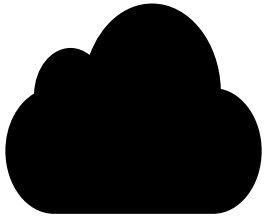
0,26 Mio

Heizenergieverluste FD ungedämmt

4 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

3,1 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

1,0 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

31 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

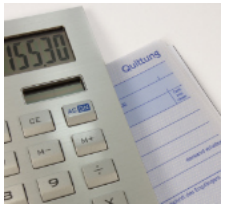
1,1 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

7,5 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

6 Jahre



Maßnahmekosten

31 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

## 6.2 Volldämmung des Belüftungsraumes von Holz-Flachdächern

Diese Maßnahme ersetzt die unter 6.1 beschriebene Dämmung des Belüftungsraumes bei Beibehaltung der Belüftung. Sie ist die Vorstufe für das Kombidach, das in dieser Studie nicht behandelt wird, weil es sich um keine niedriginvestive Energiesparmaßnahme handelt. Die Lösung liegt jedoch langfristig im optimalen Wärmeschutz: Die Einblasdämmung als Vorstufe zum Kombidach wird abschließend durch ein Umkehrdach auf der alten Dachhaut ergänzt, auf dessen positive Wirkung schon die schwedische Bauforschung in den achtziger Jahren verwies. Bei dieser Konstruktion wird die hölzerne Flachdachkonstruktion gegen Wärmeverluste nach oben geschützt und bleibt im Winter warm, so dass kein nennenswerter Tauwasserausfall mehr erfolgen kann.
Die Strukturdaten sind im Kapitel 6.1.2 bereits beschrieben.

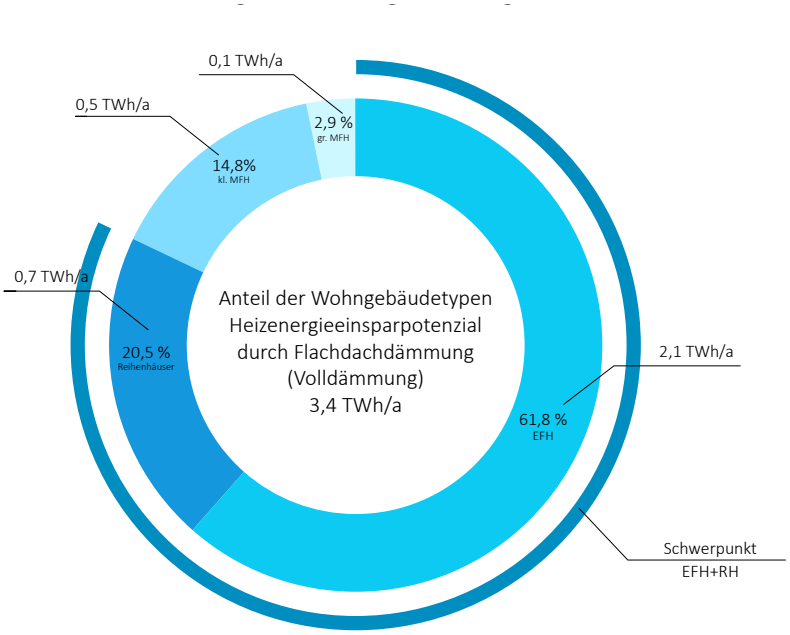
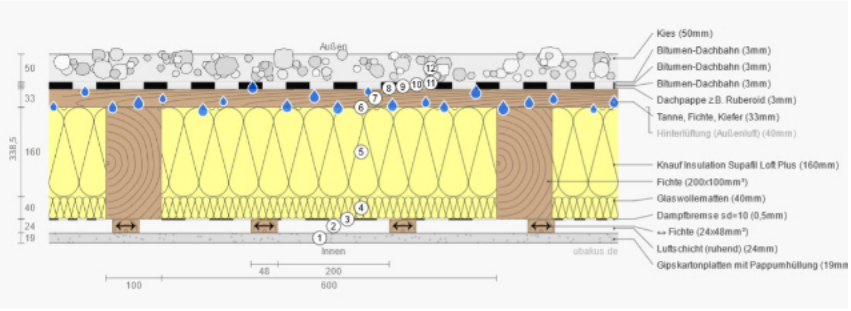



*Abb. 124: Heizenergie- Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in bel. Flachdächer (Volldämmung) im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent*

Die Volldämmung des Belüftungsraumes ist die Vorstufe für das Kombidach, bei dem ein Umkehrdach auf der alten Dachhaut den oberen Dachbereich so warm hält, dass Tauwasser nur noch in bedenkenlosen Mengen anfällt. Es können etwa 10-16 cm Dämmstoff eingeblasen und ein U-Wert von 0,2 W/(m²K) erzielt werden (ohne Umkehrdach). Die Einblasdämmung erschwert die Durchströmung des Belüftungsraumes auch bei Fugen und Ritzen in der luftdichtenden Ebene.

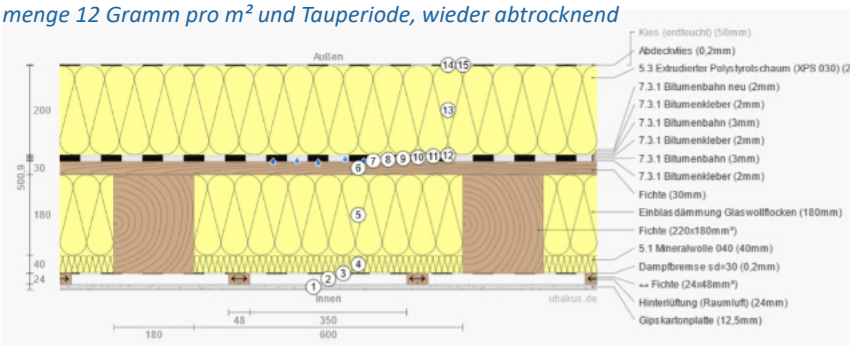
*Abb. 125: Flachdach-Volldämmung im Belüftungsraum, U = 0,21 W/(m²K) und Tauwasserausfall 120 Gramm/m² und Tauperiode nach DIN 4108, wieder abtrocknend*




### 6.2.1 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

Bei einem erzielbaren U-Wert von 0,2 W/(m²K) liegt das Heizenergieeinsparpotenzial mit 3,4 TWh pro Jahr bei 0,8 % des Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude.
Das $CO_2$-Einsparpotenzial beträgt 1,1 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. sind mit 103,4 EUR höher als der ab 2030 zu erwartende $CO_2$-Steuersatz von 65 EUR/Tonne. Die Dämmung in dieser Qualität senkt den $CO_2$-Ausstoß des Raumwärmesektors inkl. Nichtwohnbau um 0,9 Prozent.

*Abb. 126: Kombidach mit Umkehrdach und Volldämmung, U 0,1 W/(m²K), Tauwassermenge 12 Gramm pro m² und Tauperiode, wieder abtrocknend*



## 6.2 2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei 35 EUR/m² Maßnahmenkosten ergibt sich ein nationaler Investitionsaufwand von 1,7 Mrd. EUR für die Einblasdämmung belüfteter hölzerner Flachdächer. Dem steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 8,3 Mrd. EUR gegenüber, etwa das 5-fache der Investition. Die Amortisationszeit beträgt 8 Jahre. Eine hochwirtschaftliche Energiesparmaßnahme mit dem Zusatzeffekt des verbesserten sommerlichen Wärmeschutzes und als Vorstufe zum Kombidach die schlussendliche Lösung der Sommerhitze- und Winterfeuchteprobleme von Flachdachaufbauten.

Die Förderung von 20 % , umgelegt auf jede bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie ergibt einen Betrag von 0,5 Cent. Demgegenüber beträgt die $CO_2$-Steuer pro kWh Heizöl und Erdgas heute 0,8 und 2030 1,3- 1,7 Cent.

*Abb. 127: Kosten der durch Einblasdämmung in bel. Flachdächer (Volldämmung) eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich*

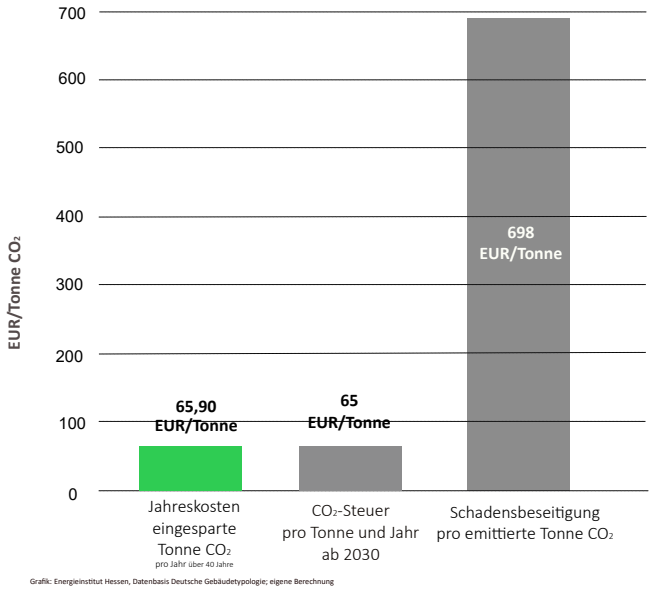



*Abb. 128: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Flachdachvolldämmung*

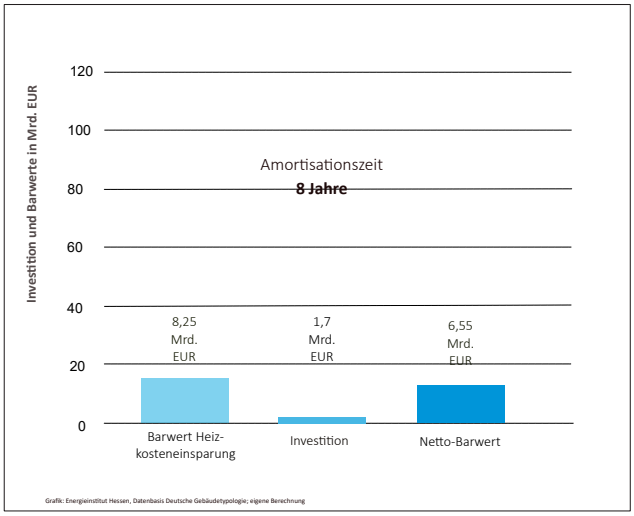



*Abb. 129: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich - Flachdachvolldämmung*

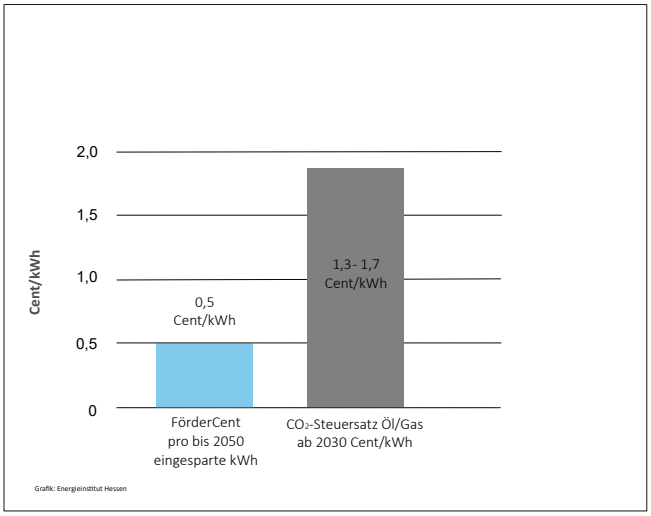


*Tabelle 19: Mengengerüst Einblasdämmung Flachdächer (Volldämmung) im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit belüfteten Flachdach | Mio. Stck. | 1,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Flachdach gesamt | Mio m² | 208,4 |
| Fläche Flachdach belüftet gesamt | Mio. m² | 104,2 |
| davon noch ungedämmt | Mio. m² | 34,4 |
| Anteil Flachdach an gesamter Dachfläche Wohnbau | % | 8,7 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Flachdach | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,3 - 1,39 |
| U-Werte Ziel (Belüftungsraumvolldämmung) | W/(m²K) | 0,2 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 3,4 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 1,1 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 103,4 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 1,7 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 35-50 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 8,3 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 6,6 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 8 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 0,7 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Gebäudesektor | % | 0,6 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 130: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in bel. Flachdächer Volldämmung Vorstufe Kombidach im Gebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung Volldämmung belüfteter Flachdächer im Wohngebäudebestand

Zu dämmende Fläche m²

35 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

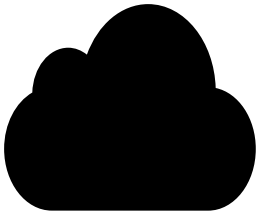
0,26 Mio

Heizenergieverluste FD-V ungedämmt

4 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

3,4 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

1,1 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

43 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

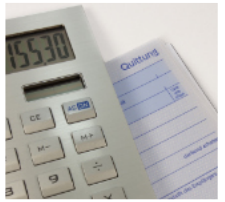
1,7 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

8,3 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

8 Jahre



Maßnahmekosten

45 EUR/m²

## 6.3 Einblasdämmung im Belüftungsraum von Betonflachdächern

Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern bekamen ab 1965 Flachdächer als Betondächer mit belüfteten Aufbauten aus einer Beton- oder Holzaufständerung den Vorzug. Dieser Aufbau über der Betondecke trugt die Dachhaut. Die Dächer stellen einen Übergang zum „Warmdach“, dem heutigen nichtbelüfteten Flachdach dar.
Die U-Werte der DIN 4108 für schwere Betondächer lagen zwischen 1,49 und 0,79 W/(m²K), seit 1984 durch die WSchVO bei 0,3 W/(m²K). Aufgrund der ab 1995 erreichten Dämmdicken stehen nur noch geringe freie Lüftungsquerschnitte zur Verfügung, in dieser Studie werden die Gebäudealtersklassen deshalb nur bis einschließlich 1984 betrachtet. Von den bis 2009 errichteten rund 208 Mio. m² Flachdach entfallen nur 15-50 % der Baualtersklassen E bis H (1968-1984) oder 34 Mio. m² auf die belüftete Betonkonstruktion. Davon sind gemäß der Datenerhebung des IWU 62 % gedämmt. Die noch zu dämmende Fläche dieses Flachdachtyps ergibt sich zu 11,3 Mio. m².

### 6.3.1 Einblasdämmtechnik für belüftete Betonflachdächer

Die Dämmung wird von oben durch in die Dachhaut und die Holzbohlen eingeschnittene Löcher oder direkt in den hohen Belüftungsräumen vorgenommen. Je nach Ausgangs-U-Wert wird mit 20-35 cm Dämmdicke ein U-Wert von 0,1 W/(m²K) erzielt.
In Frage kommen fast alle Einblasdämmstoffe, u.a. unbrennbare Dämmstoffe oder faserförmige Einblasdämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Granulate sind ungeeignet für diese Anwendung. Glas- und Steinwollflocken besitzen Wärmeleitfähigkeiten um 0,035 W/(mK), NawaRo-Dämmstoffe meist 0,039 bis 0,05 W/(mK). Die Rohdichte des eingeblasenen Dämmstoffs ist in seiner Zulassung geregelt. Bei MFH sind die Belüftungsräume mit Abmessungen zwischen 0,50 bis 1,50 Metern überwiegend sehr hoch und ermöglichen bei weiter bestehender Belüftung Dämmdicken zur Erzielung des U-Wert von 0,1 W/(m²K). Bei den EFH und Reihenhäusern existieren nur geringere Belüftungsraumhöhen. Da jedoch die Betondecke diffusionshemmende Eigenschaft besitzt, ist auch die völlige Nutzung des Belüftungsraumes für die Dämmung möglich. Bei einem Holzaufbau erhöht sich die rechnerische Kondensatmenge bei 20 cm zusätzlicher diffusionsoffener Dämmung nur um 90 Gramm pro m² und Tauperiode und die Holzfeuchte um 0,4 M-%, weit unter den nach DIN 4108 zulässigen 5 Masse-%. Eine Austrocknung ist innerhalb von 80 Tagen gegeben.

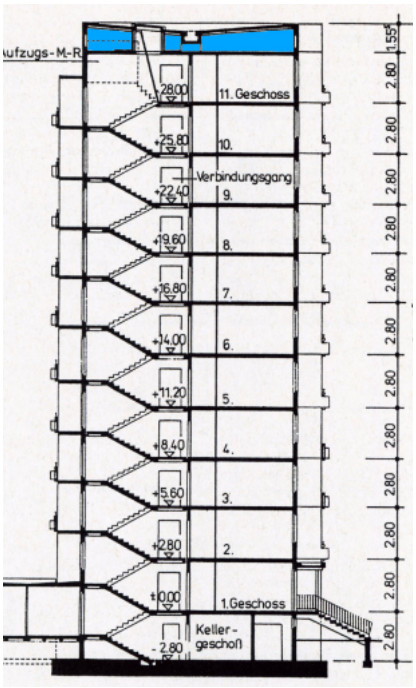



*Abb. 131: Dimensionen belüfteter Flachdächer in der Betonbauweise*

*Abb. 132: Blick in den Belüftungsraum - vorgefertigtes Betonflachdach der Plattenbauserien*

### 6.3.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

Bei einem Ziel-U-Wert von 0,1 W/(m²K) liegt das Heizenergieeinsparpotenzial mit 0,81 TWh pro Jahr bei 0,2 % des Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude.

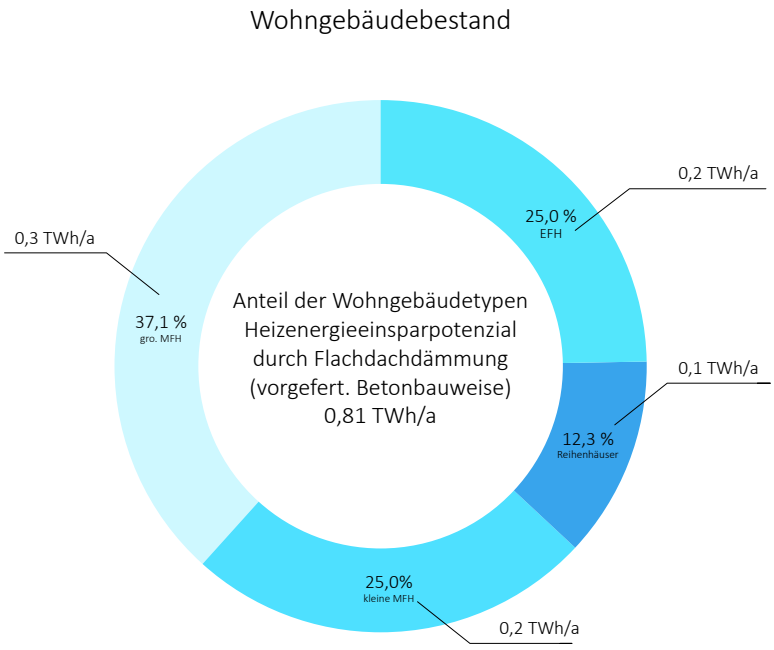
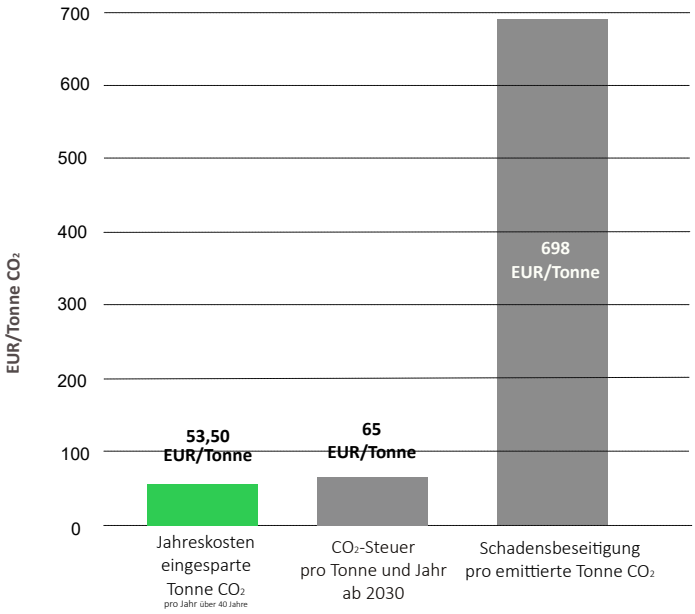



*Abb. 133: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in belüftete vorgefertigte Betonflachdachaufbauten in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen*

Das $CO_2$-Einsparpotenzial beträgt 0,25 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. betragen 53,50 EUR und liegen damit unter der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung in Höhe von 65 EUR pro Tonne $CO_2$-Äquiv.. Die in dieser Qualität vorgenommene Dämmung von belüfteten Flachdächern auf Betondecken senkt die $CO_2$-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 0,1 Prozent.

*Abb. 134: Kosten der durch Einblasdämmung in belüftete Betonflachdachkonstruktionen eingesparten Tonne $CO_2$ im Vergleich*



### 6.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bei 35 EUR/m² Maßnahmenkosten ergibt sich ein nationaler Investitionsaufwand von 0,4 Mrd. EUR für die Einblasdämmung belüfteter Betonflachdächer. Dem steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 2 Mrd. EUR gegenüber, dem 5-fachen der Investition. Die Amortisationszeit beträgt 7 Jahre. Eine hochwirtschaftliche Energiesparmaßnahme mit dem Zusatzeffekt des verbesserten sommerlichen Wärmeschutzes.

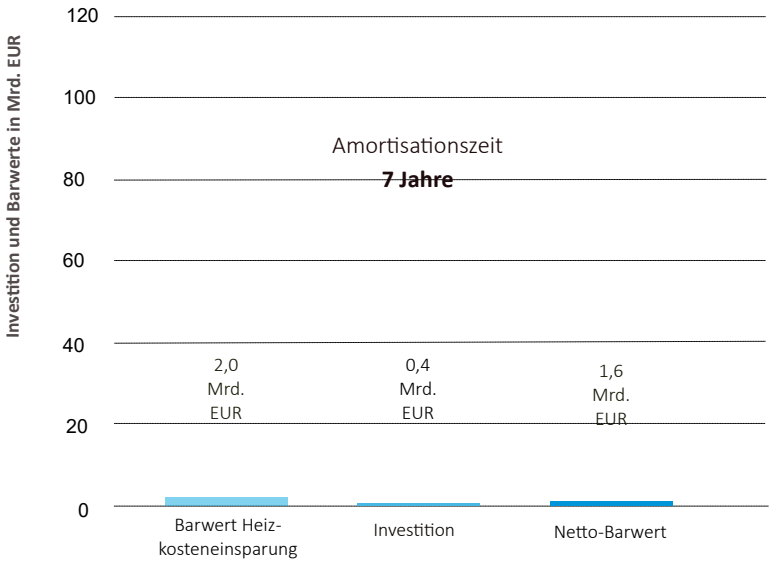
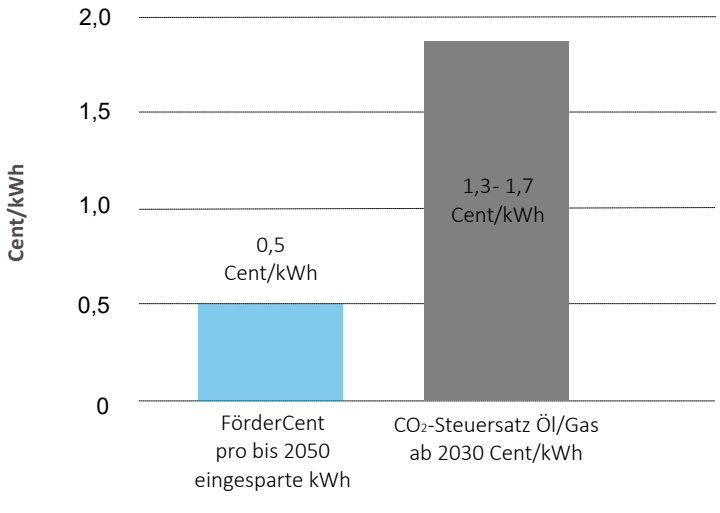



*Abb. 135: Investitionssumme und Barwert der eingesparten Heizkosten im Vergleich - Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 2,6 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie nur 0,5 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung dreifache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 136: FörderCent für jede bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich mit $CO_2$-Steuerbelastung ab 2022 - Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer*



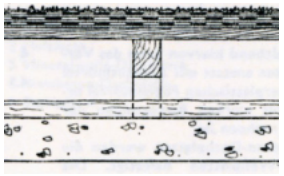

Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 20: Mengengerüst - Einblasdämmung in belüftete vorgefertigte Betonflachdächer im Wohngebäude-bestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit belüfteten Flachdach | Mio. Stck. | 1,6 |
| Dachflächen insgesamt | Mio. m² | 2400 |
| Fläche Flachdach gesamt | Mio m² | 208,4 |
| Fläche Flachdach belüftet Beton | Mio. m² | 34,0 |
| davon noch ungedämmt | Mio. m² | 11,3 |
| Anteil Flachdach an gesamter Dachfläche Wohnbau | % | 8,7 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Flachdach | % | 1,5 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,79 - 1,47 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,1 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 0,8 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 0,25 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 53,50 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 0,4 |
| Kosten der Massnahme | €/m² | 35 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 2 |
| Nettobarwert über 40 Jahre | Mrd. EUR | 1,6 |
| Amortisation dynamisch | Jahre | 8 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 0,2 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an $CO_2$-Ausstoß Gebäudesektor | % | 0,1 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb.137: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung Betonfertigteil-Flachdach belüftet im Wohngebäudebestand



Zu dämmende Fläche m²

11,3 Mio. m²

Zu dämmende Wohngebäude

0,1 Mio

Heizenergieverluste FD-Beton ungedämmt

0,92 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

0,8 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

0,3 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

54 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

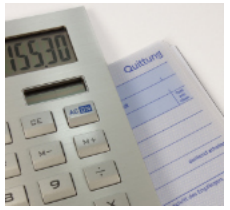
0,4 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

2 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

7 Jahre



Maßnahmekosten

35 EUR/m²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Nachdämmung von Rollladenkästen

**Fast 60 Mio. Rollladenkästen verlieren Wärme durch dünnste Klappen- und Bodenwände. Ist ein neuer Kasten nicht geplant, kann eine Nachdämmung in der Zwischenzeit national 4,7 TWh/Jahr oder 1 % des Raumwärmeverbrauchs der Wohngebäude einsparen.**

# 6 Nachdämmung von Rollladenkästen

Rollladenkästen sind eine bedeutende wärmetechnische Schwachstelle in den Außenwänden und oft Quelle von Zugluft. Einen besonders schlechten Wärmeschutz haben die vor 1984 eingebauten Kästen, deren Wärmeschutz noch 100 Jahre später dem in Abbildung 138 gezeigten Standard entspricht. Rollladenkastensysteme bestanden vor dem Baujahr 1984 in der Regel aus Holz/Sperrholzkonstruktionen von wenigen Millimetern Dicke. In ungedämmten Zustand kann nach den Richtlinien zur Datenaufnahme für den Energieausweis ein U-Wert von 3,0 W/(m²K) angenommen werden.

Den Folgen der Energiekrise 1974 wurden mit der Anhebung des Wärmeschutzniveaus 1977 und 1984 durch die Wärmeschutzverordnungen Rechnung getragen. Innerhalb von 20 Jahren erhöhte sich diesbezüglich die Menge der Rollladenkästen mit verbessertem Wärmeschutz und Luftdichtheit in den Neubauten. Deren Wärmeschutzqualitäten haben sie in einem ein Jahrhundert währenden Prozess von ehemals 3,0 W/(m²K) gegenwärtig zu Spitzensystemen unter 0,2 W/(m²K) avancieren lassen. Gleichzeitig reduzierte sich ihre wärmeabgebende Fläche.

Im Wohngebäudebestand gibt es rund 118 Mio. Rollladenkästen mit einer wärmetauschenden Fläche von 55, 5 Mio. m². Für die Studie wurden durchschnittlich 6 mit Rollläden versehene Fenstern pro Wohneinheit mit zusammen 1,6 m² angenommen, wobei ein Abschlag für

## 6.1. Dämmtechnik für Rollladenkästen

Objekte ohne Rollladen von 10-20 % angesetzt wird. Die Ermittlung der Kastenanzahl bei Mehrfamilienhäusern berücksichtigt deren i.d.R. auf die beiden unteren Etagen beschränkte Ausstattung. Nicht alle Kästen unterliegen dem beschriebenen Dämmvorgang. Bereits gedämmte Rollladen und solche der Baualtersklassen ab 1984, durch Vorsatzrollladensysteme ausgetauschte Bauteile bleiben ebenso unberücksichtigt wie mit Klappläden versehene Gebäude. Es wird davon ausgegangen, dass 59 Mio. Rollladenkästen mit 27,1 Mio. m² wärmetauschender Fläche nachgedämmt werden können.

Die Nachdämmung von Rollladenkästen ist nur dann sinnvoll, wenn ein Ersatz durch einen Vor- oder Aufsatzrolladen mittelfristig nicht in Frage kommt. Die Maßnahme gehört nicht zu den Einblasdämmverfahren, sondern wird mit Dämmplatten ausgeführt. Eine besonders günstige Gelegenheit ihrer Durchführung biete sich im Rahmen einer umfassenden Erneuerung, beispielsweise im Zuge von Kerndämmungsarbeiten, die ohnehin die Öffnung und Abdichtung der Kästen einschließen, von Fenstererneuerungen oder Außendämmungen an.

Die Arbeiten werden von innen ausgeführt und bringen eine Beeinträchtigung der Wohnnutzung in allen betroffenen Bereichen mit sich. Als Nachbereitung kann ein Anstrich oder eine Tapezierung der betroffenen Wandbereiche erforderlich sein.

Die Nachdämmung selbst ist eine wärmetechnisch einfache Maßnahme und sollte bei einem Fensteraustausch zum heute üblichen Vorgehen gehören. Die geöffneten Kastendeckel, die Ober- und Unterseite der Kästen sowie die beiden

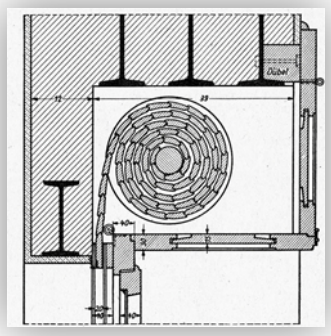


*Abb. 138: Rollladenkasten aus der Gründerzeit noch im Betrieb U = 3,0 W/(m²K)*

*Abb. 139: 1950 ff. Undicht und mit großer Wärmeverlustfläche, U = 3,0 W/(m²K)*

*Abb. 140: 1980 Es wird besser: Kasten mit dünner Dämmung rechts, U = 0,6 W/(m²K)*

Wandflächen um die Nabe des Panzers werden mit 2-3 cm hochdämmenden Dämmplatten der WLS 0,21-0,30 W/(mK) beklebt. Der Deckel wird ebenfalls gedämmt und erhält eine umlaufende Dichtung. Ein Austausch der Rollladenpanzer ist von Vorteil, da deren dünneren Profile mehr Raum für die Dämmung freigeben.

## 7.2.Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

Unter den obigen Annahmen beträgt das Heizenergie-Einsparpotenzial durch Nachdämmung von 59 Mio. Rollladenkästen 4,7 TWh pro Jahr oder 1,04 % des Heizenergieverbrauchs aller Wohngebäude.

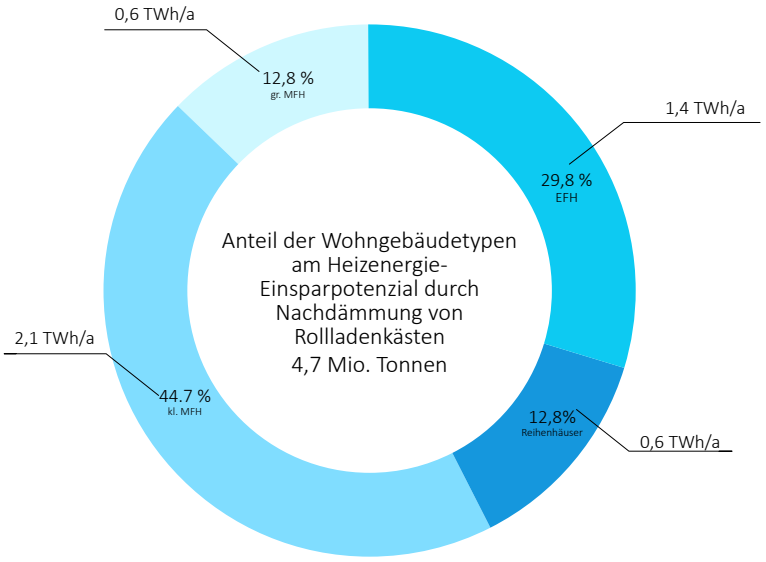
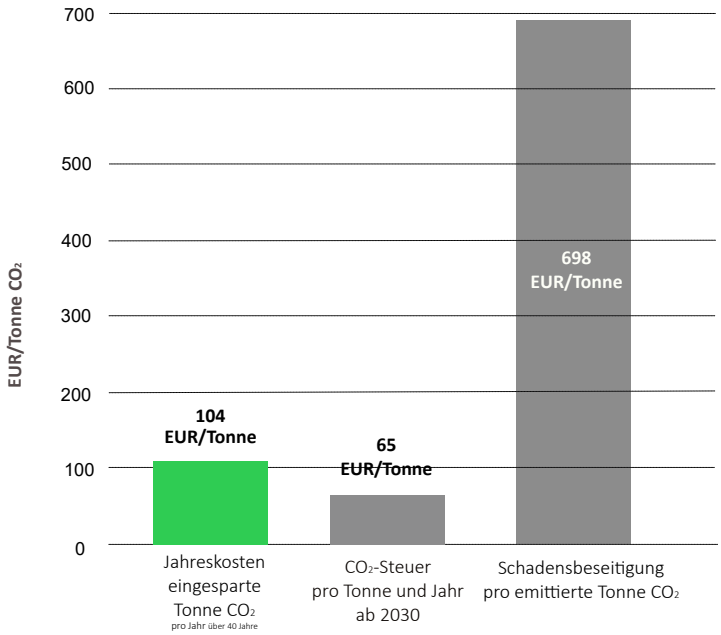



*Abb. 141: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Nachdämmung von Rollladenkästen im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent*

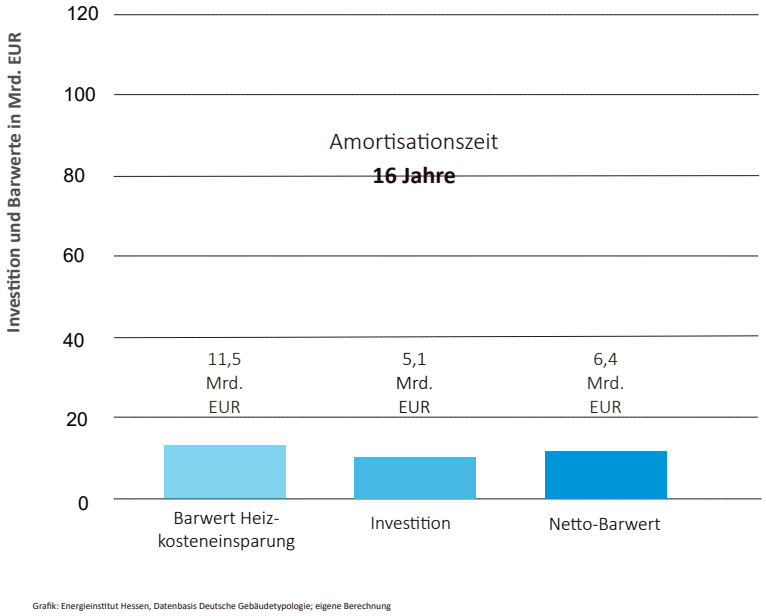
Die $CO_2$-Einsparung beläuft sich auf 1,5 Mio. Tonnen pro Jahr oder 0,75 % der $CO_2$-Emissionen von 200 Mio. Jahrestonnen für die Gebäudeheizung auch der Nichtwohngebäude. Die Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. betragen mit 104 EUR das 1,6-fache der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne $CO_2$-Äquiv. und nur 15 % der vom UBA errechneten voraussichtlichen Aufwendungen für die Schadensbeseitigung von 698 EUR pro emittierter Tonne $CO_2$-Äquiv..

*Abb. 142: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ bei Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand im Vergleich*



## 6.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Dämmung von Rollladenkästen gehört im Vergleich zu einem Komplettersatz durch Vorsatz- oder Aufsatzrollläden zu den niedriginvestiven Dämmtechniken, es werden die Stilllegung und teilweise Ausmauerung des Kastens sowie das deutlich teurere neue System vor oder über dem Fenster eingespart. Der angesetzte Preis von 100 EUR pro Rollladenkastenertüchtigung gilt in Verbindung der Ertüchtigungsarbeiten mit einer Fenstererneuerung oder Kerndämmung. National beträgt das Investitionsvolumen 5,1 Mrd. EUR, dem steht ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 11,5 Mrd. EUR gegenüber. Die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechung ergibt eine Amortisationszeit von 16 Jahren.



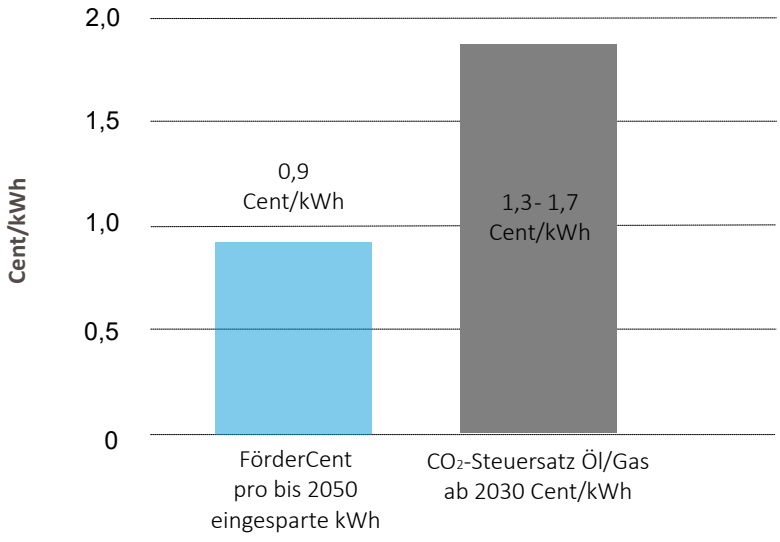

Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

*Abb. 143: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung bei Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 34 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Rollladenkästen bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie nur 0,9 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung höhere staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 144: FörderCent pro durch bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie durch Nachdämmung von Rollladenkästen im Vergleich*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Tabelle 21: Mengengerüst - Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Anzahl Wohngebäude mit Rollläden | Mio. Stck. | 16 |
| Anzahl Rollladenkästen | Mio. Stck. | 119 |
| Anzahl Rollladennachdämmung | Mio. Stck. | 59,3 |
| Innere wärmetauschende Fläche | Mio. m² | 54,2 |
| Fläche ungedämmt bzw. für Nachdämmung berücksichtigt | Mio. m² | 27,1 |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Rollladenk. | % | < 1 |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 2,0-3,0 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | 0,65 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 4,7 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 1,5 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 104 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 5,1 |
| Kosten der Massnahme | €/Kasten | 100 |
| Barwert der Einsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 11,5 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 16 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 1,04 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an CO2-Emissionen Gebäudesektor | % | 0,75 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$-Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb.145: Übersicht Potenziale der Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand

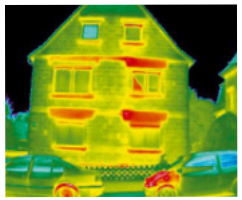
# Potenzial der Nachdämmung von Rollladenkästen im Wohngebäudebestand

Rollladenkasten-fläche m²

27,1 Mio. m²

Rollladenkästen Stck.

59,4 Mio.

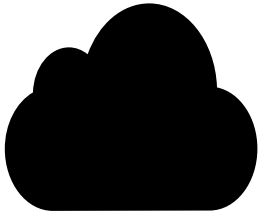


Heizenergieverluste RlKa ungedämmt

6,3 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

4,7 TWh/Jahr



$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

1,5 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

104 EUR/to

Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to

Investitions-volumen

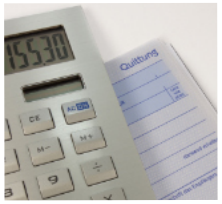
5,1 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

11,5 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

16 Jahre



Maßnahmekosten

100 EUR/Stck.

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Einblasdämmung In Gebäudetrennfugen

**Trennwände sind ein “vergessenes” Bauteil. Eine Trennwanddämmung bringt gleich für zwei Gebäude einen Einspareffekt. Der könnte national bei 18,2 TWh/Jahr oder 4 % des Raumwärmeverbrauchs der Wohngebäude liegen.**

# 7 Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen

In den älteren Baualtersklassen entbehren Gebäudetrennwandfugen jeglicher Wärmedämmung, damit verlieren pro Fuge zwei Gebäude Heizenergie über ihren jeweiligen Trennwandanteil, der über Undichtheiten mit der Außenluft in Verbindung steht. Die U-Werte dieser meist dünnen Trennwände liegen zwischen 0,8 und 1,4 W/(m²K), der Fx-Faktor wurde mit 0,9 angesetzt. Die Summe der zwischen 1,0 Mio. Wohngebäuden bestehenden Haustrennwandflächen wurde auf 108 Mio. m² geschätzt. Daten liegen über die Anteile zusammengebauter Wohngebäude vor, sie betragen:

- EFH Doppelhaus 17,1 %
- RH Mittelhäuser 61,1 %
- MFH Zeilenbebauung 47 %.[23]

Für die Potenzialermittlung wurden die folgenden Sachverhalte berücksichtigt: Trennwände sind bei den älteren Baualtersklassen überwiegend dicht gegeneinander gemauert oder bestehen aus einer einzigen Wand, dies gilt auch für Gebäude mit vorgefertigten Betonaußenwänden und für den überwiegenden Teil der Zweifamilienhäuser. Viele Mehrfamilienhäuser erhielten im Wiederaufbau nach 1945 Trennwände mit Luftschichten, die über einfache Außenabdeckungen mit der Außenluft in Verbindung stehen. Bei Reihenhäusern wurden aus Schallschutzgründen bis in die 1980ziger Jahre Luftschichten ausgeführt, spätere Baujahre besitzen statt einer Luftschicht Schalldämmplatten. Über 50 % der dämmbaren Trennwände konzentrieren sich auf die Reihenhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser bis 4 Stockwerke. Der aus den obigen Annahmen geschätzte Anteil der dämmbaren Trennwände an allen Außenwandflächen beträgt 4 Prozent.

## 7.1 Dämmtechnik für Gebäudetrennwandfugen

Die Trennfugen, zwischen 2 und 10 cm dick oder auch engere Traufgassen, können über die geöffneten Abdeckungen (kleine MFH, Reihenhäuser, EFH) oder über Bohrlöcher mit Einblasdämmstoff gefüllt werden. Die zum Einsatz kommenden Dämmstoffe müssen hydrophob, unbrennbar, setzungssicher und geeignet sein, den Schallschutz zu verbessern. Diese Merkmale sind allen einschlägigen flockenartigen Stoffen eigen. Die Kosten der Dämmung verteilen sich auf jeweils zwei Parteien.

*Abb. 147: Offene Trennwandfuge mit Durchblick*

*Abb. 146: Trennfuge zwischen MFH Baujahr 1968*

*Abb. 148: Offene Trennwandfuge*

*Abb. 149: Gedämmte Trennwandfuge*

## 7.2 Heizenergie- und $CO_2$-Einsparpotenzial

### Heizenergie-Einsparpotenzial

Die Dämmung einer Gebäudetrennwandfuge bewirkt die Reduktion der Wärmeverluste von je zwei Trennwänden auf Null. Desweiteren ist neben dem doppelten Einspareffekt seine Höhe durch die adiabatische Eigenschaft der gedämmten Fuge bedeutsam (Ziel-U-Wert 0 W/(m²K)). Die Heizenergieeinsparung liegt bei 18,2 TWh pro Jahr, das entspricht einer Reduktion des gesamten jährlichen Wärmeenergieaufwandes im Wohngebäudebestand von 4 Prozent. Demnach eröffnet sich auch bei vorsichtig taxierten Flächendimensionen ein großes Einsparpotenzial, dem zukünftig größere Aufmerksamkeit gezollt werden sollte. Bis dato findet das Thema Dämmung von Gebäudetrennfugen in Wärmebilanzrechnungen, Förderkatalogen etc. keine angemessene Beachtung.

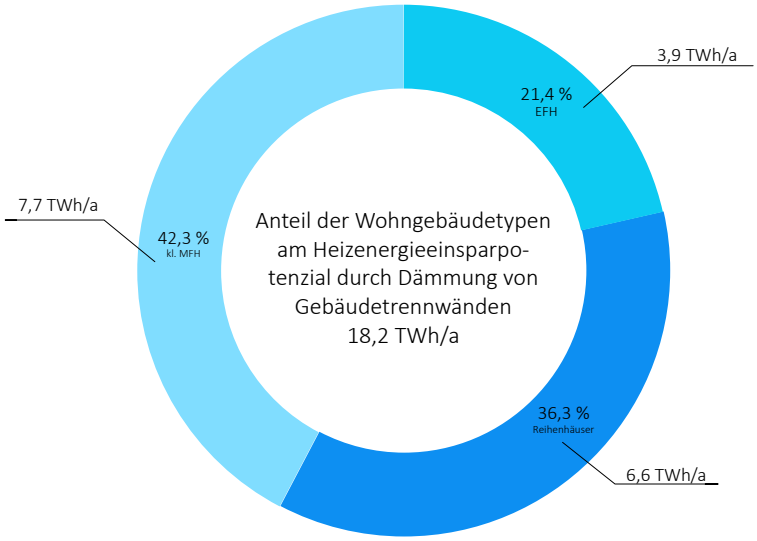
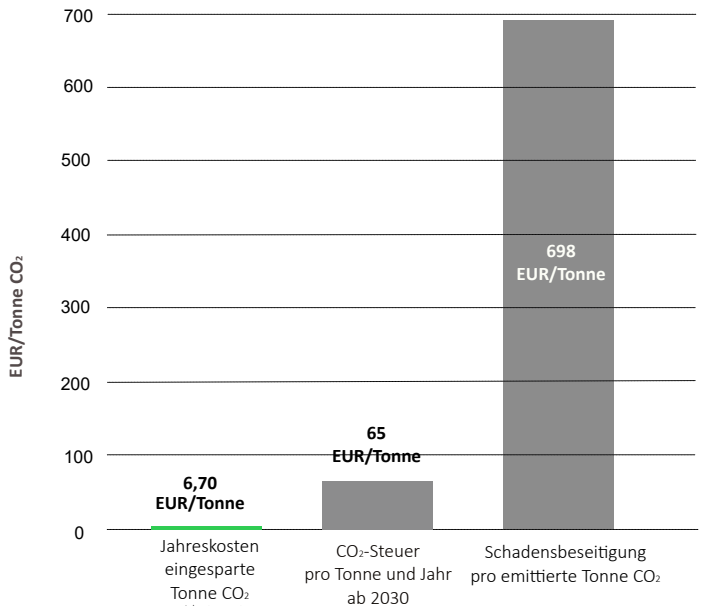



*Abb. 150: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen*

### $CO_2$-Einsparpotenzial

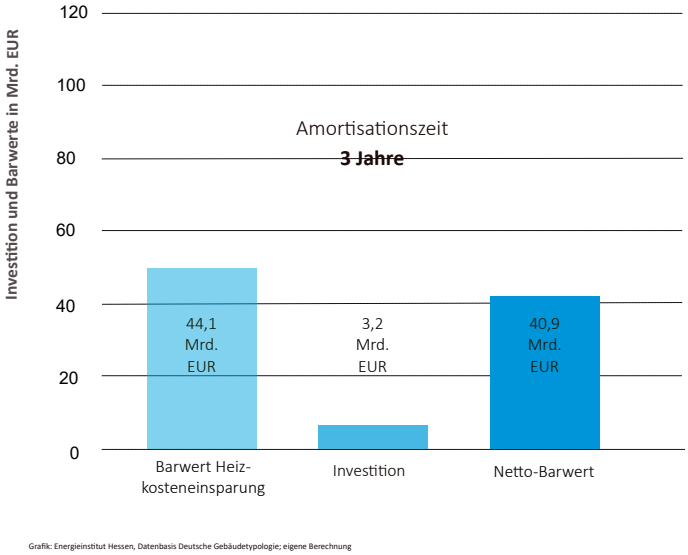
Die $CO_2$-Einsparung beläuft sich auf 5,8 Mio. Jahrestonnen oder 2,9 % der gesamten $CO_2$-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. Nichtwohngebäuden von 200 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne $CO_2$-Äquiv. liegen mit 6,1 EUR bei 1 Prozent der Schadenskosten einer emittierten Tonne $CO_2$-Äquiv. (UBA) und weit unter der steuerlichen Belastung ab 2030 in Höhe von 65 EUR/Tonne.

*Abb. 151: Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ bei der Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen im Vergleich*



## 7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Investititonskosten betragen bei einer Fugenbreite von 6 cm etwa 15 EUR pro m² gedämmter Trennwandfläche (7,50 EUR/m² und Nachbarschaft). Die gesamten Investitionskosten belaufen sich auf rund 3,2 Mrd. EUR. Der Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre ergibt die Summe von 44,1 Mrd. EUR, die 13-fache Höhe. Die dynamische Amortisationsrechnung zeigt bereits im 3. Jahr den Kapitalrückfluss, während die Lebensdauer der Trennfugendämmung der des Gebäudes entspricht. Folglich ist die Dämmung von Gebäudetrennwandfugen neben der Kerndämmung unter allen Energiesparmaßnahmen am Gebäude die wirtschaftlichste Maßnahme.



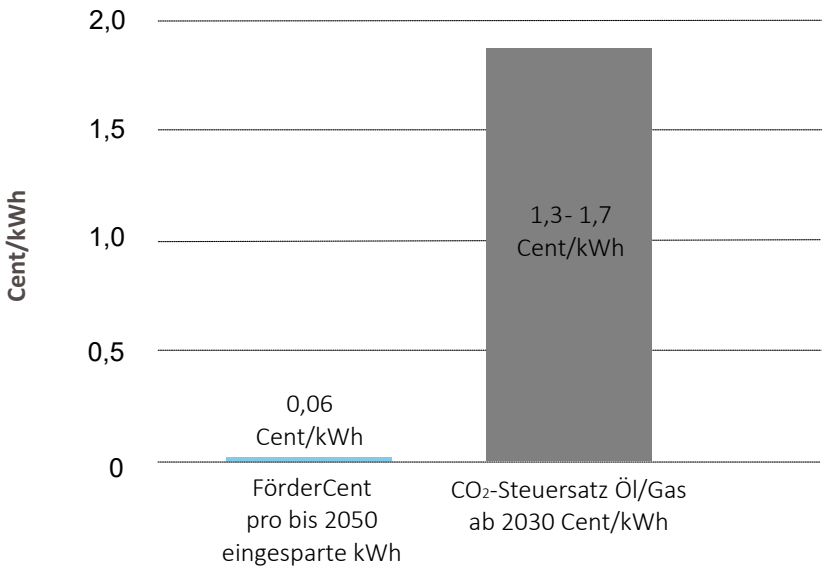

Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

*Abb. 152: Investitionssumme und Barwert der Heizkosteneinsparung für Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen im Wohngebäudebestand*

Die nationale Jahres-Fördersumme von rund 21 Mio. EUR beträgt, umgerechnet auf jede durch Nachdämmung von Beton-Fertigteilaußenwänden bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie, nur 0,06 Cent. Schon 2022 wird dieser Wert von der $CO_2$-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Einblasdämmung in Gebäudetrennfugen ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

Ab 2030 stehen der Förderung fünfundzwanzigfache staatliche Einnahmen aus der $CO_2$-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.

*Abb. 153: FörderCent pro bis 2050 durch Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich*




Grafik: Energieinstitut Hessen

*Abb 22: Mengengerüst - Einblasdämmung Gebäudetrennwandfugen im Wohngebäudebestand*

| Bereich | Einheit | Summe |
|---|---|---|
| Anzahl Wohngebäude bis 2009 | Mio. Stck. | 18,2 |
| Wohngebäude mit Gebäudetrennwänden | Mio. Stck. | 0,6 |
| Fläche Außenwände gesamt | Mio. m² | 3600 |
| Fläche Gebäudetrennwände | Mio. m² | 108 |
| Anteil Trennwände an Außenwandflächen | % | 3 % |
| Modernisierungsrate (flächengewichtet) Trennwände | | 0,01 % |
| U-Werte IST | W/(m²K) | 0,6- 1,4 |
| U-Werte Ziel | W/(m²K) | adiabatisch: 0 |
| Heizenergieeinsparung | TWh/a | 18,2 |
| $CO_2$-Einsparung | Mio Tonnen/a | 5,8 |
| Kosten der eingesparten Tonne $CO_2$ | €/Tonne $CO_2$ | 6,1 |
| Investitionskosten | Mrd. € | 3,2 |
| Kosten der Massnahme | €/m³ | 250 |
| Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre | Mrd. EUR | 44,1 |
| Nettobarwert | Mrd. EUR | 40,9 |
| Dynamische Amortisation | Jahre | 3 |
| Anteil Einsparung am Heizwärmeverbrauch Wohnen | % | 4,01 % |
| Anteil $CO_2$-Einsparung an CO2-Emissionen Raumwärme | % | 2,90 % |
| Endenergie Heizung Wohngebäude 2021 | TWh/a | 454 |
| $CO_2$- Emissionen Gebäudesektor 2021 | Mio. Tonnen/a | 200 |

Abb. 154: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung in Gebäudetrennfugen im Wohngebäudebestand

# Potenzial der Einblasdämmung von Haustrennwandfugen im Wohngebäudebestand

Haustrennwand-fläche m²

111 Mio. m²

Gebäude Stck.

0,6 Mio.

Heizenergieverluste TrWA ungedämmt

18 TWh/Jahr

Energieeinsparung TWh/a

18 TWh/Jahr

$CO_2$-Einsparung Jahrestonnen

5,7 Mio

Kosten eingesparte Tonne $CO_2$ (40a)

7,3 EUR/to

Schadens-Beseitigungsskosten von 698 EUR/to

Investitions-volumen

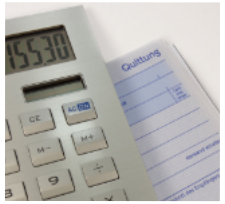
3,3 Mrd. EUR

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

43,7 Mrd. EUR

Amortisation dynamisch

3 Jahre



Maßnahmekosten

250 EUR/m³

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

# Endnoten

[1] Tobias Loga u.a., IWU, Deutsche Wohngebäudetypologie- Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, TABULA-Projekt „Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“, Darmstadt 2015

[2] AGORA-Energiewende (Hrsg.), ifeu/Fraunhofer IEE/Consentec, Wert der Energieeffizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung, Berlin 2018

[3] Die erste Projektidee für Windkraftwerke in der Sahara findet sich bei Hans Günther, In 100 Jahren, Die künftige Energieversorgung der Welt, Stuttgart 1931, der Fallwinde am Atlasgebirge nutzen wollte; AEG Telefunken verfolgte die Idee solarer Wasserstoffplantagen in der Sahara 1980, AEG und TELEFUNKEN gibt es heute nicht mehr; Desertec scheiterte 2014.

[4] Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL), Studie im Auftrag der Bundestags- Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre im Auftrag der DBU, IWU Darmstadt 1994 bis: AGORA-Energiewende (Hrsg.), ifeu/Fraunhofer IEE/Consentec, Wert der Energieeffizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung, Berlin 2018 oder: Institut Wohnen und Umwelt, Analyse der Energieversorgungsstruktur für den Wohngebäudesektor zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050, Darmstadt 2019, Band 1

[5] Das vorgeschobene Argument, Teilmengen von Gebäuden mit schlechterem und besserem Dämmstandard wiesen ähnliche Heizenergieverbräuche auf, so dass der Mehraufwand in den optimalen Wärmeschutz nicht gerechtfertigt sei, negiert den Zusammenhang der um einen Mittelwert schwankenden individuellen Heizenergieverbräuche, den der technische Gebäudestandard setzt. Im KfW-70 oder-55-Haus ist der Verbrauch eines Passivhauses nur durch Einschränkung oder Verlagerung der Energieerzeugung auf aufwendige technische Infrastrukturen zu erreichen. Negiert wird auch, je höher der verbleibende Heizenergieverbrauch, desto höher die zukünftigen Heizkosten und die Notwendigkeit, in Hochtarifphasen Heizenergie beziehen zu müssen. Ausgeblendet wird dabei die Frage, in welcher Höhe die den Wärmeschutz ersetzenden aktiven Technologien Mieten und Kapitaldienst belasten werden.

[6] IPeG-Institut, Drewer, Arnold u.a., Wärmedämmstoffe Kompass zur Auswahl und Anwendung, Köln 2013

[7] The Guardian 11.02.2022, Architects call for mass insulation of England’s interwar suburbs

[8] IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018, Seite 53

[9] Erhard Knechtel, Bundesgemeinschaft Fertigteilbau, Marktdaten zum Fertigteilbau `85, Bonn 1985; Die Anteile beziehen sich auf errichtete Wohngebäude

[10] Ahnert/Krause, Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960, Wiesbaden/Berlin 1991; Andreas Bugge, Ergebnisse von Versuchen für den Bau warmer und billiger Wohnungen an den Versuchshäusern der Norwegischen technischen Hochschule, Berlin 1924; Hart, Franz, Baukonstruktion für Architekten, Stuttgart 1950; Jobst Siedler, Die Lehre vom Neuen bauen, Bauwelt-Verlag Berlin 1932; Hugo Ebinghaus, Der Hochbau, Gießen 1951; derselbe, Baustellenpraxis, Gießen 1956; Heinrich Schmitt, Hochbaukonstruktion, Ravensburg 1956; Leopold Sautter, Das grosse ABC des Bauens, Braunschweig 1953, fortlaufende Sammlung; Friedrich Eichler, Wärme- und Wasserdampf im Hochbau, Berlin 1953; Leopold Sautter, Wärmeschutz und Feuchtigkeitsschutz im Hochbau, Berlin 1948; Richard Flügge, Das warme Wohnhaus, Halle 1926; W. Büning, Die neue Bauanatomie, Berlin 1947; Handbuch der Architektur, III. Teil Hochbaukonstruktionen Stuttgart 1901; F.Hart, E. Bogenberger, Der Mauerziegel, München 1964; Wilhelm Schaupp, Die Außenwand, München 1962; Friedrich Eichler, Horst Arndt, Bauphysikalische Entwurfslehre, Berlin und Köln 1982; Carl Krause, Außenwandsysteme, Berlin 1969; Helmuth Künzel, Bauphysik – Geschichte und Geschichten, Stuttgart 2002; derselbe, Luftschichten und Belüftung, in: H. Künzel, Bautraditionen auf dem Prüfstand, Stuttgart 2014; Martin Mittag, Baukonstruktionslehre, Gütersloh 1952, YTONG-Handbuch, Wiesbaden 1974; Hbl-Handbuch, Düsseldorf Beton-Verlag 1983; H. Schweikert, Schäden an ausgeführten Außenwänden mit Kerndämmung, Karlsruhe 1983; AIBau/BMBau, Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs unter besonderer Berücksichtigung des Wohnungsbestandes, Aachen 1996; IfB, Erarbeitung kostengünstiger ökologischer Maßnahmen im Gebäudebestand, in: IRB-Verlag F 2378, Stuttgart 2000; Leopold Sautter, Die warme Wand, in: BAUWELT Juni 1936, derselbe, "Der Hohlmauer-Aberglaube" und "Fragen zum Hohlmauer-Aberglauben" von Reg.-Baumeister Leopold Sautter. Bauwelt 47 u. 51/1939; Leopold Sautter, Erfahrungen mit Heizung und Wärmeschutz- Der Winter 1939/40, in: Haustechnische Rundschau, Halle 1941; S. Christensen, Kosten und Nutzen energiesparender Baukonstruktionen, Wiesbaden 1981; Friedrich Heck, H. Hebgen, Außenwandkonstruktionen mit optimalem Wärmeschutz, Düsseldorf 1973; Kalksandstein BV, 100 Jahre Kalksandstein-Industrie, Hannover 1994; Erich Minder, Wände und Decken, I Wände, Sammlung Göschen Leipzig 1936; Bauwelt-Verlag, Wände im Hochbau, Berlin 1940; Institut für Bauforschung Hannover, k-Werte alter Bauteile, RG Bau-Verlag, Eschborn 1983; Gösele/Schüle, Schall-Wärme-Feuchtigkeit , Wiesbaden 1972; Hubert Reichert, Konstruktiver Mauerwerksbau, Köln 1976 und 1992; Leopold Sautter, Bauen mit Vollwärmeschutz, Ludwigshafen 1962; Reiher/Künzel, u.a., Wärme- und Feuchteschutz in Wohnbauten, Reihen-Vergleichs-Versuche, Berlin 1958; Geerd Dahms, u.a., Stein auf Stein, Ländliches bauen zwischen 1870 und 1930, in: Arbeiten und Leben auf dem Lande Band 6, Freilichtmuseum am Kiekeberg, Hamburg 1999; BAUWELT, Tafeln des Baubedarfes, Heft 25, 1935;, Heft 9-1932, Heft 9-1929, Heft 34-1939, Heft 34–1939; dena, Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden, Berlin 2004; BM-Wirtschaft, Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand, Berlin Bundesanzeiger, fortlaufend; G. A. Breymann, Bau-Constructions-Lehre mit besonderer Beachtung auf das Hochbauwesen, Stuttgart 1881; J.S. Cammerer, Konstruktive Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau, Berlin 1936; Ernst K.H. Wulkan, Das Verhalten von Dämmstoffen in nachträglich verfülltem zweischaligen Mauerwerk mit Luftschicht, in BAUPHYSIK 4/1983; Kurt Kirtschig, Hannover, Zur Funktionsweise und Bewährung von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung,

in: Aachener Bausachverständigentage 1989; H.P. Lühr, Kerndämmung – Probleme des Schlagregens, der Diffusion, der Ausführungstechnik, in: Aachener Bausachverständigentage 1985; Bundesamt für Konjunkturfragen, Handbuch für Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen, Bern 1983, dasselbe, Wärmetechnische Gebäudesanierungen in der Praxis, Bern 1985; Herbert Nebel, Sanieren und Modernisieren von Gebäuden, BMBau-Schriftenreihe 06.106, Bonn 1985; Walter Henn, Aussenwände, München 1975; BMFT (Hrsg.), Bauen und Energiesparen – Ein Handbuch zur rationellen Energieverwendung im Hochbau, Köln/Bonn 1979; Britt Haker, Möglichkeiten und Grenzen nachträglicher Kerndämmung, FH Kiel 2001; H. Künzel, Keine Probleme bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung, in Baumarkt 9/1990; Helmuth Künzel, Wärme- und Feuchteschutz von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung, in Bauphysik 1/1991; Helmuth Künzel, Zweischaliges Mauerwerk- mit oder ohne Belüftung?, H. Künzel in wksb Heft 42 (1998); R. Borsch-Laaks, Nachträgliche Kerndämmung ohne Risiko, 2. Info-Kreis Bausanierung , Kiel 2000; Institut für Ziegelforschung, Untersuchung von nachträglichen Kerndämmmaßnahmen mit unterschiedlichen Dämmstoffen am Objekt, IRB-Verlag Stuttgart 1991; nicht näher genannt: Diverse Energiestudien und städtische sowie regionale Energiekonzepte mit Gebäudetypologien für Wohngebäude mit Baukonstruktionen in Hausdatenblättern.

[11] Es existiert in der Regel eine schwache Belüftung der Schicht durch Fehlstellen, Ritzen und Haarrisse. Dichtheitsuntersuchungen und Erfahrungen aus der Praxis der Einblasdämmung zeigen, Luftschichten stehen am Ortgang, den Traufen, den Rollladenkästen und rings um die Fenster, insbesondere unter den Fensterbänken mit der Außenluft in Verbindung. Bei Sichtmauerwerk wurde durch Druck- und Sogzonen an der Fassade vom Fraunhofer Institut Holzkirchen ein „Pumpen“ von Luft über Haarrisse in den Fugen beobachtet.

[12] Helmuth Künzel, Wärme- und Feuchteschutz von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung, in Bauphysik 1/1991; Helmuth Künzel, Zweischaliges Mauerwerk- mit oder ohne Belüftung?; H. Künzel in wksb Heft 42 (1998); Prof. Gösele und Prof. Schüle, Schall, Wärme, Feuchtigkeit, Wiesbaden 1972, Fotos Seite 243; Sautter Leopold, Vom Sinn und Widersinn der Luftschichten- Der Hohlmaueraberglaube, in: Bauwelt Heft 30, 1941

[13] Prof. Walbe, Hochbau in Stein, Berlin 1920

[14] Künzel, Helmuth, ebenda, auch Prof. Hugo Ebinghaus stellt zweischaliges Mauerwerk in: Die Baustellenpraxis, Giessen 1958 immer noch ohne jegliche Belüftung dar und bezweifelt den Sinn von Luftschichten Das Hohlmauerwerk kommt aus der Tradition der nichtbelüfteten Luftschicht.

[15] Ernst K.H. Wulkan, Das Verhalten von Dämmstoffen in nachträglich verfüllten zweischaligen Mauerwerk mit Luftschicht, in BAUPHYSIK 4/1983

[16] IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018; Das Mengengerüst ergibt sich wesentlich aus dieser Studie, andere Schätzungen sprechen ohne Belege von 1,0 bis 1,5 Mio. Fachwerkhäusern in Deutschland.

[17] Vgl. P. Ressel, Die Wahl des richtigen Fertighauses, Wiesbaden 1973; OKAL-Details o.O, o.J.; IRB-Verlag, Prof. Dr. Vangerow-Kühn, Die Fertighaus- Bauindustrie in der Bundesrepublik als Modell für Rationalisierung durch Industrialisierung im Bauen, Stuttgart 1984; BMBau, Verhalten von vorgefertigten Außenwänden und Außenwandverkleidungen, Bonn 1975; HAWK, Sanierung und energetische Modernisierung von Holz-Fertig-Häusern, Hamburg o.J. um 2010; Fertighausverzeichnis, Dokumentationen verschiedener Hersteller 1960ff.

[18] Fraunhofer IBP, Wärmeschutz im Fertighausbau, Holzkirchen 1981, Analyse auf Basis von 500 Gebäudeuntersuchungen der Baujahre 1970 bis 1980, deren Wärmeschutz den Anforderungen für leichte Bauteile der DIN 4108 und den WSchVO 1977 entsprechen sollten

[19] Vgl. z.B. Friedrich Eichler, Tabellen für das Bauwesen, Decken und Bodenbeläge, Berlin 1956; derselbe, Schall- und Wärmeschutz der Massivdecken im Wohnungsbau, Berlin 1952; BAUWELT 18/1954, Berliner Decken und Wände; Heck/Hebgen, Dächer, Decken, Fußböden mit optimalem Wärmeschutz, Düsseldorf 1975; Handbuch der Architektur, Die Hochbaukonstruktionen – Balkendecken, Stuttgart 1901; R. Stegemann, Vom wirtschaftlichen Bauen, Holz- und Massivdeckenwettbewerb, Dresden 1928 und weitere Ergebnisse in Vom wirtschaftlichen Bauen, Dresden 1932; Institut für Bauforschung, k-Werte alter Bauteile, Hannover/Eschborn 1983

[20] Daniel Kehl, Norman Werther, Prima Klima im Kriechkeller? Teil 1 und Teil 2 in: Holzbau-Quadriga, 2 und 3 /2005

[21] IWU, Datenerhebung Gebäudebestand, Darmstadt 2018, ebenda

[22] Bei der Beurteilung der Volldämmung solcher Geometrien kommt es zuweilen zu dogmatischer Übertragung von Normvorschriften, die für physikalische Situationen zwischen den Sparren bei bewohnter Dachabschnitte gedacht sind, auf die Abseiten-Einblasdämmung. Neben den im Text genannten Argument kommt noch hinzu, das ältere Ziegel nicht den Dichtegrad neuer Ziegel haben und über ihre Ränder trocknende Kaltluft eintritt. Auch wird das Eindringen von Regen durch innen anliegende Materialien behindert, ähnlich wie innen dichte offene Mauerwerksfugen nicht von Regen durchlaufen werden können. Dies ist aus der Fachwerkforschung bekannt.

[23] IWU, Datenerhebung Gebäudebestand, Darmstadt 2018

Funktionierend, einfach, schnell ausgeführt, bezahlbar und kompromisslos ökologisch