

Niedriginvestive Energiespartechniken für die Energiewende im Gebäudesektor



1

Heizenergieeinsparpotenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand



110

Strom- und CO₂-Einsparpotenzial durch Einsatz von elektronischen Umwälzpumpen in Wohn- und Zweckbauten



Michael Jarmoluk

144

Energie- und CO₂-Einsparpotenzial durch Austausch von Elektrokleinspeichern und E-Durchlauferhitzern durch elektronische Durchlauferhitzer in Wohn- und Zweckbauten



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
Mönchebreite 16
33102 Paderborn
www.fved.net



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



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

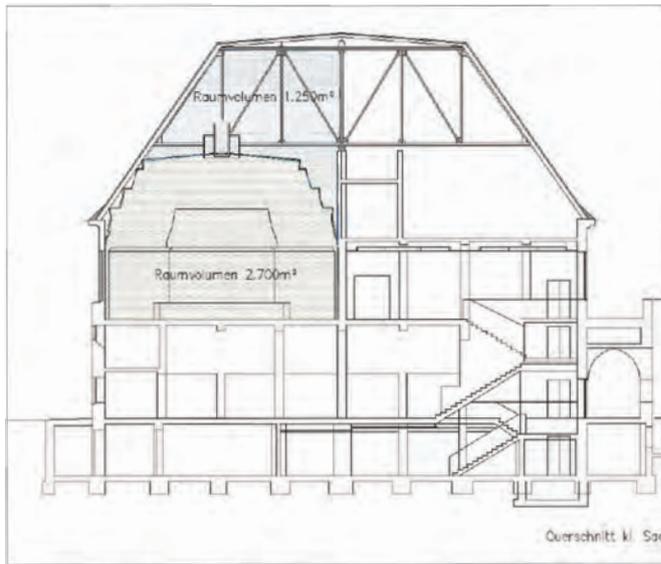


Das Heizenergieeinsparpotenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

◇ DIE GLOCKE ◇

JCDecaux

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
Mönchebreite 16
33102 Paderborn
www.fved.net

Frankfurt am Main/Paderborn 2022

Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort	1
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 CO ₂ -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. m ²	16
Abbildung 10: Erste gedämmte Aussenwände in einer Ausstellung 1924	16
Abbildung 11: Nachträgliche Dämmung bei Hohlmauerwerk in Prozent und Mio. m ²	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: CO ₂ -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 CO ₂	27
Abbildung 26: Investition und Barwerte der Heizkosteneinsparung - Innendämmung Fachwerkwände	28
Abbildung 27: FörderCent im Vergleich mit CO ₂ -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 CO ₂ 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 CO ₂ im Vergleich - Betonfertigteilaußenwände	38
Abbildung 46: Investition 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: Investition 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: Heizenergieeinsparung durch Einblasdämmung in Abseitenräume in TWh/a	68
Abbildung 99: Kosten der eingesparten Tonne CO ₂ durch Einblasdämmung in Abseitenräume	68
Abbildung 100: Investitionskosten 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/(m ² K)	72
Abbildung 104: BMBau Schriftenreihe 1963 ff, Dachdecke Modellbauvorhaben mit 1,4 W/(m ² K)	72
Abbildung 105: BMBau Schriftenreihe Dachdecke Modellbauvorhaben mit 0,59 W/(m ² K)	72
Abbildung 106: BMBau Schriftenreihe Dachdecke Modellbauvorhaben mit 1,37 W/(m ² K)	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 $U=0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	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: Heizenergieeinsparpotenziale durch Einblasdämmung in bel. Flachdächer in TWh/a	85
Abbildung 125: Flachdach-Volldämmung im Belüftungsraum $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	85
Abbildung 126: Flachdach als Kombidach mit Volldämmung+Umkehrdach $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	85
Abbildung 127: Kosten der eingesparten Tonne CO_2 bei bel. Flachdächern (Volldämmung)	86
Abbildung 128: Investitionskosten 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 Betonfertigteiltbauweise	93
Abbildung 138: Rollladenkasten aus der Gründerzeit	95
Abbildung 139: 1950 ff. Undicht und große Abkühlfläche	95
Abbildung 140: 1980 Rollladenkasten mit $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	95
Abbildung 141: Heizenergieeinsparpotenzial 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 Rollladenkästen	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 Betonfertigteilfeassaden 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 Kehlbalckenlagen 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 hier nicht 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 Hohl-schichtkonstruktionen. 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 unverständenen Feuchteschutz.

Heute, wo wir den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch, Ressourcenvernichtung und CO₂-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 Außenbautei-

le mit Hohlräumen nicht zu vernachlässigen. Durch Dämmung der noch ungedämmten 675 Mio. m² zweischaligen Mauerwerks, von 1 Mrd. m² ungedämmter Decken und 400 Mio. m² ungedämmter Dachflächen kann ein CO₂-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 CO₂-Einsparung mit und ohne staatliche Förderung.
- Wirtschaftliche Energiesparteknik.
- Problemlose Ergänzung der Hohlraum-dämmung 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 CO₂-Einsparprozess in unserem Land zu beschleunigen.



1 Kurzfassung

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.

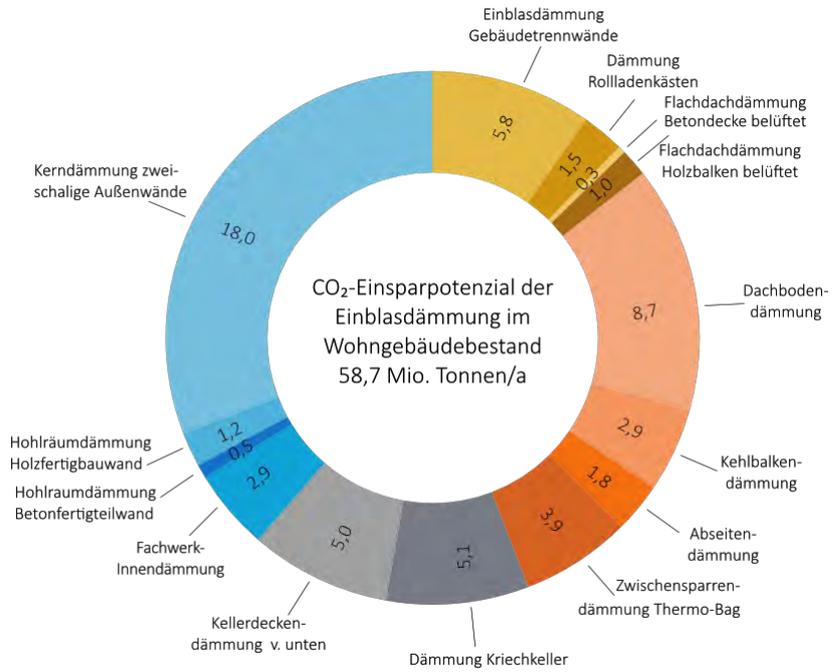
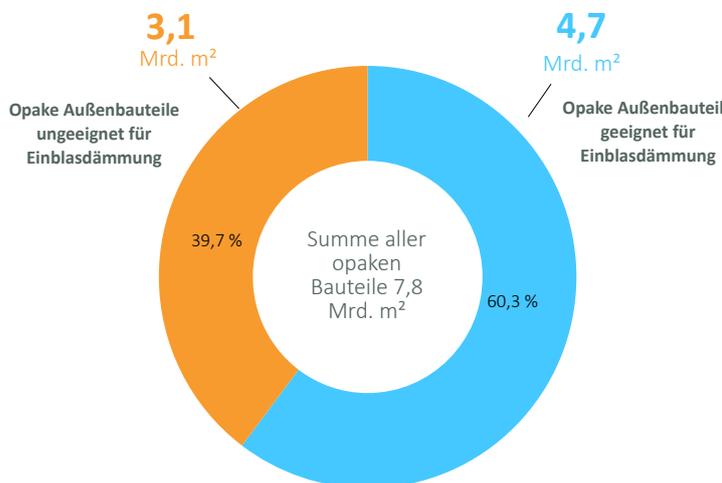


Abb. 1: CO₂-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung nach Bauteilen im Wohngebäudebestand

derlichen 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.

den. 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 Absseiten/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 CO₂-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 zurückerhalten. Auch bei der CO₂-Einsparung verzeichnet die Einblasdämmung wirtschaftliche Pluspunkte: Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. liegen im Durchschnitt mit 54,50 EUR/to nur bei einem Zwölftel der Schadensbeseitigungskosten jeder emittierten Tonne CO₂-Äquiv.. Für Hauseigentümer ist es billiger CO₂ einzusparen, da auch die für 2030 anvisierte steuerliche Belastung der fossilen Energieträger von 65 EUR/Tonne CO₂ 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 Außen-dämmung ergänzt werden kann, die sie durch Schließung mit Außenluft hinter-

strömter 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

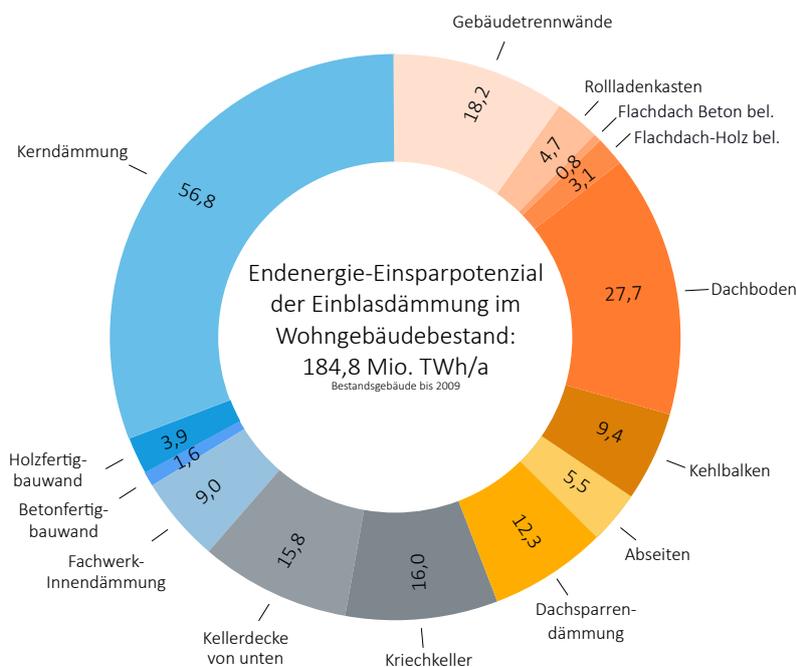


Tabelle 1: Übersicht - Hauptergebnisse Potenzial der Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

Bauteil/ Energiesparmaßnahme	Heizenergieeinsparung	CO ₂ -Einsparung	Wohngebäude	Zu dämmende Bauteilfläche	Kosten eingesparte Tonne CO ₂	Massnahme -Kosten	Investition	Barwert Heizkosteneinsparung	Amortisation Barwert	20 %-Fördermittel über 30 Jahre	FörderCent pro eingesparte kWh
	TWh pro Jahr	Mio. to CO ₂ -Äquiv. p.a.	Mio. Stck.	Mio. m ² / Mio. Stück Rollladenkästen	EUR/Tonne CO ₂ über 40 Jahre	EUR/m ²	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
Dachsträgen 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, Vollämmung, 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 CO₂-Emissionen nach den Versuchsprinzip ohne Anteil TWW (geschätzt); *) Sonderfall Trennwände erhalten durch Dämmung adiabatische Funktion (2 Nachbarn)

2 Heizeregieeinsparung durch Einblasdämmung im Wohngebäudebestand

2.1 Methodik

Die Studie erhebt erstmalig das Potenzial der Einblasdämmung. Sie berechnet das durch diese aktivierbare Heizeregie- und CO₂-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/gebäudebestand/episcopo/2015_IWU_LogeEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypolo-

Abb 4: Deutsche Wohngebäudetypologie - Wohnflächen und Gebäudeklassen bis 2009

Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 Stichtag: 9.5.2011		Baualtersklassen										Summe	Anteil
		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. m ²	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. m ²	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. m ²	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. m ²	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, Reihenhäuser 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")

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

gie.pdf Die Studie verdichtet die 46 Gebäudetypen auf 41 und erweitert die Baualtersklassen bis 2009, berechnet 2 Einsparzenarien 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

- Institut Wohnen und Umwelt, Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudereich, 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 Deutscher Gebäudereport 2012 bis 2021, Berlin 2012 ff., enthält Daten zu Wohn- und Nichtwohngebäuden.

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

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 Umfragerhebung des IWU angelegt. Die folgenden Elemente der wärmetauschenden Hüllfläche wurden quantifiziert:

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

Wohngebäude-Typ	Anzahl Wohngebäude	Wohnfläche m²	Anzahl Wohneinheiten WE	Energiebezugsfläche Typgebäude m²	Wohngebäude-Typ	Anzahl Wohngebäude Stück	Wohnfläche m²	Anzahl Wohneinheiten WE
Einfamilienhäuser					Kleine MFH			
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

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.

- TU Dresden, Prof. Clemens Deilmann u.a., Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013
- Gierga, M.; H. Erhorn: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude

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 kWh 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 CO₂-Einsparung ist der Heizenergie-trägermix nach AG Energiebilanzen in der Fassung der Bayerischen 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 CO₂-Emissionsdaten für den Raumwärmesektor zum Vergleich benutzt.

Block D dokumentiert die Heizenergie- und CO₂-Einsparung sowie Kosten und Wirtschaftlichkeit. Hierzu werden die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-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



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 bestimmbarer 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
	m ²	Prozent	m ²
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 Akzep-

tion für den Transformationsprozess zu erhalten. Das spiegelt sich in der Erhöhung des Klimawohnlohns 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 m ²	3.561.117.867	3.085.378.848	3.490.000.000	3.280.000.000
Dachflächen m ²	2.391.841.550	2.164.666.791	2.430.000.000	2.160.000.000
Kellerdecke m ²	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 **)Datenangabe 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, Gräfeffing 2013; IFEU/Beuth-Hochschule 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 CO₂-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, erhalte 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 Energieverwendung 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 CO₂-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 kos-

tengünstige 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 Kehlbalckenlagen
- 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 Kehlbalckenlagen
- Hergestellte Abhängungen bei unebenen Kellerdecken oder vielen Rohrführungen unter der Decke

- Schwer erreichbare Kriechkeller
- Umbau von Schwachstellen (Rolllädenkästen, 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 Kehlbalcken und Abseitenräumen (nicht begehrbar)
- Aufblasdämmung auf unebene Binderdächer, nicht begehrbar.
- Aufblasdämmung auf Böden, Kuppeln und sonstige unebene, geometrisch komplizierte und schwer erreichbare Dachsituationen
- Aufblasdämmung auf Dachböden (nicht begehrbar).
- Aufblasdämmung auf Dachböden (begehrbar).
- 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 feuchetechnischer 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 Hohlräu-

me 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 Fertighaus-Außenwände Holzbalkendecken/Flachdach Gebäudetrennwände 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 Hohlraum zwischen Sparren Belüftungsraum Flachdach Hölzerne OG-Decken	Unterbindung der Kaltfluthinterströmung 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, komplizierte unzugängliche Bauteiloberflächen 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 Kehlbalkenlage Abseiten 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.

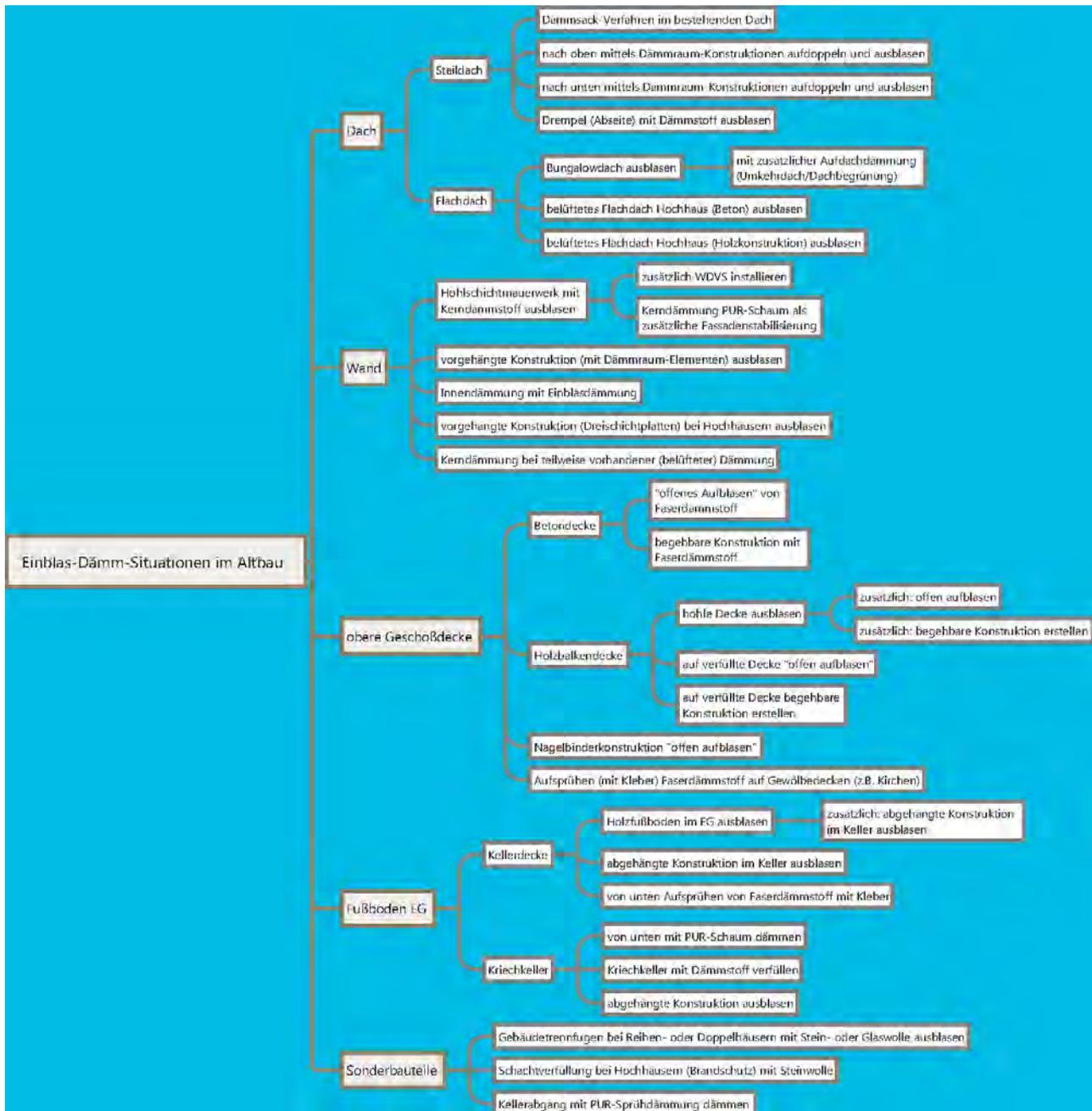
- Verfüllung stillgelegter Rollladenkästen oder Dämmung von Heizkörpernischen.
- Einblasdämmung von neuen Vorhangfassaden auf Altbauwänden zur Erzielung des Wärmeschutz-Optimums.
- Innendämmung im Altbau durch Einblasen in den Hohlraum zwischen hierzu angebrachten Stegträgern mit In-

nenbekleidung (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 Steinwolleflocken. Ihr Einsatz konzentrierte sich besonders auf den Holzrahmenbau im Neubau. Seit der Jahrtausendwende wurden weitere Dämmstoffe ent-

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 Passiv-

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 Herstellungskosten eines vermiedenen Ersatzrohbaus abzuziehen. Daraus resultiert eine Gutschrift, sowohl bei der Herstellungs-Primärenergie

Dämmstoff Ziel-U-Wert 0,2 W/(m ² K)	Rohwichte	Wärmeleitfähigkeit	Dämmdicke	Herstellungs-Primärenergie	Primärenergie-Einsparung über 50 Jahre	Energetische Amortisation Dämmstoff	Baustoffklasse	Diffusionswiderstand	Materialkosten****)
	kg/m ³	W/(mK)	cm	kWh/m ²	kWh/m ²	Monate	-	μ	EUR pro m ²
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
Bläherperlit	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 Konkurrenz: Sicherung instabiler Außenschalen durch Klebekräfte des PU, Ausgangs-U-Wert 1,4 W/(m²K); **) in ETA nicht geregelt; ***) ohne MWST; Stand 2022****) derzeit keine AbZ

wickelt, 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..

hausstandard 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 Herstellungskosten zahlen sich innerhalb weniger Monate zurück. Auch in Sonderfällen mit geringem Marktanteil (2 Fälle)

als auch bei den CO₂-Emissionen in Folge.

Nähere Eignungskriterien finden sich in Drewer u.a. „Wärmedämmstoffe“ und in Kurztaxen für den iSFP auf der Internetseite des Fachverbandes Einblasdämmung⁶: <https://www.fved.net/> Der Verband offeriert eine Liste der Verbandsmitglieder, die sich auf einen einheitlichen Qualitätsstandard verpflichtet haben und gemeinsam Schulungen durchführen.

2.5 Niedriginvestives Dämmverfahren

Die Einblasdämmung ist ein niedriginvestives Dämmverfahren, ein Faktor, der für den Fortgang der CO₂-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 Hohl-schichten 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 Däm-

mung 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 weiterreichenden Klimaschutz am Gebäude.

Tabelle 6: Sanierungskosten Einblasdämmung - herkömmliche Dämmsysteme

Einblasdämmsysteme	Kosten	Platten-Dämmsysteme	Kosten
	EUR/m ²		EUR/m ²
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/(m ² K)	100/Stück	Vorsatzrolladen (Stück) 0,2 W/(m ² K)	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 Wand-

konstruktionen Hohlräume, die durch die Einblasdämmung energetisch verbessert werden können.

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

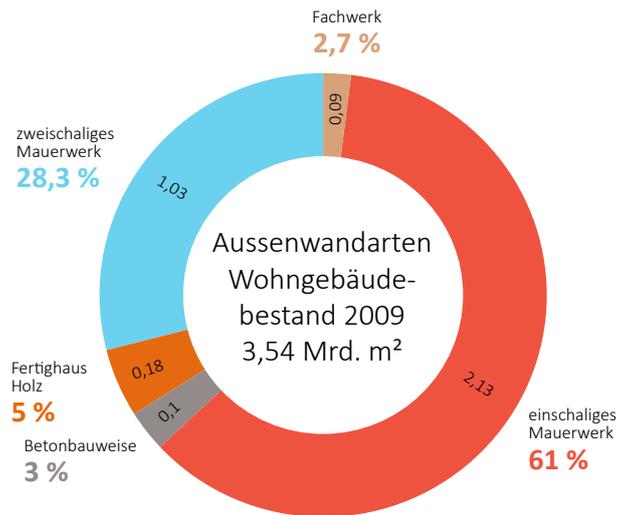


Abb. 10: Erste gedämmte Aussenwände in einer Ausstellung 1924 - Bildmitte: Kerndämmung als damals neue Technik



A close-up photograph of a brick wall. A white corrugated pipe is attached to the wall, and a metal downspout is visible on the left. The bricks are reddish-brown with visible mortar joints. The lighting is bright, suggesting a sunny day.

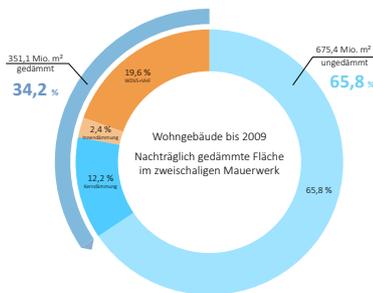
Einblasdämmung bei Außenwänden

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.

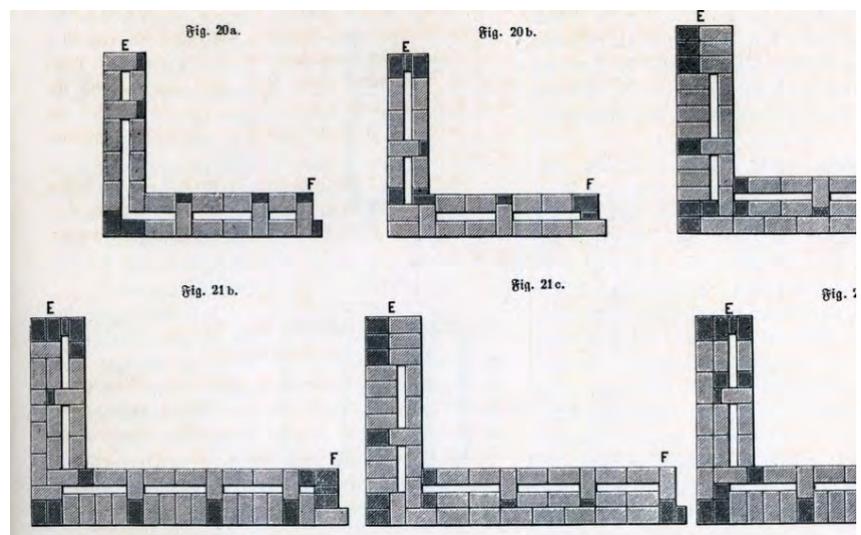
Die Baualtersklassen vor 1918 Fachwerk und die Altersklassen nach 1995 sowie der Hochhaustyp wurden nicht berücksichtigt, da in diesen Baualtersklassen oder Gebäudetypen einschalige Wände existieren oder schon beim Neubau eine Dämmung plus Luftschicht angeordnet wurde, deren geringe Dicke eine nachträgliche 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 bei-

den 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 schmäleren 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-

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

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 Torfmoos, Schlacke, Bims Kies oder anderen schlechtleitenden Stoffen“¹³ Wurden bei Mehrfamilien-

häusern die Hohlräume der Holzbalkendecken als „Umlaufisolierung“ an die Luftschicht der Wände angeschlossen und in den unbeheizten Dachraum geführt, kam es zu systematischem Kaltluftzutritt in die Decken. Nach 1920 finden sich Beispiele von zweischaligem Mauerwerk mit Kohलगrus oder Schlackenfüllung der Hohlchicht 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,

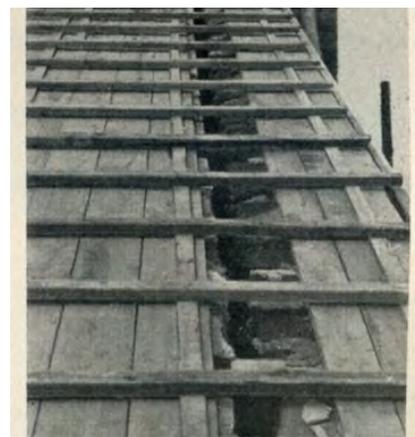


Abb.13: Ortgang offen wg. Hohlchicht

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 1990er 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 Hohlchicht würde durch die Kaltluft hinterströmung 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

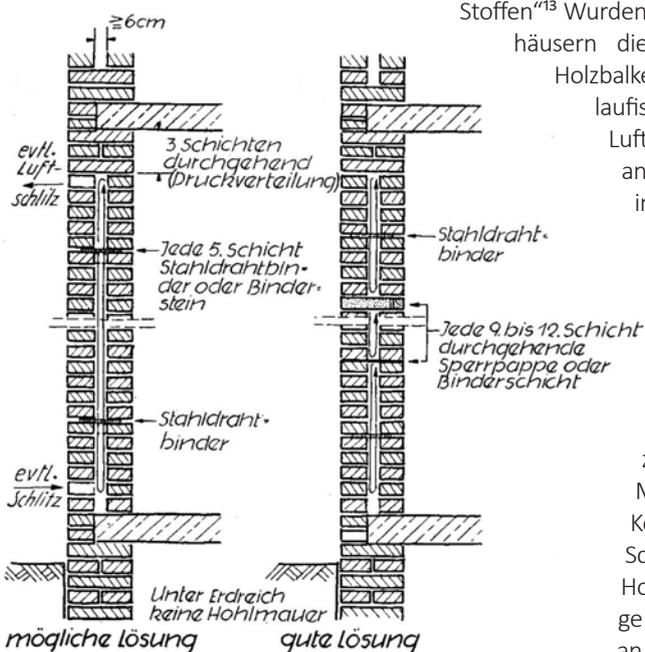


Abb. 14: Rotationsströmung in der Luftschicht (symbolisch) 1958

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

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 betragen im 19. Jahrhundert $\frac{1}{4}$ Stein oder 6 cm Dicke und erhöhen sich mit der DIN 4172 ab 1952 auf 7,5 bis 10 cm. Der Mauerwerk-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 Sonder-

fällen, 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 Hohl-schichtdämmung 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/m ³	W/(mK)	cm	kWh/m ²	kWh/m ²	Monate	-	μ	EUR pro m ²
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 Konkurrenz: Sicherung instabilerAußenschalen durch Klebekräfte des PU

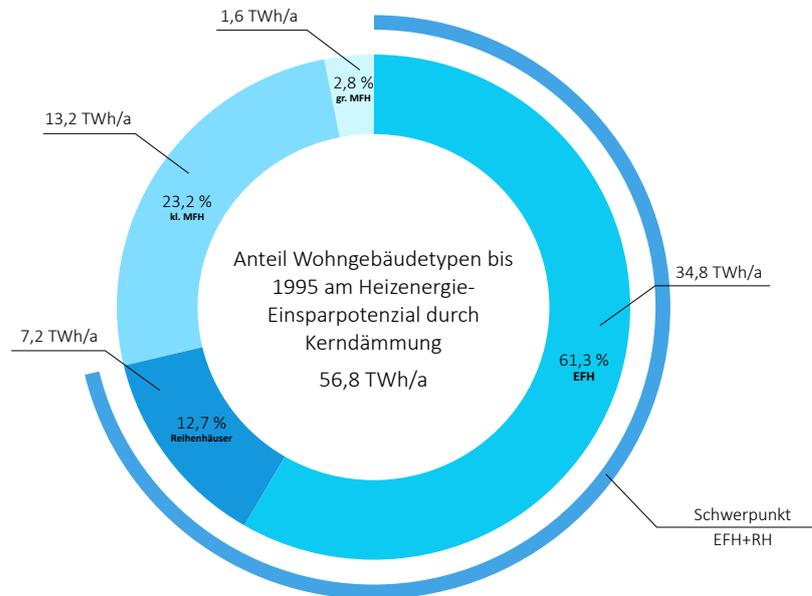
3.1.3 Heizenergie- und CO₂-Einsparpotenzial der Kerndämmung

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 Mengengerüsts.

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

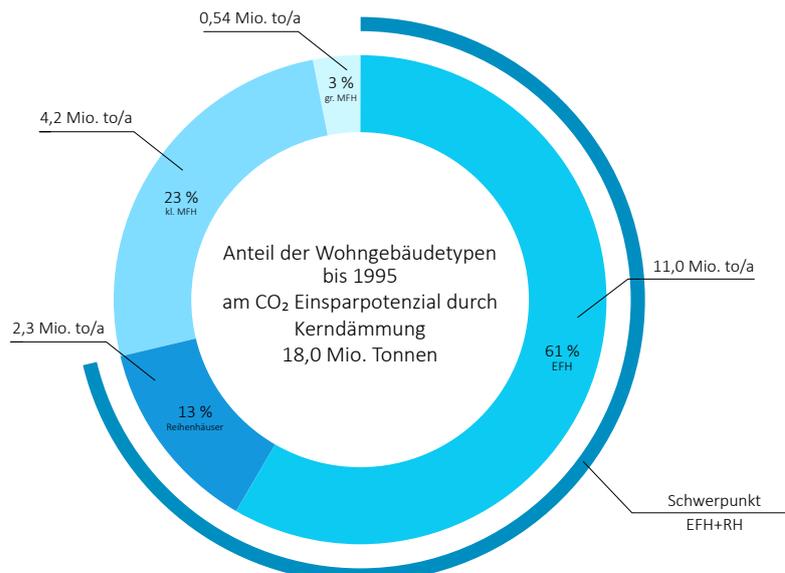


Potenzial CO₂-Einsparung

Die CO₂-Einsparung wurde mit dem CO₂-Emissionsfaktor 316 g/kWh des deutschen Heizenergiemixes berechnet. Die Kerndämmung erzielt in den 3,6 Mio. Wohngebäuden mit ungedämmten zweischaligen Mauerwerk eine CO₂-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 CO₂-Einsparung die Ein- und Zweifamilien- und Reihenhäuser.

Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-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 CO₂-Äquiv. schätzt (Wohlfahrtsverlust) und der 2030 angestrebten steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne CO₂-Äquiv.

Abb. 16: CO₂-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 Hohllochdicke 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 Heizkostensparnis (Barwert) über 40 Jahre von 138,3 Mrd. EUR gegenüber. Der Netto-Barwert 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 CO₂-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen. Ab 2030 stehen der Förderung doppelte Einnahmen aus der CO₂-Steuer auf Gas- und Ölverbrauch in Höhe von 1,3- 1,7 Cent pro kWh gegenüber.

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

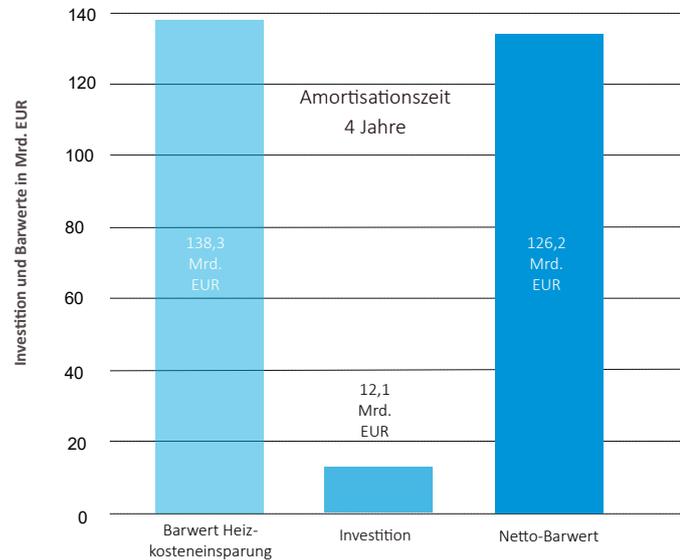
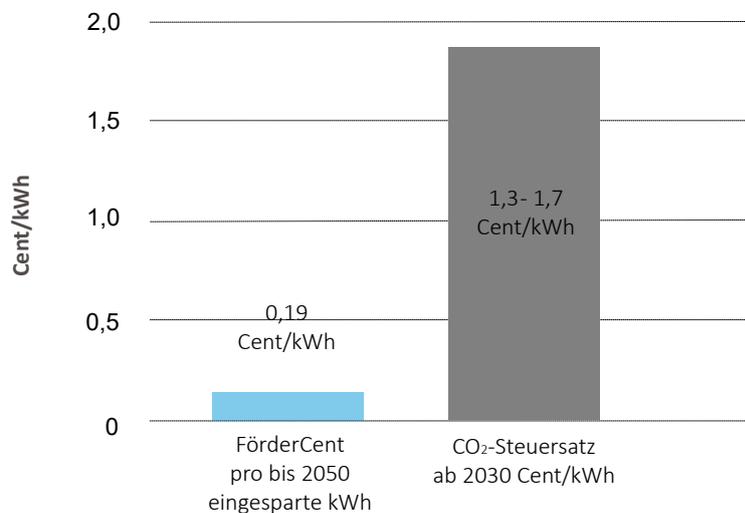


Abb. 18: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich - Kerndämmung im Wohngebäudebestand



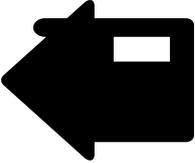
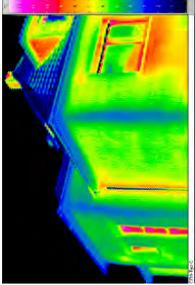
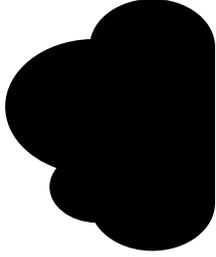
Grafik: Enemaint/Hut Mercon

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. m ²	3,6
Fläche zweischaliges Hohlmauerwerk	Mrd. m ²	1,02
Fläche zweisch. Hohlmauerwerk ungedämmt	Mrd. m ²	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/(m ² K)	0,77- 1,74
U-Werte gedämmt (mit Wärmebrückenzuschlag)	W/(m ² K)	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	€/m ²	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

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

Potenzial der Kerndämmung zweischaliger Außenwände im Wohngebäudebestand

				
Zu dämmende Wandfläche m ² 675 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 <small>bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to</small>	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

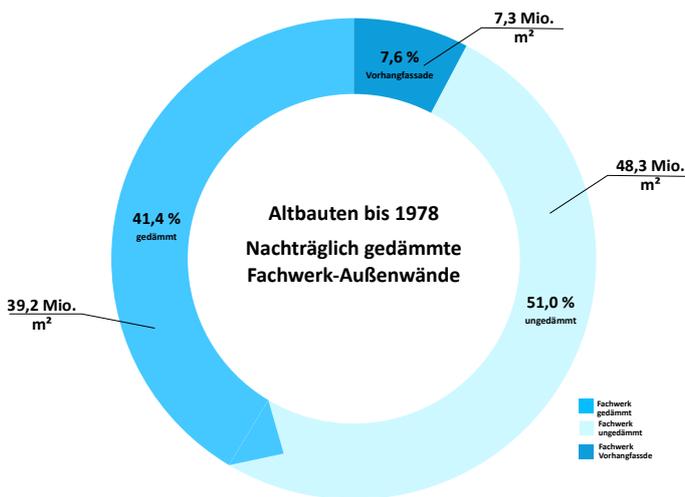
3.2. Innendämmung von Fachwerkwänden

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, für deren Lösung die 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

wände meist aus 12-16 cm dicken Holzkonstruktionen, ursprünglich mit Lehmsteinen oder Lehmgeflecht ausgefacht. Diese Materialien wurden ab 1850 durch billige und witterungsbeständigere Maschinziegel oder andere Kunststeine ersetzt. Seltener kam ab 1920 eine Innendämmung aus Holzwoleleichtbauplatten 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 Baualterklasse, Dicke und Ausfachungsmaterial zwischen 1,4 und 2,5 W/(m²K).

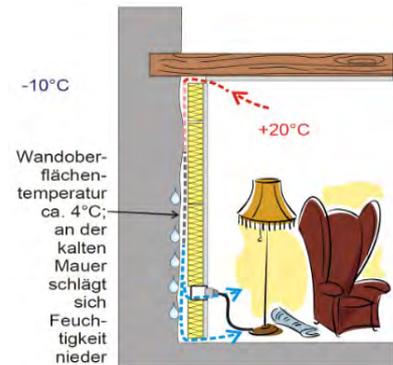
Abb. 20: Dämmstatus der Fachwerkwände 2016



ungedämmt. Diese Summe wird für die Innendämmung angesetzt und die in Frage kommenden Gebäudeflächen in allen Baualterklassen, 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 Baualterklassen 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 Baualterklasse A vor 1918, bei letzterem existiert das Fachwerk oft nur in den oberen beiden Stockwerken. Im Wohnungsbau bestehen Fachwerk-

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 feuchte-technisch vor allem aufgrund der Luftdichtung durch einen Innenputz.

Abb. 21: Feuchtegefahren unebener Wände



Quelle: HMWVL, Energiespar-Information Nr. 11

Abb. 22: Regen ist der Feind des Fachwerks



3.2.1 Einblastechnik für Fachwerk-wände

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 Dämmstofflocken 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 Innendäm-

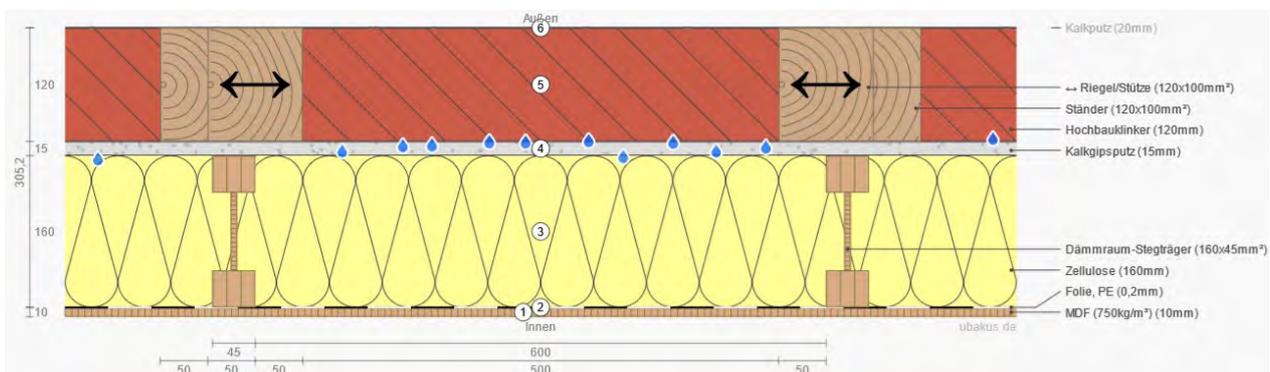
mung sinkt die Temperatur in der Fensterlaibung, dem wirken Dämmplatten in der Laibung entgegen, hier können sowohl kapillaraktive als auch diffusionshemmende Arten eingesetzt werden. Der ausführende Betrieb sollte eine QM-Qualifizierung besitzen.

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 $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ führen. Die Dämmdicke ist durch Dämmstoffe der WLS $0,033\text{-}0,035$ statt $0,039 \text{ W}/(\text{mK})$ 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 zu-

sätzlich 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: Fachwerkkinnendämmung mit Stegträger, feuchtetechnisch OK mit diffusionshemmender fugendichter Innenbekleidung



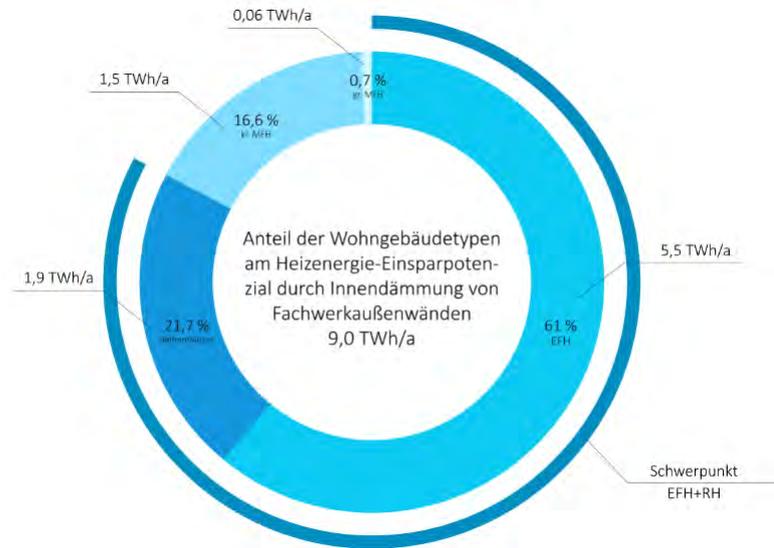
3.2.2 Heizenergie- und CO₂-Einsparung

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.

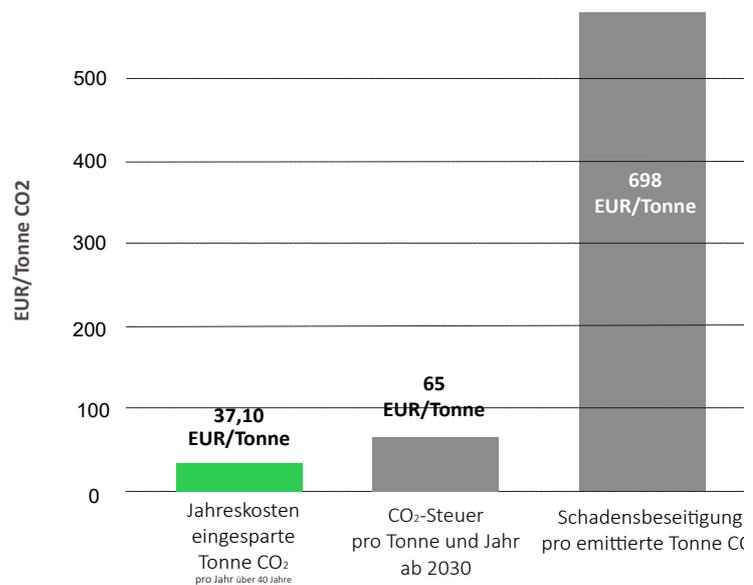
Abb. 24: Heizenergie-Einsparpotenzial der Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkaußenwänden nach Gebäudetypen in TWh/a



CO₂-Einsparpotenzial

Mit 2,9 Mio. Tonnen pro Jahr reduzierte die zu erwartende CO₂-Einsparung die jährliche CO₂-Emissionen aus dem Gebäudesektor (inkl. Nichtwohnbau) um 2 Prozent. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. liegen mit 37,10 EUR weit unter dem vom UBA errechneten erwartbaren Wohlstandsverlust, den die Emission jeder Tonne CO₂-Äquiv. hervorruft (698 EUR/to) und beträgt weniger als die im Jahr 2030 erreichte steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne CO₂-Äquiv..

Abb. 25: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Innendämmung von Fachwerkwänden.

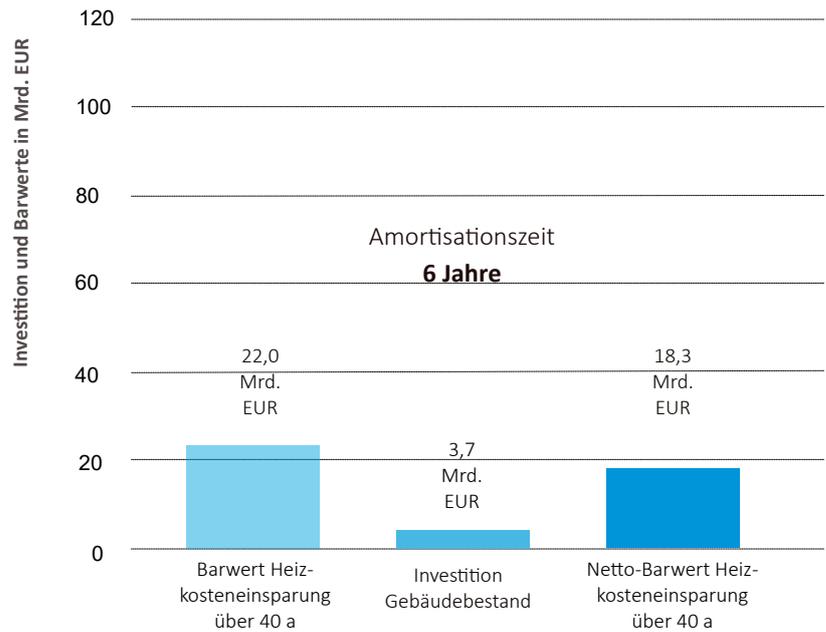


4.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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.

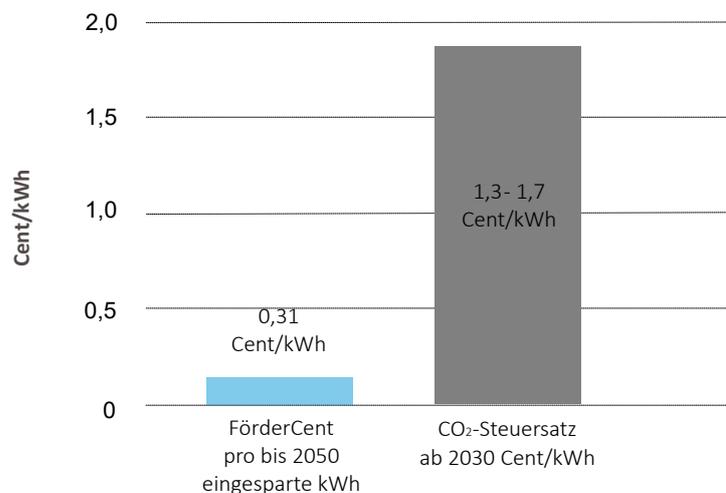


Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

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 CO₂-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen. Ab 2030 stehen der Förderung doppelte staatliche Einnahmen aus der CO₂-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 CO₂-Steuersatz pro kWh - Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkwänden im Wohngebäudebestand



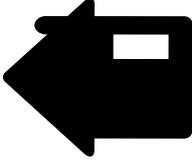
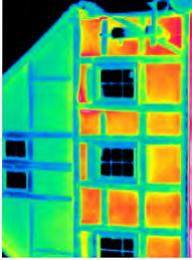
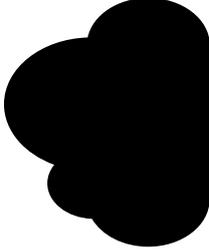
Grafik: Energieinstitut Hessen

Tabelle 9: Mengengerüst Potenzial der Einblasdämmung bei Innendämmung von Fachwerkaußenwänden im Wohngebäudebestand

Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Fachwerk-Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	0,5
Fachwerk Wohngebäude ungedämmt	Mio. Stck.	0,243
FW-Außenwandfläche	Mio. m ²	94,8
FW gedämmte Fläche	%	39,2
FW ungedämmte Fläche	Mio. m ²	55,6
FW Flächenansatz für Innendämmung	Mio m ²	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/(m ² K)	1,4- 2,5
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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

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

Potenzial der Innendämmung bei Fachwerkhäusern im Wohngebäudebestand

				
Zu dämmende Wandfläche m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste AW ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
48,2 Mio. m ²	0,244 Mio	10,1 TWh/Jahr	9 TWh/Jahr	2,9 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitionsvolumen	Barwert Heizkosteneinsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
37,1 EUR/to <small>bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to</small>	3,7 Mrd. EUR	22 Mrd. EUR	6 Jahre	76 EUR/m ²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen

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.

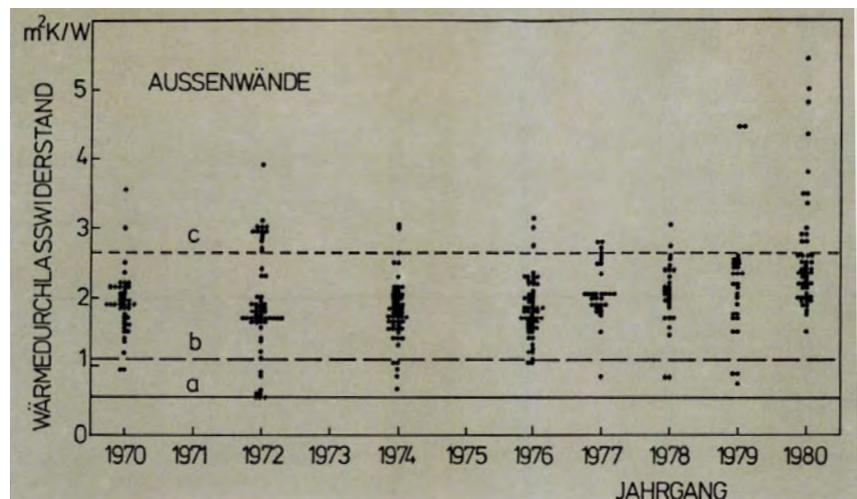
Abb. 29: Fertighaus der späten sechziger Jahre



Auf der Seite 32 sind 4 typische Fertighauswandkonstruktionen abgebildet, um die Lage der Hohlchichten 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 Voldämmung. 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



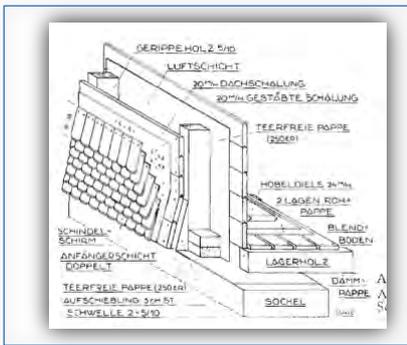


Abb. 31: 1920 ff Holzbauweisen mit 10 cm Luftschicht oder Torffüllungen usw.

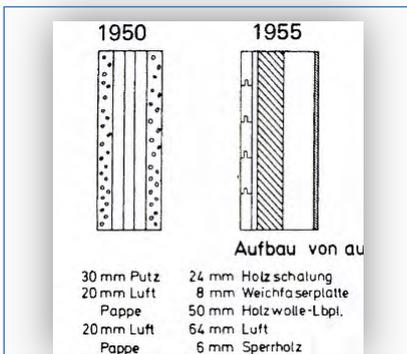


Abb. 32: 1950 Erste Erfahrungen, 2*2,0 und 6 cm Luftschichten waren dabei

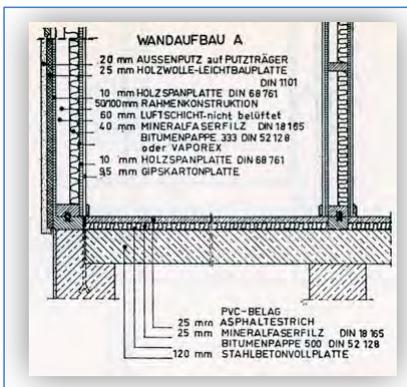


Abb. 33: 1960 Holzständer- und Rahmenbau mit wenig Dämmung und hier z.B. 6 cm Hohlraum

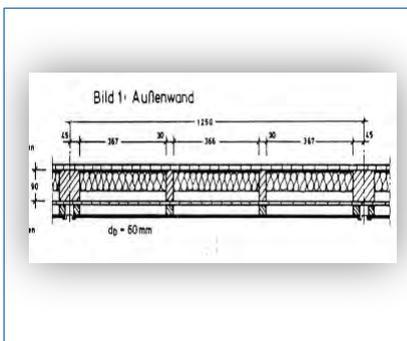


Abb. 34: 1970 Holzbauweise mit 3 cm Luftschicht, die Dämmdicken wachsen

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 Fachbereich, 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

weise 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



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 einblasen. Diese werden mit dem kreisrunden Materialausschnitt durch Verklebung wieder verschlossen und geschliffen. Diese Arbeiten können wahl-

3.3.2. Heizenergie und CO₂-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 Ein-

Abb. 36: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Fertighausaußenwänden im Wohngebäudebestand

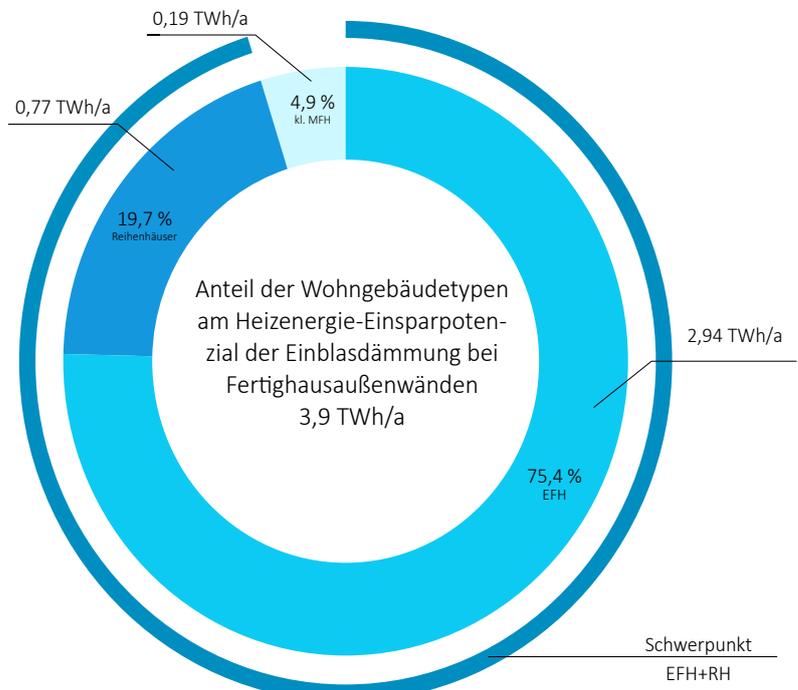
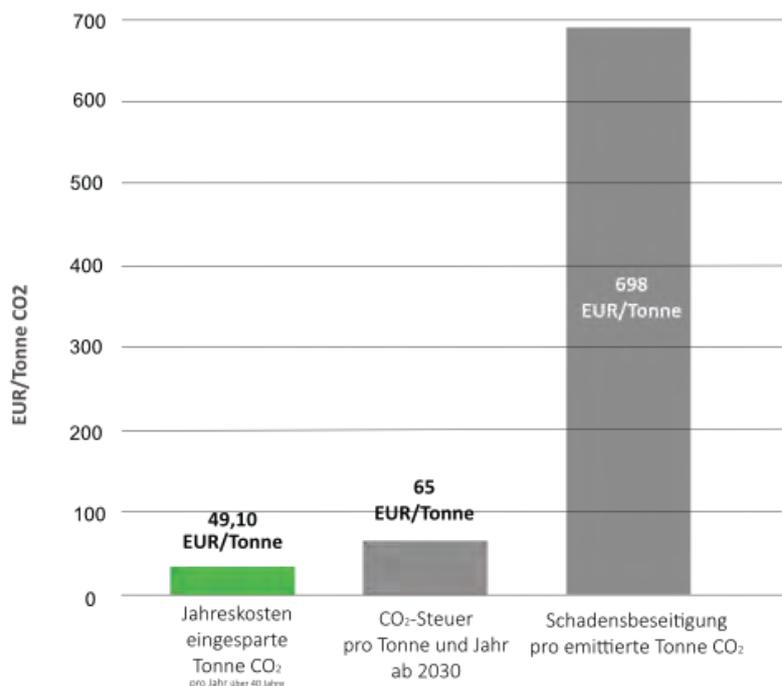


Abb 37: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Einblasdämmung in Fertighausaußenwände

CO₂-Einsparung

sparpotenzial.

Die CO₂-Einsparung bewegt sich mit 1,2 Mio. Tonnen pro Jahr in derselben Relation, allerdings in Bezug auf den gesamten Gebäudesektor inkl. Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. ergeben sich zu 49,10 EUR. Sie liegen damit unter den erwarteten Schadensbeseitigungskosten für jede emittierte Tonne CO₂-Äquiv. von 698 EUR/Tonne und der 2030 erreichten steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne CO₂-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.



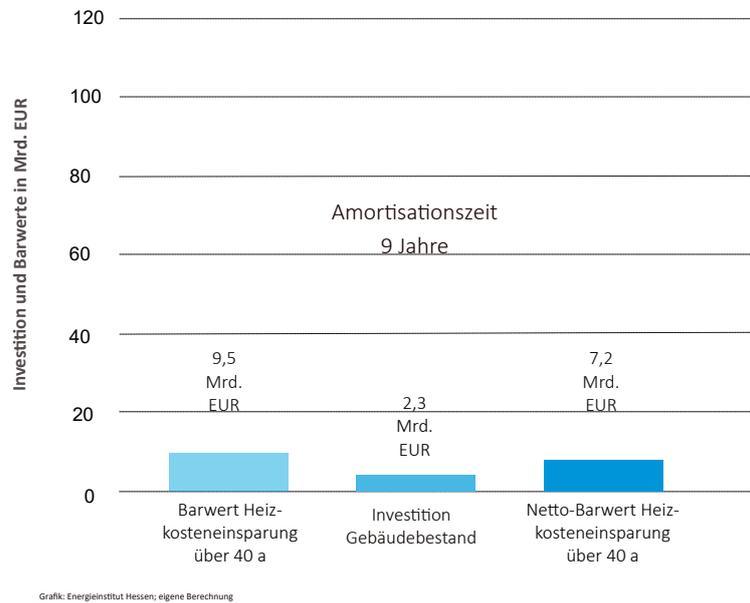
3.3.3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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



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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Steuerbelastung.

Abb. 39: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich zur Belastung durch die CO₂-Steuer

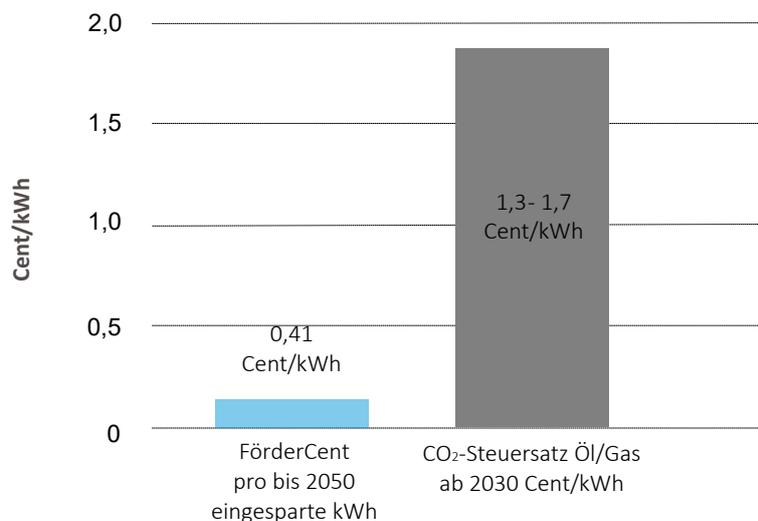
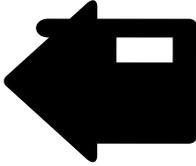
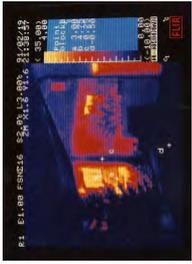
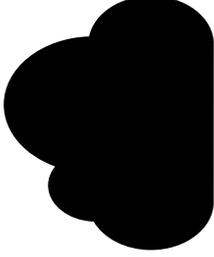


Tabelle 10: Mengengerüst Einblasdämmung in Fertighausaußenwände im Wohngebäudebestand

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. m ²	3600
Fläche Außenwände Fertigbauweise Holz	Mio. m ²	182,6
Außenwandfläche Fertigbauweise freie Wandhohlräume	Mio m ²	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/(m ² K)	0,5-0,8
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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 Heizkosteneinsparung über 40 Jahre	Mrd. EUR	9,5
Nettobarwert über 40 Jahre	Mrd EUR	7,2
Kosten der Massnahme	€/m ²	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 m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste AW ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen	Maßnahmekosten
151 Mio. m ²	0,762 Mio	7,7 TWh/Jahr	4 TWh/Jahr	1,23 Mio	15-20 EUR/m ²
					
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitions-volumen	Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch		
49,1 EUR/to bei Schadens-Vermeidungskosten von 698 EUR/to	2,4 Mrd. EUR	9,5 Mrd. EUR	9 Jahre		

3.4 Nachdämmung von vorgefertigten Betonwänden

Der Betonfertigteiltbau 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.



Abb 41: Stadtteil Hamburg Jenfeld, saniert 1990

In dieser Zeit entstand auch die um 1990 modernisierte Wohnsiedlung Hamburg-Jenfeld, deren nichttragende vorgehängte Betonfassadentafeln 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 $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. 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 teildämmte 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.

Mit 97,6 Mio. m^2 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 m^2 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 hydrophobierete 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 Wetter-schale



Abb 43: Blick in den funktionslosen Luftzwischenraum

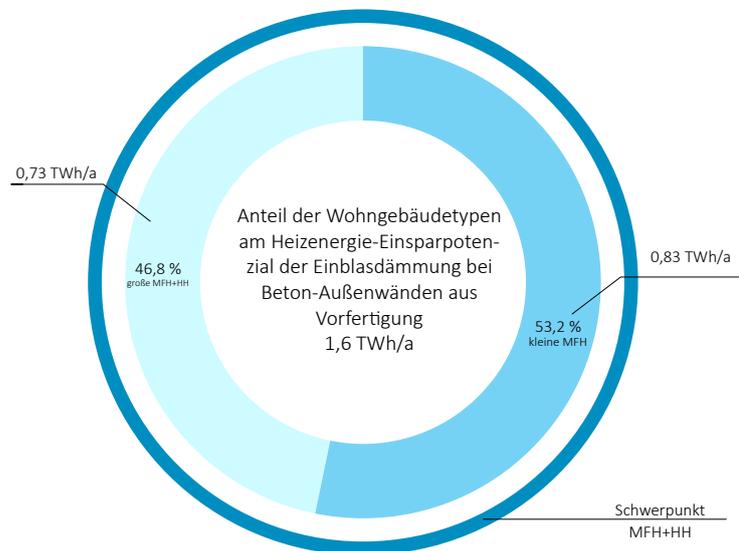


3.4.2 Energie- und CO₂-Einsparung

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.

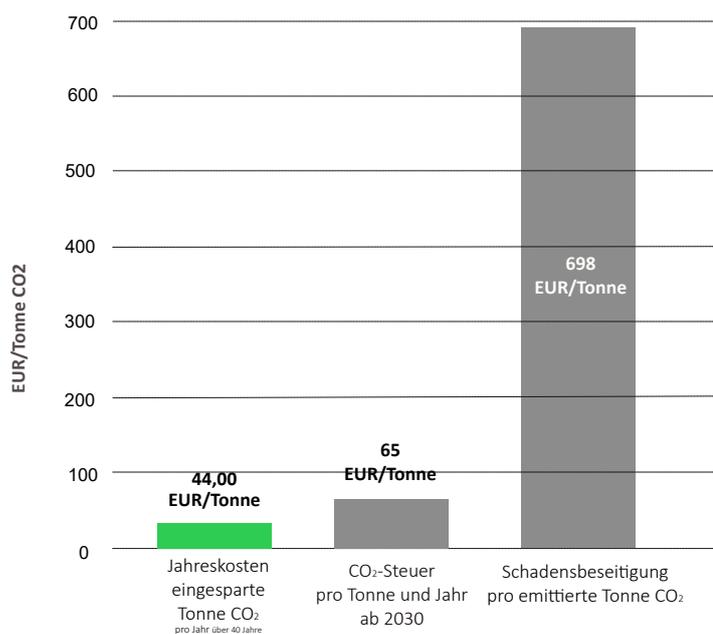
Abb. 44: Energieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Betonfertigteilm-Außenwände in TWh/a im Wohngebäudebestand



CO₂-Einsparpotenzial

Die mögliche CO₂-Einsparung liegt bei 0,5 Mio. Tonnen pro Jahr, eine kleinere Reduktion von 0,25 % des CO₂-Ausstoßes des gesamten Gebäudesektors inkl. Nichtwohngebäude. Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. betragen 44 EUR, während die der Schadensbeseitigung jeder emittierten Tonne CO₂-Äquiv. 698 EUR ausmachen und die steuerliche Belastung für das 2030 mit 65 EUR/Tonne CO₂-Äquiv. angekündigt ist.

Abb. 45: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Einblasdämmung in Betonfertigteilm-Außenwände im Wohngebäudebestand



3.4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Das Investitionsvolumen für die Einblasdämmung der vorgefertigten Betonfasaden 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.

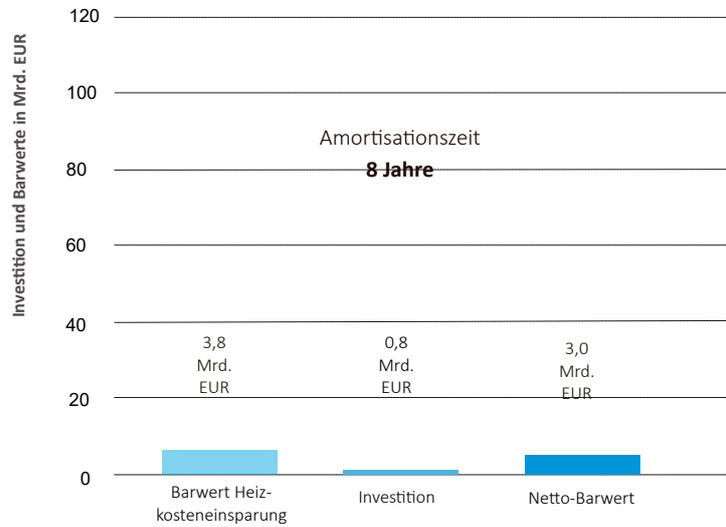


Abb. 46: Investitionssumme und Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre

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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Steuerbelastung jeder verbrauchten kWh ab 2030

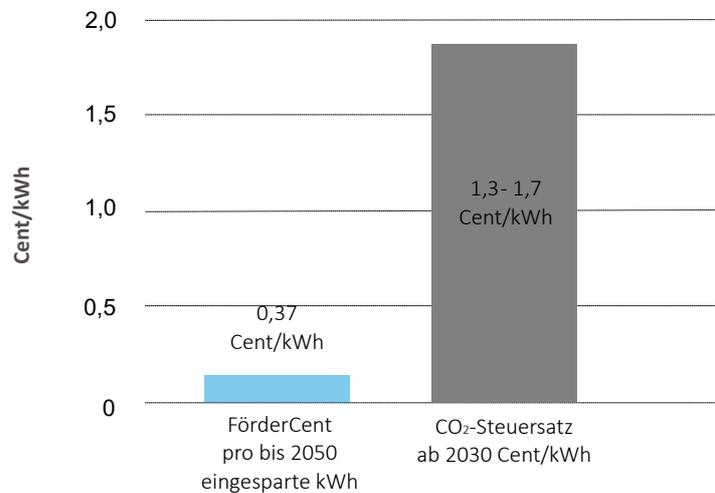


Tabelle 11: Mengengerüst - Einblasdämmung in vorgefertigte Betonfertigteilaußenwände im Wohngebäudebestand

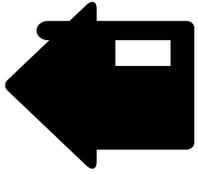
Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	18,2
Anzahl Wohngebäude vorgefertigter Betonbau	Mio. Stck.	0,5
davon ohne nachträgliche Dämmung	Mio. Stck.	0,211
Fläche Außenwände gesamt	Mrd. m ²	3,6
Fläche Außenwände aus vorgefertigtem Betonbau	Mio. m ²	97,6
davon ohne nachträgliche Dämmung	Mio m ²	41,8
Anteil Außenwand aus Betonfertigbau an AW Wohnbau	%	2,7
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Außenwand	%	< 1,2
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,6- 0,9
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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

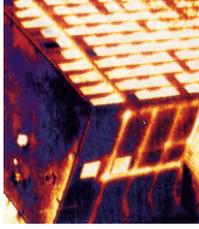
Potenzial der Hohlraumdämmung bei Beton-Fertigteilwänden im Wohngebäudebestand



Zu dämmende
Wandfläche m²
42 Mio. m²



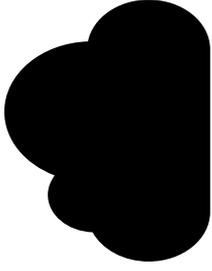
Zu dämmende
Wohngebäude
0,21 Mio



Heizenergieverluste
AW ungedämmt
2,7 TWh/Jahr



Energieeinsparung
TWh/a
1,6 TWh/Jahr



CO₂-Einsparung
Jahrestonnen
0,49 Mio



Kosten eingesparte
Tonne CO₂ (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

The background image shows a close-up of a brick wall. The mortar between the bricks is significantly peeling and crumbling, revealing the underlying brickwork. Below the brickwork, a wooden beam is visible, showing signs of weathering and discoloration. The overall scene suggests an old, possibly neglected building structure.

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-Gewölbendecke, seit dem 19. Jhd. 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, Bims Kies. 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 Baualterklassen 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 Kappendecken 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 Hohl-

raum 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

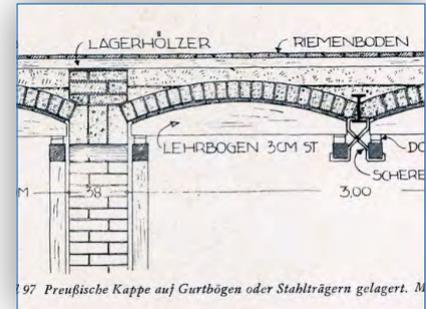


Abb. 50: 1920-1970 Luftraum zwischen den Lagerhölzern

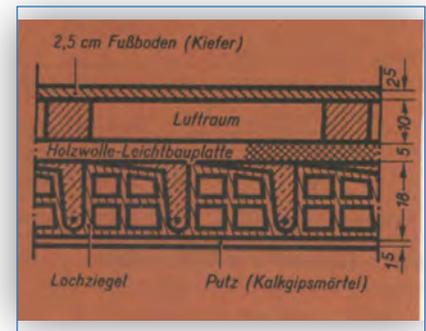
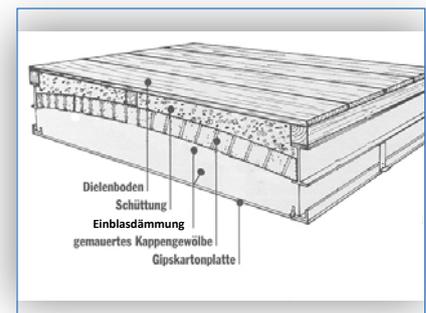


Abb. 51: 1890 ff. Kappendecke, bereits mit Einblasdämmung von unten gedämmt



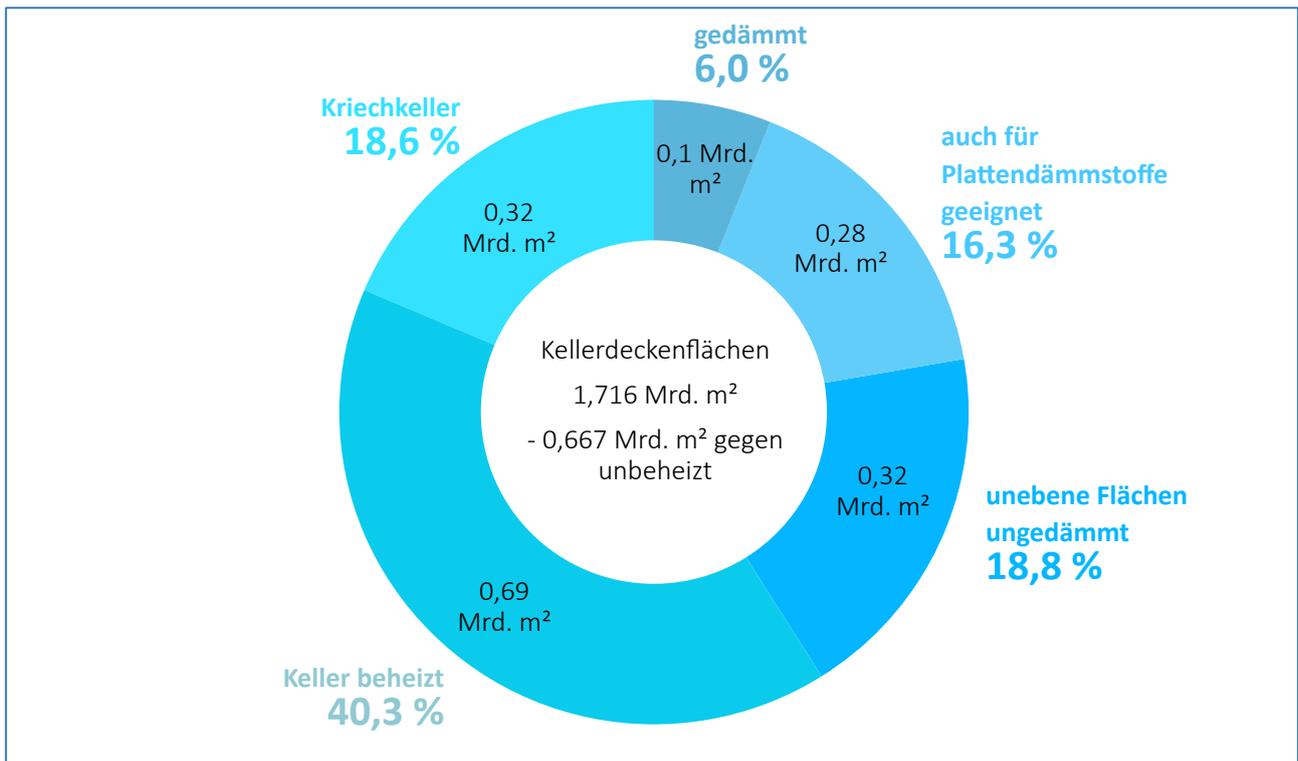


Abb. 52: Verteilung der Kellerdeckenflächen nach Nutzung und Dämmstatus im Wohngebäudebestand

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 Ab-

stand 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 Kaltluft einströmung 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 CO₂-Einsparpotenzial

Heizenergie-Einsparpotenzial

Für die Studie wurde wegen der begrenzten lichten Höhe in Kellerräumen 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.

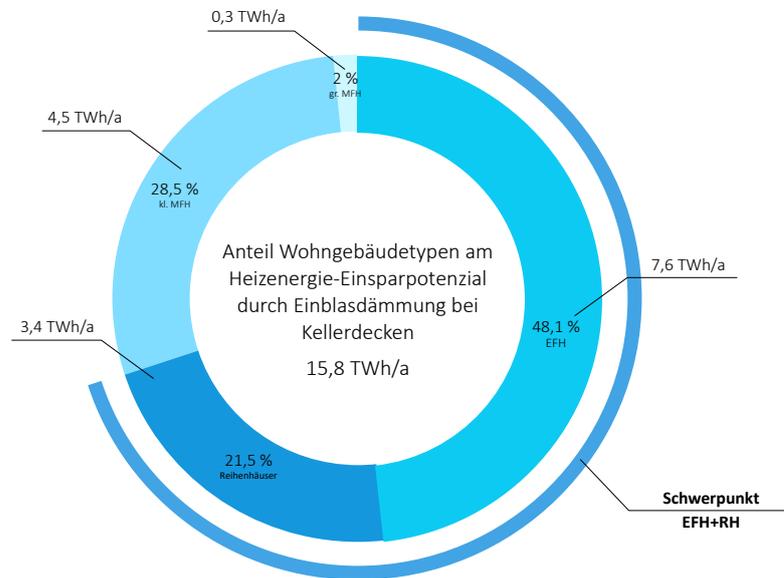
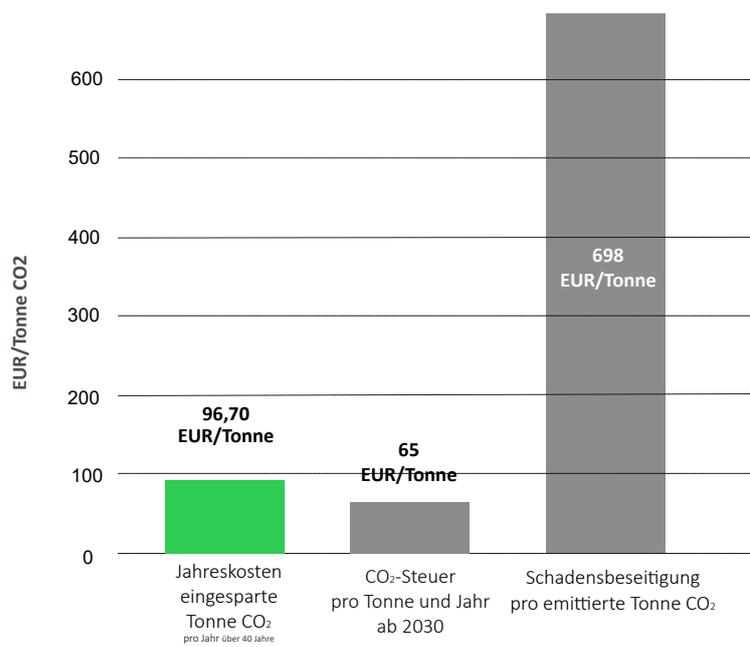


Abb. 55: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung unter Kellerdecken im Wohngebäudebestand in TWh/a

CO₂-Einsparpotenzial

Das CO₂-Einsparpotenzial liegt bei 5,0 Mio. Jahrestonnen entsprechend 2,5 % der CO₂-Emissionen des Gebäudesektors inkl. Nichtwohnbauten. Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. umfassen 97 EUR und damit nur ein Fünftel der Schadensbeseitigungskosten einer emittierten Tonne CO₂-Äquiv. Von 698 EUR/Tonne. Sie übersteigen jedoch die zukünftig zu erwartende steuerliche Belastung der Tonne CO₂-Äquiv. Von 65 EUR/Tonne ab 2030, dies geht auf die den oben genannten Reduktionsfaktor F_x und die unebene Kellerdeckenunterseite mit den Folgekosten der Abhängigkeit zurück.

Abb. 56: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ durch Einblasdämmung unter Kellerdecken im Vergleich



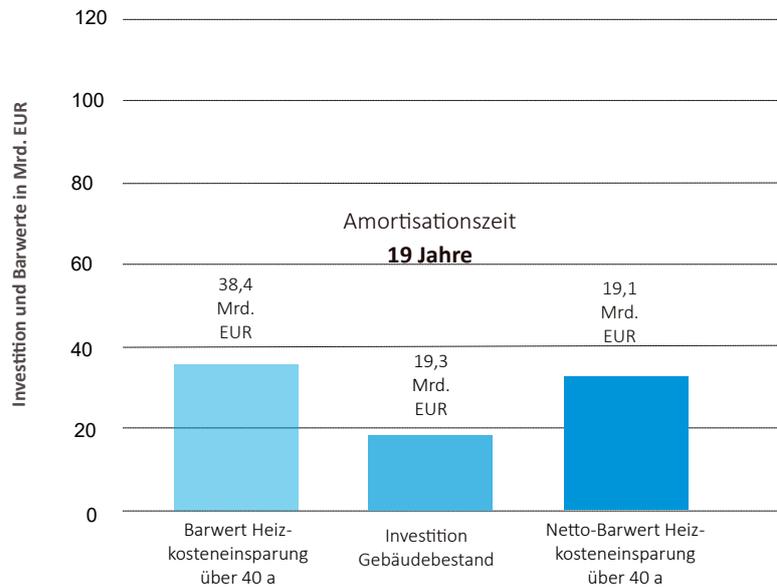
4.1.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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 CO₂-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

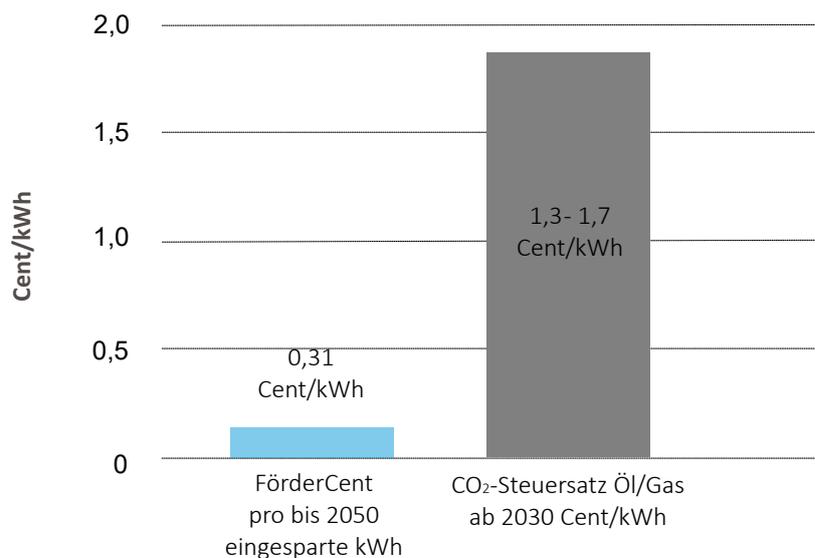
Ab 2030 stehen der Förderung höhere staatliche Einnahmen aus der CO₂-Steuer auf Erdgas und Heizöl in Höhe von 1,3- 1,74 Cent pro kWh gegenüber. Eine gute Grundlage des Staates für die Förderung und ein Anreiz für Hauseigentümer für den sinnvolleren Weg.



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 CO₂-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. m ²	1,7
unbeheizter Keller Deckenfläche	Mio. m ²	668
unbeheizte Keller, Deckenanteil für Einblasdämmung	Mio m ²	322
Anteil unterkellertes Flächen an allen Kellerdeckenflächen	%	81,4
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016	%	0,37
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,35- 1,4
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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/m ²	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

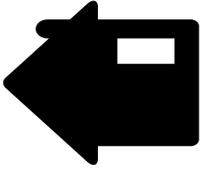
Abb. 67: Übersicht Potenziale der Einblasdämmung unter unebenen Kellerdecken im Wohngebäudebestand

Potenzial der Kellerdeckendämmung im Wohngebäudebestand



Zu dämmende Fläche m²

322 Mio. m²



Zu dämmende Wohngebäude

3,4 Mio



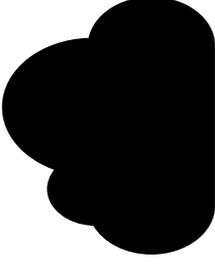
Heizenergieverluste KD ungedämmt

19 TWh/Jahr



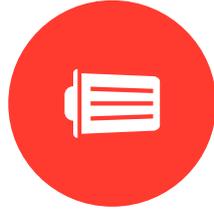
Energieeinsparung TWh/a

16 TWh/Jahr



CO₂-Einsparung Jahrestonnen

5 Mio



Kosten eingesparte Tonne CO₂ (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 Feuchteintrags 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 Polyurethansprühschaumverfahren 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 Feuchteintrag in die Einblasdämmung begrenzenden diffusionshemmenden Folie möglich. Geeignet sind hier nur hydrophobe Dämmstoffe.

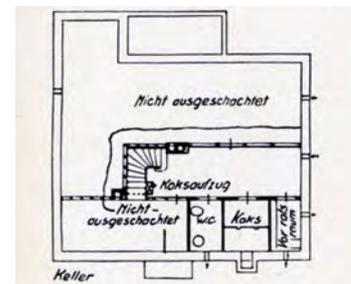


Abb. 61: Kellergrundriss von 1934

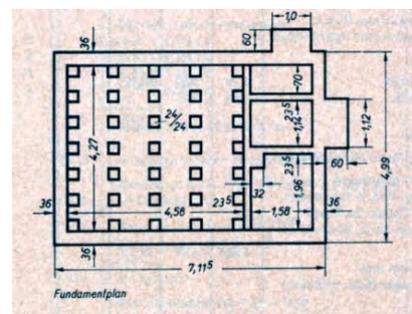


Abb. 62: Fundamentplan für einen Kriechkeller 1968

4.2.2 Heizenergie und CO₂-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 F_x 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 Baualterklassen ab 1984 aus wirtschaftlichen Gründen nicht in die Potenzialberechnung aufgenommen wurde.

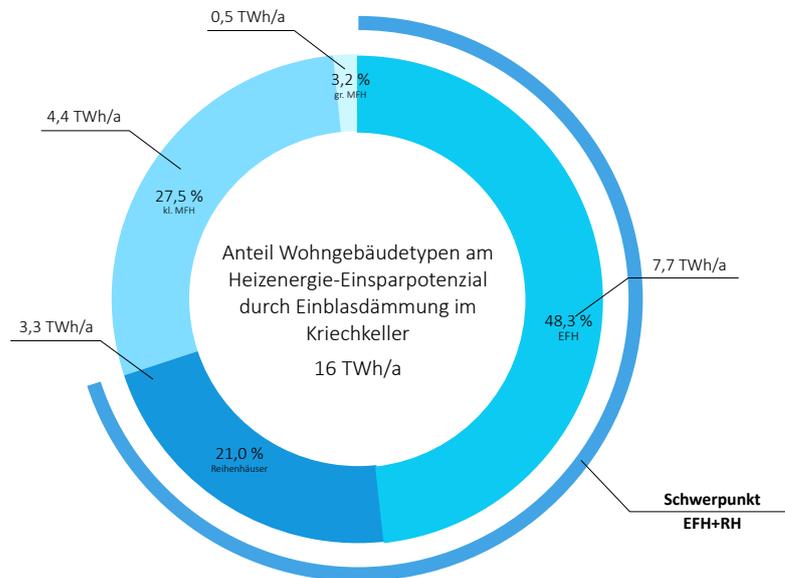
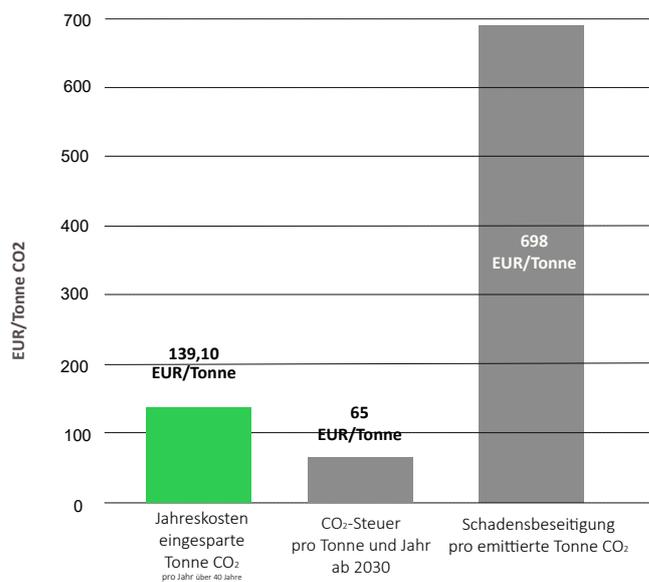


Abb. 63: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent

CO₂-Einsparung

Die CO₂-Einsparung hat mit 5 Mio. Tonnen pro Jahr einen Anteil von 2,5 % an allen CO₂-Emissionen des Gebäudesektors inkl. Nichtwohngebäuden, die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. betragen 139 EUR und sind damit um den Faktor 5 geringer als die langfristigen Schadenskosten eines emittierten Tonne CO₂-Äquiv. (698 EUR/Tonne).

Abb. 64: Einblasdämmung bei Kriechkellern - Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich im Wohngebäudebestand



Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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 Baualterklassen 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.

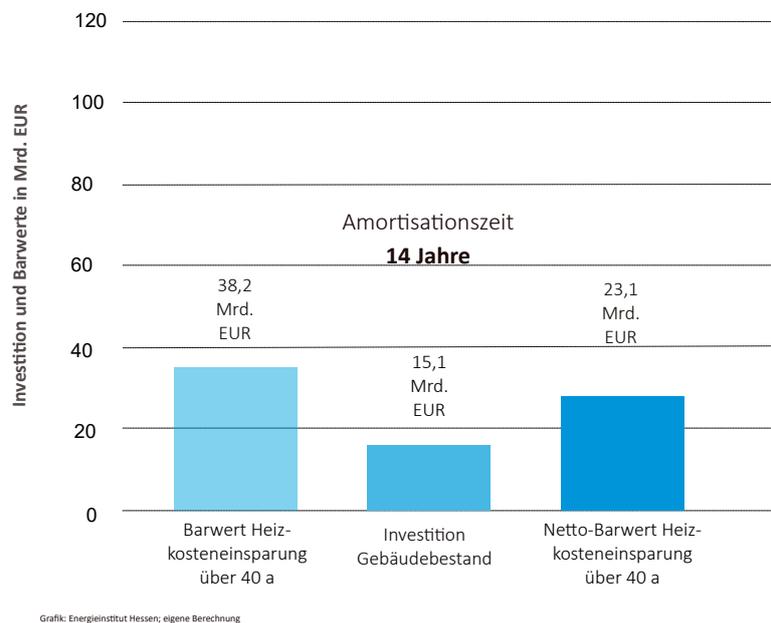


Abb. 65: Investition und Barwert der Heizkosteneinsparung in Mrd. EUR - Dämmung von Kriechkellern

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 CO₂-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 CO₂-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

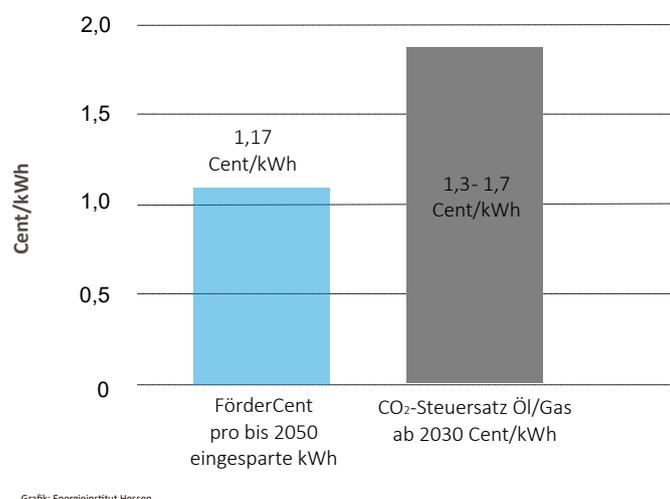
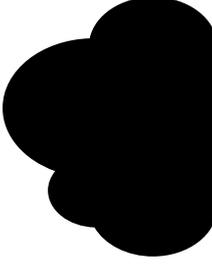
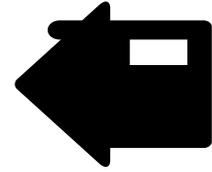
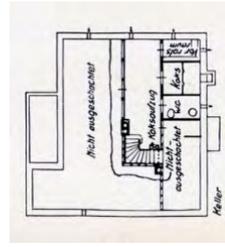


Tabelle 13: Mengengerüst - Einblasdämmung bei Kriechkellern im Wohngebäudebestand

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. m ²	1,7
Fläche Kriechkeller gesamt	Mio. m ²	319
ungedämmte Kriechkellerflächen	Mio. m ²	210,3
Anteil Kriechkeller an allen Kellerdeckenflächen	%	18,6
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016	%	0,23
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,35- 1,2
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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/m ²	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

Zu dämmende Wohngebäude

Heizenergieverluste KK ungedämmt

Energieeinsparung TWh/a

CO₂-Einsparung Jahrestonnen

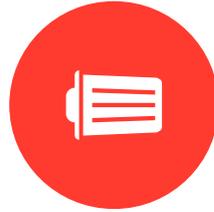
210 Mio. m²

2,2 Mio

18,4 TWh/Jahr

15,9 TWh/Jahr

5 Mio



Kosten eingesparte Tonne CO₂ (40a)

Barwert Heizkosten-einsparung 40 Jahre

Amortisation dynamisch

Maßnahmekosten

139 EUR/to

15,1 Mrd. EUR

38,2 Mrd. EUR

14 Jahre

72 EUR/m²

Schadens-Beseitigungskosten
698 EUR/to



Einblasdämmung Steildächer und Dachböden

Die Einblasdämmung auf Dachböden, Kehlbalcken 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 Heizereieinsparung durch Einblasdämmung in Steildächer

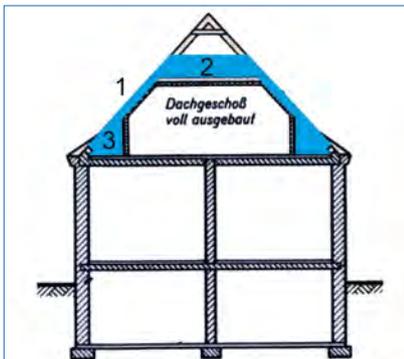
Von den bis 2009 errichteten 18,2 Mio. Wohngebäuden besitzen 91,3 % oder 16,6 Mio. Gebäude ein Steildach und 8,7 % oder 1,6 Mio. Gebäude ein Flachdach.

- 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 Baualterklassen 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.

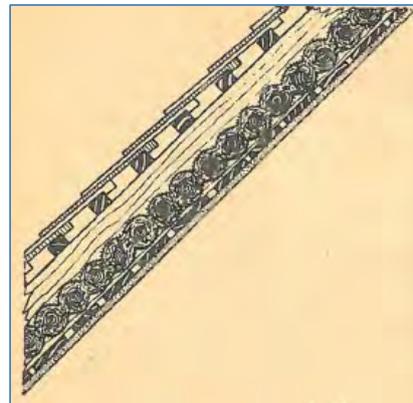


Abb. 69: 1890 ff. Lehmstakung lässt Luft für Einblasdämmung

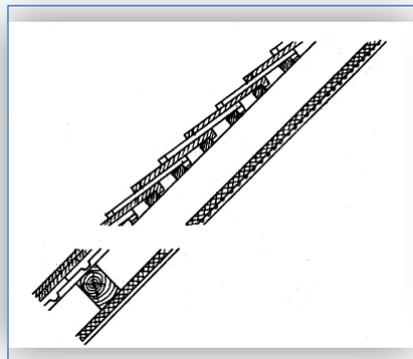


Abb. 70: 1920 ff. Torfplatten unter den Sparren

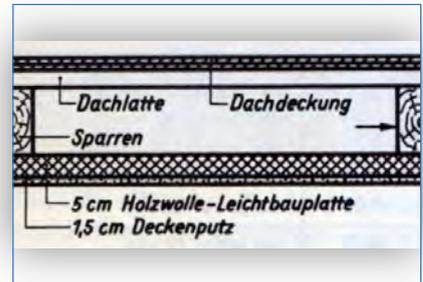


Abb. 71: 1920 ff. Klassiker Holzwoleleichtbauplatte mit 10 - 14 cm Luftschicht

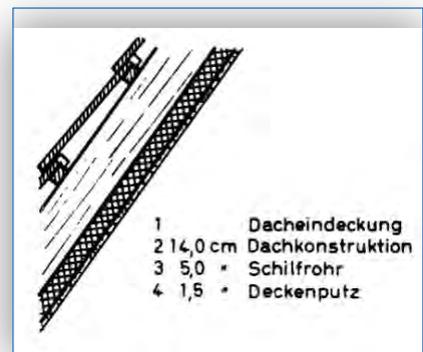


Abb. 72: 1963 Schilfrohr als Dämmung und Putzträger, große Luftschicht

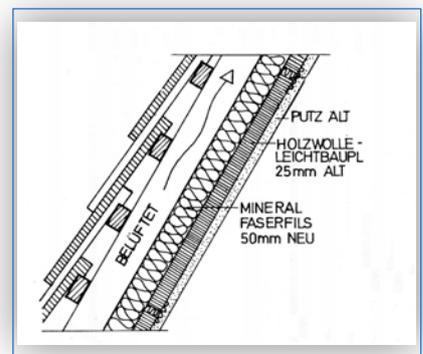


Abb. 73: 1975 zaghaft gedämmt, 2022 noch Luft für die Einblasdämmung

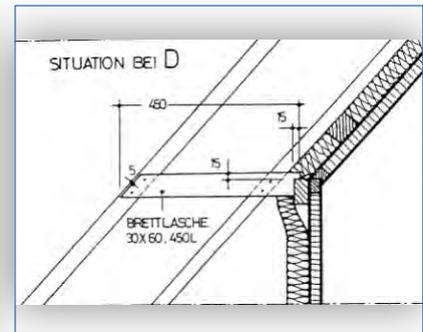


Abb. 74: 1977 Fertighausdach mit Stegrägern, dem Passivhausstandard steht nichts im Wege

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 vor-

handen, kann dieser mit der Einblasdämmung verfüllt werden. Diese Dämmmaßnahme ist dann besonders geeignet, wenn weder die Innenbekleidung unter den Sparren noch die Dachendeckung 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 Gerüsts 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 CO₂-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.

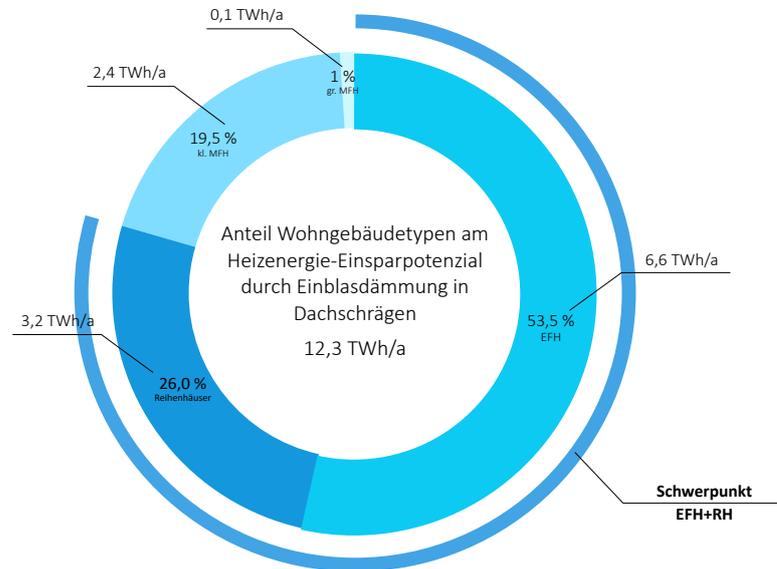
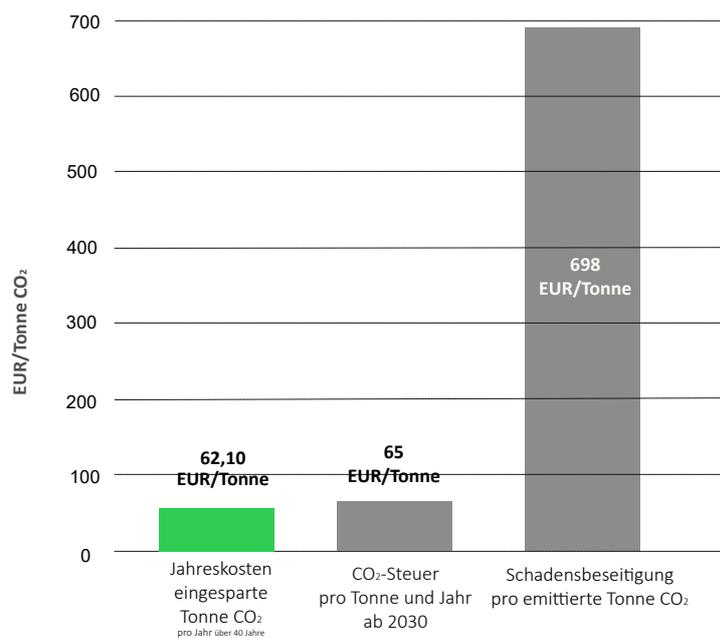


Abb. 79: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung In Dachschrägen im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent

CO₂-Einsparpotenzial

Daraus ergibt sich eine CO₂-Einsparung von 3,9 Mio. Jahrestonnen oder 3,2 Prozent aller CO₂-Emissionen des Gebäudesektors inkl. der Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂ liegen mit 62,10 EUR noch unter der 2030 erreichten CO₂-Steuerbelastung von 65 EUR/Tonne auf Heizenergeträger und weit unter den 698 EUR Schadenskosten einer emittierten Tonne CO₂-Äquiv..

Abb. 80: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Einblasdämmung in Dachschrägen im Wohngebäudebestand



Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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.

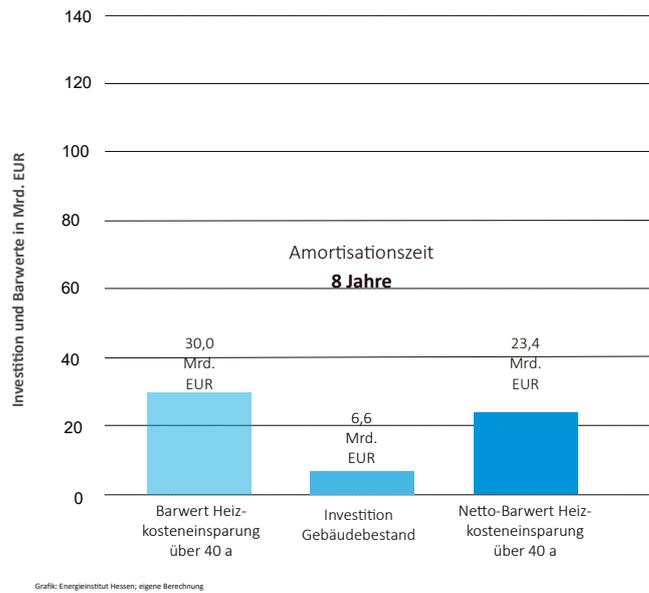


Abb. 81: Investitionskosten, Barwert der Heizkosteneinsparung und Amortisationszeit - Dachschrägendämmung mit dem Thermo-Bag

Abb. 82: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich mit CO₂-Steuer - Dachschrägendämmung mit dem Thermo-Bag

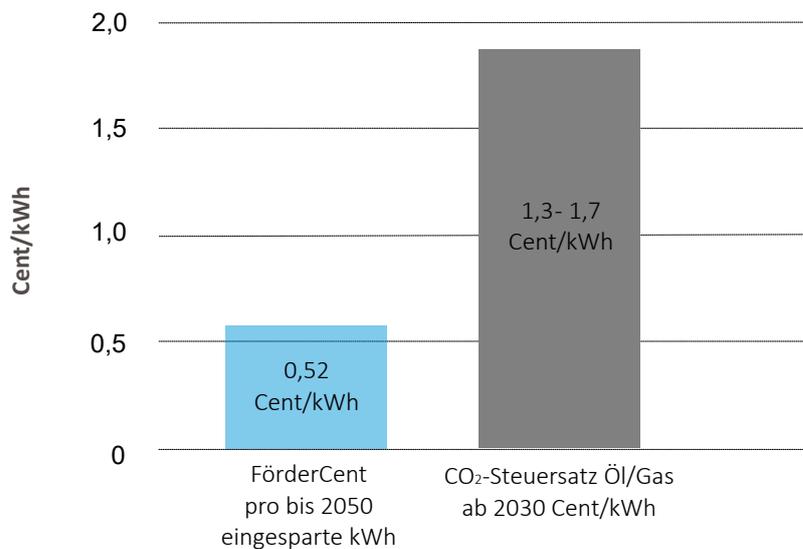
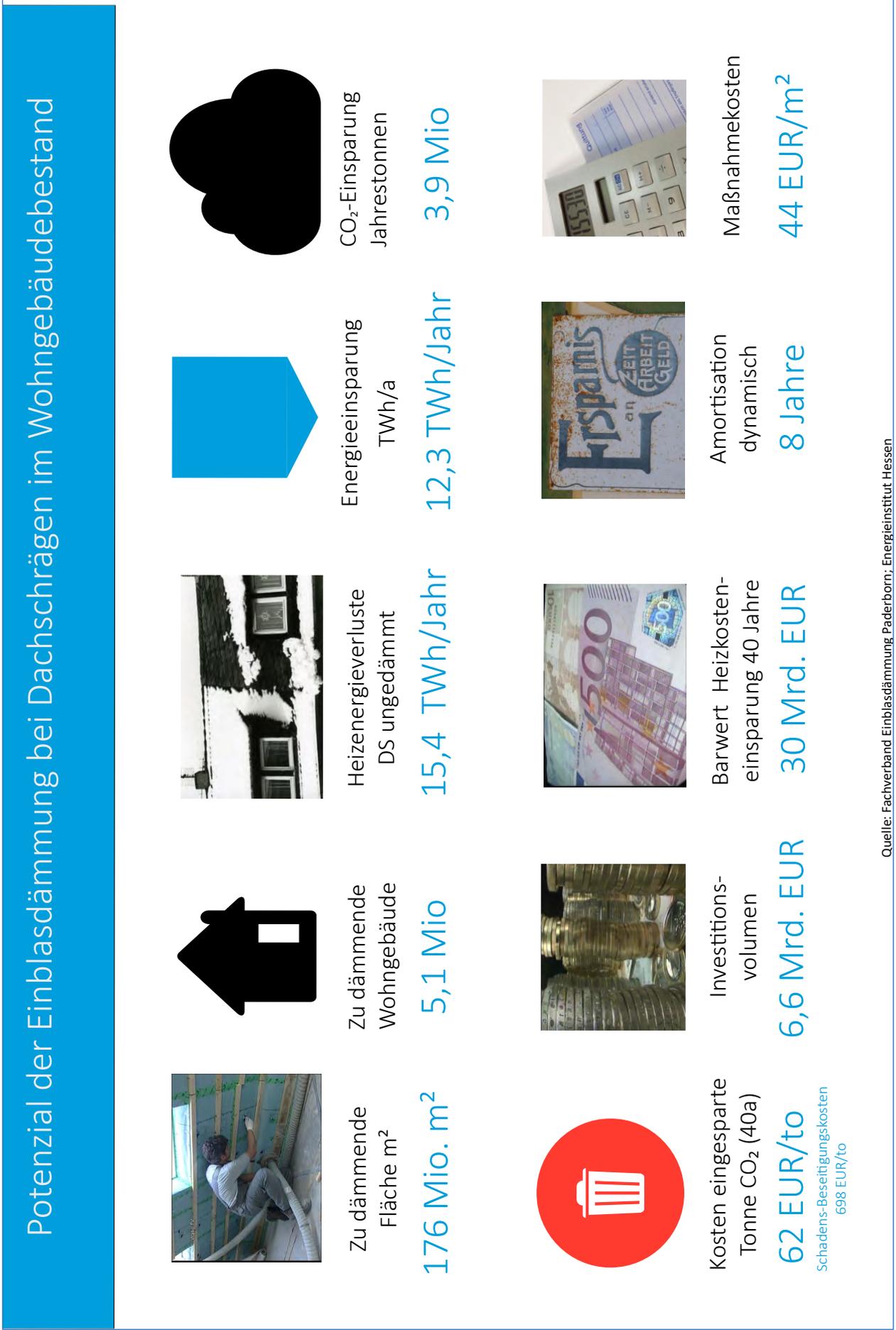


Tabelle 14: Mengengerüst - Einblasdämmung mit dem Thermo-Bag in Dachschrägen im Wohngebäudebestand

Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	18,2
Anzahl Wohngebäude mit Steildach	Mio. Stck.	16,6
Dachflächen insgesamt	Mio. m ²	2400
Fläche Dachschrägen gesamt	Mio m ²	562,5
davon beheizt und Abzug Dachbodenflächen	Mio m ²	348,8
davon ungedämmte Flächen Baualtersklasse bis H	Mio. m ²	175,9
Anteil Dachschrägen an gesamten Dachfläche Wohnbau	%	23 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Dach	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,3- 1,39
U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbares Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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



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 Giebel dreiecke 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-

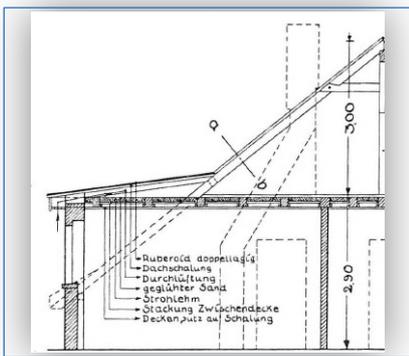


Abb. 85: Ab 1800 Dünne Sandschüttung

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 Hitze-

schutz. Ist die Kehlbalkenlage nicht zugänglich, kann auch durch aufgenommene Dachziegel von außen gearbeitet werden. Eine Belüftungsmöglichkeit des Spitzbodenraumes ist von Vorteil (Giebel Fenster, 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 CO₂-Einsparpotenzial

Heizenergie-Einsparpotenzial

Bei der Kehlbalckenlage 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.

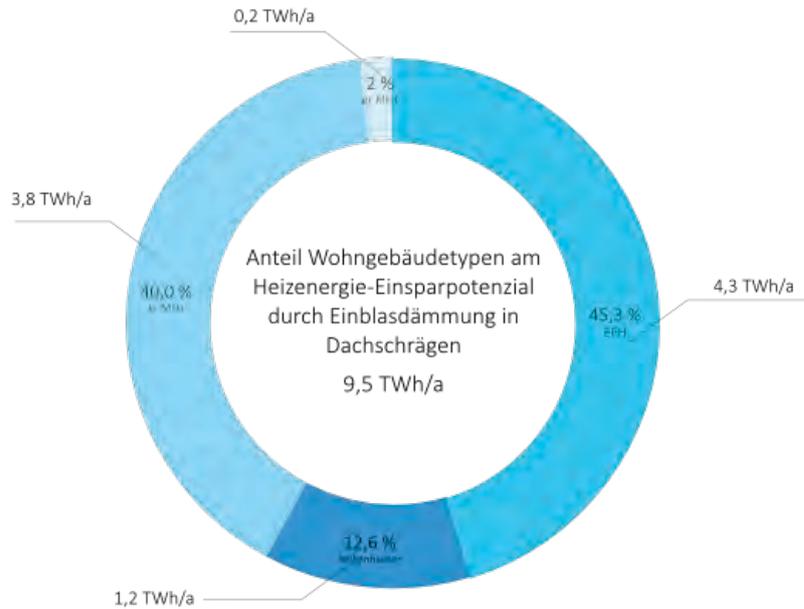
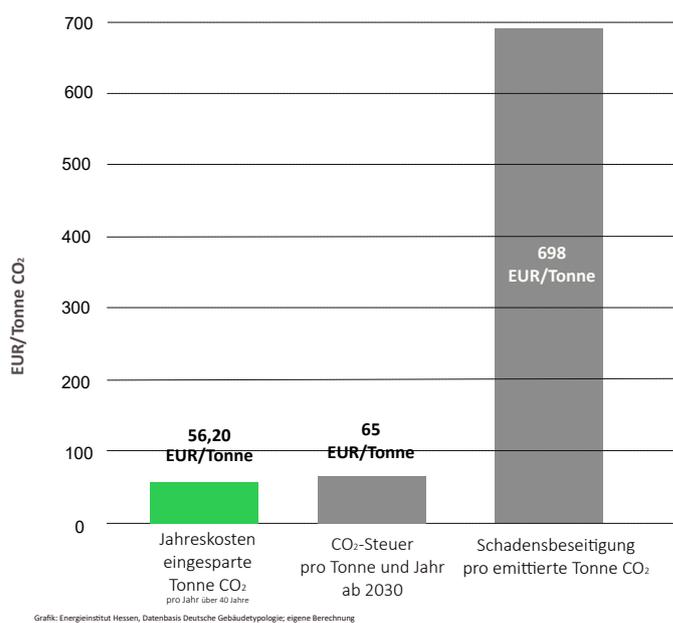


Abb. 87: Heizenergieeinsparpotenzial nach Gebäudetypen in TWh/Jahr und Prozent - Einblasdämmung von Kehlbalckenlagen im Wohngebäudebestand

Abb. 88: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Einblasdämmung Kehlbalckenlage im Wohngebäudebestand

CO₂-Einsparpotenzial

Das CO₂-Einsparpotenzial beträgt 3 Mio. Jahrestonnen. Mit 56,20 EUR liegen die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. unter der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung in Höhe von 65 EUR pro Tonne CO₂-Äquiv.. Die Dämmung von Kehlbalckenlagen in dieser Qualität senkt die CO₂-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 2,4 Prozent.



Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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.

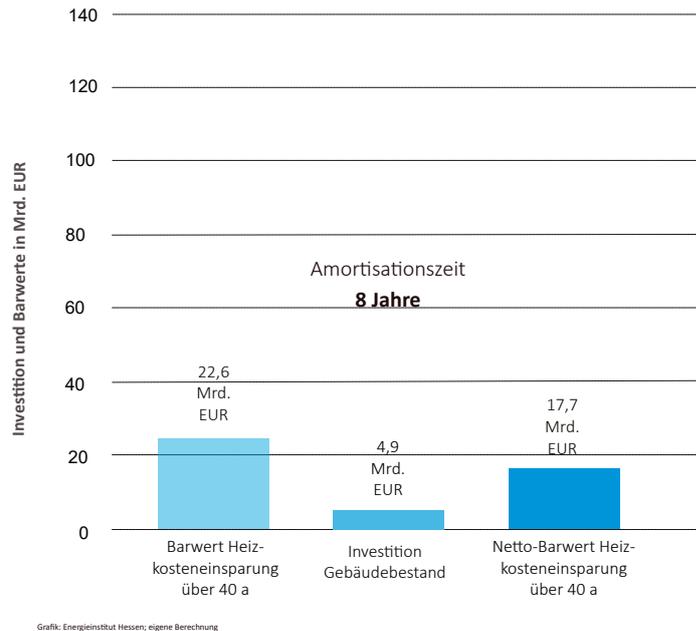


Abb. 89: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung in Mrd. EUR durch Einblasdämmung auf Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand

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 CO₂-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 CO₂-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

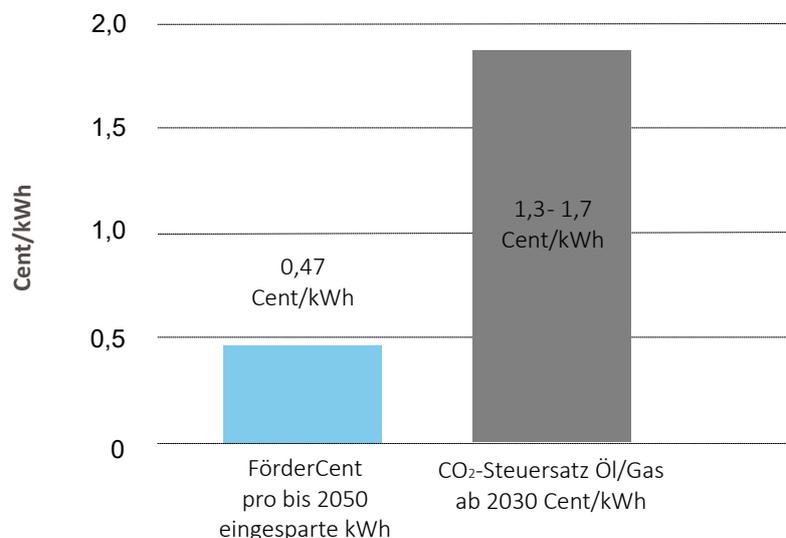
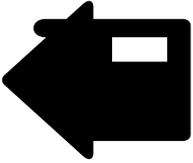
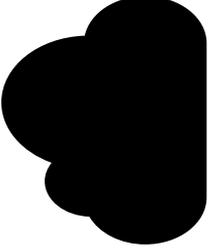


Tabelle 15: Mengengerüst - Einblasdämmung in Kehlbalkenlagen im Wohngebäudebestand

Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	18,2
Anzahl Wohngebäude mit Steildach	Mio. Stck.	16,6
Dachflächen insgesamt	Mio. m ²	2400
Fläche Kehlbalkenlage gesamt	Mio m ²	915
davon noch ungedämmt	Mio. m ²	139
Anteil Kehlbalken an gesamten Dachfläche Wohnbau	%	38 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,3-1,39
U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbares Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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 Kehlbalckenlagen im Wohngebäudebestand

Potenzial der Einblasdämmung von Kehlbalckendecken im Wohngebäudebestand

				
Zu dämmende Fläche m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste KBD ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
139 Mio. m ²	5,1 Mio	10,3 TWh/Jahr	9,5 TWh/Jahr	3 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitions- volumen	Barwert Heizkosten- einsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
56 EUR/to <small>Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to</small>	4,9 Mrd. EUR	22,6 Mrd. EUR	9 Jahre	35 EUR/m ²

5.3 Einblasdämmung für Abseitenräume

Abseitenräume entstehen durch einen 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 Abstimmung 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 Abstimmung 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 berücksich-

tigt 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.

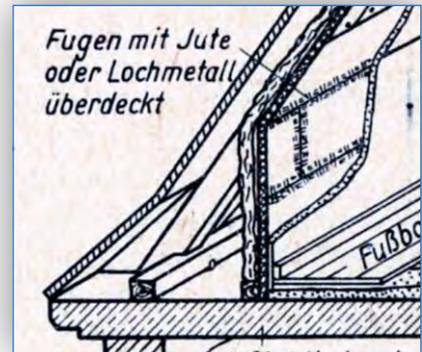


Abb. 92: 1950 ff. Fehlende Dämmung auf der Decke der Abseite

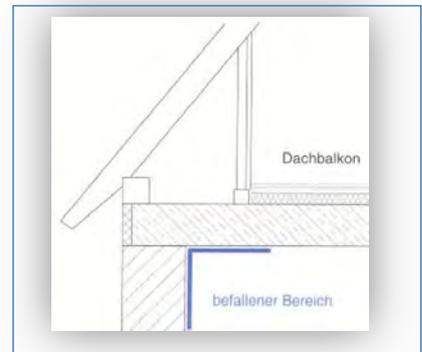


Abb. 93: 1990 Abseitenraum Schimmel unter ungedämmter Stahlbetondecke



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.

Die Belüftungsfrage

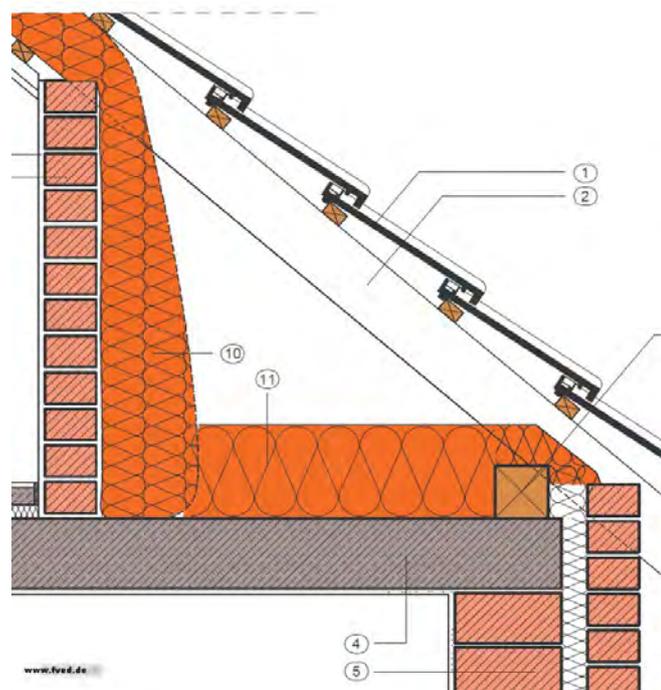
Unterspannbahnen müssen auf ihrer Unterseite nicht belüftet werden, die Belüftungsregeln betreffen den Spalt zwischen Unterspannbahn und Dach-eindeckung. Bei älteren Eindeckungen ohne Unterspannbahn kann ein kleiner Hohlraum zwischen Dämmung und Eindeckung verbleiben, jedoch ist auch eine Verfüllung bis an die Ziegel unproblematisch, da der Dämmstoff hydrophobiert ist. Die geringen Feuchtemengen, die in den sternklaren Winternächten bei Frost-Tauwechsell 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. 96: Abseitendämmung von außen durch aufgenommene Dachziegel

Abb. 97: Abseitendämmung kombiniert mit Thermo-Bag



5.3.2 Heizenergie- und CO₂-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.

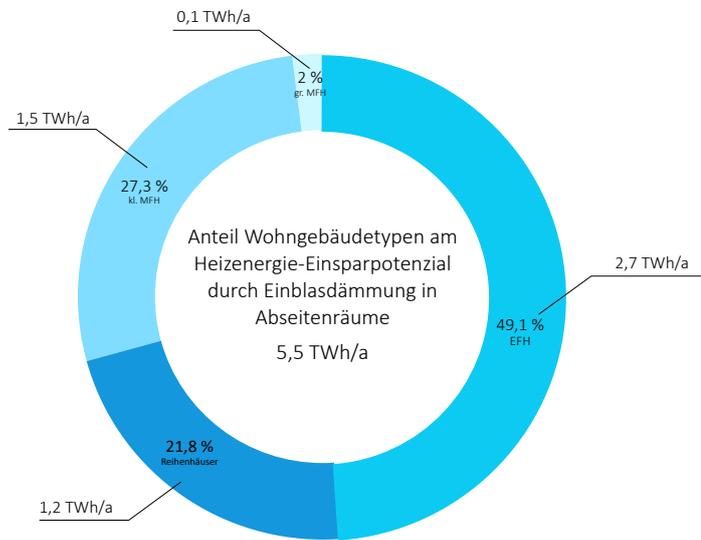
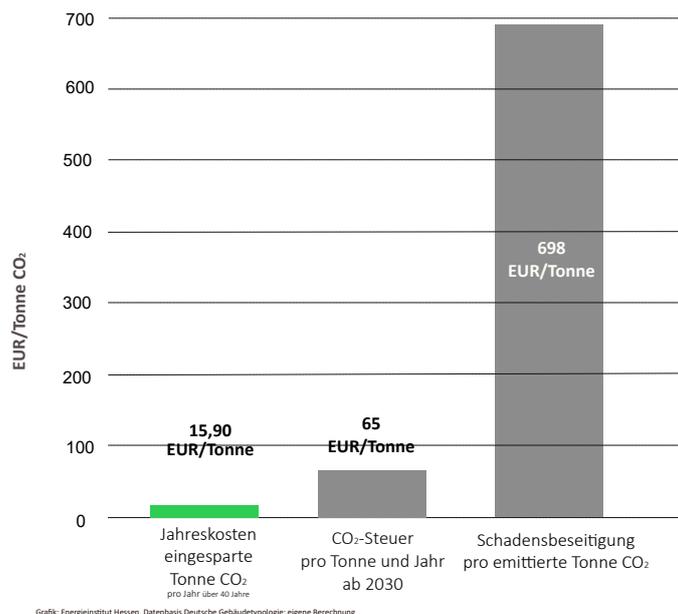


Abb. 98: Heizenergieeinsparpotenzial durch Einblasdämmung in Abseitenräume im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent

CO₂-Einsparpotenzial

Das CO₂-Einsparpotenzial beträgt 1,8 Mio. Jahrestonnen oder 0,9 % der jährlichen CO₂-Emissionen aller Wohn- und Nichtwohngebäude. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. liegen mit 15,90 EUR erheblich unter den Schadensbeseitigungskosten von 698 EUR/Tonne CO₂-Äquiv. Und weit unter der für 2030 anvisierten CO₂-Steuerbelastung auf Erdgas und Heizöl von 65 EUR/Tonne.

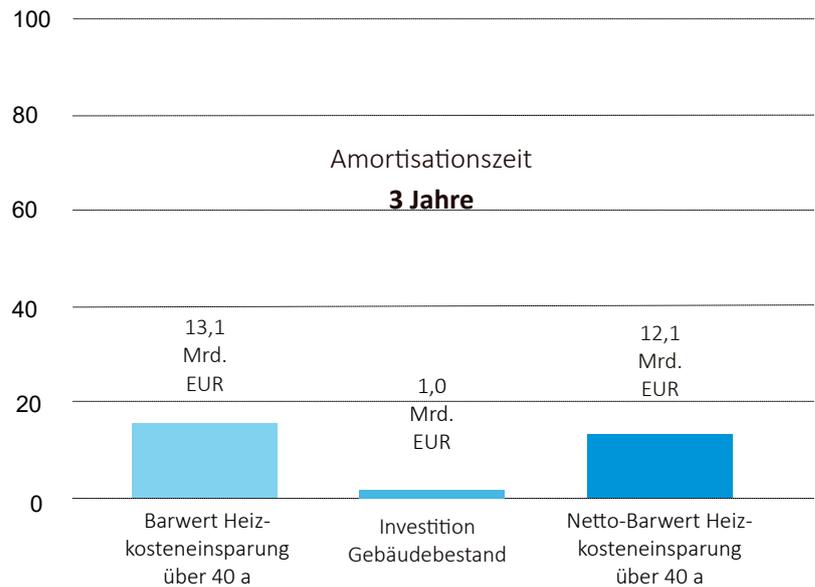
Abb. 99: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich - Einblasdämmung In Abseitenräume



Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

5.3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

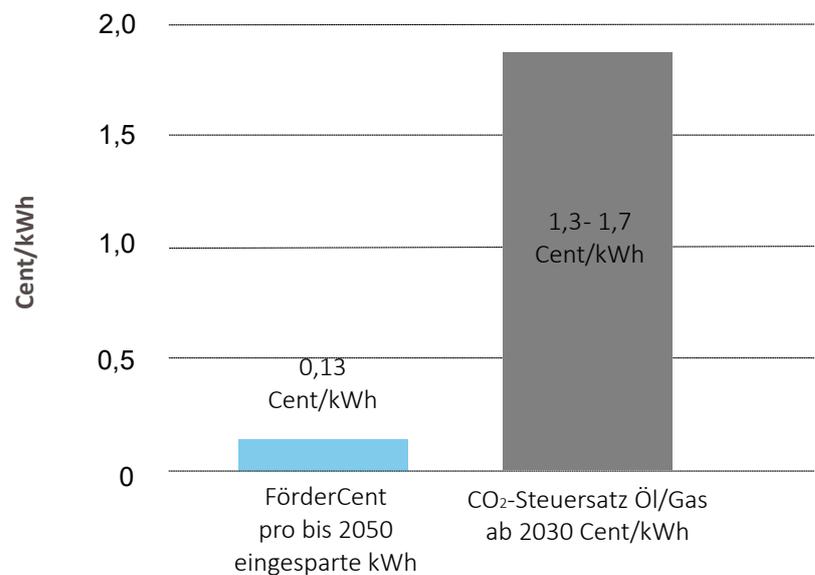
Die Investitionssumme beträgt für den Wohngebäudebestand 1,04 Mrd. EUR, der ein Barwert der Heizkosteneinsparung über 40 Jahre von 13,1 Mrd. EUR gegenübersteht, das 13-fache der Investition. Die dynamische Berechnung der Amortisationszeit zeigt bereits im 3. Jahr den Kapitalrückfluss. Dieses Resultat 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

Abb. 101: FörderCent pro eingesparter kWh bis 2050 und CO₂-Steuersatz 2030 für Öl und Erdgas - Einblasdämmung in Abseitenräume im Wohngebäudebestand



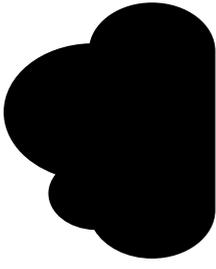
Grafik: Energieinstitut Hessen

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. m ²	2400
Fläche Abseitenabwicklung	Mio m ²	130
davon noch ungedämmt	Mio. m ²	45,6
Anteil Abseitenabwicklung an gesamten Dachfläche Wohnbau	%	5 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 AW	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	1,0- 2,1
U-Werte durch Zwischensparrendämmung erreichbar	W/(m ² K)	0,1
Heizenergieeinsparung	TWh/a	5,5
CO ₂ -Einsparung	Mio Tonnen/a	1,8
Kosten der eingesparten Tonne CO ₂	€/Tonne CO ₂	15,9
Investitionskosten	Mrd. €	1,04
Kosten der Massnahme	€/m ²	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 Absseitenräume der Steildächer im Wohngebäudebestand

Potenzial der Einblasdämmung bei Absseiten im Wohngebäudebestand



CO₂-Einsparung
Jahrestonnen

1,8 Mio



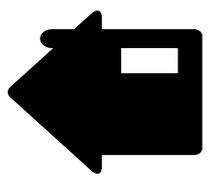
Energieeinsparung
TWh/a

5,5 TWh/Jahr



Heizenergieverluste
Absseiten ungedämmt

6 TWh/Jahr



Zu dämmende
Wohngebäude

5,1 Mio



Zu dämmende
Fläche m²

46 Mio. m²



Kosten eingesparte
Tonne CO₂ (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 $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingehalten. Bei Holzbalkendecken mit Sand-/Schlackeschüttung liegen die U-Werte bis 1949 bei $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Bei Massivdecken sind sie mit $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ungünstiger, auch kommen selbst im Bungalow-Baustil oberste Geschoßdecken mit nackter Betondecke und $U = 3,4\text{-}3,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 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 Giebeldecke der Außenwand führt.



Abb. 103: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben $0,91 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

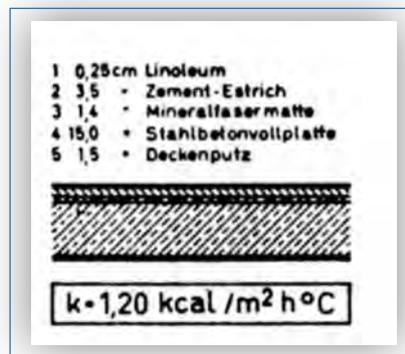


Abb. 104: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

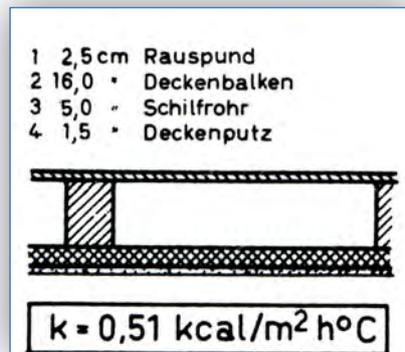


Abb. 105: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

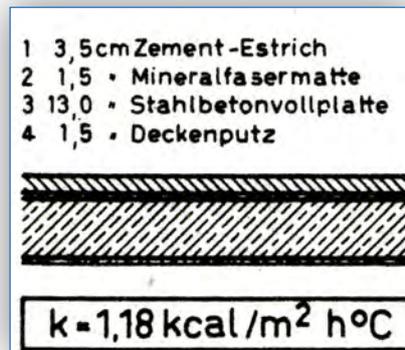


Abb. 106: BMBau Schriftenreihe 1978 Dachböden aus Modellbauvorhaben 1968 $1,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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 Holzfasern 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 Begehbare in Form einer Laufbahn. Bei Holzbalkendecken wird auf dem alten Fußboden eine Dampfbremsschicht 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 Dämmraum-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 CO₂-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 .

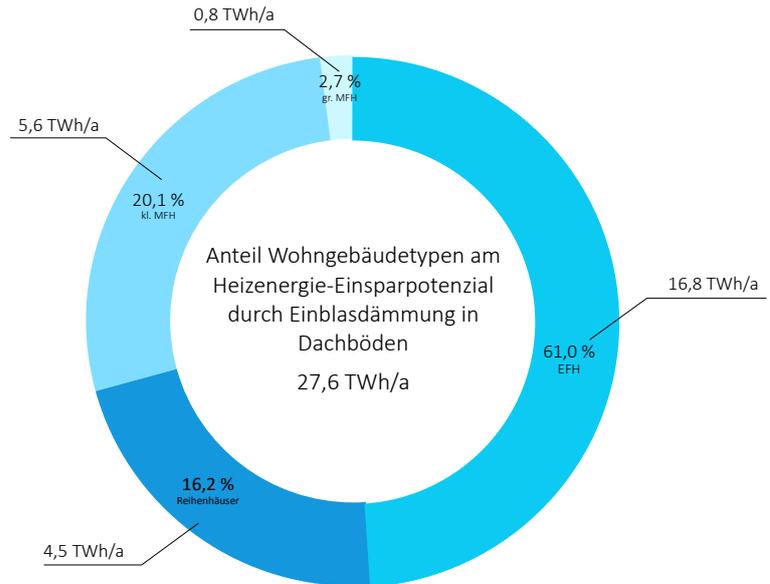
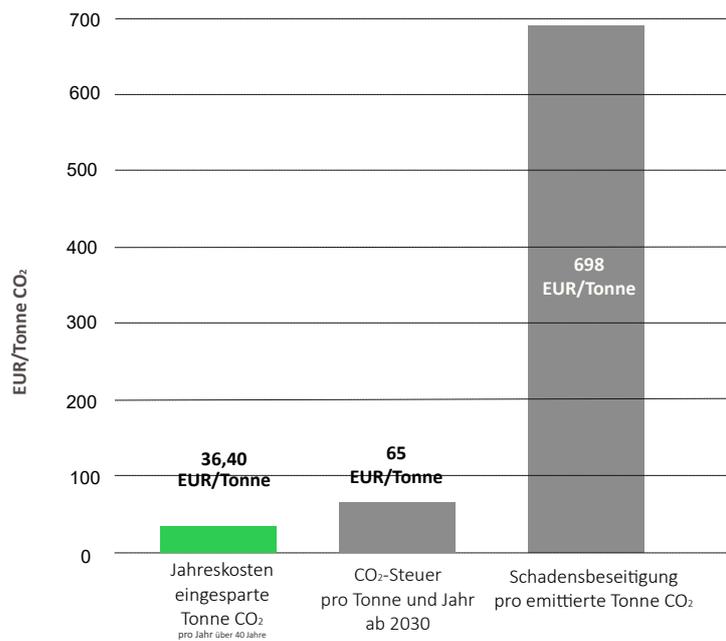


Abb. 109: Heizenergiesparpotenzial der Einblasdämmung bei Dachböden im Wohngebäudebestand in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen

CO₂-Einsparpotenzial

Die erzielbare CO₂-Einsparung umfasst 8,7 Mio. Jahrestonnen, die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. betragen 36,40 EUR und liegen damit weit unter der ab 2050 erreichten steuerlichen Belastung durch die CO₂-Abgabe auf fossile Energien sowie den Kosten für die Schadensbeseitigung pro emittierter Tonne CO₂-Äquiv. von 698 EUR/Tonne. Es lässt sich eine Einsparung von 7,1 % der jährlichen CO₂-Äquiv.-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten erzielen.

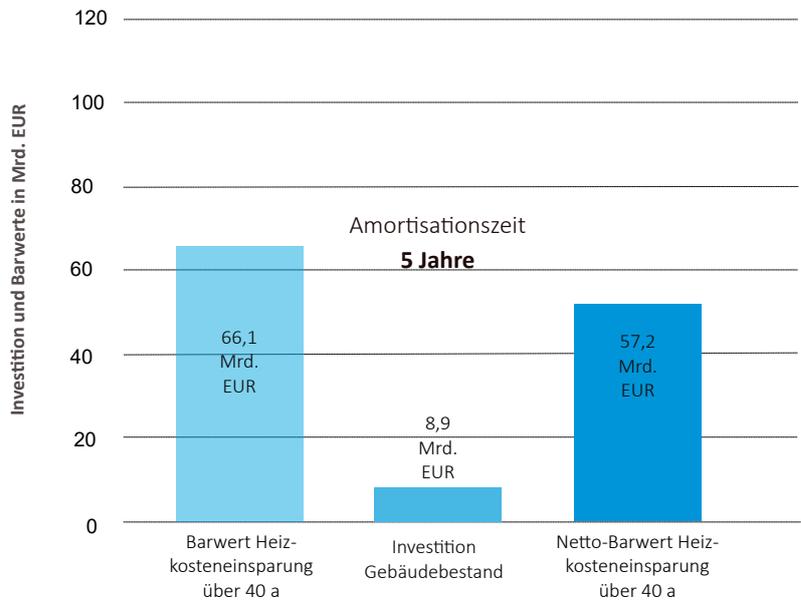
Abb. 110: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ für die Einblasdämmung in und auf Dachböden im Vergleich



Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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.



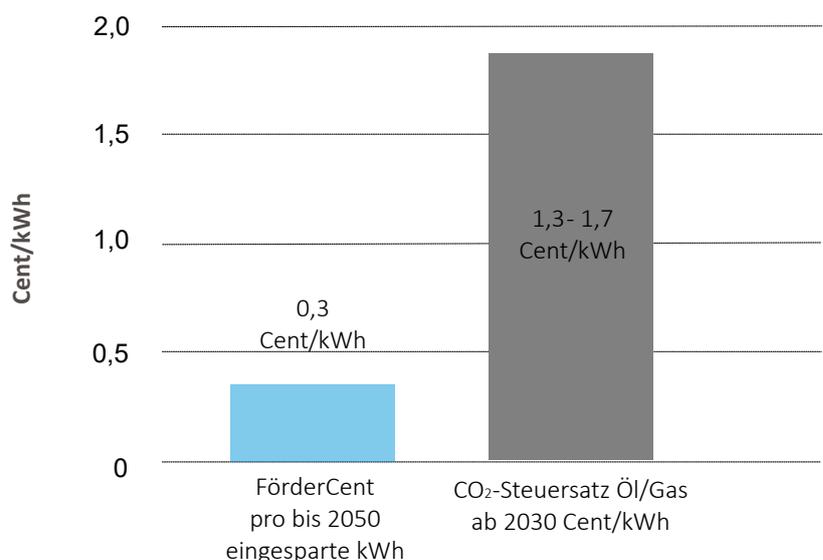
Grafik: Energieinstitut Hessen; eigene Berechnung

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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Steuerbelastung pro verbrauchter kWh Öl und Erdgas - Einblasdämmung in Dachböden



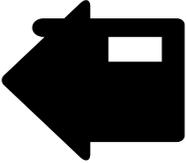
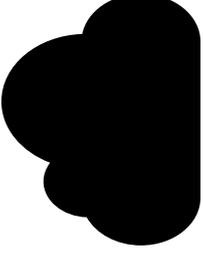
Grafik: Energieinstitut Hessen

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. m ²	2400
Fläche Dachboden unbeheizt	Mio m ²	904
davon noch ungedämmt	Mio. m ²	427
Anteil Dachböden an gesamten Dachfläche	%	38 %
Modernisierungsrate (flächengewicht.) ab 2010	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,3 - 1,2
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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 m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste AW ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
497 Mio. m ²	3,8 Mio	31 TWh/Jahr	28 TWh/Jahr	8,7 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitionsvolumen	Barwert Heizkosteneinsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
36 EUR/to <small>Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to</small>	8,9 Mrd. EUR	66,1 Mrd. EUR	5 Jahre	21 EUR/m ²

Quelle: Fachverband Einblasdämmung Paderborn; Energieinstitut Hessen



Belüftete Dämmung

Die Einbindung in eine belüftete Glasfaserstruktur kann den Heizenergieverbrauch der Wohngebäude um 4,2 TWh/Jahr oder 1 % reduzieren. Als Vollämmung 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 Be-

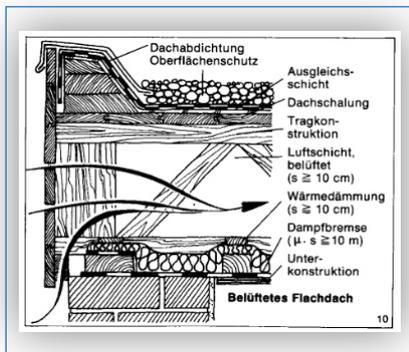


Abb. 114: Flachdach 1960 hoher Stegräger mit wenig Dämmung

tonbauweise 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. 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 ei-

nes 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

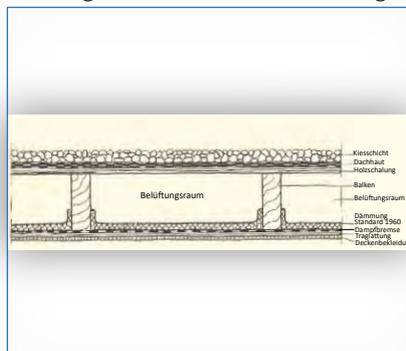


Abb. 115: Balkenflachdach 1960 mit 3-6 cm Dämmung U = 0,61-0,97 W/(m²K)

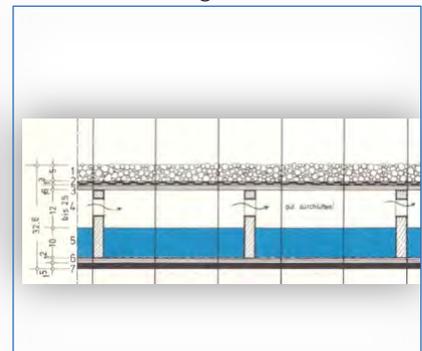


Abb. 116: 1978 besser als gefordert mit 10 cm Dämmung, 12 cm Belüftung U = 0,35 W/(m²K)

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 feuchtechnischen Optimierung bieten sich mit der Balkenvolldämmung (siehe Kapitel 6.2) und dem Kombidach an.



Abb. 117: Einblasen von Dämmflocken 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 Holz Trocknung und wurde in den 1990ziger Jahren wieder aufgegeben als sich ähnlich wie beim zweischaligen Mauerwerk seine für die Holzkonstruktion aufwechende 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 m^2 und Tauperiode sehr klein sind und eine sommerliche Austrocknung gegeben ist. Bei der Berechnung wurde ein 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.

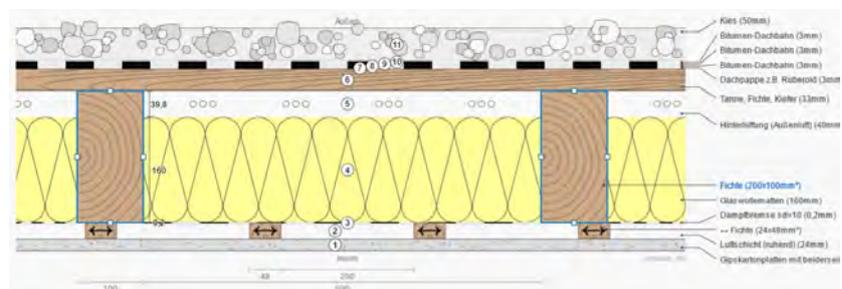


Abb. 118: Einblasdämmung in Belüftungsraum bei weiterer Belüftung $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, der obere Dachbereich bleibt im Winter weiterhin sehr kalt.

Grafik: Ubakus.de, Eicke-Hennig

6.1.3 Heizenergie und CO₂-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.

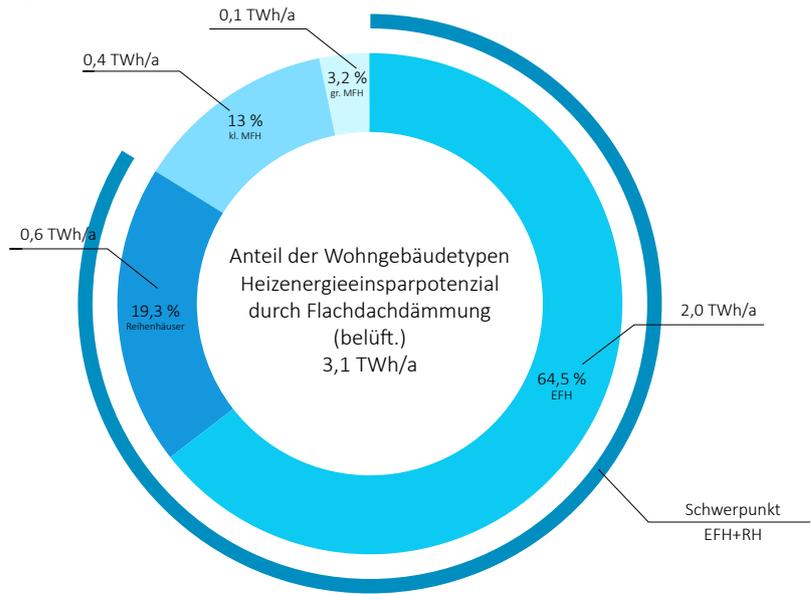
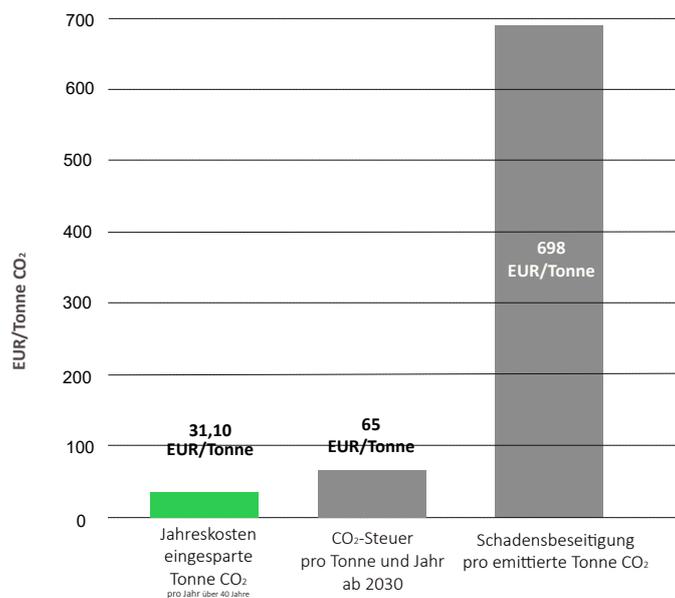


Abb. 119: Heizenergieeinsparpotenzial durch Flachdachdämmung im Belüftungsraum nach Gebäudetypen in TWh/a und Prozent

CO₂-Einsparpotenzial

Das CO₂-Einsparpotenzial umfasst 1 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-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 CO₂. Die Dämmung in dieser Qualität senkt die CO₂-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 0,8 Prozent.

Abb. 120: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ durch Einblasdämmung im Belüftungsraum von Flachdächern im Vergleich



Gratik: Energieministerium Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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.

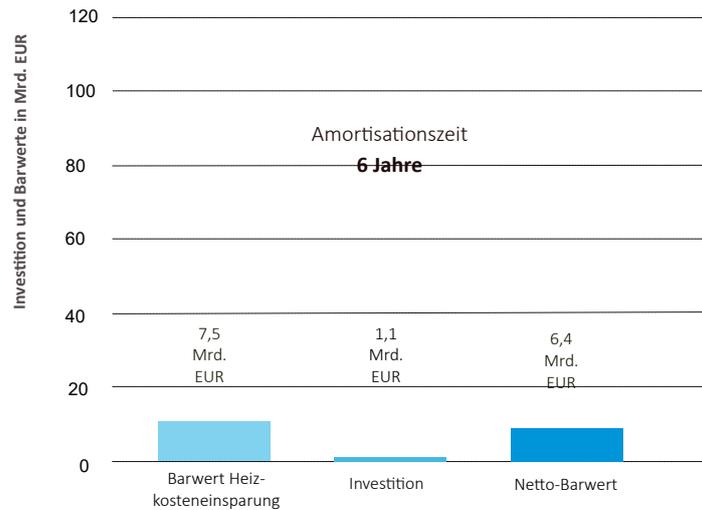
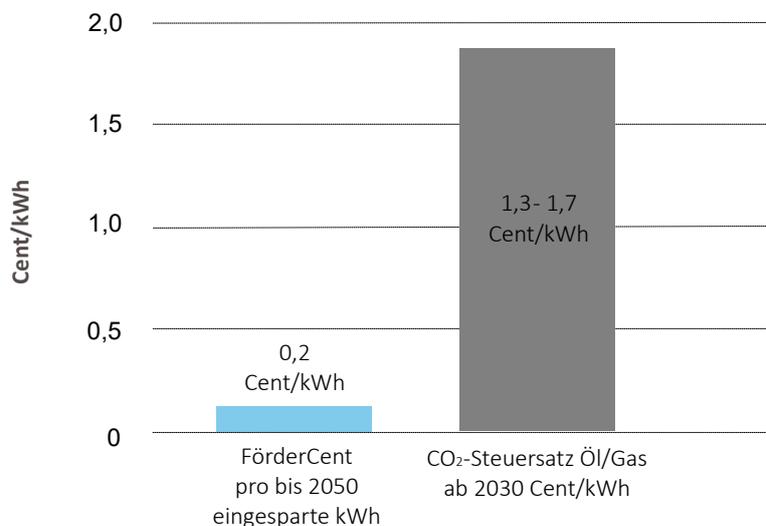


Abb. 121: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung bei Einblasdämmung in belüftete Flachdächer

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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Steuerbelastung auf Öl und Gas



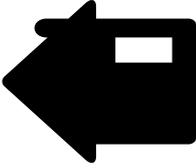
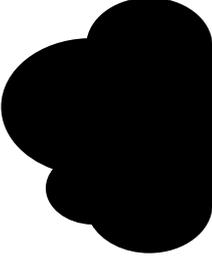
Grafik: Energieinstitut Hessen

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. m ²	208,4
Fläche Flachdach belüftet	Mio. m ²	104
davon mit noch ungedämmter Belüftungsschicht	Mio m ²	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/(m ² K)	0,8-1,39
U-Werte bei Dämmung+Belüftung	W/(m ² K)	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	€/m ²	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 m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste FD ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
35 Mio. m ²	0,26 Mio	4 TWh/Jahr	3,1 TWh/Jahr	1,0 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitionsvolumen	Barwert Heizkosteneinsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
31 EUR/to <small>Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to</small>	1,1 Mrd. EUR	7,5 Mrd. EUR	6 Jahre	31 EUR/m ²

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.

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 luftdichten Ebene.

6.2.1 Heizenergie- und CO₂-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 CO₂-Einsparpotenzial beträgt 1,1 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. sind mit 103,4 EUR höher als der ab 2030 zu erwartende CO₂-Steuersatz von 65 EUR/Tonne. Die Dämmung in dieser Qualität senkt den CO₂-Ausstoß des Raumwärmesektors inkl. Nichtwohnbau um 0,9 Prozent.

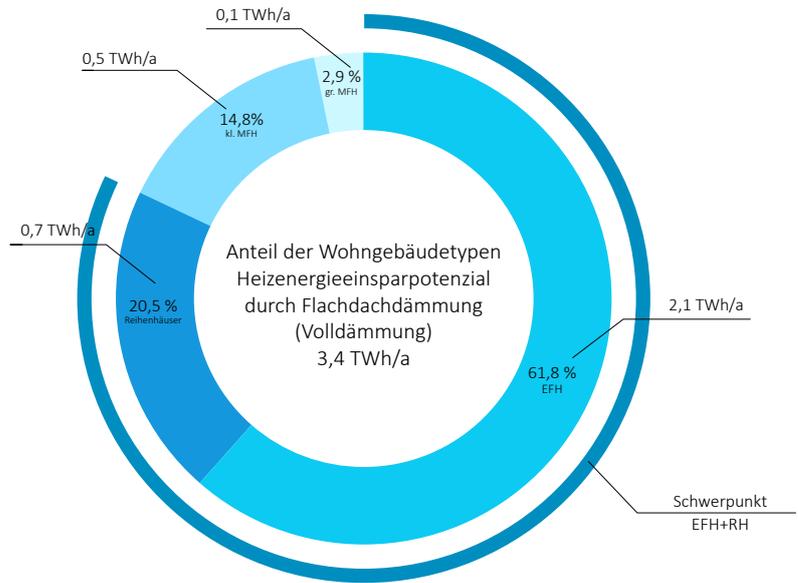


Abb. 124: Heizenergie- Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in bel. Flachdächer (Volldämmung) im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent

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

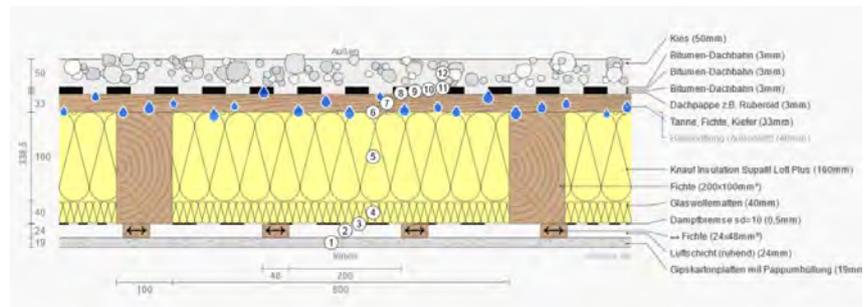
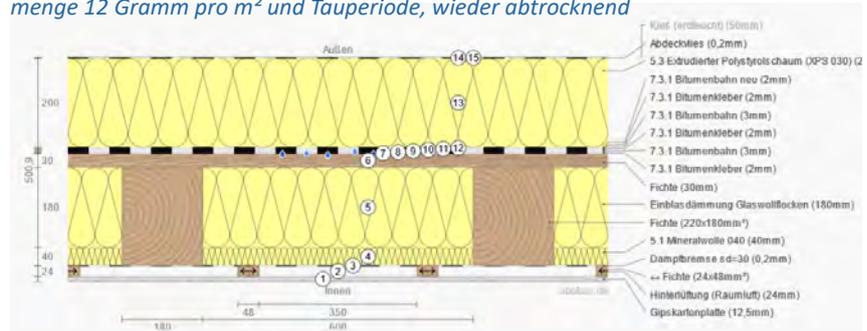


Abb. 126: Kombidach mit Umkehrdach und Volldämmung, U 0,1 W/(m²K), Tauwassermenge 12 Gramm pro m² und Tauperiode, wieder abtrocknend



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 CO₂-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 (Vollämmung) eingesparten Tonne CO₂ im Vergleich

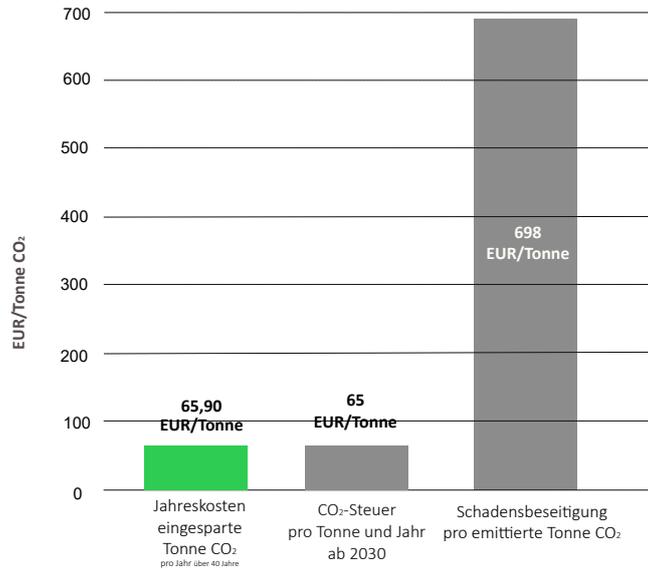


Abb. 128: Investitionskosten und Barwert der Heizkosteneinsparung Flachdachvollämmung

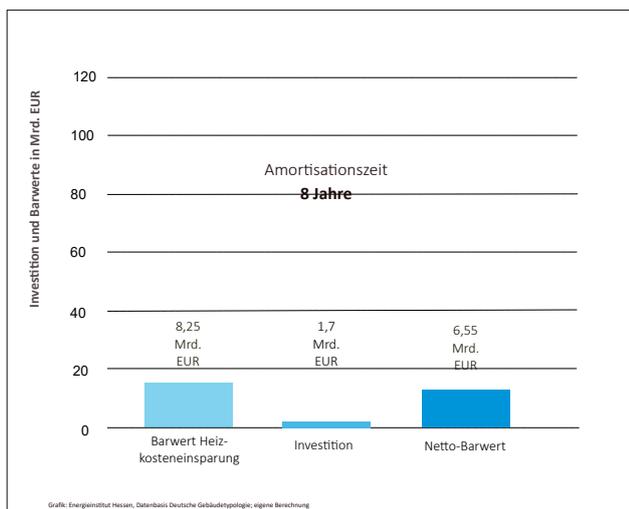


Abb. 129: FörderCent pro bis 2050 eingesparte kWh Heizenergie im Vergleich - Flachdachvollämmung

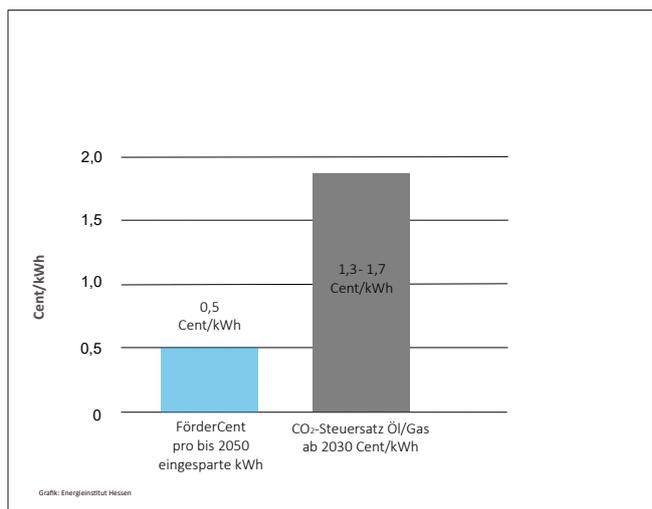
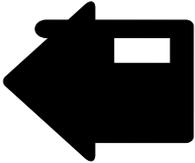
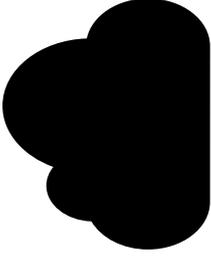


Tabelle 19: Mengengerüst Einblasdämmung Flachdächer (Volldämmung) im Wohngebäudebestand

Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	18,2
Anzahl Wohngebäude mit belüfteten Flachdach	Mio. Stck.	1,6
Dachflächen insgesamt	Mio. m ²	2400
Fläche Flachdach gesamt	Mio m ²	208,4
Fläche Flachdach belüftet gesamt	Mio. m ²	104,2
davon noch ungedämmt	Mio. m ²	34,4
Anteil Flachdach an gesamter Dachfläche Wohnbau	%	8,7 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Flachdach	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,3 - 1,39
U-Werte Ziel (Belüftungsraumvolldämmung)	W/(m ² K)	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	€/m ²	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 m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste FD-V ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
35 Mio. m ²	0,26 Mio	4 TWh/Jahr	3,4 TWh/Jahr	1,1 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitionsvolumen	Barwert Heizkosteneinsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
43 EUR/to	1,7 Mrd. EUR	8,3 Mrd. EUR	8 Jahre	45 EUR/m ²
Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to				

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 trägt 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 $W/(m^2K)$, seit 1984 durch die WSchVO bei 0,3 $W/(m^2K)$. 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. m^2 Flachdach entfallen nur 15-50 % der Baualtersklassen E bis H (1968-1984) oder 34 Mio. m^2 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. m^2 .

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 $W/(m^2K)$ 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 einblasenen 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 $W/(m^2K)$. 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 m^2 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.

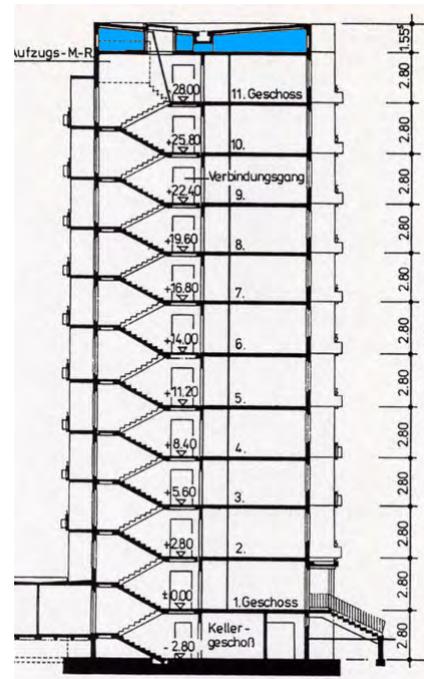


Abb. 131: Dimensionen belüfteter Flachdächer in der Betonbauweise

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



6.3.2 Heizenergie- und CO₂-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.

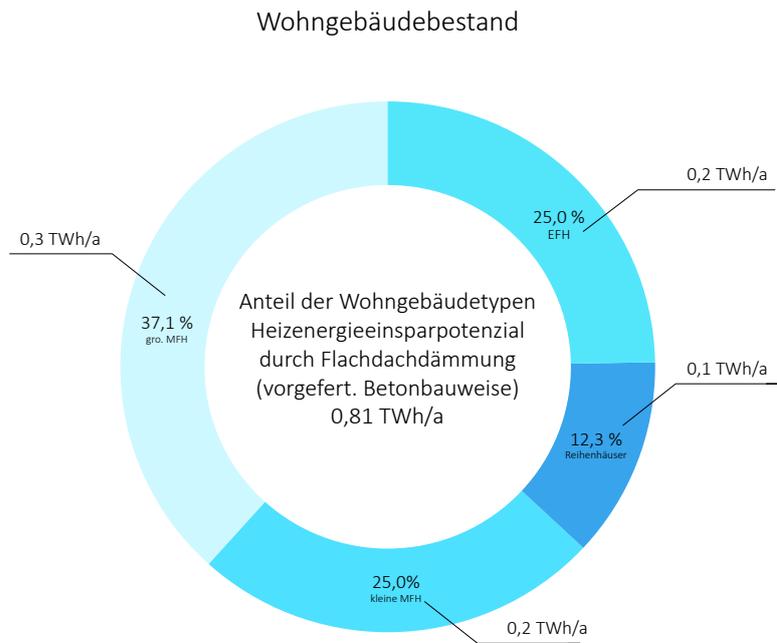
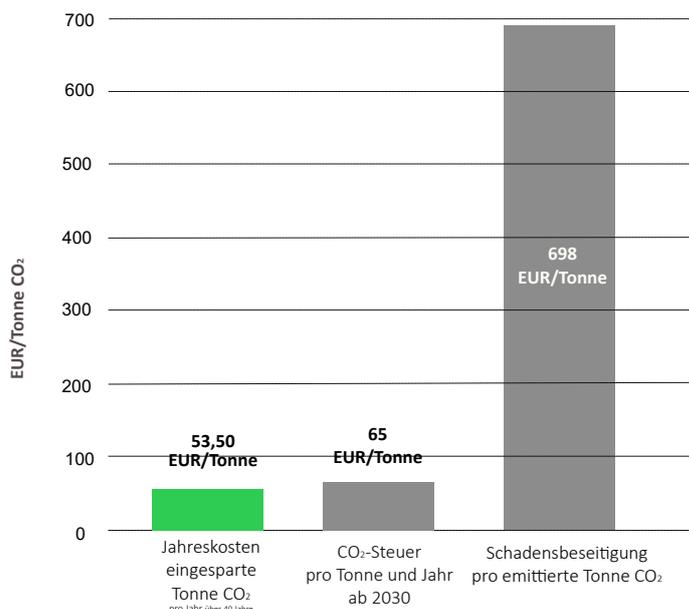


Abb. 133: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in belüftete vorgefertigte Betonflachdachaufbauten in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen

Das CO₂-Einsparpotenzial beträgt 0,25 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. betragen 53,50 EUR und liegen damit unter der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung in Höhe von 65 EUR pro Tonne CO₂-Äquiv.. Die in dieser Qualität vorgenommene Dämmung von belüfteten Flachdächern auf Betondecken senkt die CO₂-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. der Nichtwohnbauten um 0,1 Prozent.

Abb. 134: Kosten der durch Einblasdämmung in belüftete Betonflachdachkonstruktionen eingesparten Tonne CO₂ 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.

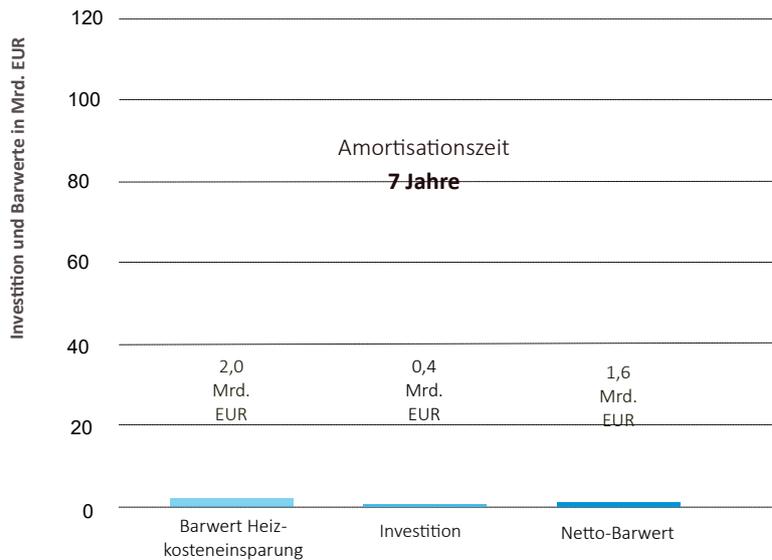
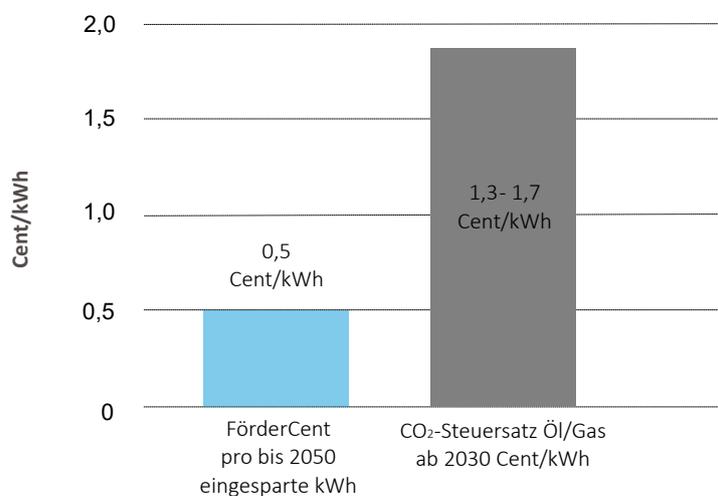


Abb. 135: Investitionssumme und Barwert der eingesparten Heizkosten im Vergleich - Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer

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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Steuerbelastung ab 2022 - Einblasdämmung in belüftete Betonflachdächer



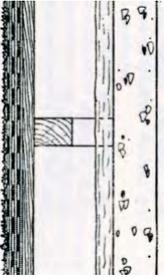
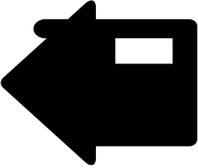
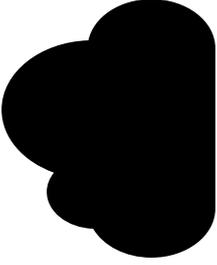
Grafik: Energieinstitut Hessen

Tabelle 20: Mengengerüst - Einblasdämmung in belüftete vorgefertigte Betonflachdächer 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. m ²	2400
Fläche Flachdach gesamt	Mio. m ²	208,4
Fläche Flachdach belüftet Beton	Mio. m ²	34,0
davon noch ungedämmt	Mio. m ²	11,3
Anteil Flachdach an gesamter Dachfläche Wohnbau	%	8,7 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Flachdach	%	1,5
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,79 - 1,47
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ²	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 m ²	Zu dämmende Wohngebäude	Heizenergieverluste FD-Beton ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
11,3 Mio. m ²	0,1 Mio	0,92 TWh/Jahr	0,8 TWh/Jahr	0,3 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitions- volumen	Barwert Heizkosten- einsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
54 EUR/to <small>Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to</small>	0,4 Mrd. EUR	2 Mrd. EUR	7 Jahre	35 EUR/m ²



Nachdämmung von Rolladenkästen

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 $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 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 $3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gegenwärtig zu Spitzensystemen unter $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ avancieren lassen. Gleichzeitig reduzierte sich ihre wärmeabgebende Fläche.

Im Wohngebäudebestand gibt es rund 118 Mio. Rollladenkästen mit einer wärmetauschenden Fläche von 55,5 Mio. m^2 . Für die Studie wurden durchschnittlich 6 mit Rollläden versehene Fenstern pro Wohneinheit mit zusammen $1,6 \text{ m}^2$ angenommen, wobei ein

6.1. Dämmtechnik für Rollladenkästen

Abschlag für Objekte ohne Rollläden 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 Rollläden und solche der Baualterklassen ab 1984, durch Vorsatzrollladensysteme ausgetauschte Bauteile bleiben ebenso unberücksichtigt wie mit Klapppläden versehene Gebäude. Es wird davon ausgegangen, dass 59 Mio. Rollladenkästen mit 27,1 Mio. m^2 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 bietet 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

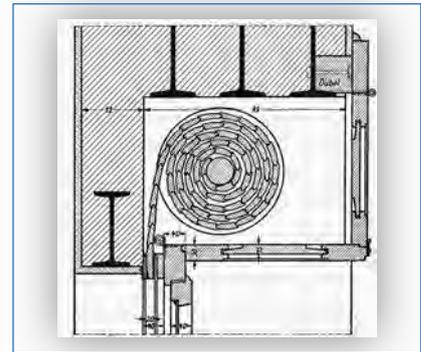


Abb. 138: Rollladenkasten aus der Gründerzeit noch im Betrieb $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Abb. 139: 1950 ff. Undicht und mit großer Wärmeverlustfläche, $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



Abb. 140: 1980 Es wird besser: Kasten mit dünner Dämmung rechts, $U = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



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

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 Rollladen-

panzer ist von Vorteil, da deren dünneren Profile mehr Raum für die Dämmung freigeben.

7.2. Heizenergie- und CO₂-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.

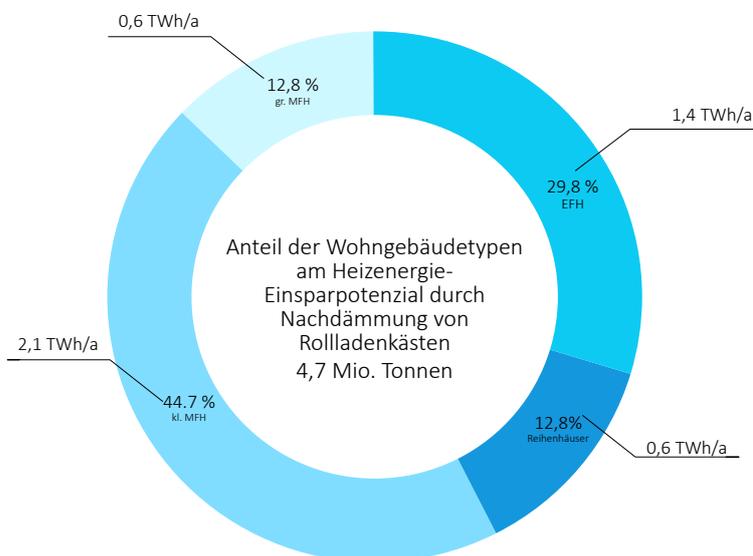
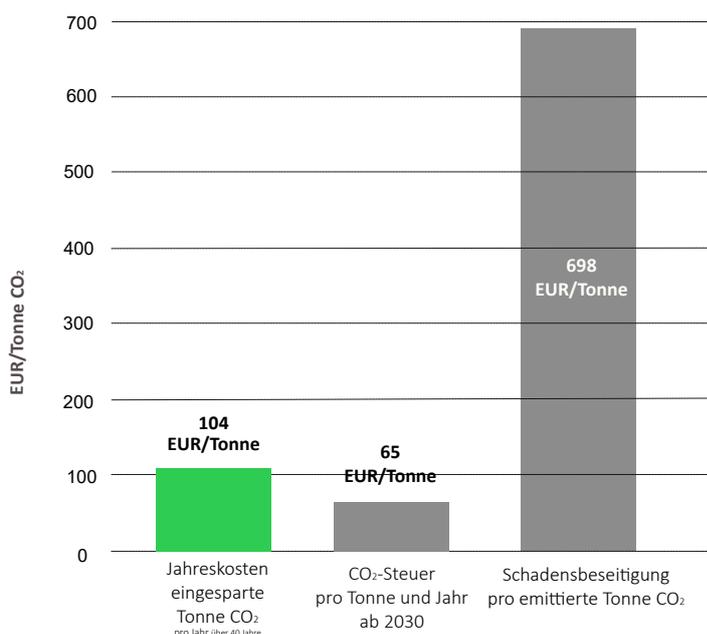


Abb. 141: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Nachdämmung von Rollladenkästen im Gebäudebestand in TWh/a und Prozent

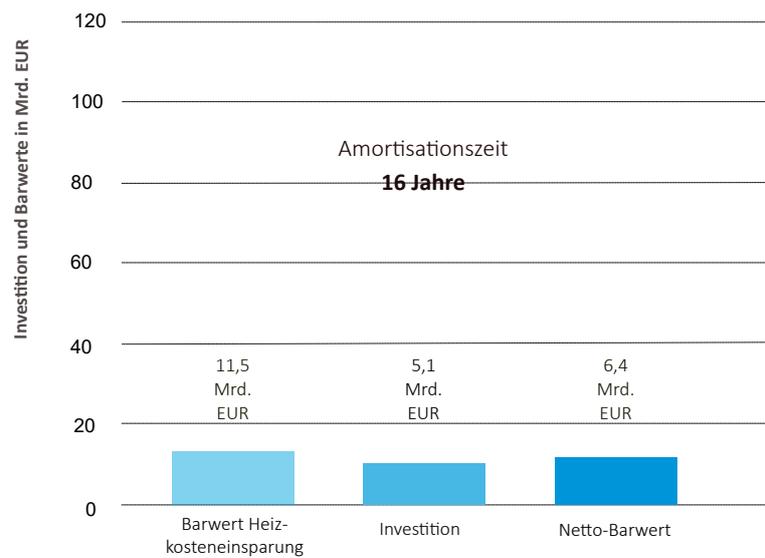
Die CO₂-Einsparung beläuft sich auf 1,5 Mio. Tonnen pro Jahr oder 0,75 % der CO₂-Emissionen von 200 Mio. Jahrestonnen für die Gebäudeheizung auch der Nichtwohngebäude. Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. betragen mit 104 EUR das 1,6-fache der ab 2030 zu erwartenden steuerlichen Belastung von 65 EUR/Tonne CO₂-Äquiv. und nur 15 % der vom UBA errechneten voraussichtlichen Aufwendungen für die Schadensbeseitigung von 698 EUR pro emittierter Tonne CO₂-Äquiv..

Abb. 142: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ 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 Rollladenkastenerüchtigung 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 Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt eine Amortisationszeit von 16 Jahren.



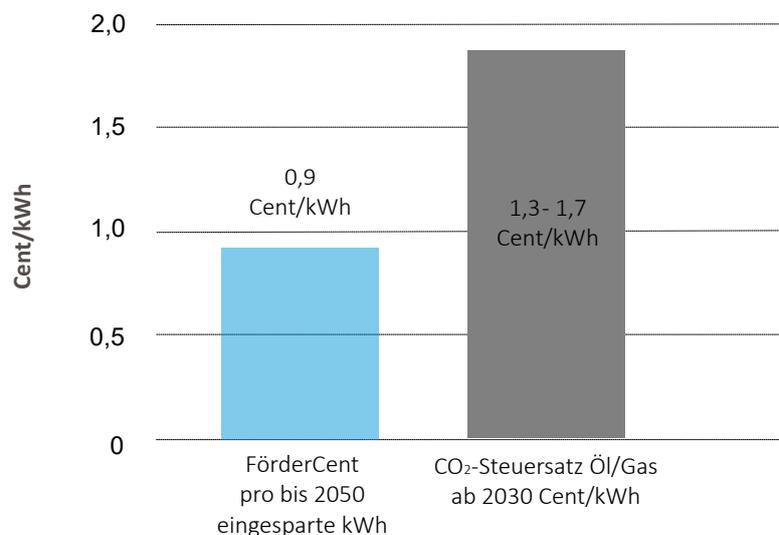
Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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 CO₂-Steuer auf jede verbrauchte kWh Öl und Gas übertroffen und die Unterlassung einer Investition in die Nachdämmung von Fertighausaußenwänden ist die ökonomisch schlechteste Lösung.

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

Ab 2030 stehen der Förderung höhere staatliche Einnahmen aus der CO₂-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.



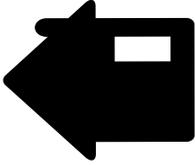
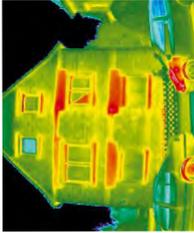
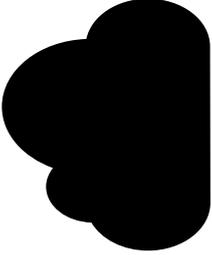
Grafik: Energieinstitut Hessen

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. m ²	54,2
Fläche ungedämmt bzw. für Nachdämmung berücksichtigt	Mio. m ²	27,1
Modernisierungsrate (flächengewichtet) 2010-2016 Rollladenk.	%	< 1
U-Werte IST	W/(m ² K)	2,0-3,0
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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 CO ₂ -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 Rolllädenkästen im Wohngebäudebestand

Potenzial der Nachdämmung von Rolllädenkästen im Wohngebäudebestand

				
Rollladenkasten- fläche m ²	Rollladenkästen Stck.	Heizenergieverluste RIKa ungedämmt	Energieeinsparung TWh/a	CO ₂ -Einsparung Jahrestonnen
27,1 Mio. m ²	59,4 Mio.	6,3 TWh/Jahr	4,7 TWh/Jahr	1,5 Mio
				
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ (40a)	Investitions- volumen	Barwert Heizkosten- einsparung 40 Jahre	Amortisation dynamisch	Maßnahmekosten
104 EUR/to <small>Schadens-Beseitigungskosten 698 EUR/to</small>	5,1 Mrd. EUR	11,5 Mrd. EUR	16 Jahre	100 EUR/Stck.

A close-up photograph of a building's exterior wall joint. A white drainage pipe runs vertically down the center. To its right is a dark wooden beam. The wall surface is a textured, light brown material. Two rectangular windows with white frames are visible on the left side of the image.

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 Baualterklassen 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 zusammengebaute 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 Baualterklassen 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 CO₂-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.

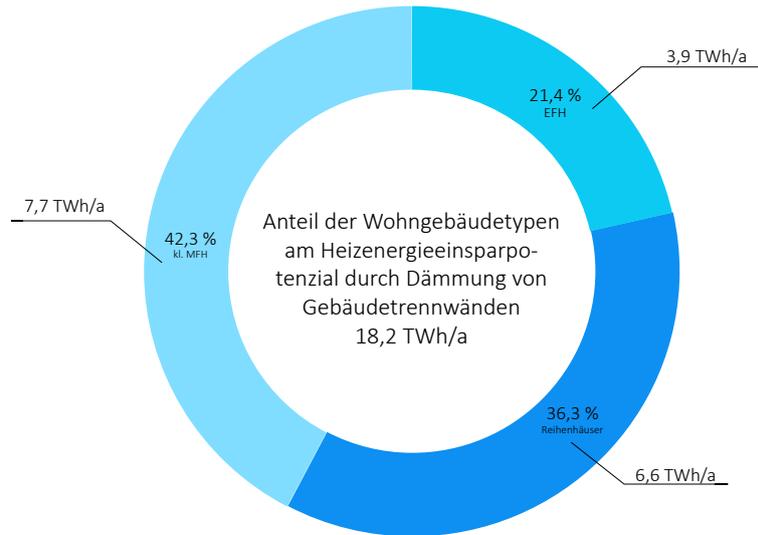
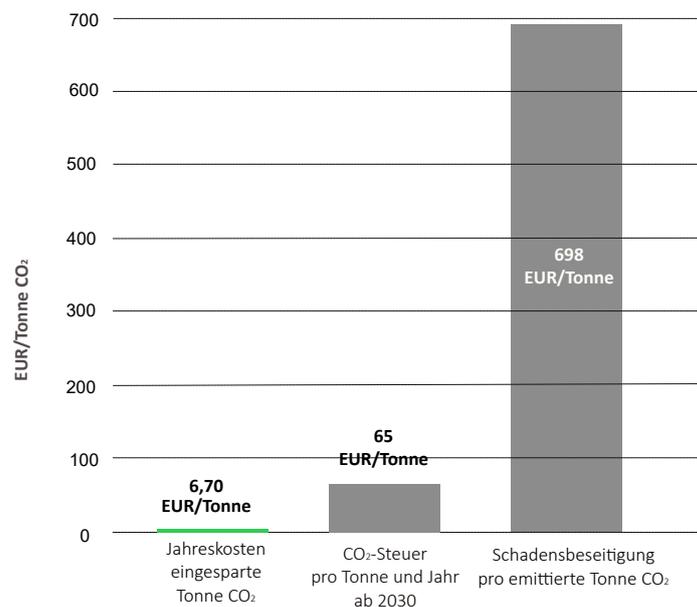


Abb. 150: Heizenergie-Einsparpotenzial durch Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen in TWh/a und Prozent nach Gebäudetypen

CO₂-Einsparpotenzial

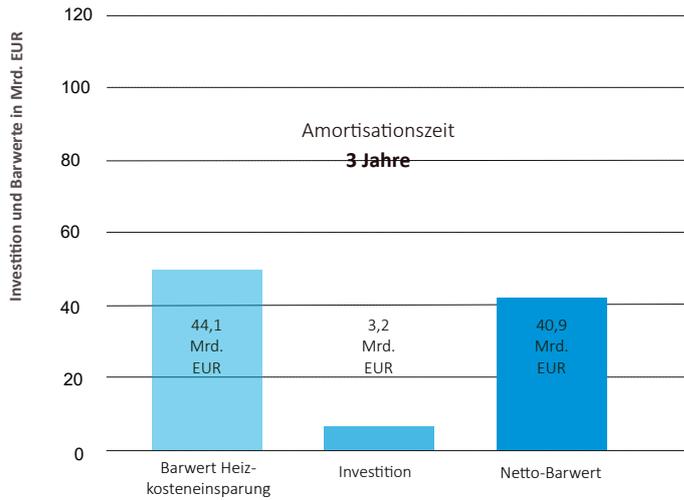
Die CO₂-Einsparung beläuft sich auf 5,8 Mio. Jahrestonnen oder 2,9 % der gesamten CO₂-Emissionen des Raumwärmesektors inkl. Nichtwohngebäuden von 200 Mio. Jahrestonnen. Die Kosten jeder über 40 Jahre eingesparten Tonne CO₂-Äquiv. liegen mit 6,1 EUR bei 1 Prozent der Schadenskosten einer emittierten Tonne CO₂-Äquiv. (UBA) und weit unter der steuerlichen Belastung ab 2030 in Höhe von 65 EUR/Tonne.

Abb. 151: Kosten der eingesparten Tonne CO₂ bei der Einblasdämmung in Gebäudetrennwandfugen im Vergleich



7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Investitionskosten 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.



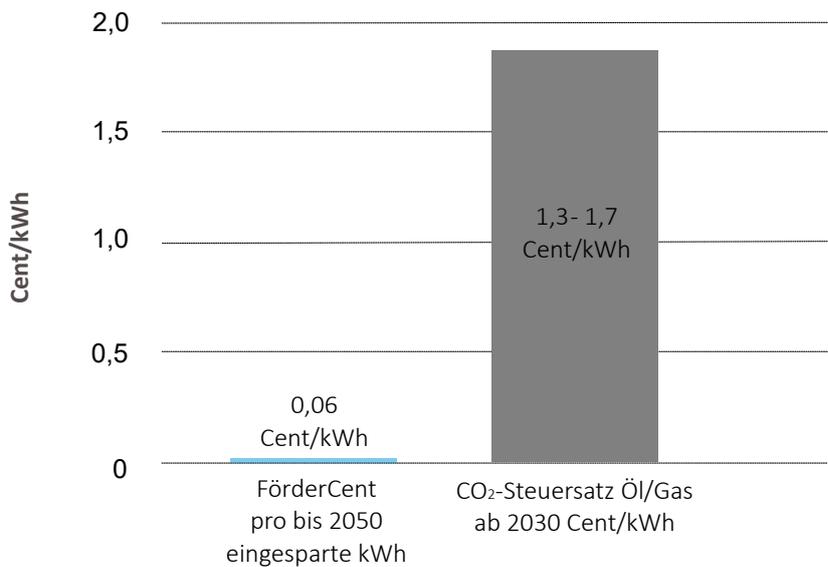
Grafik: Energieinstitut Hessen, Datenbasis Deutsche Gebäudetypologie; eigene Berechnung

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 CO₂-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 CO₂-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

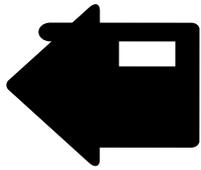
Bereich	Einheit	Summe
Anzahl Wohngebäude bis 2009	Mio. Stck.	18,2
Wohngebäude mit Gebäudetrennwänden	Mio. Stck.	0,6
Fläche Außenwände gesamt	Mio. m ²	3600
Fläche Gebäudetrennwände	Mio. m ²	108
Anteil Trennwände an Außenwandflächen	%	3 %
Modernisierungsrate (flächengewichtet) Trennwände		0,01 %
U-Werte IST	W/(m ² K)	0,6- 1,4
U-Werte Ziel	W/(m ² K)	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	€/m ³	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 CO ₂ -Emissionen Raumwärme	%	2,90 %
Endenergie Heizung Wohngebäude 2021	TWh/a	454
CO ₂ - Emissionen Gebäudesektor 2021	Mio. Tonnen/a	200

Potenzial der Einblasdämmung von Haustrennwandfugen im Wohngebäudebestand



Haustrennwand-
fläche m²

111 Mio. m²



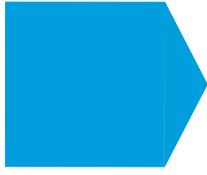
Gebäude
Stck.

0,6 Mio.



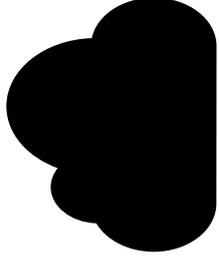
Heizenergieverluste
TrWA ungedämmt

18 TWh/Jahr



Energieeinsparung
TWh/a

18 TWh/Jahr



CO₂-Einsparung
Jahrestonnen

5,7 Mio



Kosten eingesparte
Tonne CO₂ (40a)

7,3 EUR/to
Schadens-Beseitigungskosten
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

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 Wär-

meschutz 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 Fertigteiltbau, Marktdaten zum Fertigteiltbau '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/BM-Bau, Kostengünstige bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs un-

ter 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. Hebgren, 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. Breyermann, 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. Vulkan, 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 – Balkende-

cken, 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

A close-up photograph of a brick wall. A white corrugated pipe is attached to the wall, and a metal downspout is visible on the left. The text is overlaid on the image.

**KALTE LUFT IN DER
WAND?**

**HIER WÄRMT JETZT DIE
EINBLASDÄMMUNG**

Funktionierend, einfach, schnell ausgeführt, bezahlbar und
kompromisslos ökologisch

Strom- und CO₂-Einsparpotenzial durch Einsatz elektronischer Umwälzpumpen in Wohn- und Nichtwohnbauten



energieinstitut-hessen

Studie des Energieinstitut Hessen im Auftrag der WILO SE





Bild Faltblatt Hessische Energiespar-Aktion

Bildausschnitt: Prospekt der „Hessischen Energiespar-Aktion“

Die Heizungsumwälzpumpe ist das Herz der Heizung, denn ohne sie gäbe es keinen effizienten Wassertransport in Heiznetzen und keine Funktionsfähigkeit moderner Heizkessel und Wärmepumpen. Die elektrische Leistung der 27,3 Mio. älteren Heizungsumwälzpumpen in Deutschland ist mehrfach überdimensioniert, ihre Lebenslaufzeiten unnötig lang und ihre Motoren technisch veraltet. Das Ergebnis sind Stromgroßverbraucher im Heizungskeller und ein nationaler Stromverbrauch, der den des elektrifizierten ÖPNV übertrifft. Selbst eine übliche alte Heiztherme für das Reihenhaus weist 130 Watt Pumpenleistung auf, wo die heutigen Hocheffizienzpumpen nur noch zwischen 4 und 25 Watt selbsttätig und variabel regeln. Ein technischer Fortschritt, der zügig in deutsche Wohn- und Nichtwohngebäude gehört.

Studie:

Strom- und CO₂-Einsparpotenzial durch Einsatz elektronischer Umwälzpumpen in Wohn- und Nichtwohnbauten

Durchgeführt von:

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

Auftraggeber:

WILO SE
Wilopark 1
44263 Dortmund
www.wilo@wilo.com

Frankfurt am Main/Dortmund 2022

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung.....	114
2. Methodik und Datenquellen	115
3. Rahmenbedingungen	120
3.1 „Altpumpen“ und Hocheffizienzpumpen	124
3.2 Mengengerüst Heizungsumwälzpumpen.....	125
3.3 Mittlere elektrische Pumpenleistung	127
3.4 Mittlere Jahresbetriebsdauer.....	127
3.5 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	127
3.6 CO ₂ -Emissionsfaktor	127
4. Anzahl und Elektrizitätsverbrauch der Heizungsumwälzpumpen im Gebäudebestand	130
5. Stromeinsparpotenzial durch Hocheffizienzpumpen in Wohn- und Nichtwohnbauten.....	132
6. Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Hocheffizienzpumpen	134
7. CO ₂ -Einsparpotenzial und Einsparung von Kraftwerksleistung	135
8. Ergebnisvergleich zwischen fünf Veröffentlichungen 1991-2022.....	135
9. Fallbeispiel: Pumpentausch in der Evangelischen Landeskirche Baden	137
10. Vorschläge zur Umsetzung des Potenzials	138
Endnoten.....	140

Vorwort

Die Energiewende erfordert die Ausschöpfung aller Effizienzpotenziale in allen Verbrauchssektoren. Bei der Gebäudeheizung reicht der gewohnte Wechsel von Energieträger und Wärmeerzeuger nicht mehr aus. Es genügt ein Blick auf den Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen, der mit 18,6 TWh pro Jahr fast 4 % Anteil am gesamten Stromverbrauch Deutschlands hat. Eine Versorgung dieser Stromgroßverbraucher im Heizungskeller benötigte 2.500 Windräder der 3-MW-Klasse. Einfacher und zielführender ist hingegen der Austausch der 27,4 Mio. Altpumpen durch Hocheffizienzpumpen, die für die gleiche Leistung bis zu 90 % weniger Strom einsatz benötigen. Die nicht verbrauchte Energie schont die Umwelt immer noch am besten.

Die Lösung ist bereits seit 2001 am Markt: Hocheffizienzpumpen sind der Endpunkt einer Effizienzentwicklung bei den Pumpen. Sie begann 1928 mit dem „Umlaufbeschleuniger“ von WILO und führte über die Standardpumpe zur geregelten und von dort zur elektronisch geregelten Pumpe mit Asynchronmotor, die als smarte Pumpe gerade im Begriff ist über ihre Konnektivität nicht nur ihre Drehzahl zu steuern, sondern auch ihre Jahreslaufzeit zu senken. Bei all diesen Entwicklungen stand WILO an vorderster Stelle. Dies gilt auch für diese Studie, die erstmalig den Umfang und die Struktur des Stromverbrauches von Heizungsumwälzpumpen in Deutsch-

land untersucht. Wir hoffen, die vorgelegten Fakten lenken das gesellschaftliche Augenmerk stärker auf die Effizienz von Umwälzpumpen. Die hierzu unverzichtbaren Daten liegen mit dieser Studie vor.

Die Studie belegt ein Strom-Einsparpotenzial durch Hocheffizienzpumpen von 66 bis 75 % im deutschen Wohn- und Nichtwohngebäudebestand. Ein Stromverbrauchssockel von bis zu 13,6 TWh pro Jahr würde ersatzlos durch moderne Technik eingespart, mehr als der Jahresstromverbrauch des elektrifizierten ÖPNV in Deutschland. Hocheffizienzpumpen sind eine niedriginvestive Technik, die nicht nur bezahlbar ist, sondern darüber hinaus über die Stromeinsparung innerhalb der wirtschaftlichen Nutzungszeit von 15 Jahren die mehr als doppelte Rückzahlung der Investition gewährleistet. Die Stromrechnung unserer Gesellschaft reduzierte sich Jahr für Jahr um 4,8 Mrd. EUR, unsere Stromnetze erführen in der Winterspitze eine Entlastung und der künftig durch Wind- und Solarkraftwerke zu versorgende elektrische Leistungsbedarf verringerte sich um 1,94 GW.

Heute befinden wir uns mitten in der Phase der Modernisierung von Altpumpen und bereiten unsere Zentralheizungen damit auf die Energiewende vor. Die Hocheffizienzpumpen sind seit 2013 durch EU-Recht bei Neueinbau von Umwälzpumpen vorgeschrieben

und kommen mit einer 3-prozentigen Kesselerneuerungsrate pro Jahr auch in den Gebäuden an. Rund 20 Mio. Pumpen befinden sich jedoch extern im Rohrnetz. Ihr Ersatz ist bei Kesselerneuerungen kein Selbstläufer, sondern erfordert wissensbasierte Entscheidungen. Aus diesem Grunde schlagen wir eine dauerhafte Informationskampagne zum Umwälzpumpentausch unter dem Titel: „Das Herz der Heizung“ vor. Das ist die Umwälzpumpe in der Tat, denn mit dem „Umlaufbeschleuniger“ und seinen Nachfolgern wurde der Weg frei für eine immer energie- und materialeffizientere Zentralheizung.



Meevissen Matthias
WILO SE

1. Kurzfassung

Diese Studie analysiert das durch Modernisierung von Heizungsumwälzpumpen im Bestand der deutschen Wohn- und Nichtwohngebäude erschließbare Elektrizitäts- und CO₂-Einsparpotenzial.

Hocheffizienzpumpen sind seit 2001 am Markt und seit 2013 durch EU-Vorgabe für neu eingebaute Heizungsumwälzpumpen vorgeschrieben. Nach der „Mittelfristenergiesicherungsverordnung“ werden nunmehr auch Heizungspumpen in Deutschland einem Heizungsscheck unterzogen und Austauschvorschläge gemacht. Der Tausch von 27,4 Mio. Altpumpen im Heizungskeller erschließt je nach Ausgangsbedingung ein technisches Stromsparpotenzial bis zu 90 %. Auch bei Zentralheizungsanlagen mit der ersten Generation elektronisch geregelter Pumpen von Ende der 80ziger Jahre reduzieren Hocheffizienzpumpen den Stromverbrauch noch um 50 %.

Die Technologie der Hocheffizienzpumpe ist ein Zusammenspiel von neuer Motortechnologie (permanent magnetisierte Motoren) der Hydraulik (wasserführender Teil im Pumpengehäuse) und

der Software (Regelintelligenz). Die elektrische Pumpenleistung konnte in Bereiche bis 4 Watt gesenkt werden. Seit 2013 macht die aufgrund der Ökodesign-Richtlinie ergangene VO (EU) 642/2009 verbindliche Vorgaben über den Energieeffizienz-Index von Umwälzpumpen: Der vorgeschriebene Energieeffizienz-Index EEI liegt für Hocheffizienzpumpen bei 0,2, Bestwerte liegen bei 0,15 bis 0,18. Mit der auf die Energieeffizienz abzielenden elektrischen Leistungsreduktion ging auch eine Verkleinerung des Pumpenkörpers und damit eine bedeutende Materialeinsparung (graue Energie) einher. Das Gewicht der Pumpen konnte bis zu 50 % gesenkt werden. Hocheffizienzpumpen ersetzen beispielsweise in EFH unregelte und drehzahlgeregelte Altpumpen von durchschnittlich 70-80 Watt Leistung durch eine variable Leistungsaufnahme von 4-20 Watt und reduzieren die langen Laufzeiten der Altpumpen bei hohem Wirkungsgrad.

Die hier ausgewerteten Marktdaten der Pumpenhersteller sowie eine Umfrage bei den Marktakteuren belegen, dass im Zeitraum von 2001 bis 2021 lediglich rund 17 Prozent der vorhandenen Pum-

pen durch Hocheffizienztechnik ausgetauscht wurden. Die Kombination des sich aus den jährlichen Absatzzahlen ergebenden Mengengerüsts mit 41 Gebäudetypen der deutschen Wohn- und 11 Typen der Nichtwohngebäudetypologie bilden im Verbund mit mittleren elektrischen Leistungsdaten aus der DIN 4701-10 und wissenschaftlichen Veröffentlichungen das Fundament für das entstandene Modell. Dieses folgt einem neuen Betrachtungsansatz, der die Pumpenverteilung auf die Gebäudetypen zeigt. Im Fokus stehen ausschließlich die Heizungsumwälzpumpen und deren Anzahl in den deutschen Wohngebäuden bis 2009 und Nichtwohngebäuden bis zum Baujahr 2014. Da weder die neueren zwischen 2009/14 und 2022 errichteten Gebäude noch die ca. 11 Mio. Trinkwarmwasser-Zirkulationspumpen, Speicherladepumpen und Solarkreisumpen Berücksichtigung fanden, wird somit ein unteres Stromsparpotenzial ermittelt.

Rund 95 % der bis 2009 errichteten 20,2 Mio. Wohn- und Nichtwohngebäude sind mit Zentralheizung ausgestattet. Aus Objektberichten der Pumpenhersteller und Studien ergeben sich 1 bis 1,05 Pumpen pro Wohngebäude und durchschnittlich zwischen 2 und 35 Pumpen pro Nichtwohngebäude. Hochgerechnet auf die 19,9 Mio. zentralbeheizten Gebäude beträgt ihre Summe 33,0 Mio. Heizungsumwälzpumpen. Hiervon gehören 27,4 Mio. Pumpen oder 83 % zu den „Altpumpen“, die noch unregelt oder mit manuell einzustellenden Drehzahlstufen ausgestattet sind. Allein 20,2 Mio. dieser Altpumpen oder 61 % zählen zu den externen Pumpen, die außerhalb des Heizkessels im Heizungsrohrnetz angebracht sind. Sie bedürfen besonderer Erwähnung, da sie allzu oft bei Kesselerneuerungen nicht in die Modernisierungsmaßnahmen einbezogen werden. Seit 2001 wurden lediglich 5,6 Mio. Heizungsumwälzpumpen bzw. 17 % aller Pumpen gegen Hocheffizienzpumpen ausgetauscht.



Bild 1: Hocheffizienzpumpen nach Modernisierung der Kesselanlage zum BHKW im Rathaus Mörfelden 2014 (Südhessen)

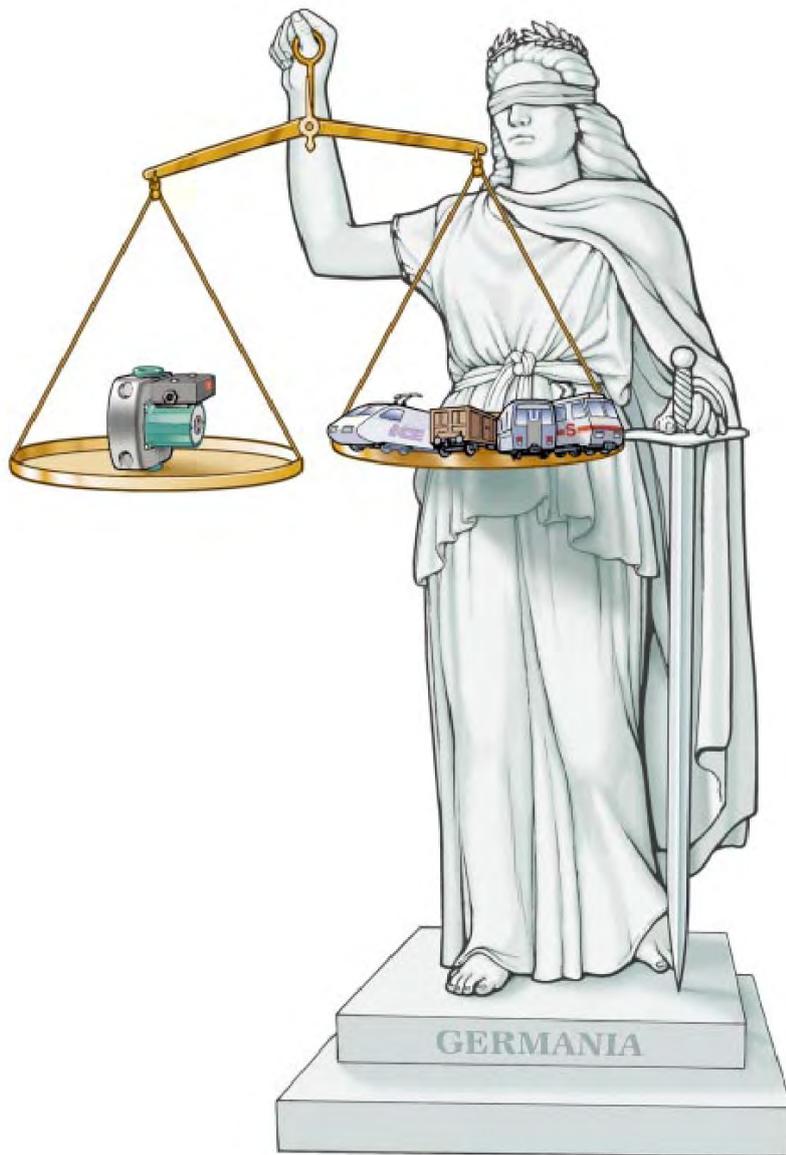


Bild 2: Der Jahresstromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen übersteigt den des ÖPNV incl. DB; ©-Grafik: Harald Konopatzki

Der Stromverbrauch aller Heizungsumwälzpumpen beträgt 19,2 TWh pro Jahr oder 3,8 % des Nettostromverbrauchs Deutschlands und übertrifft damit die 11 TWh pro Jahr Stromverbrauch des elektrifizierten ÖPNV in Deutschland. Trotz eines seit neun Jahren laufenden Austauschs von Altpumpen ist das Elektrizitäts-Einsparpotenzial durch Modernisierung mit Hocheffizienzpumpen mit 67 bis 76 % des heutigen Elektrizitätsverbrauches aller Heizungs-Umwälzpumpen nach wie vor groß. Seine Bandbreite erschließt sich aus den in der Studie differenzierten Zielzuständen. In einer optimistischen und einer pessimistischen Variante wurden mit 0,15 Watt bzw. 0,2 Watt elektrische Leistungsauf-

nahme pro m² Wohn- und Nutzfläche als Zielvorgabe angenommen. Die Werte liegen oberhalb des technischen Optimums. Zusätzlich wurden die Annahmen beider Varianten konservativ angelegt. So wurden beispielsweise keine Pumpenabschaltungen bei fehlender Wärmenachfrage berücksichtigt und die Jahreslaufzeiten moderat angelegt sowie die elektrische Alt-Pumpenleistung pro m² Wohn- und Nutzfläche des Gebäudebestandes an die Neubau-Planwerte der DIN 4701-10 angelehnt. Folglich ist davon auszugehen, dass der Anteil der Umwälzpumpen am deutschen Stromverbrauch und ihr Elektrizitäts-Einsparpotenzial höher liegt als hier berechnet.

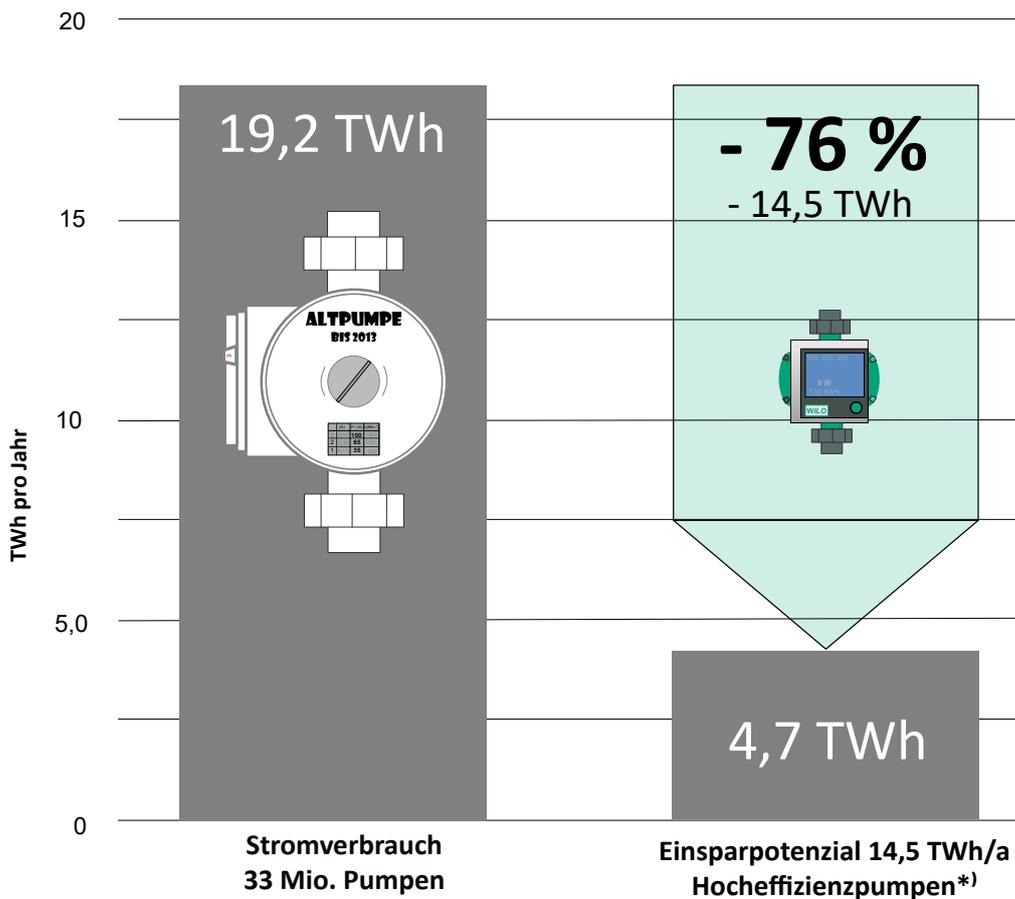
Mit rund 14,5 TWh pro Jahr ist das Stromeinsparpotenzial durch Heizungsumwälzpumpenmodernisierung beträchtlich (Variante 1), wobei der Anteil der externen Pumpen mit 12,4 TWh/a ins Auge sticht. Ein Sachverhalt, der Informationsmaßnahmen für Hauseigentümer,-verwalter und Investoren in diesem Bereich sinnvoll erscheinen läßt.

Da Altpumpen die gesamte Heizperiode in Betrieb sind, wird durch ihre Modernisierung auch eine sichere Kraftwerksleistung von 1,94 GW in der Grundlast frei. Die Entlastung entspricht etwa 4 Gaskraftwerken oder-hinsichtlich der Leistung- dem nicht mehr erforderlichen Zubau von rund 600 Windkraftwerken der 3-MW-Klasse.

Das CO₂-Einsparpotenzial ist mit 5,8 Mio. Jahrestonnen beachtlich. Bei einer angenommenen 15-jährigen Pumpenlebensdauer betragen die Kosten jeder eingesparten Tonne CO₂ durchschnittlich 380 EUR und liegen damit weit unter den vom UBA ermittelten Schadensbeseitigungskosten für jede emittierte Tonne CO₂ von 698 EUR.

Der Stromverbrauch aller Heizungsumwälzpumpen belastet Hauseigentümer, Mieter und Gewerbe bei 0,32-0,377 EUR pro kWh jährlich mit 6,5 Mrd. EUR, mit steigender Tendenz. Hiervon könnten unter Einsatz von 26,5 Mrd. EUR Investitionskosten bis zu 76 % entfallen. Bei jährlich eingesparten 5 Mrd. EUR Stromkosten liegen die Amortisationszeiten mit 6 bis 7 Jahren innerhalb der Pumpenlebensdauer. Der Nettobarwert über 15 Jahre Betrachtungszeitraum ist mit 39,2 Mrd. EUR positiv. Die Investitionskosten werden in diesem Zeitraum zweimal erwirtschaftet. Die künftig erwartbaren Strompreissteigerungen senken die Amortisationszeiten auf 4 bis 6 Jahre ab.

Die Hocheffizienzpumpentechnik wurde 2001 entwickelt und seit 2013 schrittweise durch EU-Verordnung verpflichtend. Heute sind bei neuen Heizkesseln und Elektrowärmepumpen sowie der Heizungsmodernisierung, z.B. im Zuge des Ersatzes von Ölheizanlagen, nur noch Hocheffizienzpumpen zulässig. Diese Festlegung ist für die Stromeinsparung bei Heizungsumwälzpumpen för-



Grafik: Energieinstitut Hessen: in Variante 2 beträgt das Elektrizitäts-Einsparpotenzial wegen ungünstiger Randbedingungen 66 % oder 12,3 TWh/a

Abbildung 1: Stromverbrauch und Stromsarpotenzial aller Heizungsumwälzpumpen im Gebäudebestand Deutschlands

derlich. Der Austausch veralteter Umwälzpumpen wird dennoch nicht als Selbstläufer über die EU-Verordnung angestoßen. Trotz erwiesener hoher Wirtschaftlichkeit ist seitens der Hauseigentümer kein hinreichendes Modernisierungsverhalten zu registrieren. Die Tatsache, dass der Austausch externer Pumpen technisch meist nicht zwingend ist, hat im Hinblick auf die Modernisierungsdynamik einen bremsenden Effekt. Hinzu kommt, dass in der Öffentlichkeit dem Pumpenaustausch als CO₂- und Stromsparmaßnahme kein besonderes Gewicht beigemessen wird. Die „Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen“ (Mittelfristenergiesicherungsverordnung – EnSimiMaV) sieht Gasheizungschecks und den hydraulischen Abgleich bis September

2024 vor. Für Heizanlagen in betrieblichen Gebäuden mit einem Gesamtenergieverbrauch über 10 GWh/a sind im Zuge von Energieaudits auch die Umwälzpumpen auf ihr Modernisierungspotenzial zu überprüfen und die vorgeschlagenen Maßnahmen mit einem positiven Barwert innerhalb 18 Monate umzusetzen. Für die Pumpenmodernisierung förderlich ist die Integration von Zielwerten der mittleren elektrischen Pumpenleistung nach Anwendungsarten in W/m² und die Vorschrift eines proaktiven Pumpentausches in der kommenden Novelle des GEG.

Um ihr großes wirtschaftliches Einsparpotenzial herauszustellen, wird eine regelmäßige Informationskampagne mit dem Titel: „Das Herz der Heizung“ vorgeschlagen, die die Vorteile hocheffi-

zienter Heizungsumwälzpumpen den Besitzern von EFH, der Wohnungswirtschaft, den Betreibern von Nichtwohngebäuden, Kommunen, sonstigen Körperschaften und dem Gewerbe verdeutlicht. Dabei ist auch auf Einbeziehung von Pumpen in Kühlkreisläufen zu achten. Die Verteilung der Heizungsumwälzpumpen auf den Gebäudebestand nach Gebäudetypen zeigt Abb. 6. Die Pumpen befinden sich in unterschiedlichen Gebäudenutzungen, die sich wiederum mit diversen ökonomischen Lagen verbinden. Hier könnte eine regelmäßig durchgeführte, die Verbände der Eigentümergruppen einbeziehende Kampagne äußerst erfolgversprechende und zielführende Anstöße für den vorgezogenen Austausch alter Heizungsumwälzpumpen bewirken.

Hocheffizienzpumpen sind eine niedriginvestive Energiesparmaßnahme, ihr Austausch im Gebäudebestand hat viele Vorteile:

- Er ist schnell ausführbar. Innerhalb 1-2 Stunden durchgeführt, tritt der Nutzen sofort und am Pumpendisplay ablesbar ein.
- Bei überschaubaren Kosten und hoher Wirtschaftlichkeit ist der Pumpentausch ohne Förderung finanzierbar.
- Es wird ein beträchtliches CO₂-Einsparpotenzial erschlossen.
- Hocheffizienzpumpen reduzieren die winterliche Leistungsanspruchnahme aus dem Stromnetz und tragen zur Einsparung realer Grundlastkraftwerksleistung bei. Daraus resultiert die langfristige Senkung des Stromkostenanstiegs durch geringeren Bedarf an neuen EE-Kraftwerken.
- Hocheffizienzpumpen reduzieren aufgrund Ihrer Regelintelligenz den Volumenstrom und sind ein unverzichtbarer Teil des hydraulischen Abgleichs.

Bild 3: Broschüre zu einer landesweiten Pumpentauschaktion in Hessen 2012; Broschüre: Hessische Energiespar-Aktion des Hessischen Umweltministeriums



Tabelle 1: Hauptergebnisse Hocheffizienzpumpen im Gebäudebestand

Bereich	Einheit	Einfamilienhäuser	Reihenhäuser	kleine MFH	Große MFH	Hochhäuser	Summe Wohngebäude	Summe Nichtwohngebäude	Summe
Gebäudeanzahl zentralbeheizt*)	Mio. Stck.	9,4	4,8	2,9	0,2	0,015	17,3	1,98	19,3
Summe Heizungs-Umwälzpumpen	Mio. Stck.	9,9	5,0	2,9	0,2	0,08	18,1	14,9	33,0
Altpumpen	Mio. Stck.	8,2	4,2	2,4	0,17	0,07	15,0	12,4	27,4
davon externe Heizungs-Umwälzpumpen	Mio. Stck.	5,2	2,6	2,4	0,17	0,07	10,6	9,9	20,2
Hocheffizienzpumpen	Mio. Stck.	1,7	0,9	0,5	0,034	0,014	3,2	2,5	5,6
Stromverbrauch alle H-Umwälzpumpen bis 2009/2014	TWh/a	3,4	1,5	3,1	0,8	0,1	8,9	10,3	19,2
Anteil am Nettostromverbrauch Deutschlands %									3,8
Stromverbrauch Altpumpen	TWh/a	3,2	1,4	3,0	0,7	0,1	8,5	10,2	18,7
Stromverbrauch externe Altpumpen	TWh/a	2,8	1,25	2,9	0,7	0,2	7,9	8,2	16,1
Stromverbrauch 2009 Hocheffizienzpumpen	TWh/a	0,13	0,06	0,11	0,03	0,005	0,33	0,21	0,5
Rest-Stromverbrauch alle Pumpen modernis. HEP (V1)	TWh/a	1,04	0,5	0,8	0,21	0,04	2,6	2,1	4,7
Stromeinsparung Hocheffizienzpumpen gesamt V1	%	67-76	61-71	70-73	61-73	73	71,1	79,5	76
Stromeinsparung Hocheffizienzpumpen gesamt V2	%	47-62	59-64	47-64	34-54	64	61	79	67
Stromeinsparung HEP alle Altpumpen V1	TWh/a	2,4	1,1	2,3	0,5	0,1	6,3	8,2	14,5
Stromeinsparung HEP externe Altpumpen V1	TWh/a	2,2	0,9	2,2	0,5	0,1	5,9	6,5	12,4
elektrische Leistung Altpumpen	GW	0,53	0,24	0,4	0,09	0,021	1,3	1,7	3,0
Eingesparte Kraftwerksdauerleistung V1	GW	0,35	0,15	0,24	0,06	0,02	0,83	1,1	1,94
CO ₂ -Einsparpotenzial V1	Mio. to CO ₂ /a	1,0	0,4	0,9	0,21	0,04	2,6	3,2	5,8
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ ** über 15 Jahre; V1	EUR/to	∅ 303	∅ 367	∅ 204	∅ 86	172	238	524	380
Investitionskosten V1	Mrd. EUR	4,5	2,3	2,6	0,2	0,1	9,8	16,7	26,5
Stromkostenbelastung Altpumpen 1. Jahr V1	Mrd. EUR	1,2	0,5	1,1	0,3	0,1	3,2	3,3	6,5
Stromkosteneinsparung 1. Jahr durch HEP V1	Mrd. EUR	1,0	0,4	0,8	0,2	0,04	2,3	2,7	5,0
Amortisation dynam. V1/V2	Jahre	-	-	-	-	-	5/6	7/8	6/7
Nettobarwert V1	Mrd. EUR	-	-	-	-	-	21,8	17,4	39,2

V1 = Variante mit Ziel-Pumpenleistung 0,15 W/m² Wohnfläche; V2 = Variante mit Ziel-Pumpenleistung 0,2 W/m²; Beide Leistungsannahmen schöpfen das technische Einsparpotenzial nicht völlig aus; *) Gebäude bis Baujahr 2009 nach Deutscher Wohngebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt bzw. nach der Nichtwohngebäudetypologie des IWU bis 2014; **) Die langfristigen Schadenskosten einer eingesparten to CO₂ liegen nach UBA bei 698 EUR/to.

2. Methodik und Datenquellen

Die Studie berechnet das durch Ersatz veralteter Heizungsumwälzpumpen durch Hocheffizienzpumpen aktivierbare Strom- und CO₂-Einsparpotenzial für den deutschen Gebäudebestand. Hierzu entwickelt sie die für die Potenzialberechnung erforderlichen pumpentechnischen Daten aus folgenden Quellen:

- Marktanalyse und Monitoring der Pumpenindustrie in Kooperation mit Anlagenbetreibern und Marktakteuren. Hieraus ergeben sich die Gesamtzahl der verbauten Pumpen bis 2021 sowie die Anzahl von Altpumpen und Hocheffizienzpumpen.
- Verbraucherzentralen Bundesverband sowie Rheinland-Pfalz, Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz, Mainz 2015; Die Studie befragt 2.200 Hauseigentümer im EFH/RH-Bereich und gewinnt wichtige Strukturdaten zur Verteilung der Pumpenarten, ihrer Leistung und Regelungsqualität.¹

Faktor 5-6 zu groß !

Rund 74 Watt Pumpenleistung zeigte 2015 eine Umfrage der Verbraucherzentrale an 1.660 E-ZFH.

- Gerhard Wohlhaupt u.a. Wuppertal-Institut, Prof. O. Hohmeyer, Universität Flensburg, Optimierung der Heizsysteme und „Faktor-4“-Umwälzpumpen in EFH/ZFH, Wuppertal und Flensburg 2005; Die Studie dient dem Datenabgleich und der Gewinnung von Strukturdaten zur Pumpenausstattung in E/ZFH.²
- Prof. Heinz Bach, TU Stuttgart, Energie- und CO₂-Einsparung durch Maßnahmen an Gebäuden und Heizanlagen, Stuttgart 1992; diese teilweise empirische Studie dient der Gewinnung

von Strukturdaten zur wohnflächenbezogenen Pumpenleistung.³

- Impuls-Programm Hessen des Hessischen Umweltministeriums, Seminar-Dokumentation Umwälzpumpen, Darmstadt 1998; Die Dokumentation enthält Strukturdaten zum Stromverbrauch von Umwälzpumpen.
- Impulsprogramm Hessen/Institut Wohnen und Umwelt, Tobias Loga, Energie-Pass Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001; Das Rechenverfahren enthält Daten zur Pumpenlaufzeit und elektrischen Pumpenleistung pro m² Wohnfläche.⁴
- Institut Wohnen und Umwelt, Tobias Loga, Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001.⁵

RAVEL1991 : Die Schweizer Umwälzpumpen sind mindestens um den Faktor 5 überdimensioniert.

- Bundesamt für Konjunkturfragen der Schweiz, RAVEL-Programm, Seminar-Dokumentation Umwälzpumpen – Auslegung und Betriebsoptimierung, Bern 1991; Die Dokumentation referiert den Stand der Pumpenentwicklung, den Schweizer Stromverbrauch von Umwälzpumpen und Strukturdaten sowie Zielkennwerte des haustechnischen Stromverbrauchs.⁶
- Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Conrad U. Brunner, Verminderung des elektrischen Energieverbrauchs in Gebäuden, Zürich 1986; Die Studie enthält Strukturdaten des Elektrizitätsverbrauchs und seiner Schwerpunkte für 22 Gebäudetypen, insbesondere des Nichtwohnbaus.⁷
- WILO, Fallstudien für Nichtwohngebäude, fortlaufend (nicht veröffentlicht); die Fallstudien sind die Umwälzpumpenanzahl für verschiedene

Nichtwohngebäude zu entnehmen sowie ihre mittlere elektrische Leistung.

- TOP-MOTORS, Merkblatt 23, Pumpen, Bern 2021; Das Merkblatt aktualisiert u.a. die Daten zum Pumpenstromverbrauchsanteil am Schweizer Stromverbrauch.⁸
- Fritz Mückenhaupt, 50 Prozent Strom einsparung bei Heizungsumwälzpumpen sind möglich, in: Wärmetechnik 11/1997; Der Artikel berichtet über einen Feldversuch mit Pumpenabschaltungen in Zeiten ohne Wärmenachfrage.⁹
- DIN 4701-10, die DIN enthält Planungsdaten für elektrische Leistungsannahmen der Umwälzpumpen, sowie Daten zur jährlichen Laufzeit.¹⁰
- Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 2: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021; enthält Daten zu Repräsentanz von Heizungsverteilsystemen.¹¹
- Sparen beim Pumpen, in: Zeitschrift test 09-2007; Überblick über das Marktangebot kurz nach Einführung der Hocheffizienzpumpe.¹²
- BaltBest, Bis zu 20 % Heizkosten sparen, in: Wohnungswirtschaft heute online 2022; Überblick über die Ergebnisse dieser wohnungswirtschaftlichen Untersuchung niedriginvestiver Energiesparmassnahmen, inkl. Pumpensanierungen.

Die Studie BaltBest ermittelt: 79 % aller Heizungsumwälzpumpen in MFH laufen ganzjährig.

- BaltBest, Foliensatz Prof. Grinewitschus, ohne Ort, 2022 (Abschlussbericht noch nicht erschienen).
- Sammlung von Pumpenbestandsdaten des UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelts-pps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizungs->

[umwaelzpumpe#hintergrund](#) Diese Daten dienen dem Abgleich der Branchenzahlen.

- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Heizungsmarkt Wohnungswirtschaft, Berlin 2016.
- BDEW, Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland, Berlin 2019 und 2022; Enthält Basisdaten und Einflussfaktoren, auch Beheizungsstrukturdaten.
- UBA, Die EG-Verordnung für die umweltgerechte Gestaltung von Umwälzpumpen, Berlin 2009
- Evangelische Landeskirche in Baden, Evaluationsbericht, Hydraulischer Abgleich und Pumpentausch in der Evangelischen Landeskirche 2013 bis 2019, Karlsruhe 2020.¹³
- Büro für Umwelt und Energie, Hydraulischer Abgleich und Heizungspumpentausch, Ein Pionierprojekt der Evangelischen Landeskirche in Baden, vorläufiger Abschlussbericht zum Projektabschluss am 20.01.2017.¹⁴
- Institut Wohnen und Umwelt, Nikolaus Diefenbach, Tobias Loga u.a., Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, Darmstadt 2001.¹⁵
- Delta-q, Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow,

TWW Wolfenbüttel: <https://www.delta-q.de/energie/kennwerte/>. Sammlung von haustechnischen Kennwerten aus Normen und Veröffentlichungen.¹⁶

Die gewonnenen Strukturdaten zum Bestand und zur Leistungsstruktur der Heizungsumwälzpumpen wurden auf die Deutsche Wohngebäudetypologie und die 2022 publizierte Nichtwohngebäudetypologie übertragen. Im Zuge dieses Vorgehens, aus dem eine hohe Kompatibilität resultierte, unterlagen die genutzten Marktdaten auch einem Plausibilitätscheck. Hierzu wurden folgenden Quellen herangezogen:

- 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. Die Studie erarbeitete die erste wärmetechnische deutsche Wohngebäudetypologie mit ihrem Datengerüst von 46 Gebäudetypen, ihren Wohnflächen, der Gebäudeanzahl, der wärmetechnische Bewertung

der Bauteile und den Gebäude-energiekennwerten.¹⁷

- Deutsche Wohngebäudetypologie TA-BULA, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebäudebestand/episcopo/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf Die Studie verdichtet die 46 Gebäudetypen auf 41 und erweitert die Baualtersklassen bis 2003, sie berechnet 2 Einsparzenarien und fasst die Strukturdaten kompakt zusammen.¹⁸
- Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Michael Hörner, Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude, ENOB: dataNWG, Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Darmstadt 2022. Die Studie ist umfragebasiert und ermittelt die Zahl der EnEV-relevanten Nichtwohngebäude in Deutschland mit Daten zu ihrer Beheizungsstruktur. Sie umfasst 11 Gebäudetypen.¹⁹
- 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

Abbildung 2: Deutsche Wohngebäudetypologie; Quelle IWU

Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 Stichtag: 9.5.2011		Baualtersklassen										Summe	Anteil
		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

Bundesländer von 1880 bis 1980, Abgrenzung typischer Gebäude mit sehr detaillierten Strukturdaten.

- IWU/Bremer Energieinstitut, Datenbasis Gebäudebestand, Darmstadt 2010. Die Studie erhebt in einer Umfrage an über 14.000 Gebäuden die Art der Außenbauteile, ihre Beheizungsstruktur und ihren Dämm- und haustechnischen Zustand.²⁰
- IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018. Die Studie schreibt die Erhebung von 2010 fort und liefert aktuellere Daten über nachträglich durchgeführte energetische Modernisierungen.²¹
- Deutsche Energieagentur, Der Dena-Gebäudereport 2021, Berlin 2021, enthält zusammenfassende Daten zu Wohn- und den Nichtwohngebäuden, Energieverbrauch und Beheizungsstruktur.
- TU Dresden, Prof. Clemens Deilmann u.a., Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013.

Abbildung 2 zeigt die deutsche Gebäudetypologie für Wohngebäude mit Stand 2009, mit ihren Baualtersklassen und Gebäudetypen sowie den zugehörigen Angaben: Anzahl Wohngebäude und Wohneinheiten sowie der Wohnfläche.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ausgangsdaten der Wohngebäudetypologie nach einzelnen Gebäudetypen gemäß aktuellen Stand im TABULA-Projekt bis zum Baujahr 2009.²²

Tabelle 3 zeigt die Bestandsdaten der Nichtwohngebäudetypologie mit den einzelnen Gebäudetypen bis zum Jahr 2014. Diese Typologie enthält die „EnEV-relevanten“ beheizten rund 2 Mio. Nichtwohngebäude.

Auf Grundlage dieser beiden Typologien werden alle Gebäudetypen mit technisch veralteten Heizungsumwälzpumpen erfasst.

Seminardokumentation des Hessischen IMPULS-Programms 1998:

„Mit der Weiterentwicklung des Wärmedämmstandards hin zum Niedrigenergiehaus steigen die Anforderungen an das Heizsystem. Zukünftig sind für Einfamilien- und kleine Mehrfamilienhäuser Systeme mit kleinen thermischen Leistungen und hoher Flexibilität in der Regelung gefragt. Neue Pumpengenerationen müssen diesen Anforderungen gerecht werden.“

Tabelle 2: Übersicht der Baualtersklassen in der Deutschen Wohngebäudetypologie bis 2009

Wohngebäude-Typ	Zusammen Wohngebäude	Wohnfläche	Anzahl Wohneinheiten	Wohngebäude-Typ	Zusammen Wohngebäude	Wohnfläche	Anzahl Wohneinheiten
Einfamilienhäuser	Gebäude	m ²	WE	Kleine MFH	Gebäude	m ²	WE
EFHA-1918	330.000	46.000.000	399.000	MFHA-1918	54.000	16.000.000	214.000
EFHB-1918	966.000	135.000.000	1.213.000	MFHB-1918	442.000	163.000.000	2.177.000
EFHC 1919	1.131.000	150.000.000	1.389.000	MFHC 1919	388.000	129.000.000	1.911.000
EFHD 1949	859.000	116.000.000	1.060.000	MFHD 1949	356.000	125.000.000	2.003.000
EFHE 1958	1.509.000	218.000.000	1.948.000	MFHE 1958	586.000	225.000.000	3.348.000
EFHF 1969	1.507.000	233.000.000	1.915.000	MFHF 1969	412.000	169.000.000	2.313.000
EFHG 1978	704.000	110.000.000	881.000	MFHG 1978	146.000	64.000.000	852.000
EFHH 1984	1.160.000	178.000.000	1.397.000	MFHH 1984	309.000	133.000.000	1.826.000
EFHI 1995	1.035.000	158.000.000	1.204.000	MFHI 1995	244.000	104.000.000	1.390.000
EFHJ 2003-09	775.000	119.000.000	858.000	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	GMHA-1918	600	700.000	11.000
RHB vor 1918	492.000	62.000.000	617.000	GMHB-1918	28.700	35.800.000	526.000
RHC 1919	710.000	82.000.000	840.000	GMHC 1919	7.400	7.900.000	126.000
RHD 1949	447.000	52.000.000	546.000	GMHD 1949	17.300	17.000.000	308.000
RHE 1958	633.000	76.000.000	749.000	GMHE 1958	34.000	47.100.000	818.000
RHF 1969	611.000	79.000.000	685.000	GMHF 1969	50.100	86.700.000	1.366.000
RHG 1978	335.000	45.000.000	374.000	GMHG 1978	15.000	21.900.000	356.000
RHH 1984	652.000	85.000.000	722.000	GMHH 1984	28.700	34.800.000	605.000
RHI 1995	619.000	80.000.000	674.000	GMHI 1995	20.900	25.500.000	408.000
RHJ 2003-09	384.000	52.000.000	409.000	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
				HH 1960 ff.	14.791	51.900.000	576.667

Tabelle 3: Übersicht Gebäudetypen der Nichtwohngebäudetypologie bis Baujahr 2014

Gebäude-Typ	Anzahl Gebäude	Nettoraumfläche*)
Nichtwohngebäude	Stck.	m ²
Büro-, Verwaltungs-, Amtsgebäude	307.000	477.865.000
Forschung-, Hochschulen	23.000	36.996.000
Gesundheit, Pflege, Krankenhäuser	63.000	98.656.000
KiTa, KiGa, Betreuung	154.000	240.474.000
Kultur, Freizeit	141.000	218.893.000
Sportgebäude	78.000	120.237.000
Beherbergung, Unterbringung, Gastronomie	270.000	419.288.000
Produktion-, Werkstatt, Lager-, Betriebsgebäude	666.000	1.038.971.000
Handelsgebäude	187.000	289.802.000
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	70.000	107.905.000
Verkehrsgebäude	22.000	33.913.000
Summe Nichtwohngebäude	1.981.000	3.083.000.000

*) davon 51,4% Kettelhochhaus; Quelle: Institut Wohnen und Umwelt (IWO), Erheb. Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude; ENOB; dataNWG; Repräsentative Primärdatenerhebung zur stadtbaulich validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Darmstadt 2022.



Bild 4: Energieinstitut Hessen, Innenstadt Frankfurt a.M.

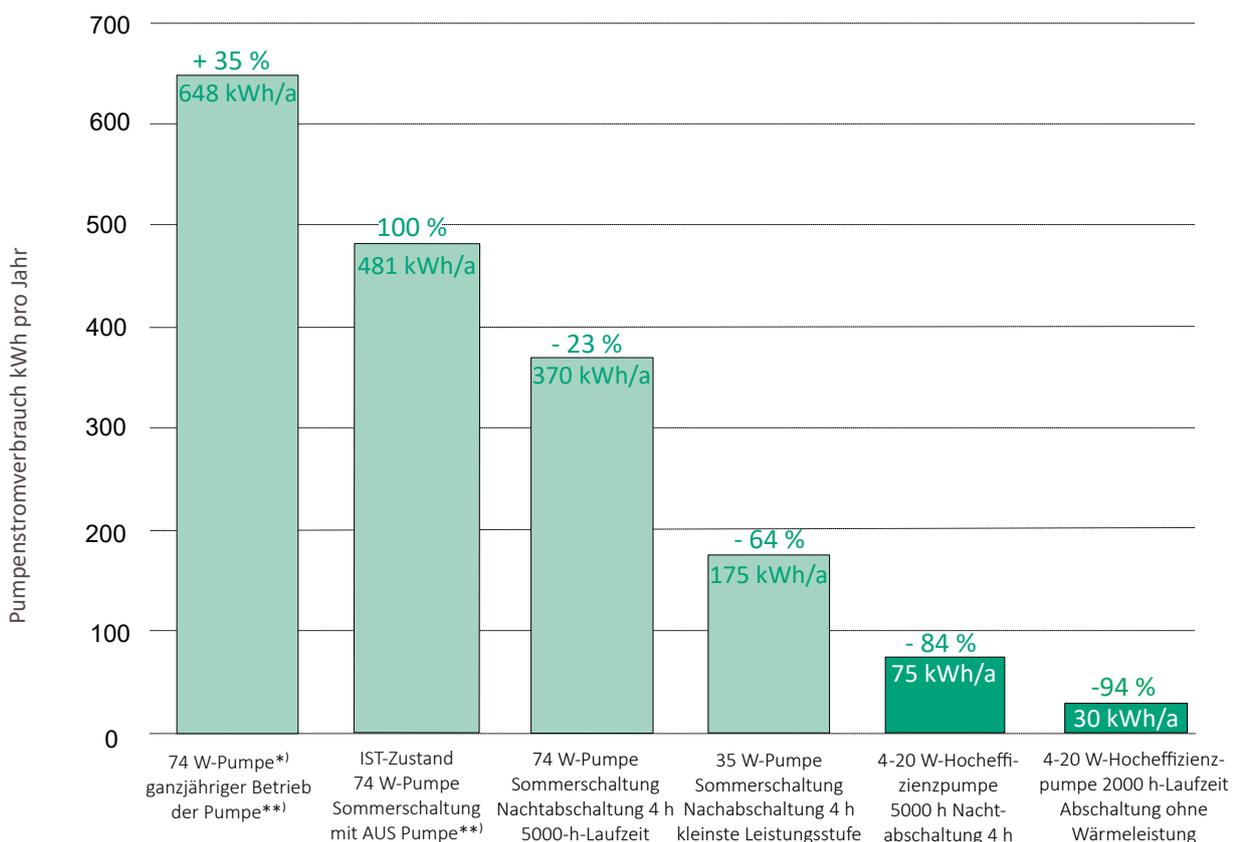
3. Rahmenbedingungen

Diese Studie untersucht das Elektrizitätseinsparpotenzial durch moderne hocheffiziente Heizungsumwälzpumpen in den deutschen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Nach Sichtung der entsprechenden Quellenlage stellen die im Folgenden vorgestellten Annahmen die maßgebliche Grundlage für diese Untersuchung

dar. An der 1986 formulierten Einschätzung: „Es gibt keine veröffentlichten Daten über die mittleren installierten Leistungen der vorhandenen Umwälzpumpen für Warmwasser-Zentralheizungsanlagen“²³ hat sich insofern verbessert, als heute auf die DIN 4701-10, die Daten der Pumpenhersteller und ihrer Befra-

gung der Marktakteure, die Gebäudetypologie und die oben genannten wissenschaftliche Veröffentlichungen zurückgegriffen werden kann.

Abbildung 3 : Fallbeispiel Stromeinsparung durch Maßnahmen im Bereich der Heizungsumwälzpumpe bei unterschiedlichen Ausgangsbedingungen für ein EFH



Grafik: Energieinstitut Hessen, eigene Berechnung, Impulsprogramm Hessen, Seminardokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998, *) Durchschnittliche Pumpenleistung aus: Umfrage durch VZ/forsa, "Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz", Mainz 2015 (n = 2229) **) Auch bei Sommerschaltung läuft bei neuen Kesseln und Kesselthermen die Pumpe oftmals durch und muss gesondert ausgeschaltet werden.

3.1 Altpumpen und Hocheffizienzpumpen

Als „Altpumpen“ gelten in dieser Studie alle Heizungsumwälzpumpen, außer den permanent geregelten Hocheffizienzpumpen, die ab 2001 marktverfügbar sind. Sie ersetzen langsam die Altpumpen, zu denen dementsprechend die unregulierten und die regulierten Standardpumpen zählen. Hierzu gehören auch alle Bauarten, bei denen die Drehzahlstufen nur statisch eingestellt werden (manuelle Drei- oder Vierstufenregelung). Sie können als Nass- und Trockenläufer ausgeführt sein, in Heizungsanlagen ist die Nassläuferpumpe üblich.

Mit der Heizungsumwälzpumpe begann ab 1928 eine noch heute anhaltende in-

novative Entwicklung in der Zentralheizungstechnik. Deren Anfang prägte im 19. Jahrhundert die Dampfheizung, bald abgelöst durch die Heißwasser-Schwerkraftheizung. Die Zirkulation des Heizwassers beruhte nur auf den Temperaturunterschieden, war dadurch äußerst träge und nicht immer zuverlässig. Große Rohrquerschnitte und Wandungen, hohe Heizwassertemperaturen, Geräusche im Rohrnetz, oftmals kein befriedigendes Heizergebnis, schlechte Regelbarkeit und ein hoher Kohlenverbrauch gehörten zu ihren Anfangsjahren. Die Probleme schufen den Bedarf nach einem verlässlichen Antrieb für den Heizwassertransport. Die erste Kreiselpumpe wurde 1887 in Blasewitz bei Dresden eingebaut und

noch mit Wasser angetrieben. Im Jahr 1928 entwickelte Wilhelm Opländer die erste elektrisch angetriebene Pumpe unter dem Namen „Umlaufbeschleuniger“. Die damals zunehmende Elektrifizierung der Gebäude kam dieser Lösung entgegen. Damit wurde die Gebäudeheizung energiesparsamer, weil durch Verzicht auf den Schwerkraftumlauf die Heizwassertemperaturen fortlaufend abgesenkt werden konnten, die Regelung wanderte vom Kessel direkt an den Heizkörper. Zusätzlich sank der Materialaufwand für die Herstellung der Heizanlagen, Rohrquerschnitte und -wandungen wurden

Leistungsstufen. Diese drei- und vierstufigen Pumpen bilden noch heute die Majorität der Altpumpen in den Heizungsnetzen. Ihre meist „ewige“ Einstellung auf der Maximalstufe verhinderte, dass durch sie eine größere Stromeinsparung eintrat. 1988 kam mit der WILO-STAR-E die erste elektronisch geregelte Umwälzpumpe auf den Markt. Mit diesem Typus sank der Stromverbrauch in etwa um die Hälfte. Ab 2001 konnte die Entwicklung der Elektronik vollends für die Umwälzpumpen nutzbar gemacht werden. Die Optimierung der Regelung, einem Synchronmotor mit Permanentmagnetrotor und die verbesserte Strömungsmechanik ermöglichten einen Anstieg der Ge-

Bild 4: „Umlaufbeschleuniger“ Die erste elektrisch angetriebene Pumpe - Firma WILO 1928



novative Entwicklung in der Zentralheizungstechnik. Deren Anfang prägte im 19. Jahrhundert die Dampfheizung, bald abgelöst durch die Heißwasser-Schwerkraftheizung. Die Zirkulation des Heizwassers beruhte nur auf den Temperaturunterschieden, war dadurch äußerst träge und nicht immer zuverlässig. Große Rohrquerschnitte und Wandungen, hohe Heizwassertemperaturen, Geräusche im Rohrnetz, oftmals kein befriedigendes Heizergebnis, schlechte Regelbarkeit und ein hoher Kohlenverbrauch gehörten zu ihren Anfangsjahren. Die Probleme schufen den Bedarf nach einem verlässlichen Antrieb für den Heizwassertransport. Die erste Kreiselpumpe wurde 1887 in Blasewitz bei Dresden eingebaut und

von arm- auf fingerdick reduziert, Kessel und Pumpen immer kompakter konstruiert. Vor allem aber entwickelte sich die Planbarkeit von Heizanlagen. Die zunehmenden Bauaufgaben in komplexen, verzweigten und höher werdenden Gebäuden wurden dank der Umwälzpumpen lösbar. 1956 kam die erste Nassläufer-Standardpumpe als unregulierte im Rohrnetz angebrachte bereits etwas kompaktere Lösung auf den Markt. Die Energiekrise 1974 lenkte den Focus auf die Energieeinsparung. Neben Optimierungen der mechanischen Pumpenwirkungsgrade musste auch der Stromverbrauch sinken. Die erste Lösung war die manuell in Stufen einstellbarer Drehzahl und mit entsprechenden elektrischen

samtwirkungsgrade bei den Hocheffizienzpumpen. Gleichzeitig sparte die zunehmende Kompaktheit bei kleinen Aggregaten rund 50 % Gewicht. Die Regelung passte die Drehzahl permanent der Drucksituation im Rohrnetz an. Die Technik der Hocheffizienzpumpe befindet sich seit 2001 in der Markteinführung. Sie kommt mit einem Bruchteil des Stromverbrauches der herkömmlichen Pumpen aus. Je nach Ausgangspunkt können Stromeinsparungen bis 80-90 % erzielt werden. Die zusätzliche Konnektivität dieses Pumpentypus ermöglicht zukünftig ihre Laufzeit selbsttätig auf 2.000-3.000 Jahresbetriebsstunden zu reduzieren.

Der nebenstehende „Zeitstrahl“ zeigt Nicht nur die Eckpunkte in der Entwicklung der Pumpentechnik, sondern auch in welchem Maße die Firma WILO damit verbunden ist. Seit 1928 stößt die Firma immer wieder die Pumpenentwicklung an und sorgt beim Stromverbrauch und der Materialeinsparung für mehr Effizienz.

Abbildung 3 auf Seite 124 zeigt ein Fallbeispiel der damit verbundenen erreichten Stromeinsparung durch Maßnahmen im Bereich der Heizungsumwälzpumpen bei unterschiedlichen Ausgangsbedingungen für ein EFH.

Das Beispiel verdeutlicht den zurückgelegten Entwicklungsweg. Mit wachsender Stromeffizienz wurden auch der für die Pumpen selbst benötigte Materialeinsatz optimiert und die Herstellungskosten in der Produktion soweit reduziert, dass nunmehr die Herstellerwerke zunehmend zum Einsatz erneuerbarer Energien übergehen.



1928

Mit dem „Umlaufbeschleuniger“ der Firma WILO wurde der Grundstein für die heutige Niedertemperaturheiztechnik gelegt.

1956

Die erste Standard-Nassläuferpumpe war die PERFECTA von WILO. Dieser unregelmäßig geformte Dauerläufer im Bild wurde 1991 nach 30 Jahren ausgetauscht.



1980

Die ersten Pumpen mit per Hand einstellbarer Drehzahl und Leistung waren verfügbar. Sie waren meist ganzjährige Dauerläufer, unregelmäßig.

1988

Die weltweit erste elektronisch geregelte Umwälzpumpe war die WILO STAR-E.



2001

Die erste Hocheffizienzpumpe für Heizung, Klima- und Kälte gilt bis heute als Referenz für das damalige Energielabel: WILO STRATOS.

2009

Die erste Hocheffizienzpumpe ermöglichte bis zu 90 % Stromeinsparung und ließ das A-Klasse-Label hinter sich: Wilo-Stratos PICO



2017

Hocheffizient und vernetzt, WILO senkte als erste Firma der Welt mit einer konnektiven Smart-Pumpe die Pumpenlaufzeiten: STRATOS-MAXO.

3.2 Mengengerüst Heizungsumwälzpumpen

Die Gebäudeanzahl und die Anzahl der Umwälzpumpen pro Gebäudetyp führen zur Gesamtzahl der Heizungsumwälzpumpen. Hierzu wurden die Daten des Zentralheizungsanteils an allen Gebäuden und der Anzahl externer Pumpen pro Gebäudetyp sowie Objektberichte von WILO mit detaillierten Pumpenzahlen pro Objekt sowie die Ergebnisse der Akteursbefragung herangezogen und das Ergebnis mit den jährlichen Branchenabsatzzahlen gegliedert in Altpumpen und Hocheffizienzpumpen kompatibel abgeglichen. Der Zentralheizungsanteil liegt bei Wohngebäuden zwischen 94,6 % (EFH/RH) und 95,7 % (MFH), bei Nichtwohngebäuden bei 91,6 %. Die Anzahl der Pumpen wurde für den Wohnungsbau durch empirische Analysen in Bach u.a.²⁴ und Umfrage bei 2200 E/ZFH-Besitzern bestimmt.²⁵ Für die Bestimmung der Pumpenanzahl in MFH fand eine Befragung der technischen Abteilungen hessischer Wohnungsbaugesellschaften statt. Für den Nichtwohnbau fehlen wissenschaftliche Daten, es wurden Objektberichte aus der Praxis der Firma WILO herangezogen. Die Anzahl der Hocheffizienzpumpen ergibt sich aus den Marktdaten der Pumpenhersteller. Der Anteil der externen Pumpen wurde durch eine VZ-forsa-Umfrage bei 1.660 EFH/ZFH-Eigentümern und durch die folgenden Annahmen bestimmt: In den MFH bilden die externen Heizungsumwälzpumpen bedingt durch die dort eingebauten größeren Kesselanlagen den Normalfall. Der Anteil von 7 % Etagenheizungen wurde berücksichtigt. Bei den Nichtwohngebäuden ergibt sich die Anzahl der externen Pumpen aus der Kesselgröße und der Mehrsträngigkeit der Verteilnetze. In diesem Gebäudesektor wurden 80 % des Bestandes den externen Heizungsumwälzpumpen zugeordnet. In der Summe ergab sich ein Anteil von 74 % externer Pumpen an allen Altpumpen.

3.3 Mittlere elektrische Pumpenleistung

Die zentral beheizte Wohnfläche ermöglichte die Bestimmung der heutigen Pumpenleistung innerhalb der Gebäudetypologie in Verbindung mit den spezifischen Werten aus den oben genannten Studien sowie der DIN 4701-10. Im Einzelnen wurden die in Tabelle 4 zusammengefassten Daten als untere Werte festgelegt, um eine überdimensionierte Veranschlagung zu vermeiden. Die DIN 4701-10 nennt für die Neubauplanung mittlere elektrische Umwälzpumpenleistungswerte von 0,5 bis 1,2 W/m² bei Gebäuden bis 250 m² Fläche A_N und Fußbodenheizung sowie 0,2 bis 0,7 W/m² für Zentralheizung mit Radiatoren und sonstigen Heizkörpern. Für größere Gebäude ab 250 m² A_N werden 0,1 bis 0,4 W/m² für alle Arten der Wärmeverteilung genannt. Diese Neubauplanwerte wurden für die Bestimmung der Gebäudebestandswerte herangezogen, so dass die elektrischen Leistungswerte in dieser Studie innerhalb der Werte der DIN 4701-10 liegen. Die Anteile der Verteilnetze mit Radiatoren und Fußbodenheizung von 80 zu 20 % bzw. 10 % bei Nichtwohngebäuden beruhen auf Hinweisen in Endnote 11 und mündlichen Auskünften von einschlägiger Hersteller.

In der Vergangenheit verursachten vielfach überdimensionierte Pumpen einen entsprechend hohen Energieverbrauch. Bei ihrem Austausch können sie in der Regel entsprechend kleiner ausgelegt werden. Für die bereits heute verbauten Hocheffizienzpumpen wurde eine mittlere elektrische Leistung von 0,15 W/m² gewählt. Sie liegt oberhalb der Bestwerte gut geplanter Anlagen, die bis 0,06 W/m² annehmen können. Die DIN 4701-10 nennt eine mittlere Leistung q_{EL} von 0,1 W/m² als besten Wert.



Bild 5: Mehrfamilienhäuser verfügen durchschnittlich über nur eine Heizungsumwälzpumpe.

Bei der Festlegung der Jahresbetriebsdauer der Pumpen wurde auf moderate Annahmen geachtet und der Kompatibilität mit der DIN 4701-10 Rechnung getragen, um den resultierenden Stromverbrauch nicht zu überhöhen.

3.4 Mittlere Jahresbetriebsdauer

Die Jahresbetriebsdauer von Pumpen und Kesseln muss keineswegs identisch sein. Pumpen können auch ohne Heizbetrieb dauerhaft laufen. Dies gilt selbst bei programmierter Sommerbetriebsweise von Neukesseln, die immer noch einer separaten Abschaltung der Pumpe bedürfen. Dieser Tatbestand kam in der Studie jedoch nicht zur Abbildung.

Bei den jährlichen mittleren Betriebszeiten im Wohngebäudebestand wurde ein ganzjähriger Betrieb für 79 % der Mehrfamilienhäuser angenommen. Diese Laufzeit von 8760 Stunden pro Jahr ist belegt durch eine aktuelle wissenschaftliche Untersuchung, die beklagt einen „erhöhten Jahresverbrauch, bei 79 % aller Kessel deshalb, weil sie im Sommer (Juni-August) nicht abgeschaltet, sondern aktiv waren.“²⁶ In diesem 100 Mehrfamilienhäuser umfassenden mit „BaltBest“ betitelten Untersuchungsprojekt der Wohnungswirtschaft stellt ein Zwischenbericht²⁷ fest: Von den 93 untersuchten Heizungsanlagen in Mehrfamilienhäusern wird nur „ein Bruchteil optimal betrieben. (...) Anlagen im Projekt sind nicht optimal eingestellt, dies ist unabhängig von Alter und Art der Anlage.“²⁸ Für 86 % der untersuchten Anlagen besteht Handlungsbedarf bzw. dringender Handlungsbedarf für die Einstellung der Heizungskennlinien. Ein suboptimaler Betrieb schließt kurze Betriebszeiten der Anlagen inklusive ihrer Umwälzpumpen in aller Regel aus.

Für ein Gebäudesegment aus dem Sektor Nichtwohnbau liegt ebenfalls eine aktuelle Einschätzung vor: „Nach Schätzungen von Christian Dahm (Energieagentur Nordrhein-Westfalen) laufen in etwa der Hälfte der Kirchengemeinden die Pumpen das ganze Jahr durch (8.760 Stunden), in den übrigen 50 % werden diese von Mai oder Juni bis September abgeschaltet.“²⁹

Diese Studie nimmt für alle Gebäude den Betrieb der Pumpen überwiegen während der Heizperiode an (6720 h/a) und für 20 % bis 40 % der Pumpen zudem eine Nachtabschaltung (5.000 h/a) an.

Für 79 % der Aggregate in MFH wurde wie oben begründet mit 8760 h/a Jahresbetriebszeit gerechnet. Im Nichtwohnbau ist ein Ansatz von 6720 h/a als Jahresbetriebszeit gewählt. Diese 9 Monate pro Jahr entsprechen der real üblichen und nicht der kürzeren juristischen Heizperiode. Für 40 % der Pumpen wurde eine Nachtabschaltung berechnet (5000 Jahresbetriebsstunden).

Für die Hocheffizienzpumpen wurden, trotz bestehender Optimierungsmöglichkeiten, ebenfalls 5.000 h/a angenommen.

3.5 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde mit der dynamischen Barwertmethode unter den in Tabelle 4 genannten Berechnungsbedingungen vorgenommen. Für die Berechnung der Investitionskosten liegen Preislisten der Hersteller und ein üblicher Lohnkostenzuschlag zugrunde. Die Daten verdeutlichen: Die Pumpenmodernisierung ist ein niedriginvestives Verfahren mit überschaubaren Kosten pro Ersatzmaßnahme. Die Investition liegt für rund 13 Mio. Besitzer von EFH/RH bei rund 500-600 EUR pro Austausch. In der Wohnungswirtschaft werden sowohl Kleinstpumpen der genannten preislichen Größenordnung als auch größere Pumpen im Bereich über 1.000 EUR kalkuliert. Für Modernisierungsprojekte größeren Umfangs im Nichtwohnungsbau meist üblich, gelten mittlere Investitionskosten von 1.100 EUR pro Pumpenwechsel.

3.6 CO₂-Emissionsfaktor

Der CO₂-Emissionsfaktor wurde der laufenden Berichterstattung des UBA und in direkter Quelle der Bayerischen Landesanstalt für Umwelt 2021 entnommen.³⁰ <https://www.umweltpakt.bayern.de/energie-klima/fachwissen/217/berechnen-sie-ihre-treibhausgasemissionen-mit-co2-rechner>.

Bild 7: Pumpenreihe in einem Rathauskomplex



Es wurden die nach dem Verursacherprinzip festgestellten CO₂-Gesamtemissionsdaten für den Raumwärmesektor

von 200 Mio. Jahrestonnen zum Vergleich herangezogen.

• **CO₂-Emissionswert Elektrizitätserzeugung Jahresdurchschnitt: 402 Gramm pro kWh**

Tabelle 4: Strukturdaten zur Berechnung des Stromverbrauches der Heizungsumwälzpumpen

Bereich	Einheit	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
Anzahl Gebäude bis 2009 Summe	Mio. Stck.	18,2	1,98
Anteil Gebäude zentralbeheizt (EFH+RH/MFH)	%	94,6/95,7	91,6
Wohn-/Nettonutzfläche zentral beheizt	Mrd. m ²	3,4	3,38
Anteil zentralbeheizter Flächen	%	95	96,5
Anzahl Gebäudetypen	Stck.	41	11
Anzahl Heizungsumwälzpumpen bis Gebäudebaujahr 2009 /14	Mio. Stck	18,1	14,9
Anzahl Heizungsumwälzpumpen bis Gebäudebaujahr 2021*)	Mio. Stck	42	
Anteil Hocheffizienzpumpen an allen Heizgs.-Umwälzpumpen	%	17	17
dito. Anteil Alt-Heizungsumwälzpumpen (ungeregelt/geregelt)	%	83	83
Anteil externer Pumpen an allen Alt-Heizgs.-Umwälzpumpen	%	EFH/RH: 63 MFH: 93	80
Hzgs-Umwälzpumpen pro Gebäude	Stück/ Gebäude	EFH: 1,2 RH/MFH: 1,0/ HH: 6	2 - 35 je nach Gebäude- Nutzung und Fläche
Anteil Radiatorheizung	%	80	90
Anteil Flächenheizung	%	20	10
Pumpenleistung Radiatorheizung pro m ² Wohnfläche	W/m ²	0,2-0,4	0,30
Pumpenleistung Flächenheizung pro m ² Wohnfläche	W/m ²	0,5-0,6	0,5
Pumpenleistung Hocheffizienzpumpe pro m ² Wohnfläche	W/m ²	0,15 / 0,2**)	0,15 / 0,2**)
Errechnete durchschn. Leistung pro Alt-Pumpe nach Gebäudetyp	W/Pumpe	EFH/RH: 48- 78 MFH: 119- 697	35 - 307
Durschn. Stromverbrauch alle Pumpen pro m ² WF/NRF	kWh/m ²	2,6	3,1
Altpumpen Jahresbetriebsdauer ungeregelt/geregelt (Anteil)	%	60/40	60/40
Altpumpen Jahresbetriebsdauern ungeregelt/geregelt	h/a	EFH/RH: 6720/5000 MFH: 8760/5000	6500/5000
Hocheffizienzpumpen Jahresbetriebsdauer***)	h/a	5000	5000
CO ₂ -Emissionsfaktor	kg/kWh	0,402	0,402
Investitionskosten	EUR/Pumpe	EFH: 550 MFH: 1.100-1.400	1.100
Strompreis****) Variante 1 und 2	Cent/kWh	0,377/45	0,32/0,40
Energieteuerung	%	2	2
Kapitalzins	%	3,5	3,5
wirtschaftlicher Betrachtungszeitraum	Jahre	15	15

*) gemäß Absatzstatistiken der Hersteller; **) erhöhte Pumpenleistung in Variante II wegen Anteil von Heizungsverteilnetzen mit ungünstiger Hydraulik ***) weiter Absenkbare durch Kommunikationslösungen Pumpe : Wärmeerzeuger; ****) Ab 2023/24 erhöhte Preisannahme, Stand 2022: 0,33 Cent/kWh mit steigender Tendenz

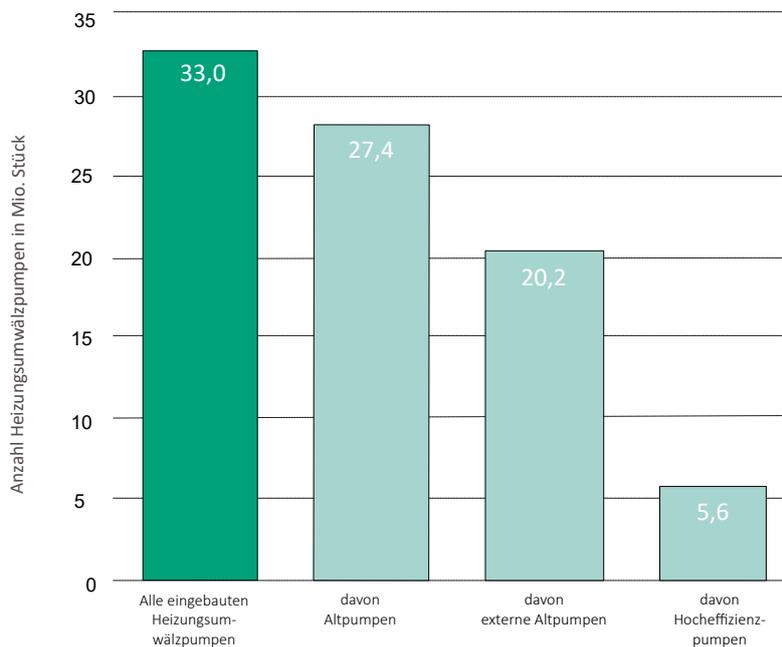
4. Anzahl und Elektrizitätsverbrauch der Heizungsumwälzpumpen im Gebäudebestand

Von den 33 Mio. Heizungsumwälzpumpen wurden seit 2001 bereits 5,6 Mio. durch Hocheffizienztechnik ausgetauscht. Entsprechend beträgt die Summe der auszutauschenden Altpumpen im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand 27,4 Mio.. Eine wichtige Besonderheit stellen die 20,2 Mio. externen Altpumpen dar. Sie befinden sich außerhalb der Heizkessel im Rohrleitungsnetz, in den einzelnen Verteilsträngen. Abb. 4 gibt einen Überblick über ihre Verteilung. Die externen Pumpen sind für eine Erneuerungsstrategie deshalb von Gewicht, weil sie bisher bei Kesselmodernisierungen meist unberücksichtigt bleiben. Das zeigt auch Abb. 5, der Stromverbrauch der externen Aggregate beträgt mit 16,1 TWh pro Jahr 83 % der Stromverbrauchssumme aller Pumpen.

Der Jahresstromverbrauch aller bis 2009/2014 in Wohn- und Nichtwohnbauten eingebauten Heizungsumwälzpumpen beträgt 19,2 TWh pro Jahr. Damit übertrifft er bei weitem den mit 11 TWh pro Jahr geringeren Stromverbrauch des elektrisch betriebenen ÖPNV inklusive Bundesbahn in Deutschland.

Die heute bereits vorhandenen 5,6 Mio. Hocheffizienzpumpen weisen hingegen nur einen geringen Stromverbrauch von 0,5 TWh pro Jahr auf.

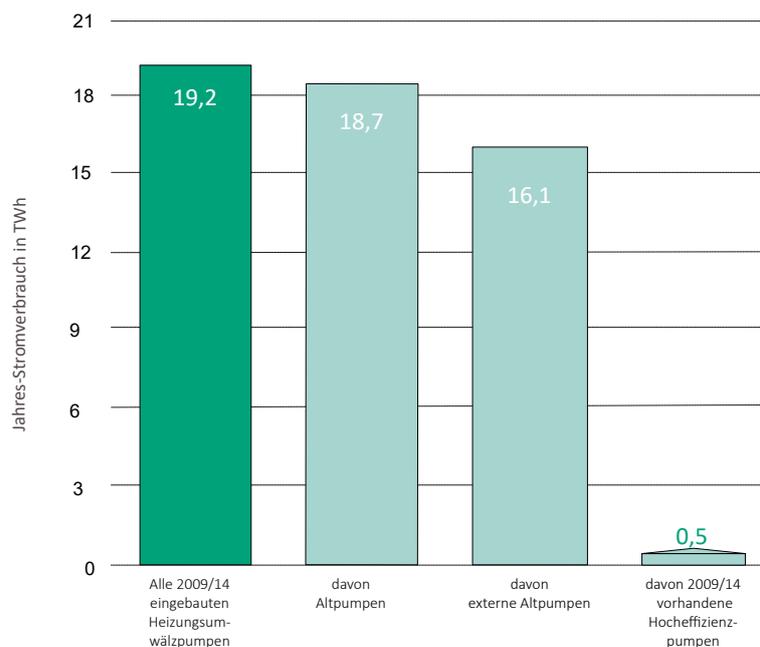
Auf alle Altpumpen entfallen somit 18,7 TWh pro Jahr, wobei die externen Aggregate mit 16,1 TWh/a deutlich hervorstechen. Dieses Faktum unterstreicht die Unabdingbarkeit, im Zuge der nötigen Stromeinsparung in Deutschland ihrer Modernisierung besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die jährliche Stromerzeugung eines 3-MW-Windkraftwerkes liegt onshore bei 0,007 TWh, je nach herangezogenen photovoltaischem Versorgungsanteil werden 2000 bis 2500 Windkraftwerke benötigt, um die gesamte Jahresstrommenge aller Heizungsumwälzpumpen zu erzeugen. Im Jahr 2020 entfielen rechnerisch 20 % der durch Gaskraftwerke erzeugten Jahresstrommenge auf den vermeidbaren Stromverbrauchsanteil ineffizienter Heizungsumwälzpumpen.



Grafik: Energieministerium Hessen, eigene Berechnung, Impulsprogramm Hessen, Seminardokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998. *) Durchschnittliche Pumpenleistung aus: Umfrage durch VZ/forsa, "Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz", Mainz 2015 (n = 2229) **) Auch bei Sommersperrschaltung läuft bei neuen Kesseln und Kesselthermen die Pumpe oftmals durch und muss gesondert ausgeschaltet werden.

Abb 4: Anzahl der Heizungsumwälzpumpen im Gebäudebestand 2009/14

Abb 5: Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen im Gebäudebestand 2009/14



Grafik: Energieministerium Hessen, eigene Berechnung, Impulsprogramm Hessen, Seminardokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998. *) Durchschnittliche Pumpenleistung aus: Umfrage durch VZ/forsa, "Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz", Mainz 2015 (n = 2229) **) Auch bei Sommersperrschaltung läuft bei neuen Kesseln und Kesselthermen die Pumpe oftmals durch und muss gesondert ausgeschaltet werden.

4.1 Stromverbrauchsstruktur nach Gebäudetypen

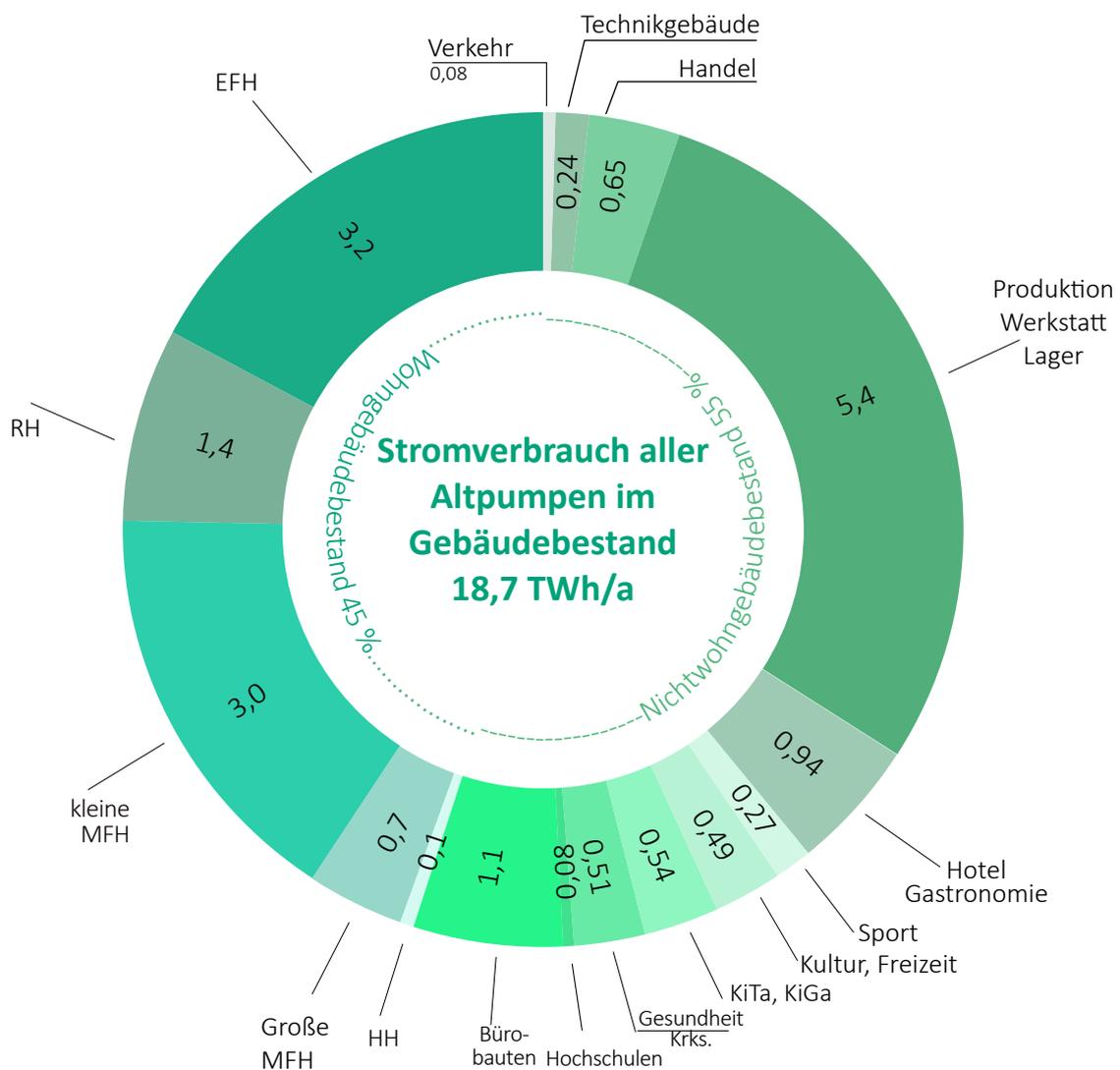
Die Verteilung des Jahresstromverbrauches aller Altpumpen auf die Gebäudetypen ergibt sich aus Abbildung 6. Auf den Wohngebäudebestand entfallen 45 % der 18,7 TWh pro Jahr. Davon 90 % entfallen auf Einfamilien- und Reihen- sowie kleine Mehrfamilienhäuser bis 4 Stockwerken, die sich meist im Streubesitz befinden. Die großen Wohnungsbestände z.B. der ehemals gemeinnützige Wohnungswirtschaft vereinen 10 % des Stromverbrauchs aller Altpumpen auf sich. Handlungsbedarf besteht bei allen Gebäudetypen, da der Abbau überflüssigen Stromverbrauchs eine Voraussetzung

zung dafür ist, den künftigen Zubaubedarf bei den erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten wirtschaftlich optimal zu gestalten.

Auf den Bestand der Nichtwohngebäude entfallen 55 % des Jahresstromverbrauches aller Altpumpen von 18,7 TWh. Hier dominieren der Gebäudebestand des Gewerbes (Produktionsgebäude, Werkstätten, Lagerhäuser) den Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen. Zusammen mit den Pumpen in den Bürogebäuden, Hotel-, Gastronomie- und Handelsbauten summiert sich ihr Anteil

auf 52 % des Verbrauches in diesem Sektor. Im Bereich der Gebäude sozialer und versorgungstechnischer Infrastruktur sind die Anteile der einzelnen Gebäudetypen kleiner, summieren sich aber auf die übrigen 48 % des Stromverbrauchs der Altpumpen in Nichtwohngebäuden. Hier steht die Aufgabe einer differenzierten Herausarbeitung der jeweiligen Interessenlagen der Gebäudebesitzer- und Nutzergruppen für eine zielorientierte Ansprache.

Abb 6: Verteilung des Gesamtstromverbrauches aller Altpumpen auf die Gebäudetypen 2009/2014



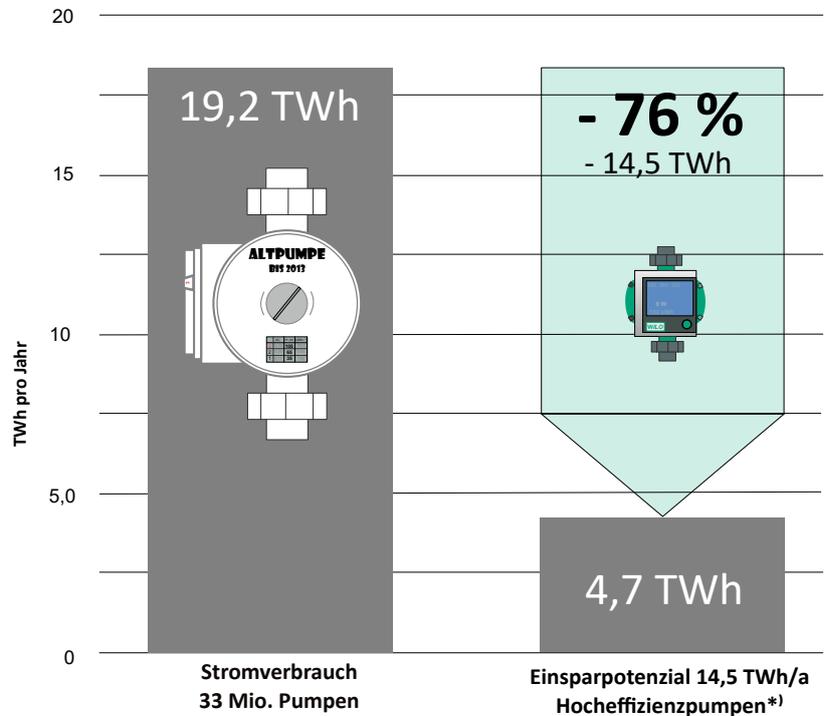
5. Stromeinsparpotenzial durch Hocheffizienzpumpen im Gebäudebestand

Das Potenzial der Stromeinsparung beim Austausch der 27,4 Mio. Altpumpen wurde in 2 Varianten berechnet. Variante 1 liegt nahe am technischen Potenzial. Hier wurde ein Zielwert für die erreichte elektrische Pumpenleistung von $0,15 \text{ W/m}^2$ Wohn- bzw. Nettoraumfläche gewählt, Bestwerte bei geplanten Anlagen liegen bei $0,06 \text{ W/m}^2$. Variante 2 steht für Business-as-usual, bei der die Pumpen ohne Planung in hydraulisch nicht abgeglichenen Rohrnetze eingebaut werden. Für diesen Fall wurde eine mittlere elektrische Pumpenleistung von $0,2 \text{ W/m}^2$ Wohnfläche/Nettoraumfläche angenommen.

In Variante 1 wird eine Gesamteinsparung von 76 % erzielt, die sich in Variante 2 auf 67 % reduziert. Die eingesparte jährliche Strommenge von 14,5 TWh schafft z.B. Freiraum, um die bisherigen Gasdurchlauferhitzer für die Warmwasserbereitung durch elektronische Stromdurchlauferhitzer zu ersetzen, die mit 3,7 TWh/a nur ein Viertel des durch Umwälzpumpentausch eingesparten Stromverbrauches benötigen. Abb. 7 zeigt das Stromspar-Potenzial für Variante 1, Abb. 8 zeigt die Unterschiede in den beiden Varianten. Die hierfür verantwortlichen fehlenden Planungsleistungen und nicht vorgenommenen hydraulischen Abgleiche wirken sich auch im Bereich der Wärmeerzeuger in Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen oder dem Wirkungsgrad von Kesselanlagen betreffenden Abschlüssen aus.

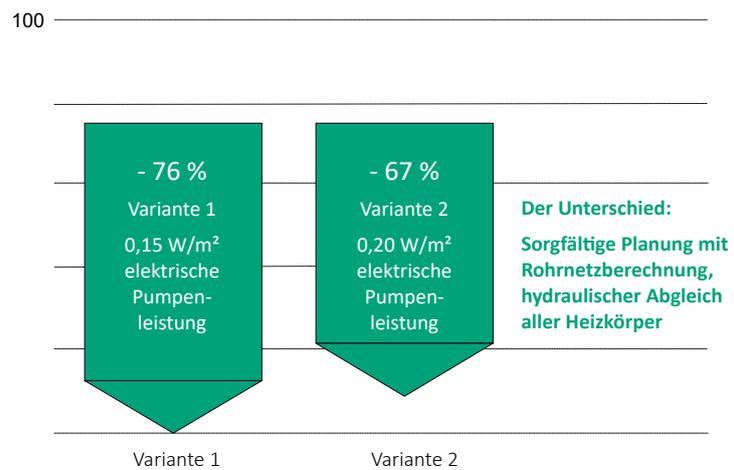
Business-as-usual ist kein gangbarer Weg für die Energiewende.

Abb7:Stromeinsparpotenzial durch Hocheffizienzpumpen im Gebäudebestand



Gratik: Energieinstitut Hessen: in Variante 2 beträgt das Elektrizitäts-Einsparpotenzial wegen ungünstiger Randbedingungen 66 % oder 12,3 TWh/a

Abb 8: Varianten zur Stromeinsparung bei Heizungsumwälzpumpen



Gratik: Energieinstitut Hessen, eigene Berechnung, Impulsprogramm Hessen, Semikardokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998. *) Durchschnittliche Pumpenleistung aus Umfrage durch VZ/Brüa. "Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden - Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz", Mainz 2015 (n = 2229) **) Auch bei Sommererschaltung läuft bei neuen Kesseln und Kesselthermen die Pumpe oftmals durch und muss gesondert ausgeschaltet werden.

Tab. 5: Hauptergebnisse der 2 Varianten der Stromeinsparung durch Hocheffizienzpumpen im Gebäudebestand

	mittlere elektr. Pumpenleistung Hocheffizienzpumpen W/m ²	Auszutauschende Heizungsumwälzpumpen Stck.	Stromeinsparung in TWh/a	Stromeinsparung in %	Reststromverbrauch TWh/a	Eingesparte Kraftwerksleistung GW
Variante 1	0,15	27,4	14,5	- 76	4,7	1,94
Variante 2	0,2	27,4	12,9	- 67	5,3	1,57

Tabelle 5 zeigt die Hauptergebnisse der Varianten.

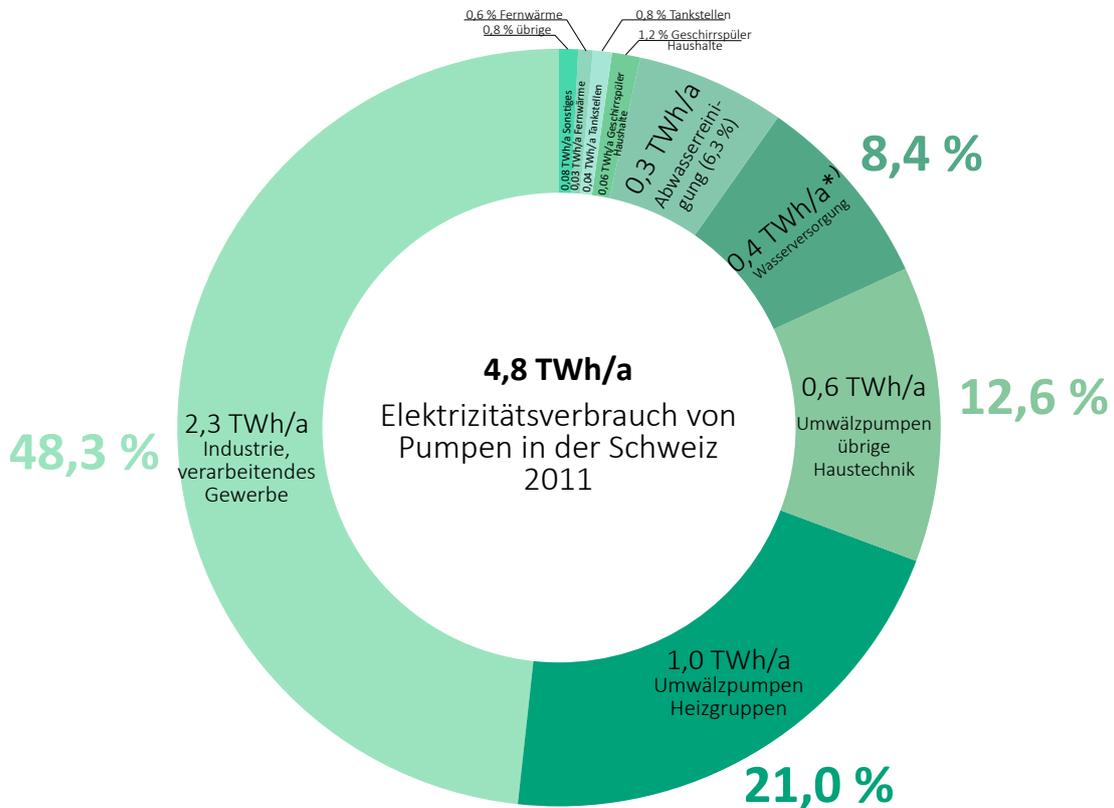
Es werden bis zu 13,9 TWh/a Elektrizität und eine Kraftwerksleistung bis zu 1,94 GW dauerhaft eingespart.



Neben den 33 Mio. Heizungsumwälzpumpen befinden sich weitere 11 Mio. Warmwasserzirkulationspumpen im Wohngebäudebestand. Neben den Pumpen in der Haustechnik gibt es in Gewerbe und Industrie zur Förderung von Stoffen, sowie in der Wasser- und Abwasserwirtschaft weitere ausgedehnte Einsatzbereiche für Umwälzpumpen anderer Bauart. Der weltweite Anteil aller Pumpen am Stromverbrauch wird auf 20 % geschätzt. Für die Schweiz lie-

gen Daten über die Größe des Stromverbrauchs des gesamten Pumpenaufkommens vor. Sie verdeutlichen, dass sich die stromsparende Pumpenmodernisierung auf alle Einsatzfeldern erstrecken muss. Rund 21 % des gesamten Pumpenstromverbrauches der Schweiz, von der Haushalts-Spülmaschinenpumpe bis zur Beförderung von Stoffen in der Industrie entfallen auf die Heizungsumwälzpumpen in heiztechnischen Systemen.

Abb 9: Elektrizitätsverbrauch aller Pumpen in der Schweiz 2011



*) in Deutschland beträgt z.B. der Stromverbrauch der öffentlichen Wasserversorgung 24 GWh/a Quelle Grafik: Jörg Nipkow 2011, aus: TOPMOTORS Merkblatt 23, Pumpen

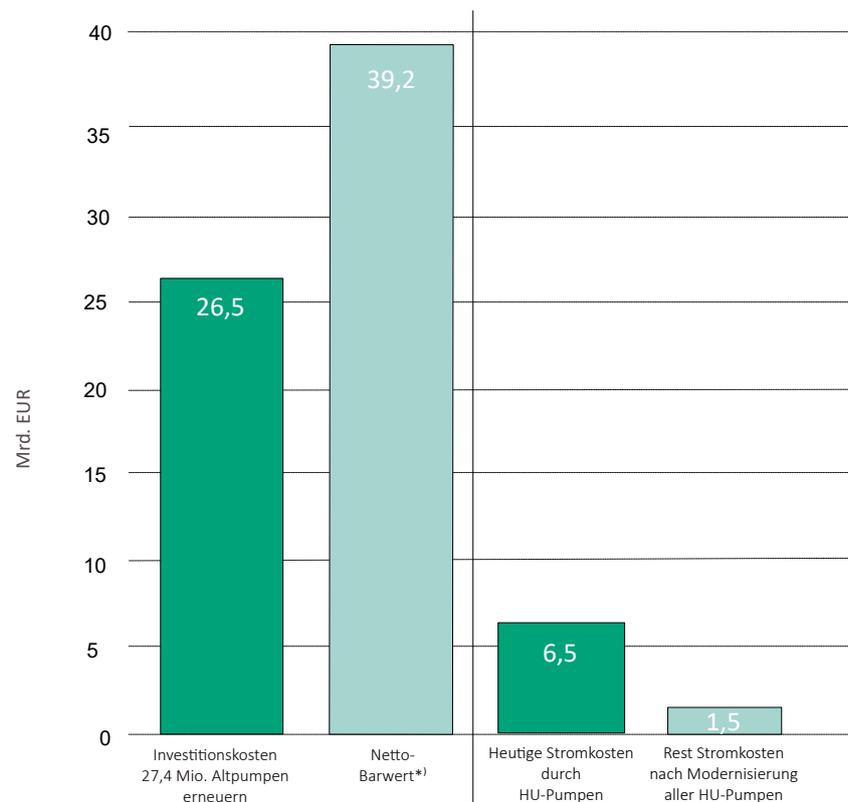
6. Wirtschaftlichkeit

Abb. 10: Wirtschaftlichkeitsberechnung, Investition, Nettobarwert und Stromkostentlastung

Die Hocheffizienzpumpen können als niedriginvestive Technik schrittweise oder als Generalsanierung aller Pumpen eines Gebäudes ausgetauscht werden. Für die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde der mittlere Preis für Hocheffizienzpumpen je nach Gebäudetyp, Pumpengröße und Projektgröße zwischen 550 und 1.400 EUR angenommen. Im Jahr 2022 liegen die Strompreise für Gewerbekunden und Haushaltskunden zwischen 32 und 37,7 Cent/kWh.³¹ Bei Gewerbekunden können die Preise bei Börseneinkauf oder Sondertarifen auch günstiger sein. Für die Folgejahre werden starke Steigerungen erwartet. Aus diesem Grunde wurde eine weitere Variante mit 40 Cent/kWh für Gewerbekunden und 45 Cent/kWh für Haushaltskunden gerechnet.

Die Amortisationszeit liegt auf Basis der dynamischen Barwertberechnung bei Annahme heutiger Strompreise zwischen 6 Jahren im Wohn- und 7 Jahren im Nichtwohngebäudebestand. Betrachtet wurde nur die Variante 1 mit 76 % Stromeinsparung. Bei stark steigendem Strompreis ab 2023 sinkt die Amortisationszeit auf 4 Jahre im Wohngebäudebestand bzw. 5 Jahre im Nichtwohngebäudebestand. Allerdings sind gegenläufig wirkende Materialpreisentwicklungen bei den Pumpen derzeit nicht bestimmbar. Angesichts solcher Unsicherheiten ergeben sich die folgenden Einschätzungen:

- Beim heutigen Strompreis ist die Amortisation der Investition in Hocheffizienzpumpen gegeben.
- Mit 6 und 7 Jahren liegt die Amortisationszeit in der kurzen wirtschaftlichen Betrachtungszeit von 15 Jahren.
- Schon beim heutigen Strompreis ist der Nettobarwert positiv. Die Investi-



Grafik: Energieinstitut Hessen, eigene Berechnung. *1) Nettobarwert: Heutiger Wert der Stromkosteneinsparung über 15 Jahre, bereits abzüglich der Investitionskosten

tionssumme zahlt sich innerhalb der wirtschaftlichen Betrachtungszeit zurück.

- Abzüglich der Investitionssumme übersteigt der Nettobarwert mit 39,2 Mrd. EUR die Summe der Investitionskosten von 26,5 Mrd. EUR noch einmal, so dass die Investition über 15 Jahre mehr als doppelt erwirtschaftet wird.
- Die Stromkostenrechnung von Haushalten und Gewerbe sinkt bei heutigen Stromkosten von 6,5 Mrd. EUR um 5,0 Mrd. EUR auf einen Rest von 1,5 Mrd. EUR pro Jahr.
- Bei diesen Ergebnissen und den gegenwärtigen Unsicherheiten in der

Energieversorgung ist es immer richtig, die Energieverbräuche in Haushalten und Betrieben zu reduzieren.

Die Ergebnisse bestätigen die berechtigte Einordnung von Hocheffizienzpumpen als niedriginvestive Technik, ihre wirtschaftlichen Einsatzbedingungen im Verbund mit ihren positiven ökologischen Auswirkungen unterstreichen ihre Relevanz als Stromspartechnik. Die Pumpenmodernisierung ist ein hochwirtschaftlicher Einstieg in die Stromeinsparung, der zügig und ohne große bauliche Belastung angegangen werden kann.

Tab. 6: Strompreisannahme und Amortisationszeit

	Strompreis	Wohngebäudebestand	Nichtwohngebäudebestand
	Wohngebäude/NWG	Amortisation in Jahren	Amortisation in Jahren
Strompreis 2022	37,7 /32 Cent/kWh	5	7
Strompreis ab 2023 ff.	45/40 Cent/kWh	4	6

*1) Quelle

7. CO₂-Einsparpotenzial und Einsparung Kraftwerksleistung

Der für das Jahr 2021 herangezogene CO₂-Emissionsfaktor von 402 Gramm pro kWh spiegelt den wachsenden Anteil der erneuerbaren Energien an der deutschen Elektrizitätserzeugung wider. Die Absenkung des CO₂-Emissionsfaktors zeigt das Problem des CO₂-Maßstabes, der mit dem Erfolg der Maßnahmen seine Steuerungsfunktion verliert.

Wichtiger für den Umbau der Energieinfrastruktur wird stattdessen das Kriterium, in welchem Umfang eine Technik die Stromerzeugung und die Stromverteilnetze entlastet sowie zur Optimierung der Nutzungsgrade der Energieinfrastruktur auch in Gebäuden beiträgt.

Die CO₂-Einsparung bei Erneuerung aller Altpumpen liegt mit bis 5,8 Millionen Jahrestonnen bei 2,8 % des gesamten CO₂-Ausstoßes des Gebäudesektors von 200 Mio. Jahrestonnen. Die eingesparte Kraftwerksleistung beträgt je nach Variante 1,57 bis 1,94 GW. Dies entspricht der Leistung von 500 bis 650 Windkraftwerken der 3-MW-Klasse oder 3 Gaskraftwerken. Die eingesparte elektrische Leistung liegt im Grund- und Mittellastbereich.

8. Ergebnisvergleich zwischen fünf Veröffentlichungen 1991-2022

Die Frage der Größenordnung des Stromverbrauches von Pumpenantrieben innerhalb des deutschen Stromverbrauches wurde bisher wissenschaftlich nicht erörtert. Zur Abstützung der Studienergebnisse werden fünf Veröffentlichungen mit Berechnungen und Abschätzungen zum Elektrizitätsverbrauch und dem Einsparpotenzial durch Pumpenmodernisierung herangezogen:

- Ein Seminar-Studienmaterial des Schweizer Bundesamtes für Konjunkturfragen im RAVEL-Programm mit dem Titel „Umwälzpumpen, Auslegung und Betriebsoptimierung“ von 1991.³²
- Eine Veröffentlichung von Dipl.-Ing. Jörg Nipkow, der am vorgenannten Studienmaterial und federführend an der Entwicklung der Hocheffizienzpumpe in der Schweiz beteiligt war. Die Daten beinhalten eine Fortschreibung des Mengengerüsts zum Pumpenstromverbrauch, die als Aufsatz 2011 und Merkblatt von Topmotors 2021 vorgelegt wurde: <https://www.topmotors.ch/de>.³³
- Eine Studie der TU Stuttgart, Lehrstuhl Prof. Bach mit dem Titel: „Energie- und CO₂-Einsparpotenzial durch Maßnahmen an Gebäuden und Heizanlagen“.

Stuttgart 1992.³⁴

- Ein Seminar-Studienmaterial des IMPULS-Programm Hessen des Hessischen Umweltministeriums mit dem Titel „Stromsparende Heizungsumwälzpumpen“, IMPULS-Programm Hessen, Darmstadt 1998.³⁵
- Eine Studie des Wuppertal-Institutes von 2005 mit dem Titel „Optimierung der Heizungssysteme und "Faktor-4"-Umwälzpumpen in EFH/ZFH“.³⁶

Deren Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.

Schon 1991 stellte das Schweizer Bundesamt für Konjunkturfragen das Einsparpotenzial durch den Einsatz von stromsparenden Umwälzpumpen fest. Der Stromverbrauch aller Heizungsumwälzpumpen in allen Verbrauchssektoren wurde auf Basis von Feldstudien über alle Gebäudegruppen mit 1,6 TWh/a berechnet, davon 1,3 TWh/a im Bereich der Wohngebäude. Umgerechnet auf das Jahr 2003 und den um den Faktor 10,8 höheren Gebäudebesatz (Wohn- und Nichtwohngebäude) Deutschlands entspricht dies 17,3 TWh/a für beide Gebäudebereiche bzw.

Tabelle 7: Heizungsumwälzpumpen im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand - Ergebnisvergleich zwischen 5 Veröffentlichungen

Veröffentlichung	Jahr	Anzahl Heizungsumwälzpumpen in EFH/ZFH/RH	Stromverbrauch Heizungsumwälzpumpen TWh/a	Anteil am Gesamtstromverbrauch %	Einsparpotenzial TWh/a	Einsparpotenzial %	Ziel-Technik
RAVEL-Studienmaterial Umwälzpumpen, Schweiz	1991	-	1,6 (17,3)*	3,5-4,0	0,624	40 % techn. Potenzial 76 %	Drehzahleregelte Mehrstufenpumpen
TU Stuttgart, Studie, Prof. Bach **)	1992	-	2 (25,3)***)	0,4 (5,0)***)	1,3 (16,5)***)	65 % techn. Potenzial 64-71 %	Drehzahleregelte Mehrstufenpumpen
IMPULS-Programm Hessen, Studienmaterial	1998	-	15	3,5	9	60 %	Drehzahleregelte Mehrstufenpumpen
Schweiz S.A.F.E, Energie Schweiz	2011	-	1,0	2,0-3,5	-	-	Drehzahleregelte Mehrstufenpumpen
Wuppertal-Institut (nur EFH/ZFH 13,7 Mio. Gebäude)	2005	13,3	5,3****)	-	3,9	50-90 %	Hocheffizienzpumpen
Studie Energieinstitut Hessen / WILO	2022	14,4	19,2 nur E/ZFH: 4,9	3,8*****)	14,5 nur E/EFH: 3,5	67-76 %	Hocheffizienzpumpen

* umgerechnet auf Deutschland über Gebäudebestandsdifferenz, Deutschland hat zudem einen deutlich höheren Besatz an Nichtwohngebäuden; ** Studie betrachtet nur Wohnungsbestand der BRD (West), der Originalwert der Studie von nur 2 TWh/a wurde korrigiert (Klammerwerte): um Faktor 4,9 zu geringem Anteil der Sammelheizung, angenommen in der Studie mit nur 19 %, um die Gebäudezahl der Neuen Bundesländer (Faktor 1,45 in 1990, um den Sektor Nichtwohnbau mit Faktor 1,8; ****) 5,3 TWh/a = Nur Heizungsumwälzpumpen *****) 3,5 % bezogen auf 473 TWh/a Nettostromverbrauch 1991; Quellen: Bundesamt für Konjunkturfragen, RAVEL, Umwälzpumpen – Auslegung und Betriebsoptimierung, Bern 1991; TU Stuttgart, Prof. Bach et. al, Energie- und CO₂-Einsparpotenzial durch Maßnahmen an Gebäuden und Heizanlagen, Stuttgart 1992; Impulsprogramm Hessen, Seminar-Dokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998; S.A.F.E, Jörg Nipkow, TOPMOTORS, Merkblatt 23, Pumpen, Bern 2021; BMFT, Forschungszentrum Jülich, Passive Solarenergiegenutzung und Energieeinsparung in Gebäuden, Statusbericht Jülich 1991; Wuppertal-Institut und Hochschule Flensburg, Gerd Wohlfahrt, Prof. Olav Hohmeyer, u.a., Optimierung der Heizungssysteme und "Faktor-4"-Umwälzpumpen in EFH/ZFH, Wuppertal 2005

14 TWh/a für den Wohngebäudebestand. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch pro m² Wohnfläche der Umwälzpumpen wird mit 3,33 kWh/(m²*a) angegeben und auf Basis der damaligen Technologie der unregulierten Pumpen ein Zielwert von 0,8 kWh/(m²*a) oder minus 76 Prozent formuliert. Das gesamte Elektrizitätseinsparpotenzial durch die damals übliche nur in Stufen einstellbare Drehzahl an Umwälzpumpen wurde vorsichtig mit 40 % oder 624 GWh/a abgeschätzt. Für Deutschlands entspräche dies einem Einsparpotenzial von rund 6,8 TWh/a des Elektrizitätsverbrauchs durch Dreistufenpumpen mit angepasster, aber noch hoher Leistung. Die heutige Technologie wurde noch nicht einbezogen. Der Anteil der Heizungsumwälzpumpen am gesamten Stromverbrauch der Schweiz lag bei 3,5-4,0 %.

Die auch schon am vorgenannten Studienmaterial und der Entwicklung der Hocheffizienzpumpe beteiligte Schweizer Ingenieur- und Architektengruppe S.A.F.E (Energie Schweiz) und hier insbesondere Jörg Nipkow legte im Jahr 2011 eine aktualisierte Berechnung vor. Demnach erreichte innerhalb von 20 Jahren der Elektrizitätsverbrauch für Umwälzpumpen im Sektor Armaturen/Heizgruppen in der Schweiz fast genau den Schätzwert, er sank um 37,5 % Prozent auf 1.000 GWh/a. Der Anteil der Heizungsumwälzpumpen am Gesamtstromverbrauch der Schweiz wird mit rund 2-3,5 %, der Anteil aller Pumpen in allen Sektoren inkl. der Stofftransportpumpen in Wasser- und Abwasserwerken sowie Gewerbe mit 8 % angegeben. Abb: 9 zeigt die Struktur des Stromverbrauchs über alle Pumpenarten in der Schweiz.

In Deutschland ermittelte eine Untersuchung des CO₂-Einsparpotenzials durch die Universität Stuttgart 1992 eine mögliche Reduktion der Umwälzpumpenleistung von 0,51 auf 0,107 W/m² bei EFH/RH und von 0,37 auf 0,11 W/m² bei MFH. Der Zielwert wurde ebenfalls für dreistufig einstellbare Pumpen angegeben, die damals die beste Technik war. Die Ausgangswerte beruhten auf empirischen Datenaufnahmen an Gebäuden, die Zielwerte wurden aus Rohrnetzbe-

rechnungen für 2 Gebäudetypen hergeleitet. Die Pumpenlaufzeit wurde mit 5500 h/a für Alt- und Neupumpen gleich angenommen und beruht nicht auf Messwerten. Die Studie beziffert das Elektrizitäts- und CO₂-Einsparpotenzial durch Reduktion der Pumpenleistung auf 64 bis 71 % je nach Gebäudetyp (MFH/EFH) sowie das nationale Stromsparpotenzial auf 65 %. Für den Vergleich sind Umrechnungen (ABL zu ABL+NBL sowie Erweiterung auf den Nichtwohnbau) und eine Fehlerkorrektur erforderlich, da der Anteil Zentralheizung irrtümlich mit 18-20 % angesetzt wurde, lag aber 1990 schon über 80 %.

Das 1998 veröffentlichte Studienmaterial des IMPULS-Programm Hessen nimmt ein Stromeinsparpotenzial von 40-60 % respektive 6-9 TWh/a an, ebenfalls noch auf Basis der dreistufigen Umwälzpumpen. Der Elektrizitätsverbrauch der Heizungsumwälzpumpen wurde auf einen mit der Schweiz vergleichbaren Anteil von 3,5 % am Stromverbrauch Deutschlands oder 15 TWh/a berechnet. Der Statusbericht Energieforschung³⁷ von 1991 bestätigte diese Größenordnung. Das Studienmaterial enthält einen anschaulichen Vergleich: „Damit liegt der Stromverbrauch für Umwälzpumpen in der gleichen Größenordnung wie der Stromverbrauch der deutschen Bundesbahn, einschließlich aller Straßen- und U-Bahnen. Dieser beträgt für das Jahr 1995 ca. 15,6 Mrd. kWh.“³⁸

Eine Gemeinschaftsstudie von Wuppertal-Institut und der Hochschule Flensburg untersuchte 2005 während der Markteinführung der Hocheffizienzpumpe deren Stromsparpotenzial in Ein- und Zweifamilienhäusern. Bei ähnlichen Ausgangsstromverbrauchswert wurde auf Basis eines Modellgebäudes das Stromsparpotenzial zu 50 % im Mittel und zu 90 % im Einzelfall abgeschätzt.

Die hier vorliegende Studie beziffert auf Basis der fortgeschrittenen Technologie der Hocheffizienzpumpe und von 41 Wohn- und 11 Nichtwohngebäudetypen sowie den empirischen Daten der deutschen Pumpenindustrie als Mengengerüst den Stromverbrauch aller Umwälzpumpen 2021 auf 19,2 TWh/a und das wirtschaftliche und technische

Einsparpotenzial in zwei Varianten auf 67-76 %.

Dieser Wert ordnet sich plausibel in die Aussagen der beschriebenen Veröffentlichungen ein. Tabelle 6 zeigt die wichtigsten Daten des Vergleichs. Die berechneten Daten stehen in guter Nähe zueinander. Im Einsparpotenzial der hier vorliegenden Studie drückt sich zusätzlich die fortgeschrittene Technik der Hocheffizienzpumpe aus. Schon 1998 zeigte das IMPULS-Programm Hessen in seinem Seminarmaterial an einem Fallbeispiel, dass mit dieser Technik gegenüber einer dreistufigen Pumpe je nach Ausgangszustand ein weiteres Potenzial von 45 bis 71 % erschlossen werden kann.

*Bild 8: Heizungs- und Pumpen-Check
Schornsteinfegermeister Reiner Scholl, Florstadt*

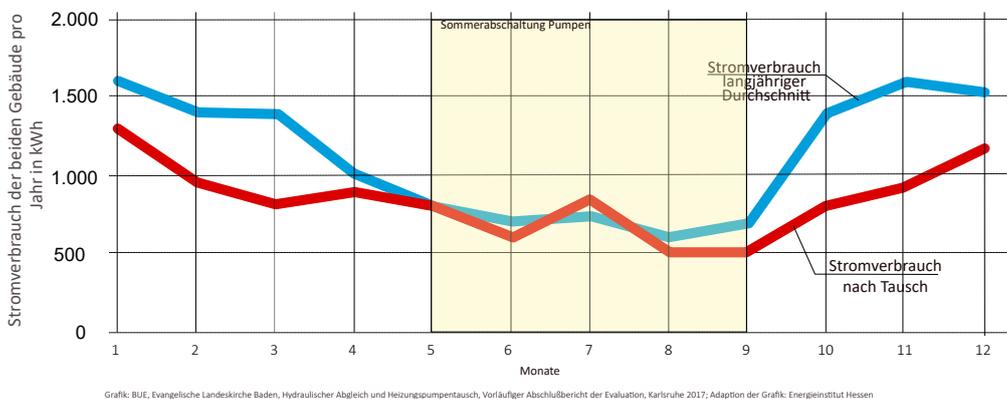


9. Fallbeispiel: Pumpentausch in der ev. Landeskirche Baden

Die evangelische Landeskirche Baden nahm ab 2013 in einem Projekt in allen kirchlichen Liegenschaften den Austausch von 890 Heizungsumwälzpumpen durch Hocheffizienzpumpen vor.³⁸ Für 730 Pumpen konnten die Daten der Stromeinsparung gesichert werden, wofür die Abrechnungen des Gesamtstromverbrauchs der jeweiligen Liegenschaft herangezogen wurde. Die Stromsparmaßnahmen beschränkten sich hier allein auf den Pumpentausch. „Insgesamt sank die Leistungsaufnahme der getauschten Pumpen von vorher 83.124 W auf 16.208 W. Dies entspricht einer Einsparung von gut 80 % und durchschnittlich 75 W bzw. 450 kWh je Pumpe.“³⁹ Die Pumpengrößen lagen oberhalb der in Einfamilienhäusern gebräuchlichen Dimensionierung, etwa zwischen 90 und 300 Watt pro Pumpe. Versorgt wurden neben Gemeindehäusern auch Kirchenbauten.

So konnte z.B. in der Stephansgemeinde in Neckargemünd die elektrische Leistung von drei Pumpen mit zusammen 320 Watt auf 107 Watt gesenkt werden. Da kein gesonderter Zähler gesetzt war, musste die Einsparung aus dem Stromgesamtzähler abgelesen werden. Die Abbildung 11 zeigt den Rückgang des gesamten Stromverbrauchs der Liegenschaft während der Heizperiode, während die Verbräuche der Sommermonate den auf Höhe des langjährigen Durchschnitts verbleibenden Betriebsstromverbrauch (Licht, Teeküche) der Liegenschaft angibt. Alt- wie Neupumpen blieben im Sommer ausgeschaltet. Die Stromeinsparung entspricht der eingesparten elektrischen Pumpenleistung von 213 Watt für die drei Pumpen, entsprechend rund 150 kWh pro Monat.

Abb 11: Veränderung des Stromverbrauches der Liegenschaft ev. Gemeinde Neckargemünd nach Ersatz von 3 Altpumpen durch Hocheffizienzpumpen



Grafik: BUE, Evangelische Landeskirche Baden, Hydraulischer Abgleich und Heizungspumpentausch, Vorläufiger Abschlussbericht der Evaluation, Karlsruhe 2017; Adaption der Grafik: Energieinstitut Hessen

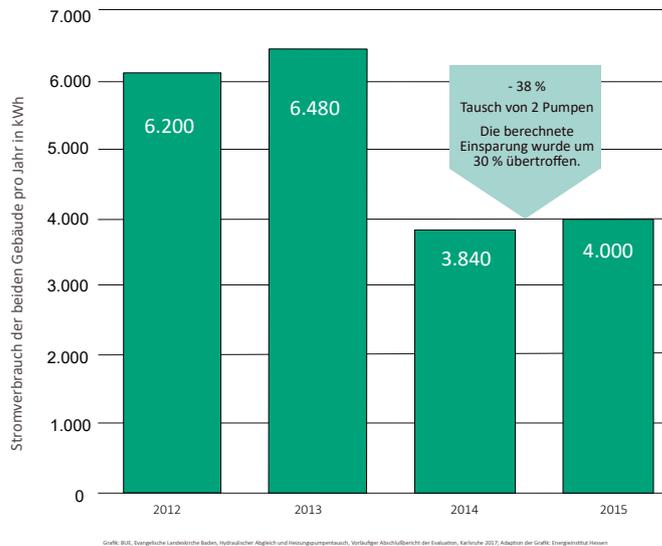


Abb 10: Stromverbrauch pro Jahr Kirche und Gemeindehaus Gemmingen 2012 bis 2015

Im Fallbeispiel der Gemeinde Gemmingen (Abb. 10) mit einer Gebäudegruppe von evangelischem Gemeindehaus und Kirche wurden 2 Pumpen ausgetauscht. Die Stromeinsparung im Gesamtstromverbrauch der beiden Liegenschaften lag bei 39 % und übertraf die Berechnungen um 30 %. Bei den Werten handelt es sich um den gesamten Stromverbrauch der Liegenschaft, in dem sich die Hocheffizienzpumpen abbilden.⁴⁰

10. Vorschläge zur Umsetzung des Einsparpotenzials

Die Hocheffizienzpumpentechnik wurde 2001 entwickelt. Seit 2013 muss sie bei neuen Heizkesseln und Elektrowärmepumpen sowie bei der Heizungsmodernisierung eingebaut werden. Dennoch läßt ihr Austausch im großen Stil auf sich warten. Die EU-Verordnung ermöglicht seit 2013 nur noch den Neueinbau von Hocheffizienzpumpen, so dass sich bei in Wärmeerzeugern integrierten Pumpen der Einbau von Hocheffizienzpumpen automatisch vollzieht. Diese Bedingung ist für die Modernisierung dieses kleineren Teiles des Bestandes förderlich.

Für den größeren Teil der 20,2 Mio. externen Heizungsumwälzpumpen gilt sie nicht. Mit einem Anteil von 86 % dominieren die externen Pumpen den Altpumpenbestand. Von den 18,7 TWh/a Stromverbrauch der Altpumpen entfallen allein 16,1 TWh pro Jahr auf sie. Da ihr Austausch technisch meist nicht zwingend ist, wirkt sich dieser Sachverhalt negativ auf die Modernisierungsdynamik aus. Trotz erwiesener hoher Wirtschaftlichkeit ist seitens der Hauseigentümer kein hinreichendes Modernisierungsverhalten zu registrieren. Hinzu kommt, dass in der Öffentlichkeit Pumpenaustausch als CO₂- und Stromsparmaßnahme kein besonderes Gewicht beigemessen wird. Die „Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen“ (Mittelfristenergiesicherungsverordnung – EnSimiMaV) von 2022 fordert ab Ende 2022 mit dem eingeführten Heizungsscheck auch eine Beurteilung und einen Modernisierungsvorschlag für die Pumpen vorzunehmen. Gewerbliche Liegenschaften über 10 GWh/a Gesamtenergieverbrauch unterliegen einer Auditierung, bei der zukünftig auch die Heizungsumwälzpumpe betrachtet werden muss und vorgeschlagene wirtschaftliche Maßnahmen innerhalb von 18 Monaten umzusetzen sind. Auch in Verbindung mit dem innerhalb von 2 Jahren durchzuführenden hydraulischen Abgleich in gasbeheizten Gebäuden ist der Einsatz von Hocheffizienzpumpen unverzichtbar. Der Pumpentausch wird als

Maßnahme zur Ertüchtigung der Peripherie des Heizkessels gefördert. Eine weitere Unterstützung der Pumpenmodernisierung kann durch eine Übernahme von Zielwerten für die elektrische Pumpenleistung in W/m² in die künftige Novelle des GEG erfolgen.

Aufgrund des hohen Stromsparpotenzials der Hocheffizienzpumpen und deren Dienlichkeit für das Stromnetz ist eine regelmäßige Kampagne zum Pumpentausch wünschenswert. Es bedarf besonderer informationstechnischer Anstrengungen, um in diesem Marktsegment die Motivation für den Pumpen-

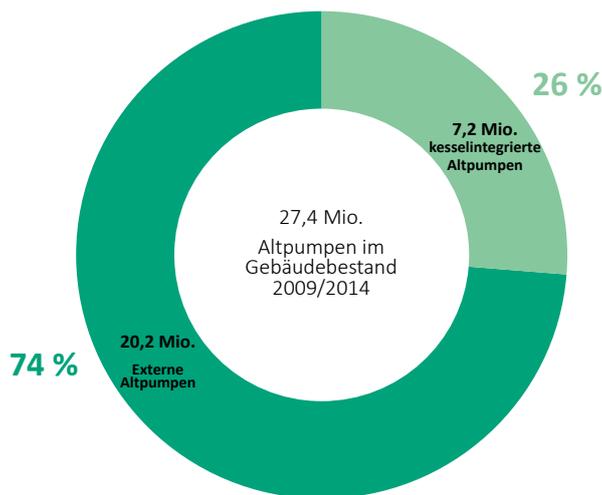


Abb. 12: Hoher Anteil externer Altpumpen im Pumpenbestand in Prozent

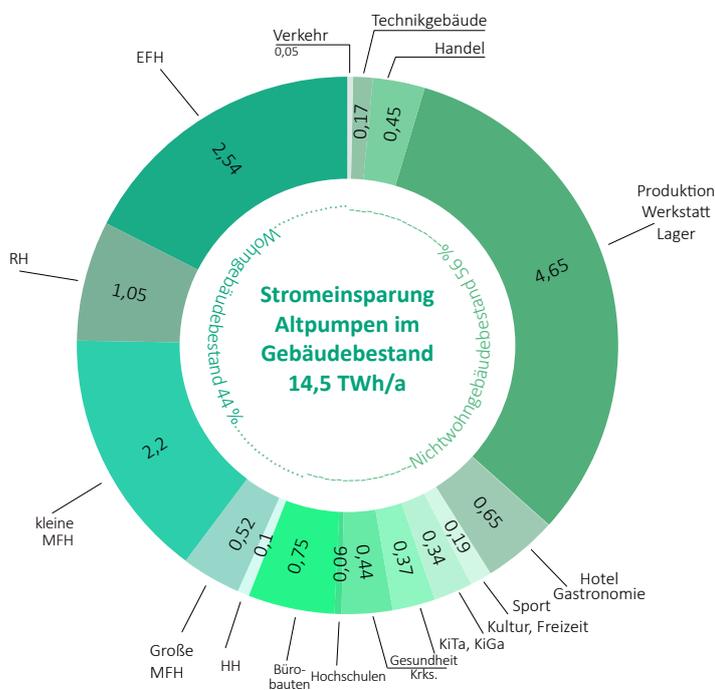


Abb. 13: Stromeinsparpotenzial durch Hocheffizienzpumpen nach Gebäudetypen in TWh/a

tausch zu steigern.

Aus diesen Gründen wird eine regelmäßige Informationskampagne mit dem Titel: „Das Herz der Heizung“ vorgeschlagen, die den Besitzern von EFH, der Wohnungswirtschaft, den Betreibern von Nichtwohngebäuden, Kommunen, sonstigen Körperschaften und dem Gewerbe die Vorteile hocheffizienter Heizungsumwälzpumpen verdeutlicht. Die Verteilung des Stromverbrauchs der Altpumpen auf den Gebäudebestand nach Gebäudetypen zeigt Abb. 6 und 12. Sie befinden sich in unterschiedlichen Gebäudenutzungen, die sich wiederum mit differenzierten ökonomischen Interessenlagen verbinden. Hier kann eine regelmäßige Kampagne, die die Verbände der Eigentümergruppen einbezieht, äußerst zielführend sein.

20.000 Pumpentausche in Hessen

In Hessen wurde im Jahr 2012-2013 eine landesweite Pumpentauschkaktion des Hessischen Umweltministeriums durchgeführt. Träger und Organisator der Öffentlichkeitsarbeit war die vom Ministerium geförderte „Hessische Energiespar-Aktion“. Für den Erfolg spielte ihr Bekanntheitsgrad bei Hauseigentümern ebenso eine große Rolle wie

ihr eingespieltes Bündnis mit 40 hessischen Berufs- und Wirtschaftsverbänden zum Ziele der Unterstützung der Energieeinsparung. Zum Einsatz kam ein Bündel von Öffentlichkeitsmaßnahmen, die Schwerpunkte lagen neben der Pressearbeit in der Einbeziehung von Kommunen durch Displays in den Rathäusern, den Filialen der Kreditwirtschaft und in einer Kooperation mit Stadtwerken, regionalen Energieversorgern und dem SHK-Handwerk. Diese Kooperationen wurden wiederum für die aktive Pressearbeit genutzt. Zu den Materialien gehörten: Artikelvorlagen, Bildvorlagen, Standardvortrag, Ausstellungsdisplays, Muster-Anschreiben, Internetauftritt, Vorträge i.V. mit Kooperationspartnern während der Präsentation der Ausstellungen usw..

Das Engagement trug Früchte: Innerhalb weniger Wochen waren alle Fördermittel für 10.000 Hocheffizienzpumpen in Altbauten vergeben, so daß das Programm auf 20.000 Pumpen aufgestockt wurde, wobei der Zuschuss in Höhe von 100 EUR pro Pumpe sicherlich einen verstärkenden Handlungsanreiz bedeutete. Der Jahresbericht der Hessischen Aktion vermerkt: „Ab August 2012 wurde das Förderprogramm „Stromeffiziente Heizungsumwälzpumpen“ aufgelegt. Gefördert wurden 20.000 Umwälzpumpener-

neuerungen in Ein- und Zweifamilienhäusern mit einem Kostenzuschuss von 100 EUR. (...) In 3 Monaten konnten alle Förderanträge entgegengenommen und die Bescheide erstellt werden. Das Förderprogramm war ein großer Erfolg und zeigte, dass eine einfache Förderabwicklung auch zum Mitmachen der Hauseigentümer führt. In vielen Fällen wurde durch die Öffentlichkeitsarbeit der HESA örtliche Zusatzangebote von Stadtwerken, örtliche Handwerkerinitiativen und eine örtliche Pressearbeit durchgeführt.“⁴¹

An dieser Herangehensweise orientiert, böte ein organisatorisch bei der Deutschen Energieagentur, einer Landesenergieagentur oder einem engagierten privaten Ingenieurbüro angesiedeltes Programm die Chance, mittels gezielter und in jährlichen Schwerpunktaktionen abgegebener Informationen, den Hauseigentümern, Investoren, Hausverwaltern, technischen Abteilungen der Wohnungswirtschaft und Gebäudebetreibern intelligente Handlungsoptionen aufzuzeigen. Gestützt auf alle Landesenergieagenturen, Handwerkslandesinungen, die Kreditwirtschaft, die Kommunen und Landkreise wird die Entfaltung öffentlichkeitswirksamer Aktivitäten dazu führen, die angesprochenen Eigentümergruppen für den Stellenwert und den finanziellen Entlastungseffekt von Hocheffizienzpumpen zu sensibilisieren und einen Altpumpentausch anzustreben.

Unabhängig von der existierenden finanziellen Förderung ist es zum Einen machbar, den Blick dafür zu schärfen, dass Umwälzpumpen Großverbraucher im Heizungskeller sind und eine unnötige Stromkostenbelastung darstellen und den umfassenden Stellenwert der Hocheffizienzpumpe für das Heizsystem im Rahmen der künftigen erneuerbaren Stromversorgung ins Bewußtsein zu rücken. Für einen schnellen Start bietet sich der Rückgriff auf die Vorarbeiten der gelungenen hessischen Kampagne erfolgversprechend an.



Bild 9: Bad Vilbeler Anzeiger 28.09.2012

Hocheffizienzpumpen sind eine niedriginvestive Energiesparmaßnahme, ihr Austausch im Gebäudebestand hat viele Vorteile.

- Er ist schnell ausführbar. Innerhalb 1-2 Stunden durchgeführt, tritt der Nutzen sofort und am Pumpendisplay ablesbar ein.
- Er ist bei überschaubaren Kosten und hoher Wirtschaftlichkeit ohne Förderung finanzierbar.
- Es wird ein beträchtliches CO₂-Einsparpotenzial erschlossen.
- Hocheffizienzpumpen reduzieren die winterliche Leistungsanspruchnahme aus dem Stromnetz, Grundlast-Kraftwerksleistung wird real eingespart. Das senkt langfristig den Stromkostenanstieg durch geringeren Zubaubedarf bei den EE-Kraftwerken.
- Hocheffizienzpumpen sind ein Teil des hydraulischen Abgleichs.



Bild 10: Drei Displays im Einsatz für den Pumpentausch (re: STS Weinmeister Hess. Umweltministerium)

Bild 11: Bald Vergangenheit - Ungeregelte Heizungsumwälzpumpen



Bild: Benedikt Brandt SHK-Handwerksbetrieb Paderborn, www.brandt-pb.de

Endnoten

- 1 VZ/forsa, "Heizungspumpen in privat genutzten Wohngebäuden – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherbefragung zu Heizungspumpen bundesweit und in Rheinland-Pfalz", Mainz 2015
- 2 Wuppertal-Institut und Hochschule Flensburg, Gerd Wohlauf, Prof. Olav Hohmeyer, u.a., Optimierung der Heizungssysteme und "Faktor-4"-Umwälzpumpen in EFH/ZFH, Wuppertal 2005
- 3 Prof. Bach et. al, Energie- und CO₂-Einsparpotenzial durch Maßnahmen an Gebäuden und Heizanlagen, Stuttgart 1992
- 4 Impulsprogramm Hessen, Seminar-Dokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998
- 5 Tobias Loga, Institut Wohnen und Umwelt, Energiepaß Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001
- 6 Bundesamt für Konjunkturfragen, RAVEL, Umwälzpumpen – Auslegung und Betriebsoptimierung, Bern 1991
- 7 Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Conrad U. Brunner, Verminderung des elektrischen Energieverbrauchs in Gebäuden, Zürich 1986
- 8 TOP-MOTORS, Merkblatt 23, Pumpen, Bern 2021
- 9 Fritz Mückenhaupt, 50 Prozent Strom einsparung bei Heizungsumwälzpumpen sind möglich, in: Wärmetechnik 11/1997
- 10 DIN 4701-10, Beuth-Verlag, Berlin 2002
- 11 Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 2: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021
- 12 Sparen beim Pumpen, in: Zeitschrift test 09-2007
- 13 Evangelische Landeskirche in Baden, Evaluationsbericht, Hydraulischer Abgleich und Pumpentausch in der Evangelischen Landeskirche 2013 bis 2019, Karlsruhe 2020
- 14 Büro für Umwelt und Energie, Hydraulischer Abgleich und Heizungspumpentausch, Ein Pionierprojekt der Evangelischen Landeskirche in Baden Vorläufiger Abschlussbericht zum Projektabschluss am 20.01.2017
- 15 Institut Wohnen und Umwelt, Nikolaus Diefenbach, Tobias Loga u.a., Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, Darmstadt 2001
- 16 Delta-q, Prof. Dr.-Ing. Jagnow, Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, TWW Wolfenbüttel: <https://www.delta-q.de/energie/kennwerte/>.
- 17 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.
- 18 Deutsche Wohngebäudetypologie TABULA, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebäudebestand/episcopo/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf
- 19 Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Michael Hörner, Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude, ENOB: dataNWG, Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Darmstadt 2022
- 20 IWU/Bremer Energieinstitut, Datenbasis Gebäudebestand, Darmstadt 2010
- 21 IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018
- 22 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
- 23 Hessisches Ministerium für Umwelt, Stromeinsparpotenzial im privaten Haushaltsbereich in Hessen, Wiesbaden 1986
- 24 Prof. Bach a.a.O
- 25 VZ/forsa, a.a.O.
- 26 Wohnungswirtschaft heute, Februar 2022, Bis zu 20 % Heizkosten sparen – EBZ-Forschungsprojekt BaltBest untersuchte Heizungsanlagen im Wohnungsbestand
- 27 BaltBest, Foliensatz Prof. Grinewitschus, ohne Ort, 2022 (Abschlussbericht noch nicht erschienen)
- 28 Wohnungswirtschaft heute, Februar 2022, Bis zu 20 % Heizkosten sparen – EBZ-Forschungsprojekt BaltBest untersuchte Heizungsanlagen im Wohnungsbestand; <https://wohnungswirtschaft-heute.de/bis-zu-20-heizkosten-sparen-ebz-forschungsprojekt-baltbest-untersuchte-heizungsanlagen-im-wohnungsbestand/>
- 29 BUE, a.a.O.
- 30 Bayrischen Landesanstalt für Umwelt für das Jahr 2021: https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnen-sie-ihre-treibhausgasemissionen-mit-co2-rechner
- 31 <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/entwicklung-der-energie-und-co2-preise-2022/>; <https://www.stromauskunft.de/verbraucherservice/strompreise-2022/>
- 32 Bundesamt für Konjunkturfragen, RAVEL, Umwälzpumpen – Auslegung und Betriebsoptimierung, Bern 1991
- 33 S.A.F.E, Jörg Nipkow, TOPMOTORS, Merkblatt 23, Pumpen, Bern 2021
- 34 TU Stuttgart, Prof. Bach et. al., Energie- und CO₂-Einsparpotenzial durch Maßnahmen an Gebäuden und Heizanlagen, Stuttgart 1992

- 35 Impulsprogramm Hessen, Seminar-Dokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998
- 36 Wuppertal-Institut und Hochschule Flensburg, Prof. Olav Hohmeyer, Gerd Wohlauf, u.a., Optimierung der Heizungssysteme und "Faktor-4"-Umwälzpumpen in EFH/ZFH, Wuppertal 2005
- 37 BMFT, Forschungszentrum Jülich, Passive Solarenergienutzung und Energieeinsparung in Gebäuden, Statusbericht, Jülich 1991
- 38 Impulsprogramm Hessen, Seminar-Dokumentation, Stromsparende Umwälzpumpen, Darmstadt 1998
- 39 Evangelische Landeskirche in Baden, Evaluationsbericht, Hydraulischer Abgleich und Pumpentausch in der Evangelischen Landeskirche 2013 bis 2019, Karlsruhe 2020; sowie: Büro für Umwelt und Energie, Hydraulischer Abgleich und Heizungspumpentausch, Ein Pionierprojekt der Evangelischen Landeskirche in Baden Vorläufiger Abschlussbericht zum Projektabschluss am 20.01.2017
- 40 ebenda
- 41 Hessische Energiespar-Aktion, Jahresbericht 2013/14 an das Hessische Ministerium für Umwelt, Darmstadt 2015

Eine Modernisierungsstrategie für die Trinkwarmwasserbereitung (TWW):

Strom- und Gaseinsparung durch Einsatz elektronischer Durchlauferhitzer in Wohn- und Nichtwohngebäuden



Studie des „Energieinstitut Hessen“ im Auftrag der CLAGE GmbH



Titelbild: Das Berliner Humboldt-Forum wurde an allen Handwaschplätzen mit elektronischen Elektro-Klein-Durchlauferhitzern ausgestattet. Damit entfiel die heute noch übliche Planung mit Elektro-Untertischgeräten für die Warmwasserbereitung und deren hohen ganzjährigen Bereitschaftsverlusten von 0,28 kWh/Tag. Die Elektro-Durchlauferhitzer erwärmen das Wasser nur im Bedarfsfall und auch nur auf die eingestellte Temperatur. Das ist die Garantie für eine hohe Effizienz, die wir für die Energiewende brauchen .

Studie:

Strom- und Gaseinsparung durch Einsatz elektronischer Durchlauferhitzer in Wohn- und Nichtwohngebäuden (TWW)

Durchgeführt von:

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

Auftraggeber:

CLAGE GmbH
Pirolweg 4
21337 Lüneburg
www.clage.de

Frankfurt am Main/Lüneburg 2023

Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort des Auftraggebers.....	147
1. Kurzfassung.....	148
2. Energiewende schafft neue Rahmenbedingungen für die Warmwasserbereitung (TWW).....	152
3. Methodik und Datenquellen.....	154
4. Beschreibung der Technik des elektronischen DLE und Rahmenbedingungen.....	158
4.1 Beschreibung der Technik des elektronischen Durchlauferhitzers.....	158
4.2 Rahmendaten der Berechnung.....	158
4.3 Entwicklungsweg der Firma CLAGE.....	159
5. Potenziale des Einsatzes von elektronischen Durchlauferhitzern.....	160
5.1 Ersatz von Kleinspeicher durch Klein-EDL in Wohn- und Nichtwohnbau.....	160
5.1.1 Beschreibung und Mengengerüst.....	160
5.1.2 Elektrizitäts- und Wassereinsparung.....	161
5.1.3 CO ₂ -Einsparung.....	162
5.1.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	162
5.1.5 Projektvorstellung: „Die Welle“ Frankfurt am Main.....	163
5.1.6 Verbrauchsmessung an einer Zapfstelle.....	164
5.2 Ersatz von 10-50-Liter-E-Speichern durch elektronische EDL von 11-13,5 kW.....	166
5.2.1 Beschreibung und Mengengerüst.....	166
5.2.2 Energieeinsparpotenzial.....	166
5.2.3 CO ₂ -Einsparung.....	166
5.2.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	167
5.3 Ersatz von 80-150-Liter-E-Speichern durch elektronische EDL von 18-27 kW.....	168
5.3.1 Beschreibung und Mengengerüst.....	168
5.3.2 Energieeinsparpotenzial.....	168
5.3.3 CO ₂ -Einsparung.....	168
5.3.4. Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	168
5.4 Ersatz von hydraulischen E-EDL durch elektronische EDL.....	170
5.4.1 Beschreibung und Mengengerüst.....	170
5.4.2 Energieeinsparpotenzial.....	170
5.4.3 CO ₂ -Einsparung.....	170
5.4.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	171
5.5 Ersatz von Gas-EDL durch elektronische EDL.....	172
5.5.1 Beschreibung und Mengengerüst.....	172
5.5.2 Energieeinsparpotenzial.....	172
5.5.3 CO ₂ -Einsparung.....	172
5.5.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	173
5.5.5 Sektorübergreifend: Stromnetzbelastung.....	173

6. Sektorübergreifende Betrachtung: Netzbelastung und Gleichzeitigkeitsfaktoren.....	176
6.1 Lastgangmessungen der VDEW 1991.....	176
6.2 Messung an einer Wohnanlage mit 24 WE.....	177
6.3 Gleichzeitigkeitsfaktoren	177
6.4 Lastgangmessung an einem MFH in Bad Bevensen.....	179
6.5 Lastgangmessungen am MFH K 76 Darmstadt.....	180
6.6 TWW-Verbrauchswerte im KliNaWo-MFH mit zentraler TWW.....	182
6.7 Vergleich der TWW-Verbrauchswerte MFH K 76 und KliNaWo-Modellgebäude.....	182
7. Handlungsträger und energiepolitischer Vorschlag.....	184
8. Ausblick auf den Gebäudebestand.....	185
Endnoten.....	186

Vorwort

Die Energiewende erfordert die Durchsetzung von Energieeffizienz auf allen Ebenen des Energieverbrauchs. Hierzu sind auch die „historischen“ Mängel in der Heizungsverteilung und Warmwasserbereitung zu beseitigen. Die bisherige Trinkwarmwasserbereitung (TWW) hat sich als komplexes zentrales System entwickelt, mit hohen Energieverlusten auf vielen Ebenen. Es bestehen heute durch den Einsatz dezentraler elektronischer Elektro-Durchlauferhitzer alle Möglichkeiten zur Schaffung einer höheren Energieeffizienz in der Warmwasserbereitung.

Die Firma CLAGE produziert seit 1951 elektrische Systeme der Warmwasserbereitung. Moderne elektronisch geregelte Durchlauferhitzer helfen bei der Schaffung einer energieeffizienten Trinkwarmwasserbereitung. Sie sind energieverlustarm, weisen einen geringen Material- und Platzbedarf auf, sind stromsparend, wartungsarm und komfortabel. Die vom Energieinstitut Hessen erarbeitete Studie untersucht die Einsatzbereiche im Gebäudebestand durch Modernisierung vorhandener Untertischspeicher, veralteter hydraulischer Elektrodurchlauferhitzer und den Ersatz von Gas-Durchlauferhitzern. Wir regen damit eine Diskussion über die neue Bedeutung elektrischer Systeme der Warmwasserbereitung an. Mit wachsendem Anteil erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung sinken die CO₂-Emissionen. Elektronische Durchlauferhitzer ermöglichen die Einkopplung von Ökostrom in die Warmwasserbereitung, selbst wenn Gebäude über keine eigene Photovoltaik verfügen. Die CO₂-Emissionen dieses Sektors sinken mittelfristig gegen Null, ohne dass größere Anlageninvestitionen in den Gebäuden erforderlich werden.

Der Aufwand für die Erwärmung des Trinkwarmwassers und die vorhandenen Effizienzpotentiale werden meist unterschätzt. Das ALFA-Projekt der Wohnungswirtschaft belegt für Mehrfamilienhäuser, zwischen 16 und 45 %

des Energieaufwandes entfallen auf die TWW-Bereitung. In zentralen Warmwassersystemen geht Energie nutzlos durch lange Warmwasser- und Zirkulationsleitungen verloren oder wird in 12 Mio. elektrischen Untertischspeichern verheizt, deren ganzjährigen Bereitschaftsverluste diese Studie mit 1,5 TWh berechnet. Die Modernisierung älterer hydraulischer Durchlauferhitzer durch elektronische Modelle führt zu einer weiteren Strom einsparung. Der Ersatz von 4,3 Mio. Gasdurchlauferhitzer durch elektronische Komfortdurchlauferhitzer spart jährlich 5 TWh Erdgas ein. Zukünftig können bei Gebäudemodernisierungen und im Neubau materialaufwendige TWW-Systeme samt langen Warmwasser- und Zirkulationsleitungen und deren Verluste durch dezentrale Lösungen mit elektronischen Durchlauferhitzern ersetzt werden.

Unsere Studie zeigt, eine Modernisierung mit elektronischen Durchlauferhitzern ist verträglich mit dem vorhandenen Stromnetz. Durch Wegfall von Untertischspeichern und variable Leistungen ergibt sich eine Strom einsparung. Bei Ersatz von Gasdurchlauferhitzern entsteht zwar ein zusätzlicher Stromverbrauch, um fossile Energien einzusparen, dieser wird zunehmend erneuerbar und wird durch Strom einsparungen bei den Heizungsumwälzpumpen mehrfach kompensiert. Der Zuwachs elektrischer Kraftwerksleistung beträgt maximal 5,8 GW. Dem steht eine Einsparung von rund 2 GW Kraftwerksbedarf durch Modernisierung der Umwälzpumpen in Wohn- und Zweckbauten gegenüber. Im Saldo kann der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung und der Zubau dezentral elektrischer Warmwasserbereitung netztechnisch schrittweise bis 2050 harmonisiert werden.

Die elektronischen Durchlauferhitzer gehören durch ihren einfachen und materialsparenden Systemaufbau zu den niedriginvestiven Maßnahmen der Energieeinsparung. Die Amortisation des erforderlichen Investitionsvolumens im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand von 12 Mrd. EUR ist innerhalb von 8 bis 14 Jahren gegeben. Beim Ersatz von Gasdurchlauferhitzern verbessert die künftig weiter sinkende Differenz zwischen Elektrizitäts- und Gaspreis die Wirtschaftlichkeit elektrischer Lösungen und es ist ohnehin eine Alternative zum gasbasierten Betrieb von Durchlauferhitzern erforderlich. Eine Förderung durch die BAFA und Informationskampagnen für Hauseigentümer, technische Abteilungen von Wohnungsbaugesellschaften, Investoren, Hausverwaltern und Betreiber von Nichtwohngebäuden können die Modernisierungsquote erhöhen.

Den Verbrauchern steht mit dem elektronischen Durchlauferhitzer eine seit Jahrzehnten im Einsatz erprobte, wirtschaftliche und CO₂-sparende Technik zur Verfügung, die den fossilen Energieeinsatz bei der Warmwasserbereitung beenden kann.



*Adeline Wagner
Referentin Energie und Politik
CLAGE GmbH*

1. Kurzfassung

Die dezentrale elektrische Trinkwarmwasserbereitung (TWW) mit elektronischen Durchlauferhitzern bietet die Lösung für eine dringend benötigte Modernisierungsstrategie zur Effizienzsteigerung im TWW-System unserer 22,5 Mio. Wohn- und Nichtwohngebäude.

Die Wärmewende erfordert Effizienz in allen Energieverbrauchsbereichen, damit sektorübergreifend die neue Energieerzeugungsinfrastruktur auf Basis erneuerbarer Energien nur die wirklichen Bedarfe versorgen muss. Im haustechnischen Sektor der TWW spielt der Einsatz elektronischer Durchlauferhitzer eine neue und zentrale Rolle. Diese Technik erhöht die Umwandlungswirkungsgrade, beseitigt ersatzlos jährlich 2,5 TWh Bereitschaftsstromverbrauch von rund 15 Millionen veralteten Warmwasserspeichern und lässt, verbrauchsnahe platzierbar, Wärmeverluste durch Zirkulationsleitungen der Vergangenheit angehören. Die Entlastung von der TWW unterstützt die Effizienz der Elektrowärmepumpen durch Erhöhung ihrer JAZ. Unterstützt durch die Decarbonisierung der Stromerzeugung, sinken die CO₂-Emissionen der TWW-Bereitung langfristig um 2,6 Mio. Tonnen pro Jahr. Nicht zuletzt wird der für die Herstellung und Modernisierung des TWW-Systems in Deutschland erforderliche „graue Energieeinsatz“ reduziert.

Die neue Rolle der dezentralen elektrischen TWW basiert auf dem Fortschritt in den elektronischen Bauteilen und in der Verwendung von Ökostrom, der Dank dezentral-elektrischer TWW auch in für eine gebäudeeigene EE-Erzeugung nicht geeigneten Gebäuden nutzbar ist. Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sowie der Aufwand für die Legionellenvorsorge im TWW-System sinken oder entfallen. Die Integration in das künftige Stromnetz, der geringe Gleichzeitigkeitsfaktor der dezentral-elektrischen TWW und ihre zu den Lastspitzen im Stromnetz zeitlich versetzte Nutzung in den Gebäuden führen zu einer gleichmäßigeren Stromnetzauslastung. Der Ausbau des dezentralen TWW-Systems lässt sich künftig mit dem ohnehin erforderlichen Stromnetzausbau und den Fortschritten im kleinräumigen Lastmanagement harmonisch gestalten.

Abb. 2 gibt einen Überblick über die Stromeinsparung durch Modernisierung der vorhandenen elektrischen Warmwasserbereitung. Insbesondere die kleinen und mittleren elektrischen Warmwasserspeicher sind durch die Technik des elektronischen Durchlauferhitzers überholt.

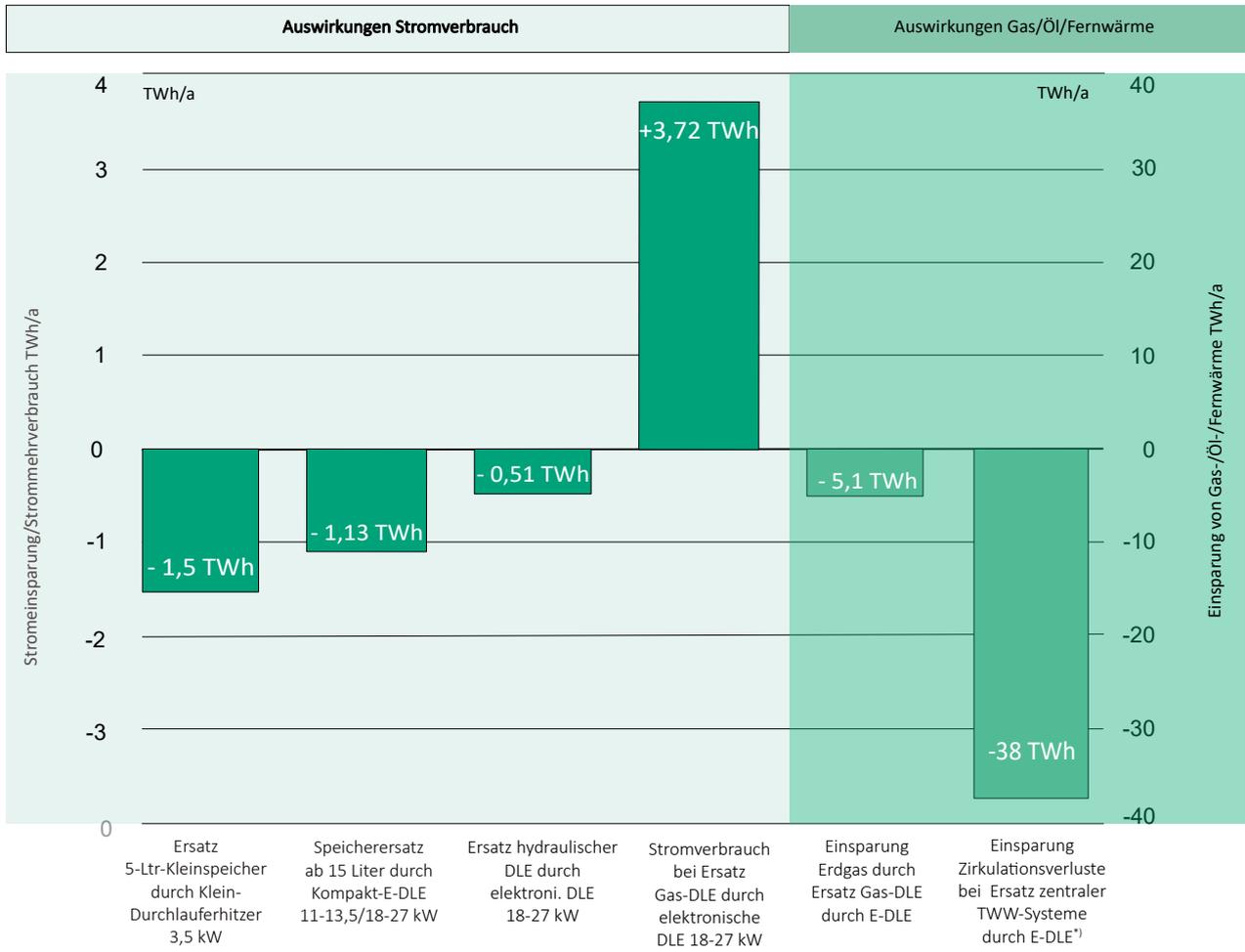
Durch Ersatz von Gas-DLE durch elektrische DLE können „erdgasfreie Quartiere“ entstehen und national über 5 TWh Erdgas pro Jahr eingespart werden. Die Bilanz des hierbei auftretenden Strommeherverbrauchs in Höhe von 0,8 Prozent des heutigen nationalen Stromverbrauchs mit dem Stromeinsparpotenzial in diesem Sektor ist fast ausgeglichen. So werden bspw. die Wirkungsgrade älterer hydraulischer E-Durchlauferhitzer durch ihr elektronisches Pendant um 25 % erhöht. Unter Einbezug der Stromeinsparung durch Modernisierung von Heizungsumwälzpumpen in Höhe von 14,5 TWh pro Jahr wird die Bilanz positiv.

Die Decarbonisierung benötigt höchste Effizienz in allen Energieanwendungen, die dezentral-elektrische TWW bietet sie für ihren Sektor. Gleichzeitig ermöglicht Ökostrom den weitgehend CO₂-freien Betrieb der elektrischen TWW. Dies sind neue Rahmenbedingungen und gute Voraussetzungen für ein System der Warmwasserbereitung in unseren Gebäuden, das ohne fossile Energien auskommt und zu „geringinvestiven“ Bedingungen geschaffen werden kann. Tab. 1 gibt einen Überblick über die Hauptergebnisse der Studie und ihre Randbedingungen.

Abb1. Ein elektrischer Warmwasserspeicher hat ausgedient. Ersatz erfolgt durch die beste Technik den elektronischen Durchlauferhitzer.



Abb.2: Stromeinsparpotenzial durch dezentral elektrische Systeme im Gebäudebestand



Tab 1: Hauptergebnisse einer Modernisierungsstrategie mit dezentral-elektrischer TWW-Bereitung

	Einheit	Tausch 5-Ltr.-Kleinspeicher zu Klein-DLE 3,5 kW	Tausch 10-50 Ltr.-Speicher zu elektron. E-DLE 11-13,5 kW	Tausch E-DLE hydraulisch zu E-DLE elektronisch 18-27 kW	Tausch Gas-DLE zu E-DLE elektronisch 18-27 kW	Tausch 80-150 Ltr.-Speicher zu E-DLE 18-27 kW
Geräteanzahl national	Mio. Stck	11,9	0,4	3,5	4,3	2,1
Anteil am Wohnungsbestand	%	3,8 %	1,0 %	21,9 % <small>60 % bereits erneuert</small>	10,8 %	5,3 %
Anzahl im Wohnungsbestand ^{*)}	Mio. Stck.	1,5	0,4	3,5	4,3	2,1
Anzahl im Nichtwohngebäudebestand	Mio. Stck.	10,4	-	-	-	-
Bereitschaftsstromverbrauch	kWh/d	0,284	0,7	-	-	1,34
Wirkungsgrad DLE	η	-	-	DLE-alt η 0,83 E-DLE-neu η 0,97	Gas-DLE η 0,72 E-DLE-neu η 0,97	-
Stromeinsparung	TWh/a	1,5	0,1	0,51	keine: + 3,72	1,03
Summe Stromeinsparung	TWh/a	3,14				
Stromeinsparung v. 484 TWh/a	%	0,3	0,02	0,1	Mehrbedarf 0,8%	0,2
Gaseinsparung Ersatz Gas-DLE	TWh/a	-	-	-	- 5,01	-
Gleichzeitigkeitsfaktor	%	0,044	0,044	0,044	0,044	0,044
Erhöhung Netzspitzenlast	GW	Keine Veränderung durch geringe Gleichzeitigkeit und Lage der Hauptnutzungszeiten außerhalb der wöchentlichen Spitzenlast im Stromnetz				
CO _{2e} -Faktoren	kg/kWh	0,402	0,402	0,402	0,280/0,021	0,402
CO _{2e} -Einsparung	Mio. to/a	0,495	0,041	0,204	1,4 <small>Gas zu Windstrom onshore</small>	0,415
Kosten eingesparte Tonne CO ₂ Wohngebäude/Nichtwohngebäude	EUR/to	486/368 ^{**)}	597/-	1398/-	339/-	417/-
Investitionen national brutto	Mrd. EUR	2,9	0,37	4,3	6,7	2,6
Investition national unter Abzug "ohnehin-Kosten"	Mrd. EUR	1,31	0,31	1,32	2,4	1,54
BEG- Fördersumme zur Erzielung Wirtschaftlichkeit ^{***)}	Mrd. EUR	-	0,079	2,96 <small>0,19 p.a. über 15 a</small>	4,3 <small>0,43 p.a. über 10 a</small>	-
Stromkosteneinsparung 1. Jahr	Mrd. EUR	0,621	0,04	0,203	keine	0,412
Mehrkosten Umstellung Gas-DLE auf E-DLE (Verbrauchskosten)	Mrd. EUR/Jahr	-	-	-	0,89 ^{****)}	-
Energiekosten spez.	EUR/kWh	0,40/0,32 _{NWGeb.}	0,40	0,40	0,40/0,12 _{Gas}	0,40
Amortisation dynam. Vollkosten	Jahre	6	10	27	keine	7
Amortisation dynam. mit Abzug "Ohnehin-Kosten"	Jahre	3	5	8	keine	5
Barwert Netto (ohne Ohnehin-Kosten) über 15 Jahre	Mrd. EUR	0,9/6,2 ^{***)}	0,41	3,5	negativ	2,8
Anteile Duschen+Waschtisch an TWW-Bedarf	%	-	-	67	67	-
Haushaltsgröße	Personen/HH	2	2	2	2	2
TWW Nutzenergie	kWh/Person	600	600	600	600	600

*) zzgl. Zeile 6 **) Wohngebäude/Nichtwohngebäude ***) in einem 15-Jahres-BEG-Förderprogramm ca. 200 Mio. EUR/a *****) entspricht Mehrbelastung von 206 EUR/Jahr und Haushalt bei 12 Cent pro kWh Erdgas und 40 Cent pro kWh HH-Strom; Quelle: Berechnung Energieinstitut Hessen

2. Energiewende schafft neue Rahmenbedingungen für die TWW

Von den jährlich 658 TWh Endenergieverbrauch für Wärmeanwendungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden entfallen 131 TWh p.a. oder 20 % auf die TWW-Bereitung.¹ Mit der Energiewende endet mit Verzicht auf fossile Energien die Ära der Dampfmaschine, die hohe CO₂-Belastung der Elektrizität aus Wärmekraftwerken wird durch die Solar- und Windkraftwerke auf ein Minimum reduziert. Die CO₂-Emissionsfaktoren der Stromerzeugung² gehen von 0,402 kg CO₂ pro kWh für den derzeitigen deutschen Strommix sowie 1,054 kg CO₂ pro kWh für Braunkohlestrom² auf 0,02 kg CO₂ pro kWh für z.B. onshore-Windkraftwerke zurück, gleichzeitig entfallen die hohen Wirkungsgradverluste der Wärmekraftwerke. Auch dort, wo gebäudeintegrierte EE-Anlagen für eine erneuerbare Stromerzeugung nicht einsetzbar sind, ermöglicht die Technik der elektronischen Durchlauferhitzer die Nutzung von Ökostrom aus den Netzen der öffentlichen Stromversorgung. Zusammen mit der erneuerbaren Energieerzeugungstechnik entsteht die Chance, die CO₂-Emissionen dieses Anwendungsbereiches mittelfristig nahe Null zu bringen.

Mit diesen Umweltdaten eröffnet die Decarbonisierung der Stromversorgung neue Wege für den Einsatz der elektrischen Trinkwarmwasserbereitung (TWW) mittels elektronischer Durchlauferhitzer. Gleichzeitig ist der Erfolg der Energiewende an die Ausschöpfung aller verfügbaren Effizienzpotenziale gebunden. Hierzu leistet wiederum die dezentrale elektrische Warmwasserbereitung einen Beitrag. Die bisher auf fossile Energien ausgerichteten TWW-Bereitungssysteme mit einem hohen Zentralisierungsgrad im Gebäude sind durch hohe Energieverluste geprägt, auch dezentrale TWW-Systeme befinden sich kaum auf dem neusten technologischen Standard. Der Anteil der Energieverluste durch die WW-Zirkulation im Gebäude beträgt bis zu 50

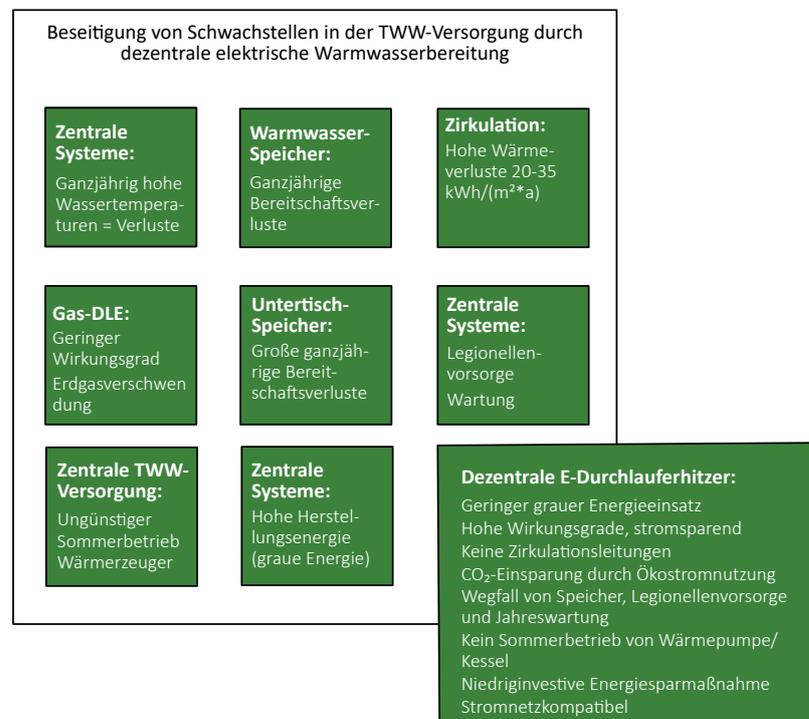
Prozent des Energieaufwandes der TWW oder 15 kWh/(m²*a).³

Zu den Effizienzmängeln der bisherigen technischen Systeme gehören:

- Sommerbetrieb großer Heizkessel für die TWW, Konsequenz: geringe Wirkungsgrade,
- geringere sommerliche JAZ durch die TWW-Bereitung von Wärmepumpen,
- dauerhafte Energieverluste von Trinkwarmwasserspeichern in unbeheizten Kellern,
- Energieverluste über Warmwasser-Zirkulationsleitungen,
- Hohe Wasserablaufverluste durch lange Stichleitungen zur Zapfstelle,
- hohe ganzjährige Bereitschaftsverluste elektrischer Untertischspeicher,
- vermeidbarer Elektrizitätsverbrauch hydraulisch-elektrischer Durchlauferhitzer,

- Erdgaseinsatz in Gas-Durchlauferhitzern in Bädern und Küchen,
- Stromnetzbelastung durch ganzjährige und ständige Wiederaufheizvorgänge von elektrischen Untertischspeichern vor allem in Nichtwohngebäuden,
- Umwälzpumpenstromverbrauch und Netzbelastung durch dauerhaft netz wirksame elektrische Leistung bei Speicherlade- und Zirkulationspumpen.

Abb. 3: Effizienzmängel in gegenwärtigen TWW-Systemen und ihre Auflösung durch dezentrale elektrische Durchlauferhitzer



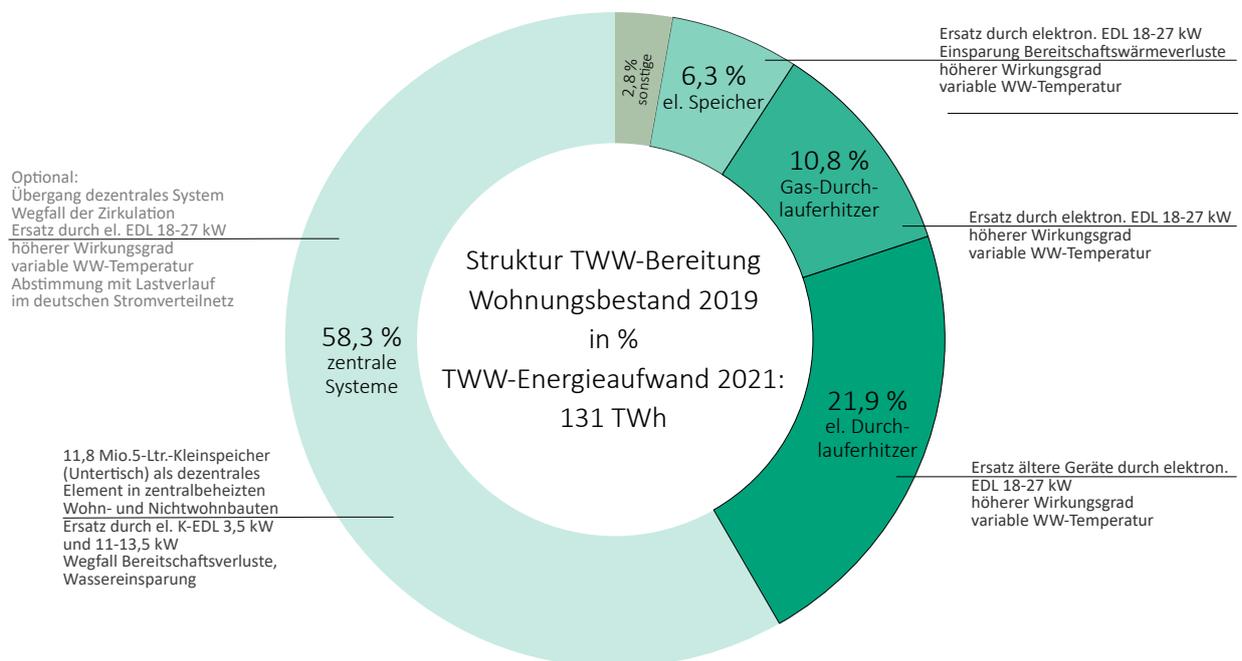
Das Effizienzgebot der Energie- und Wärmewende wird in diesem Verbrauchssektor von elektrischen TWW-Bereitungssystemen unterstützt. Des-sen Beiträge sind:

- Betrieb der TWW-Bereitung durch Strom aus erneuerbaren Energiequellen,
- Erhöhung der Umwandlungswirkungsgrade,
- Senkung oder Beseitigung von Gerätebereitschaftsverlusten,
- Beseitigung von hohen Zirkulationswärmeverlusten in zentralen TWW-Systemen,
- Umstellung gasbasierter Warm-

wasserbereitung auf erneuerbare Energien mit Erhöhung der Wirkungsgrade.

Die Struktur der heutigen Warmwasserbereitungssysteme und Lösungsmöglichkeiten für bessere Effizienz durch elektronische Durchlauferhitzer gibt Abb. 4 wieder.

Abb. 4: Struktur der TWW im Wohnungsbestand und Lösungsansätze zur Effizienzsteigerung



Grafik: Energieinstitut-Hessen; Daten: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., bdew-Studie, "Wie heizt Deutschland?", 2019

3. Methodik und Datenquellen

Die Studie berechnet das Elektrizitäts- und CO₂-Einsparpotenzial durch den Einsatz elektronischer Durchlauferhitzer in der Warmwasserbereitung des deutschen Gebäudebestandes und untersucht hierzu die folgenden Fälle:

- Ersatz von Untertischspeichern mit hohen Bereitschaftsverlusten in Wohn- und Nichtwohnbauten durch elektronische Elektro-Klein-Durchlauferhitzer mit 3,5 kW elektrischer Leistung.
- Ersatz von 5-15 Liter-Untertischspeichern in der Küchen-Spültischversorgung durch 11-13,5 kW elektronische Durchlauferhitzer.
- Ersatz von veralteten hydraulischen Elektro-Durchlauferhitzern in Küchen von Wohnbauten durch elektronische Durchlauferhitzer mit 18 – 27 kW elektrischer Leistung.
- Ersatz von Gas-Durchlauferhitzern durch elektronische Elektro-Durchlauferhitzer mit 18 – 27 kW elektrischer Leistung als Komfortgeräte.
- Ersatz der zentralen TWW-Versorgung aus Kesseln und Wärmepumpen durch elektronische Durchlauferhitzer, um die hohen Zirkulationsverluste bei zentraler TWW-Bereitung zu beseitigen und den grauen Energieeinsatz für die TWW-Bereitstellungstechnik zu reduzieren. Diese Option wird hier nicht vorgestellt.

Die für die Potenzialberechnung erforderlichen Daten wurden aus den folgenden Datenquellen entnommen:

- Marktdaten der Elektroindustrie und ihres Verbandes ZVEI und VDEW zu Kleinspeichern und Elektro-Durchlauferhitzern.
- Impulsprogramm Hessen/Institut Wohnen und Umwelt, Tobias Loga, Energie-Pass Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001.⁴

- Institut Wohnen und Umwelt, Tobias Loga, Energiebilanz-Toolbox, Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001⁵
- Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Conrad U. Brunner, Verminderung des elektrischen Energieverbrauchs in Gebäuden, Zürich 1986⁶; Die Studie enthält Strukturdaten des Elektrizitätsverbrauchs und seiner Schwerpunkte für 22 Gebäudetypen, insbesondere des Nichtwohnbaus.
- CLAGE GmbH, Technische Informationen, Lüneburg, fortlaufend mit Informationen zum Einsatz elektrischer Durchlauferhitzer⁷
- CLAGE GmbH, Modernisierung des Gebäudekomplexes „die Welle“ in Frankfurt am Main, Lüneburg 2019⁸
- CLAGE GmbH, Darstellung meßtechnischer Ergebnisse des regionalen Stromversorgers Celle-Uelzen-Netz GmbH über die Leistungsmessung der elektronischen Durchlauferhitzer im Mehrfamilienhaus „Quadrohaus“ (8 WE), Lüneburg 2020⁹
- DIN 18015-1 : 2020-5, Hinweise für die Errichtung von elektrischen Anlagen in Wohngebäuden, mit Gleichzeitigkeitsfaktoren in Abhängigkeit der Wohnungsanzahl
- Forschungsprojekt IR-Bau, Prof. Dr. Thomas Stark, u.a., Potenzial für Infrarot-Heizsysteme für hocheffiziente Wohngebäude, Darmstadt/Kaiserslautern 2020¹⁰
- DIN 4701-10.¹¹
- BBU, Verband der Berlin-Brandenburgischen Wohnungswirtschaft e.V., ALFA-Handbuch – Allianz für Anlagenenergieeffizienz¹², Berlin o.J. Das Handbuch zeigt hohe TWW-Zirkulationsverluste aus Messungen an über

21 Mehrfamilienhäusern der Wohnungswirtschaft

- Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE, Energieeinsparpotenziale durch Optimierung bestehender Trinkwassersysteme, München 2017¹⁴
- Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 2: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021; enthält Daten zu Repräsentanz von Heizungsverteilsystemen.¹⁵
- Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft, Bericht 5: EAV-Anwendung in den Liegenschaften „Behringstrasse“ der Nibelungen Wohnbau GmbH (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021. Der Bericht zeigt die teils hohen TWW-Zirkulationsverluste im analysierten Altbau der WBG¹⁶
- BaltBest, Bis zu 20 % Heizkosten sparen, in: Wohnungswirtschaft heute online 2022; Überblick über die Ergebnisse dieser wohnungswirtschaftlichen Untersuchung niedriginvestiver Energiesparmassnahmen mit Angaben zur Ineffizienz der Zirkulationssysteme.
- BaltBest, Foliensatz Prof. Grinewitschus, ohne Ort, 2022
- BaltBest, Abschlussbericht zum Vorhaben BaltBest Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand, Bochum 2022. Bericht zeigt umfangreiche Mängel in der Peripherie der Heizkessel, geringere Jahreswirkungsgrade und hohe Warmwasserenergieverbräuche in MFH.¹⁷
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Heizungsmarkt Wohnungswirtschaft, Berlin 2016.

Auswertung der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 Stichtag: 9.5.2011		Baualtersklassen										Summe	Anteil
		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")

Abbildung 5: Deutsche Wohngebäudetypologie - Strukturdaten

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Ausgangsdaten der Wohngebäudetypologie nach einzelnen Gebäudetypen nach dem aktuellen Stand im TABULA-Projekt.²⁷ Tabelle 2 zeigt die Bestandsdaten der Nichtwohngebäudetypologie mit den einzelnen Gebäudetypen bis zum Jahr 2014. Diese Typologie enthält nur die „EnEV-relevanten“ beheizten Nichtwohngebäude.

Tabelle 1: Übersicht Baualtersklassen der Wohngebäudetypologie

Wohngebäude-Typ	Anzahl Wohngebäude	Wohnfläche	Anzahl Wohneinheiten	Wohngebäude-Typ	Anzahl Wohngebäude	Wohnfläche	Anzahl Wohneinheiten
Einfamilienhäuser	Gebäude	m²	WE	Kleine MFH	Gebäude	m²	WE
EFHA-1918	330.000	46.000.000	399.000	MFHA-1918	54.000	16.000.000	214.000
EFHB-1918	966.000	135.000.000	1.213.000	MFHB-1918	442.000	163.000.000	2.177.000
EFHC-1919	1.131.000	150.000.000	1.389.000	MFHC-1919	388.000	129.000.000	1.911.000
EFHD-1949	859.000	116.000.000	1.060.000	MFHD-1949	356.000	125.000.000	2.003.000
EFHE-1958	1.509.000	218.000.000	1.948.000	MFHE-1958	586.000	225.000.000	3.348.000
EFHF-1969	1.507.000	233.000.000	1.915.000	MFHF-1969	412.000	169.000.000	2.313.000
EFHG-1978	704.000	110.000.000	881.000	MFHG-1978	146.000	64.000.000	852.000
EFHH-1984	1.160.000	178.000.000	1.397.000	MFHH-1984	309.000	133.000.000	1.826.000
EFHI-1995	1.035.000	158.000.000	1.204.000	MFHI-1995	244.000	104.000.000	1.390.000
EFHJ-2003-09	775.000	119.000.000	858.000	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	GMHA-1918	600	700.000	11.000
RHB vor 1918	492.000	62.000.000	617.000	GMHB-1918	28.700	35.800.000	526.000
RHC-1919	710.000	82.000.000	840.000	GMHC-1919	7.400	7.900.000	126.000
RHD-1949	447.000	52.000.000	546.000	GMHD-1949	17.300	17.000.000	308.000
RHE-1958	633.000	76.000.000	749.000	GMHE-1958	34.000	47.100.000	818.000
RHF-1969	611.000	79.000.000	685.000	GMHF-1969	50.100	86.700.000	1.366.000
RHG-1978	335.000	45.000.000	374.000	GMHG-1978	15.000	21.900.000	356.000
RHH-1984	652.000	85.000.000	722.000	GMHH-1984	28.700	34.800.000	605.000
RHI-1995	619.000	80.000.000	674.000	GMHI-1995	20.900	25.500.000	408.000
RHJ-2003-09	384.000	52.000.000	409.000	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
				HH-1960 ff.	14.791	51.900.000	576.667

Gebäude-Typ	Anzahl Gebäude	Nettoraumfläche*)
Nichtwohngebäude	Stck.	m²
Büro-, Verwaltungs-, Amtsgebäude	307.000	477.865.000
Forschung-, Hochschulen	23.000	36.996.000
Gesundheit, Pflege, Krankenhäuser	63.000	98.656.000
KiTa, KiGa, Betreuung	154.000	240.474.000
Kultur, Freizeit	141.000	218.893.000
Sportgebäude	78.000	120.237.000
Beherbergung, Unterbringung, Gastronomie	270.000	419.288.000
Produktion-, Werkstatt, Lager-, Betriebsgebäude	666.000	1.038.971.000
Handelsgebäude	187.000	289.802.000
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	70.000	107.905.000
Verkehrsgebäude	22.000	33.913.000
Summe Nichtwohngebäude	1.981.000	3.083.000.000
*) davon 91,6 % Zentralheizung; Quelle: Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Enob, Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude, ENOB: dataNWG, Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Darmstadt 2022.		

Tabelle 2: Übersicht Gebäudetypen der Nichtwohngebäudetypologie

Die Wohngebäudetypologie umfasst alle Wohnbauten bis Baujahr 2009, die Typologie der Nichtwohngebäude alle Nichtwohnbauten bis zum Baujahr 2014. Damit werden alle Gebäudetypen mit technisch veralteten Heiz- und TWW-Systemen erfasst.



4. Beschreibung der Technik des elektronischen DLE und Rahmenbedingungen

4.1 Technik des elektronisch geregelten Durchlauferhitzers

Elektronisch geregelte Durchlauferhitzer wurden etwa ab 1990 in den Markt eingeführt. Es gibt sie in verschiedenen Größenklassen für unterschiedliche Anwendungen für Küche, Toiletten-Handwaschbecken, Bad und gewerblichen Warmwasserbedarf in Gewerbe, Handel und Handwerk. Gegenüber den bisherigen Systemen der Trinkwarmwasserbereitung weisen sie eine Reihe von Vorteilen auf und gehören aufgrund dessen zu den effizienzsteigernden Techniken in diesem Sektor.

- Ihr Aufbau ist kompakt, einfach und wartungsarm.
- Gegenüber Warmwasserspeichern weisen sie keine Bereitschaftsverluste auf. Stromverbrauch entsteht nur im Zeitraum des Zapfvorganges.
- Ihr Umwandlungswirkungsgrad liegt bei 97 %.
- Die Wassertemperatur wird elektronisch im Gerät geregelt, indem aus der Kaltwassertemperatur, der Durchflussmenge und der am Gerät eingestellten Auslauftemperatur die notwendige elektrische Leistung berechnet wird. So folgt ihre Leistungsaufnahme stets dem Anwendungszweck. Für eine Dusche bei 38°C (12°C Einlauftemperatur und 9 l/min Durchfluss) entstehen statt der maximal möglichen Geräteleistung von 27 kW nur 16,3 kW Leistungsaufnahme. Wird nur ein Handwaschbecken mit 4 l/min und 35°C versorgt, sinkt die Leistung sekundenschnell auf 6,4 kW.
- Bei Einsatz von elektronischen Durchlauferhitzern entfallen die Zirkulationsverluste im Gebäude und die Abkühl- und Wasserverluste langer Stichleitungen zwischen zentral geführtem Zirkulationsstrang und Zapfstelle.
- Die typische Anschlussleistung eines E-Durchlauferhitzers bei Ver-

sorgung eines Badezimmers beträgt 18 bis 27 kW. Diese Volllast wird nur bei Abruf der Maximaltemperatur von 60°C bei hohem Durchfluss erreicht. Dusch- und Badewassertemperatur liegen hingegen bei 38 bis 40 °C, für deren Bereitung ca. 16,3 kW Leistung benötigt werden. Die dez. TWW besitzt einen geringen Gleichzeitigkeitsfaktor im Betrieb, die einzelnen Anschlussleistungen der Geräte addieren sich nicht einfach. Ab 100 WE sind nur noch weniger als 5 % der Geräteleistungen gleichzeitig am Netz.

- Dezentrale elektrische TWW-Systeme sparen gegenüber zentralen Systemen „graue Energie“, die Materialien für die Herstellung von Speichern, Rohrleitungen, Dämmung und Umwälzpumpen. Im Hinblick auf Neubau und Modernisierung eine umwelt- und kostenseitige Entlastung.

Die Studie betrachtet die folgenden Techniken in der Altbaumodernisierung:

In dieser Studie richtet sich das Augenmerk auf die oben genannten Modernisierungsfälle im Gebäudebestand von Wohnbauten. Bei den Nichtwohnbauten beschränkt auf die Modernisierung vorhandener Untertisch-Kleinspeicher durch Klein-E-Durchlauferhitzer, da hier Kleinspeicher in hoher Stückzahl installiert sind. Mangels belastbarer Daten über weitere im Nichtwohnbau existierender elektrischer Systeme zur TWW-Bereitung können sie hier keiner Betrachtung unterzogen werden.

4.2 Rahmendaten der Berechnung

Die Berechnung wird unter den folgenden Rahmendaten durchgeführt, eine weitere Übersicht über alle Randbedingungen enthält Tabelle 1:

- Betrachtungszeitraum 15 Jahre
- Wirtschaftlichkeitsberechnung: Haushalte 0,40 Cent/kWh
- Wirtschaftlichkeitsberechnung: Nichtwohnbauten 0,32 Cent /kWh
- Strompreissteigerung 2 % pro Jahr
- Kapitalzins 3,5 % pro Jahr
- Wasserpreis 4,20 €/m³
- Wasserpreissteigerung 2 % p.a.
- CO₂-Faktor Elektrizität heute 0,402 kg/kWh
- CO₂-Faktor Windstrom Inland: 0,021 kg/kWh
- CO₂-Faktor Erdgas heute: 0,280 kg/kWh
- Nutzenergie Warmwasser pro Person 600 kWh pro Jahr
- Personen pro Wohneinheit: 2
- Durchflussmenge Kleinspeicher 4 Liter/min.
- Durchflussmenge Klein-EDL 3,5 kW 2 Liter/min.
- Anteil Duschen/Waschtisch am Haushalts-TWW-Verbrauch: 67 %



Abb.6: Erster E-Durchlauferhitzer mit WLAN-Steuerung, 2005

4.3 Entwicklungsweg der Firma CLAGE Von der Hydraulik zur Elektronik

Die Warmwasserbereitung war in der Nachkriegszeit noch das Wasserschiff auf dem Küchenherd, den Kohlebadofen und die Wasserkessel geprägt. Deshalb stand am Anfang die Abhilfe für ein Problem, die Ablösung von alten unbequemen und energieaufwendigen Methoden der Warmwasserbereitung durch komfortable und doch sparsame Systeme des elektrischen Durchlauferhitzers.

Stand der Technik wurde von 1956 bis 1994 der hydraulische Durchlauferhitzer. Kaltwasserhähne wurden zu Warmwasserquellen. Kleine kompakte Geräte waren schon vom Start weg typisch für die Produkte der Firma CLAGE. Der „Bierdeckel“ wurde 1956 der erste DLE genannt.

Ab 1994 entstand in der die Debatte um die Stromeinsparung in der Haustechnik die Produktion von elektronischen Durchlauferhitzern. Die Zeit war reif: Die Elektronik löste die hydraulischen Systeme ab. Innerhalb von 25 Jahren immer wieder verbessert, entwickelte sich diese Technik zu einer effizienten Gerätefamilie für alle Bedarfsfälle in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Die heutige Netzkonnektivität der Durchlauferhitzer ermöglicht eine flexible Anpassung der Gerätenutzung an die Stromnetzbelastung und spart Stromkosten im Rahmen der kommenden zeitvariablen Stromtarife.

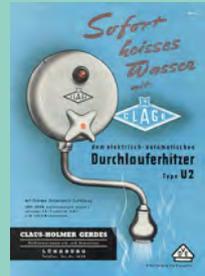


1956

Der Durchlauferhitzer S1 bis S3 mit integriertem Wasserventil und Blankdrahttechnik im Grundkörper verwandelt Kaltwasserhähne in Warmwasserquellen. Ab 1956 beginnt der Verkauf.

1961

Der U 2 mit Sicherheitsautomatik löst als Klein-Durchlauferhitzer an der Zapfstelle die erste Serie ab.



1981

Mit dem Durchlauferhitzer M 1 ändert sich nicht nur das Design, auch die im Auslaufkopf integrierte „Wassersparfunktion“ tritt nach der Energiekrise hinzu.

1989

Die Nachfrage entwickelt sich nach 1989 stürmisch. Die neue C-Serie erfüllt nun die Anforderungen zur Versorgung von Küchenspülen.



1994

Die Ära der elektronischen Durchlauferhitzer verschiedener Leistungsstufen beginnt. Das Stromsparen und die Komfortsteigerung gehören zum Programm von CLAGE.

2005

Die Konnektivität beginnt: Vernetzung von Durchlauferhitzer und Mobiltelefon.



2002

Den seit 20 Jahren erfolgreichen Kleindurchlauferhitzer ab 3,5 kW Leistung gibt es in elektronischer Bauart. Alle Geräte werden nun immer stromeffizienter.

2020 -2022

Komplett erneuerte Serie. Elektronische Durchlauferhitzer aller Leistungen. Mit unterschiedlichem Bedienkomfort von Bedienfeld und Fernbedienung bis hin zur Sprachsteuerung, Monitoring und Echtzeit-Feedback. Dem Einsatz innerhalb last geregelter Stromnetze steht nichts mehr im Wege.



5. Einsparpotenziale: Kosten, CO₂-Einsparung, Wirtschaftlichkeit

5.1 Ersatz elektrischer Kleinspeicher durch Klein-Durchlauferhitzer

5.1.1 Technikbeschreibung und Mengengerüst

Das Haupteinsatzfeld der elektrischen Kleinspeicher mit 5 Litern Wasserinhalt liegt in den Nichtwohnbauten, z.B. an Waschtischen in den Toilettenanlagen, in Hotelbadezimmern und Sanitärräumen. Hier bilden Versammlungs- und Beherbergungsbauten, die Schul- und die Büro- sowie Industriebauten die Einsatzschwerpunkte, aber auch im Bereich des Handels sind Elektro-Kleinspeicher eine präasente Technik. Die diesbezüglichen Absatzstatistiken der Hersteller summieren sich auf eine Stückzahl von 10,4 Mio. elektrischen Kleinspeichern. Im Wohnungsbau ergibt sich aus der Erhebung des IWU mit Anpassung der Daten von 2010 auf 2022 ein Anteil von 3,8 Prozent Kleinspeicher an allen Wohnungen, entsprechend 1,5 Mio. Stück²⁸. In den Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland sind demzufolge rund 11,9 Mio. Kleinspeicher als 5-Liter-Untertischspeicher installiert.

Im Wohnungsbau werden die elektrischen Kleinspeicher als Untertisch-Zusatzgeräte zur Versorgung einzelner Zapfstellen wie Handwaschbecken, Küchenwaschtisch oder in Toiletten und an ungünstig zentral zu versorgenden Zapfstellen eingesetzt, seltener auch als wandhängende Geräte über der Küchenspüle. Der Hauptteil der TWW-Versorgung erfolgt zentral über Kessel oder Wärmepumpe. Der übliche 5-Liter-Speicher mit 230-Volt-Steckeranschluß hat eine elektrische Anschlussleistung von 2 kW. Heute marktgängige Kleinspeicher weisen Bereitschaftsverluste von durchschnittlich 0,284 kWh pro Tag²⁹ sowie Wassertemperaturen bis 60 °C auf. Für den Anwendungsfall Händewaschen besitzen

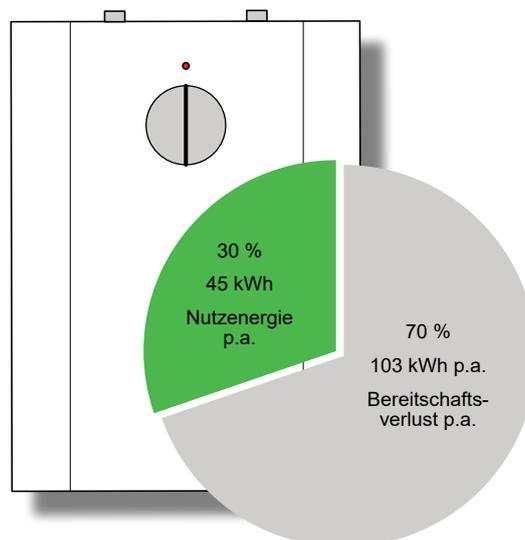


Abb. 7: Größenverhältnisse - Elektro-Kleindurchlauferhitzer, effiziente Lösung für Waschtische; Bild: CLAGE

sie recht große Wasserausflussmengen von 4 Ltr./Minute. Die Bereitschaftsverluste fallen an allen 365 Tagen des Jahres an (8760 h), auf sie entfallen rund 70 % jährlichen Energieeinsatzes pro Zapfstelle, während die Inanspruchnahme der Nutzenergie sich nur über 6-10 Stunden des Jahres addiert. Die erforderlichen

Aufheizvorgänge stellen eine eng getaktete, regelmäßige Stromnetzbelastung dar, die nicht mit dem Ziel der künftigen zeitvariablen Tarife harmonisiert. Durch die meist für eine Bedienung ungünstige Anordnung in Spülchränken unter Tisch bleiben die Geräte unverändert auf der einmal eingestellten hohen Temperaturstufe. Erst an der Zapfstelle wird die gewünschte Wassertemperatur durch Beimischung von Kaltwasser in der Armatur geregelt. Typisch sind bei Altgeräten zusätzliche Tropfwasserverluste durch Druckerhöhung während der Aufheizvorgänge. Für diese Studie wurden die Betriebsbereitschaftsverluste heutiger Geräte von 9 marktführenden Herstellern mit i. Mittel 0,284 kWh/d und Speicher angenommen. Der Gerätebestand weist auch ältere Speicher mit höheren Verlusten auf³⁰, dem stehen jedoch auch Speicher mit niedrigen Wassertemperaturen im Gesamtbestand gegenüber.

Abb 8: Kleinspeicher – 70 % des Stromesinsatzes verpufft ungenutzt



Seit der Entwicklung von elektronischen Klein-Durchlauferhitzern ist die Technik der elektrischen Kleinspeicher veraltet und ineffizient. Die energieeffiziente Alternative ist der elektronische Klein-Durchlauferhitzer mit 3,5 kW Leistung. Seine Vorteile: Die elektrische Leistung des Klein-EDL von 3,5 kW wird nur während der Zapfung beansprucht, wodurch die hohen Bereitschaftsverluste von Kleinspeichern komplett entfallen. Mit der Durchflussmenge von 2 Litern pro Minute wird gegenüber 4 Litern/Minute beim Kleinspeicher über die Wassereinsparung eine weitere Stromeinsparung erzielt. Eine Wasservergeudung durch überschüssige Entnahme-

5.1.2 Strom- und Wassereinsparung

mengen entfällt. Der elektrische Wirkungsgrad der Klein-DLE liegt bei 97 Prozent.³¹

Der Ersatz der vorhandenen 11,9 Mio. Untertisch 5-Liter-Kleinspeicher durch elektrische Klein-Durchlauferhitzer von 3,5 kW Leistung führt zu den in der Tabelle 4 dargestellten Einsparungen. Für die Berechnung der Stromeinsparung wurde der Wegfall der Bereitschaftsverluste des ersetzten Kleinspeichers sowie die weiteren Strom- und Wasserkosteneinsparun-

gen durch die halbierte Zapfmenge (vermiedener Aufheizstromverbrauch) und die Wassereinsparung (Kosten) durch geringere Durchflussmenge bei der Zapfung herangezogen. Tabelle 4 zeigt das Mengengerüst für eine typische Zapfstelle sowohl im Wohn- als auch dem Nichtwohnbau. Die Zapfmengen wurden gleich angesetzt, da im Nichtwohnbau zwar die Anzahl der täglichen Zapfungen höher sind, dafür aber die Nutzung pro Jahr nicht an 365 Tagen, sondern nur an 220 Arbeitstagen anfällt.

Bei obigen Mengengerüst ergibt sich bei Ersatz aller Kleinspeicher in Deutschland

Tab. 4: Strukturdaten und Energieeinsparung bei Ersatz von Elektro-5-Liter-Kleinspeicher (Untertisch) durch Elektro-Klein-Durchlaufer-

	Einheit	Kleindurchlauferhitzer 3,5 kW	5-Liter-Speicher	Einsparung
Jahresnutzungsdauer	h/a	6,39	6,39	-
Bereitschaftstage	d/a	-	365	-
Zapfungen pro Jahr Wohn- und Nichtwohngebäude ^{*)}	Anzahl/a	2330	2330	-
spez. Wärmeinhalt Wasser	Wh/(kg*k)	1,163	1,163	-
Wassertemperaturerhöhung ΔK	K	25	25	-
Durchfluss pro Zapfung	Liter	2	4	2
Zapfmenge pro Handwäsche	Liter	0,33	0,67	0,33
Zapfmenge pro Zapfstelle	m ³ /a	0,77	1,53	0,77
Jahreszapfmenge	m³/a	0,77	1,53	0,77
Energieverbrauch pro Zapfung	kWh/a	22,29	44,58	22,29
Bereitschaftsenergieverbrauch pro Tag	kWh/d	-	0,284	0,284
Bereitschaftsenergieverbrauch pro Jahr	kWh/a	-	103,6	103,6
Jahres-Energieverbrauch pro Zapfstelle	kWh/a	22,29	147,9	124,49
Jahreskosten Energie pro Zapfstelle	€/a	8,92	59,16	49,79
Spez. Stromkosten Haushaltstarif (gedeckt 2023)	€/kWh	0,40	0,40	0,40
Jahreskosten Wasser-/Abwasser pro ZS	€/a	3,31	6,59	3,38
Summe Betriebskosten pro Jahr und ZS	€/a	12,23	65,75	53,52
Investitionskosten MCX3 brutto	€/Stück	304,88	-	-
Investitionskosten 5l-Speicher mit Armatur brutto	€/Stück	-	178,50	-
Investitions-Mehrkosten brutto	€/Stück	-	-	126,38
Amortisation dynamisch Voll-/Mehrkosten	Jahre		6/3	

^{*)} Nichtwohngebäude haben weniger Nutzungstage aber mehr Zapfungen pro Tag

eine Stromeinsparung von 1,5 TWh pro Jahr oder 0,3 % des Nettostromverbrauches im Jahr 2022 von 484 TWh/a. Bezogen auf den TWW-Verbrauch der Sektoren Wohn- und Nichtwohngebäude sind dies 1 Prozent des nationalen Endenergieaufwandes für die Warmwasserbereitung. Im Einzelfall kann die Stromeinsparung zwischen 50 und 85 % betragen. Die zusätzliche Wassereinsparung durch den halbierten Wasserdurchfluss beträgt pro Gerätetausch 0,77 m³ pro Jahr, der Ersatz aller Kleinspeicher führt zu einer nationalen Größenordnung von 8,8 Mio. m³ Erdgas pro Jahr. Einen Überblick über das Potenzial pro Zapfstelle beim Tausch von Kleinspeichern durch E-DLE gibt Abb. 9.

5.1.3 CO₂-Einsparung

Durch die Sektorkopplung ermöglichen elektrische TWW-Systeme die Nutzung von CO_{2e}-reduziertem Strom. Die CO₂-Einsparung beträgt 2022 beim CO₂-Ausstoß von 402 Gramm pro kWh rund 0,5 Mio. Tonnen pro Jahr. Unter Einbezug der Investitionskosten liegt der Preis der eingesparten Tonne CO_{2e} im Falle der Vollkosten bei 486 bzw. 368 EUR pro Tonne (Wohngebäude bzw. Nichtwohngebäude). Die Kosten der Schadensbehebung jeder emittierten Tonne CO₂-Äquiv. betragen nach Berechnungen des Umweltbundesamt 698 EUR/to CO_{2e}. Die steuerliche Belastung für das Jahr 2030 ist mit 65 EUR/Tonne CO_{2e} angekündigt. Nach Endausbau der erneuerbaren Stromerzeugung mit nahe 100-Prozent Anteil erneuerbarer Energien, stellt die elektrische TWW eine weitgehend CO₂-freie Energiedienstleistung dar.

5.1.4 Kosten- und Wirtschaftlichkeit

Kosten und Wirtschaftlichkeit wurden für die Fälle a) Vollkosten bei vorgezogenem Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer und b) Mehrkosten bei ohnehin anstehenden Kleinspeicherersatz nach 15 Jahren Lebensdauer betrachtet. Die Randbedingungen für die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Kapitel 4.2. Die Investitionskosten sind durch die steckerfertigen 230-V Geräte gering. Sie liegen bei 260 EUR Vollkosten pro Gerät mit Einbau, im Geräteersatzzeitpunkt verbleiben 110 EUR Mehrkosten gegenüber einem neuen Kleinspeicher mit 5-Liter-Wasserinhalt.

Die gesamte nationale Investitionssumme für den Geräteersatz von 11,9 Mio. Geräten beträgt 2,9 Mrd. EUR. Die Amortisation liegt im Wohnungsbau bei Ansatz der Vollkosten bei 7 Jahren (dynamische Berechnung). Im Falle des Geräteersatzes sind die

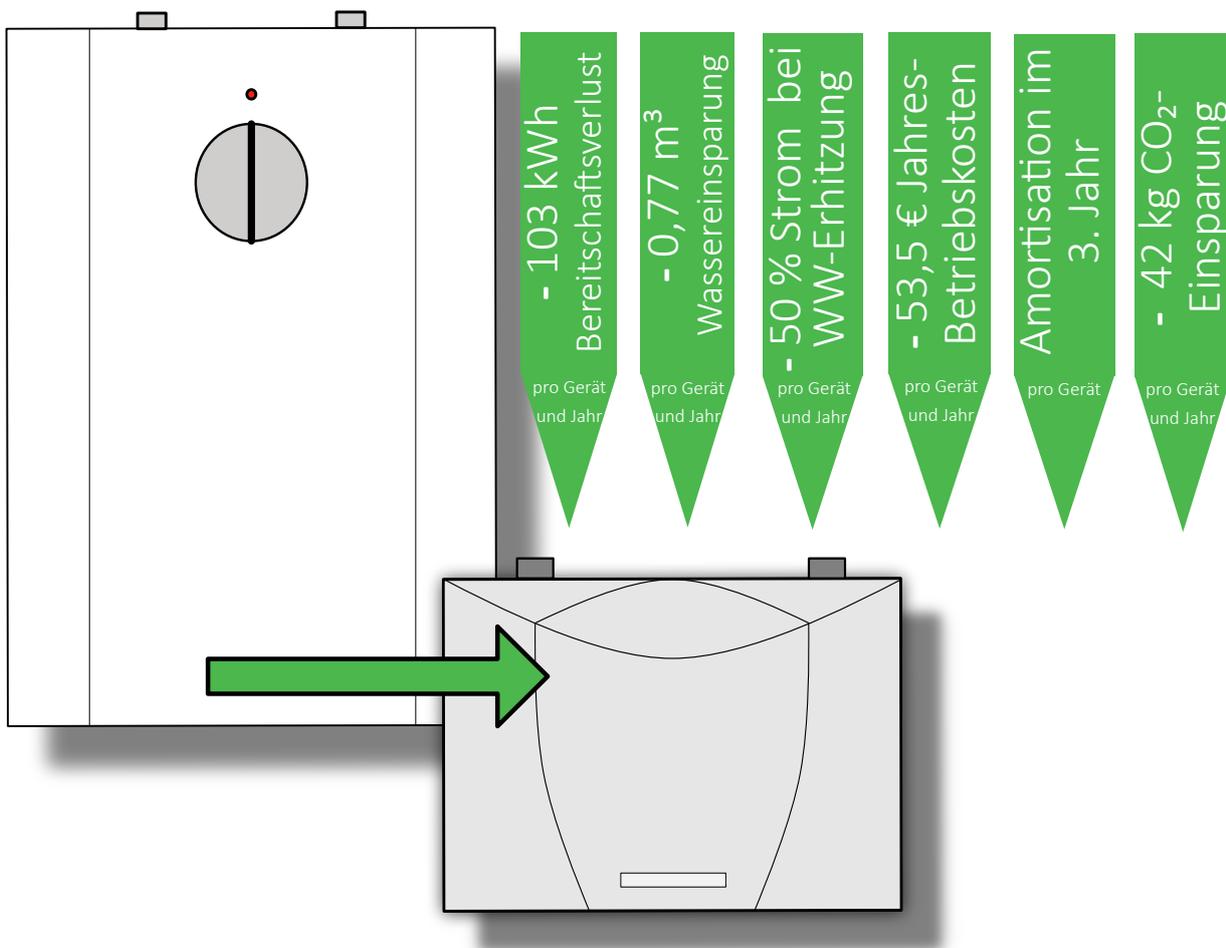


Abb. 9: Potenzial beim Tausch am Beispiel einer Handwasch-Zapfstelle

Tabelle 5: Kostenannahmen- Ersatz von 5-Liter-Klein-Speichern durch Klein-EDL 3,5 kW

Position	Preis EUR
Ohnehin Kosten 5-Liter-Speicher, Armatur	(150,00)
E-Klein-Durchlauferhitzer z.B. MCX 3,5 kW	110,00
Einbau E-Durchlauferhitzer/Entsorgung Kleinspeicher	147,00
Summe	257,00

Mehrkosten der Klein-EDL nach 3 Jahren amortisiert. Für die Nichtwohngebäude errechnet sich eine dynamische Amortisationszeit bei Vollkosten von 6 Jahren. Wird der Geräteersatz nach Ablauf der Lebensdauer vorgenommen, amortisieren sich die Mehrkosten nach 3 Jahren. Entsprechend ergeben sich positive Nettobarwerte über 15 Jahre: Bei Ansatz der Vollkosten für den Wohnungsbestand 0,9 Mrd. EUR und für die Nichtwohnungsbauten von

3,8 Mio. EUR. In beiden Fällen eine wirtschaftlich lohnende Investition auch beim gegenwärtigen Strompreis von 0,40 bzw. 0,32 Cent/kWh (Wohnbau/Nichtwohnungsbau).

5.1.5 Elektronische Klein-EDL im Neubau „Die Welle“ in Frankfurt am Main

Der Gebäudekomplex „Die Welle“ in Frankfurt am Main erstreckt sich über 80.000 Quadratmeter vermietbare Fläche.³² Trotz Vorzertifizierung als LEED-Gold versorgten bis zum Jahr 2016 noch 450 Kleinspeicher die Handwaschbecken der einzelnen Büros mit Warmwasser. Innerhalb einer Modernisierungsmaßnahme im Rahmen der LEED-Gebäudezertifizierung wurden im gesamten Gebäude die 5-Liter-Speicher durch effiziente E-Kleindurchlauferhitzer von CLAGE ausgetauscht, um den Vorteil der Strom- und Wasserkosteneinsparung auszunutzen. Die Betriebskosten sanken je nach Tarif in den Folgejahren zwischen 10.000 und 18.000 EUR pro Jahr, der Stromverbrauch um ca. 45.000 kWh. Beim Strommix des Jahres 2022 betrug die CO₂-Ersparnis 20 Tonnen pro Jahr. Eine zentrale TWW-Versorgung in diesem langen 12-stöckigen Gebäude hätte mehrere Kilometer Zirkulationsleitung mit hohen Wärmeverlusten bedeutet. Auch bei Einkoppelung von Solarthermie oder Ökostromunterstützung wären 50 % der Energie als Leitungsverlust in der Zirkulation verpufft und das Gebäude mit seinen hohen inneren Wärmelasten im Sommer zusätzlich aufgeheizt.



Abb. 10: Büro- und Einkaufszentrum „Die Welle“ in Frankfurt am Main

5.1.6 Messung an einer Zapfstelle mit Tausch von Kleinspeicher durch Klein-DLE

Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse einer Stromverbrauchsmessung für ein kleingewerbliches Büro. Der im Austausch gegen einen älteren Untertischspeicher eingebaute Klein-E-DLE mit 3,5 kW Leistung ist in Abb. 11 dargestellt. In der Messung enthalten sind die Bürogeräte, Kühlschrank, Außenwerbung (nachts) und in der ersten Phase ein 5-Liter E-Kleinspeicher mit 2 kW Leistung, der in Phase zwei durch einen Klein-E-DLE mit 3,5 kW Leistung ersetzt wurde. Die grünen Balken zeigen den summierten tatsächlichen Stromverbrauch aller Anwendungen unter diesem Stromzähler, die einzelnen Stricheinheiten stellen Viertelstundenwerte des Stromverbrauchs dar. Das niedrige grüne Verbrauchsband stellt den Stromverbrauch der Bürogeräte, Beleuchtung und Stand-by-Verbräuche dar, die Ver-

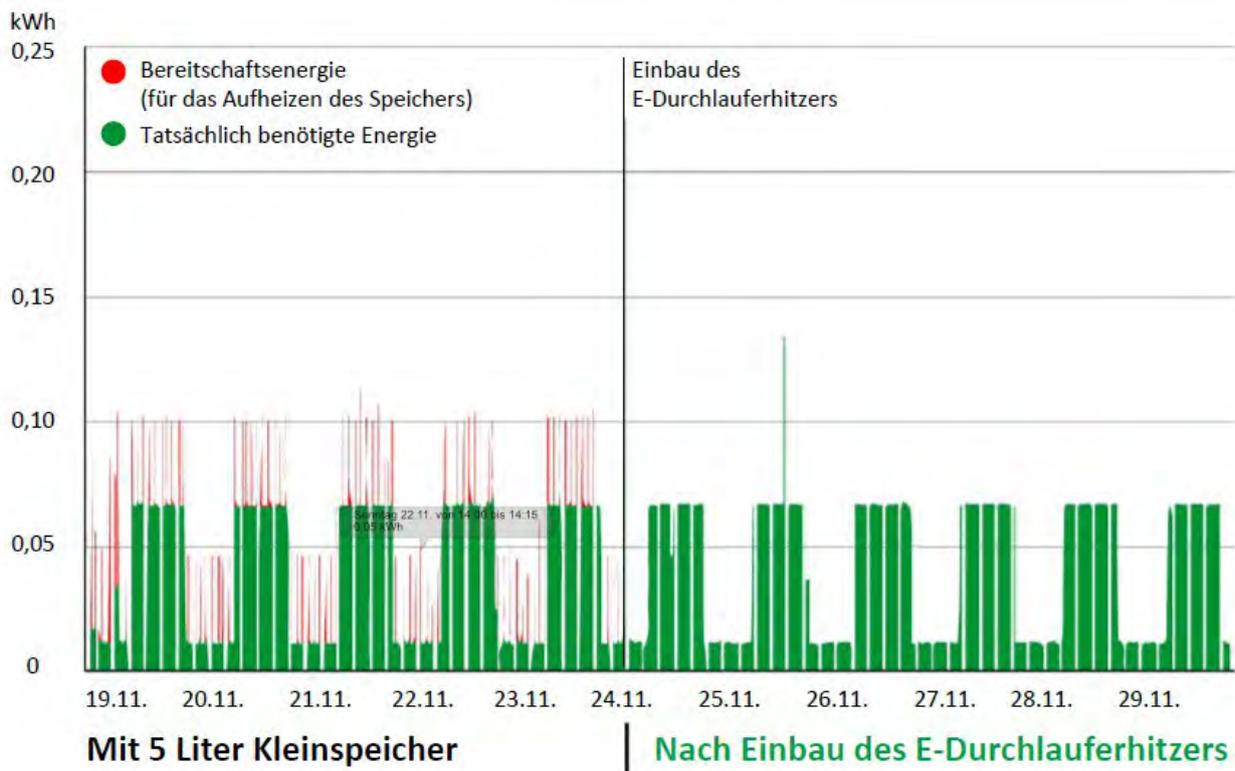
brauchsspitzen in Form der blockartig erhöhten grünen Balken entstehen durch die abends eingeschaltete Leuchtreklame. Die Bereitschaftsverluste des 5-Ltr.-Kleinspeichers sind zusätzlich mit 0,05-0,1 kWh pro Aufheizvorgang als rote Linien abgebildet und leider in der Grafik durch die grünen Summenlinien teilweise überlagert). Die Bereitschaftsstromverbräuche entstehen eng getaktet. Nach dem Geräteersatz durch Klein-EDL dominiert die nächtliche Außenwerbung weiterhin das Bild und der Stromverbrauch des Klein-EDL hebt sich nicht mehr hinter den grünen Grundlastbalken ab, ein Problem der Darstellungstechnik der genutzten Software. Der Stromverbrauch sinkt auf weniger als 0,02 kWh pro Zapfung, regelmäßige Aufheizvorgänge entfallen. Die gemessene Stromeinsparung lag an

dieser Zapfstelle bei 85 %.<http://www.klimagaarden.de/>³³ Die Messungen wurden von der Stadtteilgruppe „Klimagaarden“ mit Unterstützung einer Software der Stadtwerke Kiel durchgeführt.

Abb. 11: Einbau steckerfertiger Klein-E-DLE, Bild: Klimagaarden, Kiel, <http://www.klimagaarden.de/>



Abb. 12: Vergleichsmessung Stromverbrauch 5-Liter-Kleinspeicher und 3,5 kW Klein-DLE bei gleichem Verbrauchsprofil im Projekt „Klimagaarden“ in Kiel



Quelle: www.klimagaarden.de; Energietreff „Auguste“, Daten erfasst mit einem Tool „Energiecockpit“ der Stadtwerke Kiel zwischen dem 19.11. und 29.11.2020

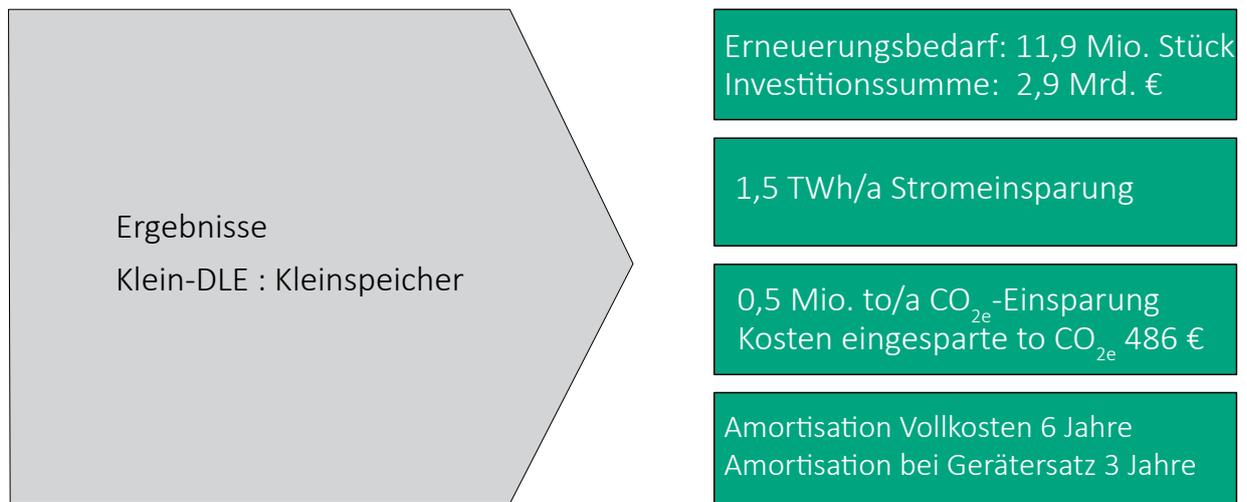


Abb. 13: Hauptergebnisse Ersatz von Kleinspeichern durch Klein-E-DLE elektronisch

5.2. Ersatz von E-Speichern mit 5-15 Liter Wasserinhalt durch elektronische E-DLE von 11-13,5 kW Leistung

Im Wohnungsbau existiert neben der Majorität der 5-Liter-Untertischspeicher auch eine geringere Anzahl von größeren Speichergeräten zwischen 5 und 15 Litern Wasserinhalt, die höhere Bedarfe an Spültischen versorgen. Solche Geräte mit größerem Wasserdurchfluss können durch elektronische Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 11 bis 13,5 kW ersetzt werden, die wie die Speicher entweder Untertisch oder wandhängend über den Zapfstellen angeordnet werden. Die E-DLE können sowohl für größere Warmwasserbedarfe als auch auf den Bedarf von Handwaschbecken zugeschnitten arbeiten, da ihr Stromleistungsaufnahme variabel ist. Ihr Stromverbrauch fällt nur im Falle einer Zapfung an. Die bei Speichern höheren Bereitschaftsverluste von i.M. 0,7 kWh/Tag entfallen auf diese Weise. Die flexible Leistungsaufnahme je nach Durchflussmenge und Wassertemperatur kommt ebenfalls zum Tragen, eine Wassereinsparung kann je nach Nutzerverhalten erzielt werden, deren Berechnung hier nicht in Ansatz gebracht wird.

5.2.1 Beschreibung und Mengengerüst

Von den insgesamt 6,3 % Anteil größeren Untertischgeräten über 5-Liter Wasserinhalt (bdew)³⁴ an allen Wohneinheiten werden 1 % oder 0,4 Mio. Stück als TWW-Speicher der Größenklasse 10 bis 50 Liter angenommen. Die Speicher befinden sich fast ausschließlich in Wohnbauten. Genauere Daten existieren nicht. Diese Speicher haben eine Leistungsaufnahme von 2 kW (10 Liter), 4 kW (15-30 Liter) und 3-6 kW (50 Liter), je nach Wasserinhalt. Ihr täglicher Bereitschaftsverlust liegt für heutige Geräte nach Unterlagen der führenden Gerätehersteller bei i.M. 0,7 kWh/d, was der Effizienzklasse B entspräche. Nach in IWU und DIN 4701 angegebenen For-



Abb. 14: Elektronischer DLE 11-13,5 kW für den Küchenbedarf ; Bild: CLAGE

meln errechnen sich zwischen 0,6 und 1,25 kWh/d.³⁵ Auch hier wird durch Annahme heutiger Werte in dieser Studie die Effizienz der derzeit genutzten Speicherbandbreite etwas überschätzt, da auch noch ältere Geräte in Anwendung sind.

5.2.2 Energieeinsparpotenzial

Für die Berechnung der Energieeinsparung wurde nur der Wegfall der Bereitschaftsverluste angenommen. Weitere Effekte, wie die Absenkung des Stromverbrauches bei geringerer Durchflussmenge oder Temperatur wurden nicht berücksichtigt. Durch Austausch sämtlicher größeren Elektrospeicher von 10 bis 50 Liter Wasserinhalt in den deutschen Haushalten durch elektronische Durchlauferhitzer von 11-13,5 kW ergibt sich eine Stromeinsparung von 0,1 TWh pro Jahr oder 0,02 % des Jahresnettostromverbrauches des Jahres 2022 von 484 TWh/a. Bezogen auf den TWW-Verbrauch des Sektors Wohngebäude von 106 TWh liegt die Einsparung am nati-

5.2.3 CO_{2e}-Einsparpotenzial

onalen Endenergieaufwand für die Warmwasserbereitung bei 0,09 %.

Durch die Sektorkopplung ermöglichen elektrische TWW-Systeme die Nutzung von CO₂-freiem oder-reduziert hergestelltem Strom. Die CO₂-Einsparung beträgt beim gegenwärtigen CO₂-Ausstoß von 402 Gramm pro kWh rund 0,041 Mio. Tonnen pro Jahr. Unter Einbezug der Investitionskosten liegt der Preis der eingesparten Tonne CO₂ im Falle der Vollkosten bei 597 EUR pro Tonne und liegt damit unter den Kosten der Schadensbeseitigung für jede emittierte Tonne CO₂-Äquiv. Diese betragen nach Berechnungen des Umweltbundesamt 698 EUR/to CO_{2-e}. Die steuerliche Belastung für das Jahr 2030 ist mit 65 EUR/Tonne CO_{2-e} angekündigt. Ist der Endausbau der erneuerbaren Stromerzeugung mit nahe 100-Prozent Anteil der erneuerbaren Energien erreicht, stellt die elektrische TWW eine weitgehend CO₂-freie Energiedienstleistung dar.

5.2.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Kosten und Wirtschaftlichkeit wurden für die Fälle

- a) Vollkosten bei vorgezogenem Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer und
- b) Mehrkosten bei ohnehin anstehenden Kleinspeicherersatz,
- c) bei 15 Jahren Lebensdauer betrachtet.

Die Randbedingungen für die dynami-

sche Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Kapitel 4.3. Die Investitionskosten liegen bei 920 EUR Vollkosten pro Gerät, im Geräteersatzzeitpunkt verbleiben 720 EUR Mehrkosten gegenüber einem neuen Speicher, siehe Tab. 6.

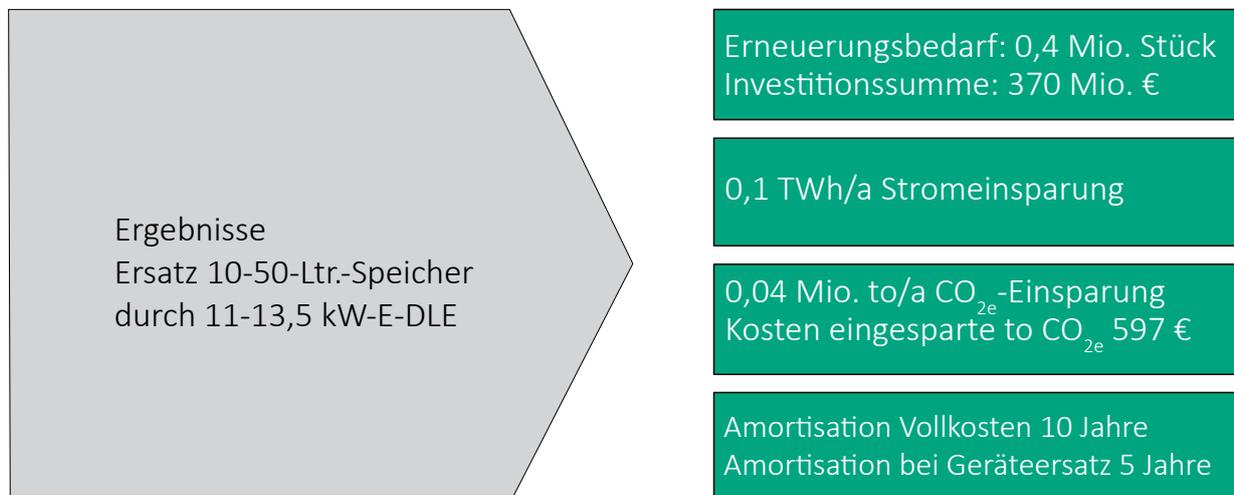
Die gesamte nationale Investitionssumme für den Geräteersatz von 0,4 Mio. Geräten beträgt 366 Mio. EUR. Die Amortisation liegt im Wohnungsbau bei Ansatz der Vollkosten bei 10 Jahren. Im Falle des Geräteersatzes sind die Mehr-

kosten der Klein-EDL nach 5 Jahren amortisiert. Entsprechend ergeben sich positive Nettobarwerte von 407 Mio. EUR über 15 Jahre bei den Vollkosten und 547 Mio. EUR unter Abzug ohnehin anfallender Austauschkosten nach Ablauf der Lebensdauer der Elektrospeichergeräte. Der Ersatz ist sowohl als vorgezogene Investition als auch im Geräteersatzzeitpunkt unter Abzug der ohnehin anfallenden Kosten wirtschaftlich.

Tabelle 6: Kostenannahmen für den Tausch von 10-50-Liter-Speichern durch E-DLE 11-13,5 kW

Position	Einheit	Preis EUR
Aufputzverteilerdose	1	10,00
Neue E-Zuleitung 400 V	3 m	20,00
Leitungsschutzschalter 3*16A	1	30,00
Verlegung, Putz- und Malerarbeiten	1	200,00
E-Durchlauferhitzer z.B. CFX-U 11-13,5 kW	1	260,00
Einbau E-Durchlauferhitzer	1	400,00
Ohnehinkosten im Ersatzzeitpunkt Speicher	1	(200,00)
Summe Vollkosten		920,00
Summe bei ohnehin erforderlichem Geräteersatz		720,00

Abb. 15: Hauptergebnisse Ersatz 10-50-Liter-Kleinspeicher durch elektronische E-DLE 11-13,5 kW



5.3. Ersatz von E-Speichern mit 80-150 Liter Wasserinhalt durch elektronische E-DLE von 18-27 kW Leistung

5.3.1 Beschreibung und Mengengerüst

Im Wohnungsbau existieren neben der großen Masse der 5-Liter-Untertischspeicher und der Speicher bis 50 Liter-Inhalt auch größere Warmwasserspeichergeräte zwischen 80 und 150 Litern Wasserinhalt, die höhere Bedarfe in Bädern abdecken. Solche Geräte mit größerem Wasserausfluss können durch elektronische Durchlauferhitzer mit einer Leistung von 18 bis 27 kW ersetzt werden, die wie die Speicher wandhängend in der Nähe der Zapfstellen angeordnet werden. Die E-DLE können sowohl für größere Warmwasserbedarfe als auch auf den Bedarf von Handwaschbecken arbeiten, da ihr Stromleistungsaufnahme variabel ist. Ihr Stromverbrauch fällt nur im Falle einer Zapfung an. Dadurch entfallen die bei diesen Speichern größeren Bereitschaftsverluste von i.M. 1,34 kWh/Tag.³⁶ Die flexible Leistungsaufnahme je nach Durchflussmenge und Wassertemperatur kommt ebenfalls zum Tragen, eine Wassereinsparung kann je nach Nutzerverhalten erzielt werden, ohne dass sie hier berücksichtigt wird.

5.3.2 Energieeinsparpotenzial

Für die Berechnung der Energieeinsparung wurde nur der Wegfall der Bereitschaftsverluste angenommen. Weitere Effekte, wie die Absenkung des Stromverbrauches bei geringerer Durchflussmenge oder Temperatur wurden nicht berücksichtigt. Durch Austausch sämtlicher Elektrospeicher von 80 bis 150 Liter Wasserinhalt in den deutschen Haushalten durch elektronische Durchlauferhitzer von 18-27 kW ergibt sich eine Stromersparung von 1,0 TWh pro Jahr oder 0,2 % des Jahresnettostromverbrauches des Jahres 2022 von 484 TWh/a oder 1 % bezogen auf den TWW-Verbrauch des Sektors Wohngebäude von 106 TWh.

5.3.3 CO₂-Einsparpotenzial

Durch die Sektorkopplung ermöglichen elektrische TWW-Systeme die Nutzung von CO₂-freiem oder-reduziert hergestelltem Strom. Die CO₂-Einsparung beträgt beim gegenwärtigen CO₂-Ausstoß von 402 Gramm pro kWh rund 0,415 Mio. Tonnen pro Jahr. Unter Einbezug der Investitionskosten liegt der Preis der eingesparten Tonne CO₂ im Falle der Vollkosten bei 417 EUR pro Tonne und liegt damit unter den Kosten der Schadensbeseitigung für jede emittierte Tonne CO₂-Äquiv. Diese betragen nach Berechnungen des Umweltbundesamt 698 EUR/to CO_{2-e}. Die steuerliche Belastung für das Jahr 2030 ist mit 65 EUR/Tonne CO_{2-e} angekündigt. Ist der Endausbau der erneu-

erbaren Stromerzeugung mit nahe 100-Prozent Anteil der erneuerbaren Energien erreicht, stellt die elektrische TWW eine weitgehend CO₂-freie Energiedienstleistung dar.

5.3.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Kosten und Wirtschaftlichkeit wurden für die Fälle a) Vollkosten bei vorgezogenem Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer und b) Mehrkosten bei ohnehin anstehenden Kleinspeicherersatz nach 15 Jahren Lebensdauer betrachtet. Die Randbedingungen für die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Kapitel 4.2. Die Investitionskosten liegen bei 1230 EUR Vollkosten pro Gerät, im Geräteersatzzeitpunkt verbleiben 730 EUR Mehrkosten gegenüber einem neuen Speicher.



Abb. 16: Elektronischer DLE 18-27 kW für das Badezimmer; Bild: CLAGE

Die gesamte nationale Investitionssumme für den Geräteersatz von 2,1 Mio. Geräten beträgt 2,6 Mrd. EUR. Die Amortisation liegt im Wohnungsbau bei Ansatz der Vollkosten bei 7 Jahren. Im Falle des Geräteersatzes sind die Mehrkosten der Klein-EDL nach 4 Jahren amortisiert. Entspre-

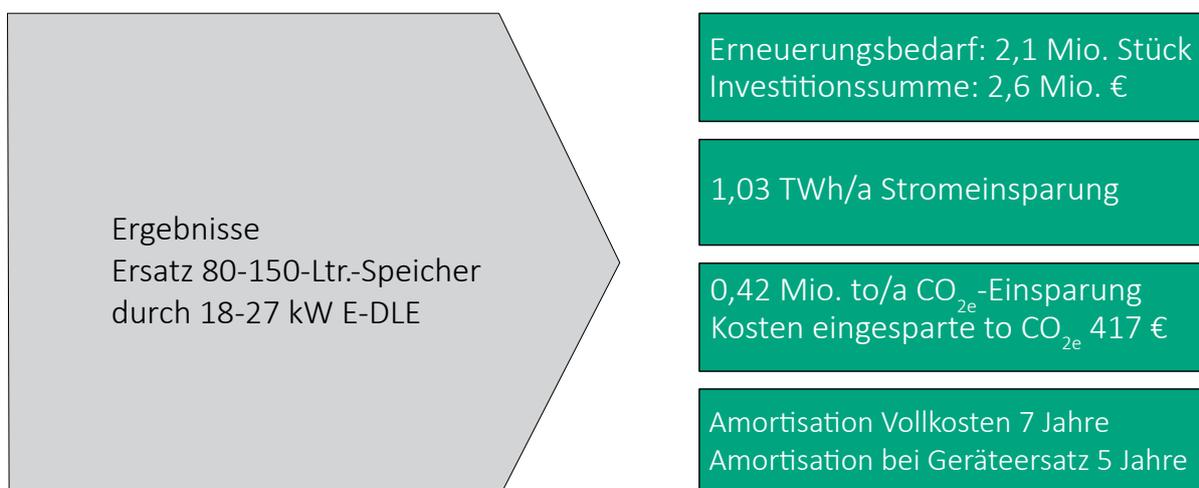
chend ergeben sich positive Nettobarwerte von 2,8 Mrd. EUR über 15 Jahre bei den Vollkosten und 3,9 Mrd. EUR unter Abzug ohnehin anfallender Austauschkosten nach Ablauf der Lebensdauer der Elektrospeichergeräte. Der Ersatz ist sowohl als vorgezogene Investition als auch im Geräteersatzzeit-

punkt unter Abzug der ohnehin anfallenden Kosten wirtschaftlich.

Tabelle 7: Kostenannahmen für den Tausch eines 80-150-Liter-Speichers durch einen elektronischen E-DLE 18-27 kW

Position	Einheit	Preis EUR
Abbau und Entsorgung TWW-Speicher 80-150 Ltr.		50,00
Leitungsschutzschalter 3*16A	1	30,00
Verlegung, Putz- und Malerarbeiten	1	100,00
E-Durchlauferhitzer DSX-Touch	1	650,00
Einbau E-Durchlauferhitzer	1	400,00
Summe		1.230,00
Kosten eines neuen TWW-Speichers mit Einbau		(500,00)
Mehrkosten zum Zeitpunkt der Geräteerneuerung		730,00

Abb 17: Hauptergebnisse Ersatz von 80-150-Liter-Speicher durch elektronische E-DLE 18-27 kW



5.4. Ersatz von hydraulischen E-DLE durch elektronische E-DLE von 18-27 kW Leistung

Hydraulische Durchlauferhitzer für die Warmwasserversorgung in Wohnungen fanden weite Verbreitung. Es gibt sie im Wohnungsbestand in Leistungsabstufungen zwischen 18 und 27 kW. Die Geräte besitzen keinen Temperaturregler sondern einen Strömungsschalter, der je nach Strömungsmenge einen Teil oder die volle Gerätenennleistung einschaltet. Da die Heizleistung solcherart konstant ist, wird das ausfließende Wasser wärmer, wenn der Durchfluss gedrosselt wird. Die Mischarmatur kühlt das erhitzte Wasser mit dem beigemischten Kaltwasser auf die eingestellte Temperatur herunter. Der Wirkungsgrad hydraulischer E-Durchlauferhitzer beträgt nur ca. 83 %. Sie sind äußerst ineffizient gegenüber den in den neunziger Jahren entwickelten elektronischen DLE mit Wirkungsgraden um 97 %.



Abb. 18: Elektronischer DLE mit 18-27 kW Leistung; Bild: CLAGE

5.4.1 Beschreibung und Mengengerüst

Im Wohnungsbau existieren rund 8,7 Mio. hydraulische E-Durchlauferhitzer, von denen bereits gemäß Absatzstatistik der Gerätehersteller rund 60 % in der jüngeren Vergangenheit durch elektronische Durchlauferhitzer erneuert wurden. Rund 3,5 Millionen veraltete Durchlauferhitzer sind zukünftig noch durch den effizienteren Gerätetyp zu ersetzen.

5.4.2 Energieeinsparpotenzial

Für die Berechnung der Energieeinsparung wurde von 600 kWh Jahresnutzenenergiebedarf pro Person und 2 Personen pro Haushalt ausgegangen.³⁷ Mit 723 kWh Jahresendenergiebedarf pro Person und Jahr liegt der Wert auf der Höhe der Ansätze in EnEV und DIN 4701-10, sowie den Annahmen in FfE. Die Jahreswirkungsgrade der Durchlauferhitzer wurden mit 83 % für den hydraulischen und für den elektronischen E-Durchlauferhitzer von 18-27 kW Leistung mit 97 % angenommen.³⁸ Der Austausch sämtlicher verbliebener hydraulischer Elektrodurchlauferhitzer spart eine Elektrizitätsmenge von 0,51 TWh pro Jahr oder 0,1 % des Jahresnettostromverbrauches des Jahres 2022 von 484 TWh/a. Die Einsparung bezogen auf den nationalen Endenergieaufwand für die Warmwasserbereitung von 106 TWh liegt bei 0,5 Prozent.

5.4.3 CO_{2e}-Einsparpotenzial

Elektrische TWW-Systeme ermöglichen die Nutzung von CO₂-freiem oder-reduzierten Strom. Die CO₂-Einsparung beträgt beim gegenwärtigen CO₂-Ausstoß von 402 Gramm pro kWh Strom 0,21 Mio. Tonnen pro Jahr. Die Kosten der eingesparten Tonne CO₂ liegt im Falle der Vollkosten mit 1398 EUR pro Tonne über den Kosten der Schadensbeseitigung für jede emittierte Tonne CO_{2e}. Diese betragen nach Umweltbundesamt 698 EUR/to CO_{2e}. Bei Ansatz nur der Mehrkosten im Bauteilerneuerungszeitpunkt sinken die Kosten der eingesparten Tonne auf 432 EUR/to CO_{2e}.

Die steuerliche Belastung für das Jahr 2030 ist mit 65 EUR/Tonne CO_{2e} angekündigt. Ist der Endausbau der erneuerbaren Stromerzeugung mit nahe 100-Prozent Anteil der erneuerbaren Energien erreicht, stellt die elektrische TWW

eine weitgehend CO₂-freie Energiedienstleistung dar.

5.4.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Kosten und Wirtschaftlichkeit wurden für die Fälle a) Vollkosten bei vorgezogenem Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer und b) Mehrkosten bei ohnehin anstehenden Ersatz nach 15 Jahren Lebensdauer betrachtet. Die Randbedingungen der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Kapitel 4.2. Die Investitionskosten liegen bei 1230 EUR Vollkosten pro elek-

tronischem Durchlauferhitzer, im Geräteersatzzeitpunkt verbleiben 380 EUR Mehrkosten bei Abzug derer für einen hydraulischen Durchlauferhitzer von 830 EUR.

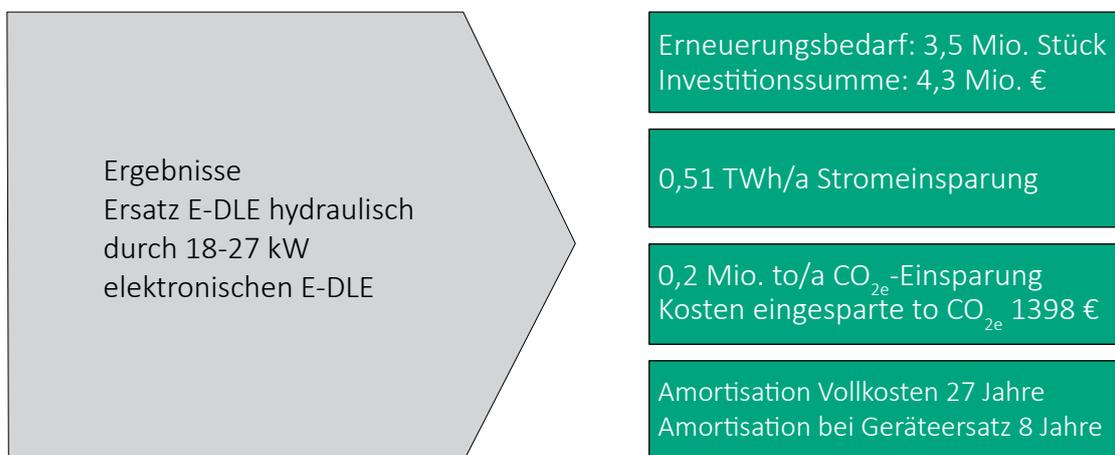
Die gesamte nationale Investitionssumme für den Geräteersatz von 3,5 Mio. Geräten beträgt 4,3 Mrd. EUR, die ohnehin anfallenden Mehrkosten zum Zeitpunkt der Geräteerneuerung betragen 1,3 Mio. EUR. Die Amortisation liegt bei Ansatz der Vollkosten bei 27 Jahren. Im Falle des Geräteersatzes sind die Mehrkosten der Klein-EDL nach 7 Jahren amortisiert. Entsprechend ergeben sich positive Nettobarwerte von 0,5 Mrd. EUR über 30 Jahre bei den Vollkosten

und 3,5 Mrd. EUR unter Abzug ohnehin anfallender Austauschkosten nach Ablauf der Lebensdauer der Elektrospeichergeräte, wegen der Vergleichbarkeit ebenfalls über 30 Jahre betrachtet. Der Ersatz ist als vorgezogene Investition für den Gerätebetreiber nur wirtschaftlich, wenn eine staatliche Förderung die Mehrkosten kompensiert. Ein solches Förderprogramm wäre insgesamt mit 3,0 Mrd. EUR oder 300 Mio. EUR pro Jahr über 10 Jahre auszustatten. Eine längere Laufzeit führte wegen der natürlichen Austauschzyklen von 15 bis 20 Jahren zu reinen Mitnahmeeffekten. Unter Abzug der ohnehin anfallenden Kosten im Geräteersatzzeitpunkt ist die Maßnahme wirtschaftlich.

Tabelle 8: Kostenannahmen für den Ersatz von hydraulischen E-Durchlauferhitzern durch elektronische E-DLE 18-27 kW

Position	Einheit	Preis EUR
Abbau und Entsorgung alter DLE	1	50,00
Leitungsschutzschalter 3*16A	1	30,00
Verlegung, Putz- und Malerarbeiten	1	100,00
E-Durchlauferhitzer DSX-Touch	1	650,00
Einbau E-Durchlauferhitzer	1	400,00
Summe eines ohnehin anstehenden Geräteersatzes (Fördersatz)		(850,00)
Summe Vollkosten		1.230,00
Mehrkostensumme bei ohnehin anstehenden Geräteersatz		380,00

Abb. 19: Kostenannahmen für den Ersatz von hydraulischen E-Durchlauferhitzern durch elektronische E-DLE 18-27 kW



5.5. Ersatz von Gas-DLE durch elektronische E-DLE von 18-27 kW Leistung

Gasdurchlauferhitzer für die TWW sind bedeutende Gasverbraucher im Haushalt. Die Ausstiegsstrategie Erdgas und der Kostendruck bei den Gaspreisen durch den zukünftig höheren Flüssiggasanteil machen eine vorzeitige Umrüstung auf Elektro-Durchlauferhitzer sinnvoll. Der Aufbau einer TWW-Zirkulationsleitung im Haus kann vermieden werden, da es beim nahe an den Zapfstellen angeordnet Standort des Gas-DLE bleibt. Unter allen Alternativen zum Gas bietet diese Umrüstung den geringsten Eingriff bei laufendem Wohnbetrieb und die günstigsten Investitionskosten. Da Erdgas durch im Vergleich teureren Strom ersetzt wird, ist die Maßnahme bei heutigen Strompreisen von 40 Cent/kWh gegenüber 12 Cent pro kWh Erdgas unwirtschaftlich aber aus Gründen der Versorgungssicherheit sinnvoll, so dass eine Anreizförderung begründet ist.



Abb. 20: Elektronischer DLE 18-27 kW für den Bedarf eines Haushaltes, Bild: CLAGE

5.5.1 Beschreibung und Mengengerüst

Im Wohngebäudebestand sind 10,3 % aller Wohnungen mit Gasdurchlauferhitzern für die TWW ausgestattet, entsprechend rund 4,3 Mio. Geräte. Ihr Wirkungsgrad wird in der Literatur mit 73 % beschrieben.³⁹ Der jährliche nationale Gasverbrauch für diese Anwendung beträgt 5,1 TWh oder ein Anteil von 0,6 % am Erdgasverbrauch 2022 von 848 TWh. Die Abwendung von billigem russischen Pipelinegas und das Verbot des Neueinbaus von Gasheizungen ab 2024 erfordert eine Umorientierung im Energieträger für die bisher erdgasbasierte TWW-Bereitung. Ein bundesweites Modell „erdgasfreie Wohnquartiere“ mit unterstützender Förderung würde hierfür einen Anstoß geben.

5.5.2 Energieeinsparpotenzial

Die Umrüstung von Gasthermen auf elektronische E-DLE ist der schnellste Weg, die TWW auf erneuerbare Energien umzustellen. Da für den bisherigen Gas- ein zukünftiger Stromverbrauch entsteht, ist diese Exitstrategie nicht wirtschaftlich, sondern dient primär Versorgungssicherheit und Umweltschutz. Der Austausch von 4,3 Mio. Gasdurchlauferhitzern durch elektronische Elektro-Durchlauferhitzer von 18-27 kW Leistung reduziert den deutschen Erdgasverbrauch um 5,1 TWh. Der ersatzweise anfallende Stromverbrauch beträgt 3,72 TWh pro Jahr und erhöhte den Stromverbrauch bezogen auf das Jahr 2022 um 0,8 %.

5.5.3 CO_{2e}-Einsparpotenzial

Der CO₂-Ausstoß der 4,3 Mio. Gasdurchlauferhitzer liegt 2022 bei 1,4 Mio. Tonnen CO_{2e}. Eine Bilanzierung CO_{2e}-Erdgasersatz gegen heutigen CO_{2e}-Strommix zeigte einen geringfügigen Anstieg der CO_{2e}-Emissionen um 0,092 Mio. Jahrestonnen CO_{2e} da 280 Gramm CO_{2e}/kWh Erdgas für die heutigen (2022) Emissionen mit 402 Gramm CO_{2e}/kWh pro kWh Elektrizität verrechnet würden. Sinnvoll ist nur ein Vergleich mit den zukünftigen Emissionen der Stromerzeugung. Schon 2030 bei nur noch 0,2695 kg CO_{2e} pro kWh Strom, entsteht in der CO₂-Bilanz Strom minus Erdgaseinsatz eine Einsparung von moderaten 0,4 Mio. Jahrestonnen CO_{2e}. Für 2050 werden 0,021 kg CO_{2e}/kWh Strom erwartet (Aufwand für onshore-Wind), der Ersatz von Gas durch Elektro-Durchlauferhitzer erzeugt dann eine CO_{2e}-Einsparung von 1,3 Mio. Jahrestonnen. Für diesen Fall und bei Einbezug der Förderung oder des Abzugs der Ohnehin-Kosten zum Zeitpunkt des Geräteersatzes liegen die Kosten je-

der eingesparten Tonne CO_{2e} über 15 Jahre mit 122 EUR, weit unter den Kosten der Schadensbeseitigung für jede emittierte Tonne CO_{2e}, die nach Umweltbundesamt 698 EUR/to CO_{2e} betragen. Auch bei Ansatz der Vollkosten eines Gerätetausches Gas/Strom liegen die Kosten der eingesparten Tonne CO_{2e} mit 339 EUR unter dem Wert der CO_{2e}-Schadensbeseitigungskosten. Die steuerliche Belastung für das Jahr 2030 ist mit 65 EUR/Tonne CO_{2e} angekündigt. Nach Endausbau der erneuerbaren Stromerzeugung, stellt die elektrische TWW eine weitgehend CO_{2e}-freie Energiedienstleistung dar.

5.5.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Kosten und Wirtschaftlichkeit wurden für die Fälle a) Vollkosten bei vorgezogenem Ersatz vor Ablauf der Lebensdauer und b) Mehrkosten bei ohnehin anstehenden Ersatz nach 15 Jahren Lebensdauer betrachtet. Die Randbedingungen für die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung finden sich in Kapitel 4.2. Die Investitionskosten liegen bei 1565 EUR Vollkosten pro elektronischen Durchlauferhitzer inkl. 400 V Zuleitung. Im Geräteersatzzeitpunkt verbleiben 565 EUR Mehrkosten bei Abzug der Ohnehin-Kosten von 1.000 EUR für die

Wiederinstallation eines Gasdurchlauferhitzers bzw. eines Fördersatzes nach BEG. Die gesamte nationale Investitionssumme für 4,3 Mio. E-DLE beträgt 6,7 Mrd. EUR, die Mehrkosten unter Abzug der Ohnehin-Kosten zum Zeitpunkt der Geräteerneuerung betragen 2,4 Mrd. EUR. Da die Stromkosten die Erdgaskosten derzeit um den Faktor 3,3 übersteigen (12/40 Cent/kWh) ist die Umstellung nicht wirtschaftlich. Es entstehen höhere jährliche Energiekosten von 887 Mio. EUR national, rund 206 EUR pro Jahr und Haushalt. Die Umstellung von Gas auf Strom ist eine Maßnahme der Versorgungssicherheit.

5.5.5 Sektorübergreifend: Netzbelastung

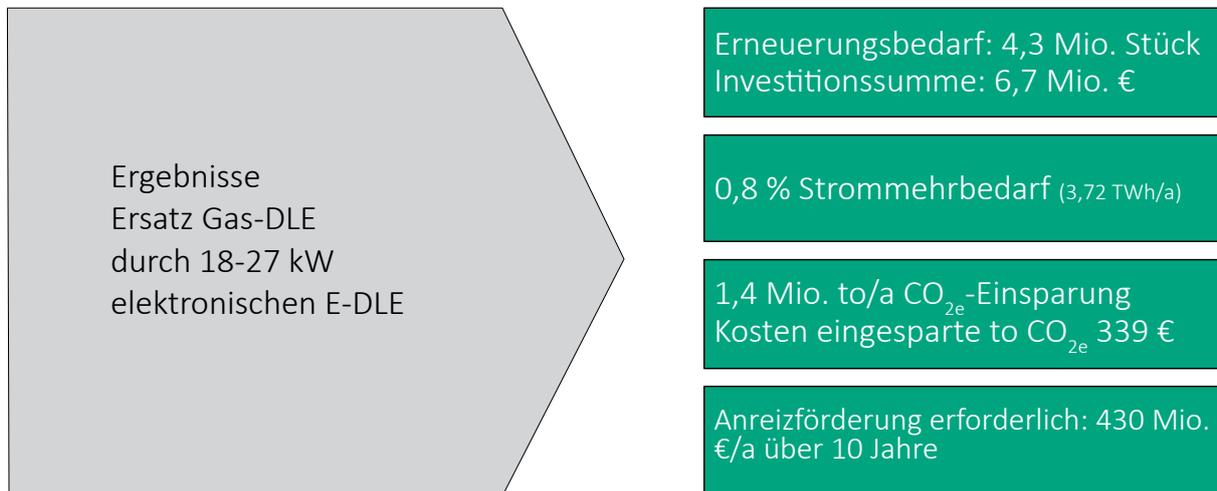
Die Netzbelastung ist nicht gleich der Summe der Nennleistungen, sondern muss mit den Erfahrungswerten des Gleichzeitigkeitsfaktors gewichtet werden. Alle 4,3 Mio. Gas ersetzenden elektronischen DLE summieren sich bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor nach DIN 18015 von 0,044 auf 5,1 GW oder 5,7 % der heutigen Netzhöchstlast von bis zu 90 GW. Bei elektronischen DLE werden davon im Duschbetrieb nur 16,3 kW beansprucht, für diesen Fall reduziert sich die neue Netzlast auf 3,03 GW oder 3,4 % der heutigen Netzspitzenbelas-

tung. Allerdings ist dies nicht gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Netzbelastungsspitzen, da die Spitzenlast der Warmwasserbereitung nicht innerhalb der Netzhöchstlastspitzen auftritt, sondern an Wochenenden zu einem Zeitpunkt, wo das Stromnetz durch gewerbliche Mindernachfrage über freie Kapazitäten verfügt. Allein die Schwankungsbreite der nationalen Netzhöchstlast von 50-90 GW übersteigt die aus der Umstellung von Gas- auf Elektrodurchlauferhitzer entstehende Netzbelastung. Eine Entlastung ergibt sich aus der je nach Wasserdurchflussmenge variablen Leistungsaufnahme, auch kann durch hausinternes Lastmanagement bei zeitvariabler Tarifgestaltung einer Erhöhung der Lastspitze aus Klein-E-DLE begegnet werden. Der gesamte Zuwachs zur Netzbelastung kompensiert sich um 50 % durch die zu erwartende Stromnetzentlastung mittels Modernisierung von Heizungs- und Zirkulationsumwälzpumpen. Hier entfallen durch Einbau von Hocheffizienzpumpen 2 GW Leistung⁴⁰ bei den Heizungspumpen und etwa 0,3 GW im Bereich der TWW-Zirkulationspumpen, weitere -0,09 GW entstehen durch den vermiedenen Zubau von Zirkulationspumpen, die im Falle einer Umstellung der TWW durch den Gasdurchlauferhitzer auf ein zentrales System mit Anschluss an einen Heizkessel oder eine Wärmepumpe entstünden.

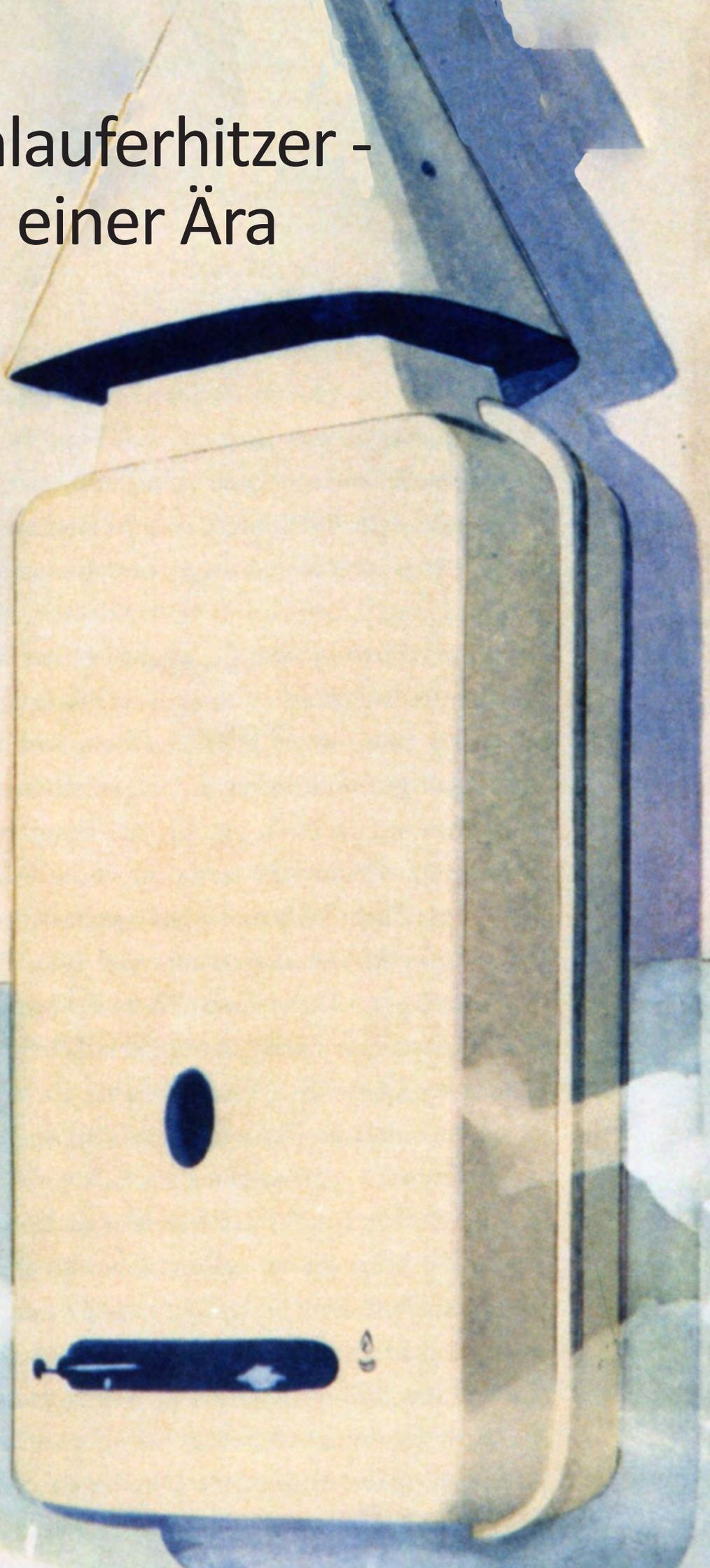
Tabelle 9: Kostenannahmen für den Ersatz von Gas-Durchlauferhitzern durch elektronische E-DLE 18-27 kW

Position	Einheit	Preis EUR
Abbau und Entsorgung Gas-DLE	1	150,00
Neue E-Zuleitung	6 m	35,00
Leitungsschutzschalter 3*16A	1	30,00
Verlegung, Putz- und Malerarbeiten	1	300,00
E-Durchlauferhitzer DFX-Touch	1	650,00
Einbau E-Durchlauferhitzer	1	400,00
Summe		1.565,00
Kosten eines neuen Gasdurchlauferhitzer im Geräteerneuerungszeitpunkt		(1000,00)
Mehrkosten zum Zeitpunkt der Geräteerneuerung		565,000

Abb. 21 : Hauptergebnisse Ersatz Gas-Durchlauferhitzer durch elektronische E-DLE 17-28 kW



Gasdurchlauferhitzer - Das Ende einer Ära



6. Sektorübergreifende Betrachtung: Netzbelastung und Gleichzeitigkeitsfaktoren dezentraler TWW-Bereitung

Zur Erhöhung der Energieeffizienz wird im Zuge der dezentral elektrischen TWW-Bereitung im Sektor Gebäudeheizung verstärkt Elektrizität eingesetzt. In der Vergangenheit wurden die hohen Nennleistungen der Elektrodurchlauferhitzer im Hinblick auf eine mögliche Erhöhung der Stromnetzbelastung kritisch gesehen. Diese Frage wurde deshalb schon 1991 in der VDEW-Netzlaststudie untersucht und befriedigend geklärt. Die unten beschriebenen Ergebnisse fanden u.a. Eingang in die DIN 18015.

6.1 Lastgangmessungen der VDEW 1991

Die Netzbeanspruchung durch dezentrale Stromnutzungstechnik für die TWW in Haushalten wurde von den Stromversorgungsunternehmen schon 1991 in einem großen Projekt messtechnisch erfasst und netztechnisch und elektrizitätswirtschaftlich bewertet. Vorausgegangen waren Messungen der Lastganglinien in jeweils einigen hundert Einzelhaushalten.⁴¹ Die Hauptergebnisse der Studie:

- Die elektrische dezentrale TWW führt zu keiner Erhöhung der Netzspitzenlast, weder im Niederspannungs-, noch im Mittel- und Höchstspannungsnetz. Der Leistungsbedarf tritt bei der elektrischen TWW überwiegend außerhalb der Höchstlastzeiten von Industrie und anderen Verbrauchern im öffentlichen Stromnetz auf.
- Der Schwerpunkt des Warmwasserbedarfs im Haushaltsbereich konzentriert sich auf die Wochenenden, an denen die Stromnetze durch Wegfall gewerblicher Stromanwendungen freie Kapazitäten haben.
- An Werktagen sind die größten Leistungsbedarfswerte der Haushalte niedriger als an Samstagen und Sonntagen.

- Bedeutsam hierfür ist der Gleichzeitigkeitsfaktor. Die im Niederspannungsnetz wirksame Höchstlast z.B. in einer Wohnsiedlung entsteht nicht einfach durch Addition aller Einzelanschlusswerte der Elektro-Warmwassergeräte. Die hierbei entscheidende Größe ist der Gleichzeitigkeitsfaktor, der sich aus der zeitlichen Verteilung der Warmwasserzapfungen und den Anschlussleistungen der Elektro-Geräte ergibt. Die meisten und längsten Zapfungen im Bereich der Haushalte treten am Wochenende auf, wobei der gleichzeitige Leistungsbedarf z.B. bei einer Wohnsiedlung mit 100 WE nur 5 % aller Geräteanschlussleistungen ausmacht. (Abb.13) Elektrodurchlauferhitzer besitzen zwar höhere Anschlussleistungen als E-Warmwasserspeicher, weisen aber deutlich kürzere Einschalt Dauern und damit sehr geringe Gleichzeitigkeitsfaktoren auf. Die Bedeutung dieser Faktoren wird unten durch den Bericht über eine Messung an einem MFH deutlich.
- Der Lastverlauf von Gebäuden ist bei elektrischer TWW-Bereitung von den Warmwasser-Zapfzeiten in den Haushalten geprägt. Für die Netzbelastung ist es unbedeutend, ob neben den E-Durchlauferhitzern in der Küche zusätzlich Elektro-Kleinspeicher eingesetzt werden.
- Elektronische Durchlauferhitzer zeigen einen um etwa 20 % geringeren Leistungsbedarf im Niederspannungsnetz als hydraulische.
- Elektro-Warmwassergeräte werden überwiegend ganzjährig gleichmäßig

betrieben. Sie sorgen damit für eine hohe Ausnutzung der vorhandenen Erzeugungs- und Übertragungsanlagen.

Bei der in dieser Studie vorgestellten dezentralen direktelektrischen TWW-Modernisierungsstrategie sind auf den Lastgang folgenden Effekte zu erwarten:

Durch Austausch der 12 Mio. 5-Liter-E-Kleinspeicher durch Elektro-Durchlauferhitzer erfolgt aufgrund der geringen Gleichzeitigkeit in der Nutzung keine nennenswerte Änderung der Stromnetzbelastung. Im Nieder- und Mittelspannungsnetz unterscheiden sich Durchlauferhitzer ab ca. 20 Wohneinheiten im Lastverhalten nicht von den direkt wirkenden Elektro-Warmwasserspeichern. Der Stromverbrauch geht durch Wegfall der Bereitschaftsverluste zurück. Im größeren Leistungsbereich von TWW-Speichern unterliegen die Speicherladezeiten der Steuerung des Stromversorgers. Der Ersatz hydraulischer Durchlauferhitzer mit elektronischen Geräten führt zu einer Reduktion des Leistungsbedarfs um 20 Prozent oder 0,7 GW. Einzig beim Ersatz aller Erdgas-Durchlauferhitzer durch elektronische DLE ist unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit ein höherer Leistungsbedarf von 3 bis 5 GW zu verzeichnen. Da diese zusätzliche Netzbelastung aber an Sonntagvormittagen auftritt, trifft sie auf eine gegenüber Werktagen abgesenkte Netzlast, die in Deutschland um 40 GW liegt, und nicht auf die werktägliche Spitzenlast im Netz um 60 GW.⁴²

6.2 Messungen an einer Wohnanlage mit 24 WE

Die Messungen fanden in einer Wohnanlage mit 24 Wohneinheiten (MFH) im Versorgungsgebiet des Badenwerkes statt. Das Badenwerk ging 1997 in der EnBW auf. Die TWW des MFH wurde mit 24 Elektro-Durchlauferhitzern (24 kW Leistung) und zusätzlichen Kleinspeichern in den Küchen betrieben.⁴³ Die über 4 Wochen gemessenen Belastungskurven wurden zu Durchschnittswerten gemittelt. Die Kurven in Abb. 13 zeigen die Belastungsverläufe für die drei typischen Zeiträume der Lastanspruchnahme von Haushalten an Wochentagen, Samstagen und an Sonntagen. Im gesamten Versorgungsnetz des Badenwerkes lag die Spitze der Netzbelastung 1991 montags um 11:30 (Wäschespitze), zu dieser Zeit waren nur 1,1 % der im MFH installierten EDL-Nennleistung am Netz. Der Anteil eines einzelnen Elektro-Durchlauferhitzers beläuft sich auf 0,27 kW. Während der sonntäglichen „Badespitze“ um 10:00 Uhr morgens waren nur 25 kW der 576 kW installierter Leistung aller Durchlauferhitzer des MFH netzwirksam, dies entspricht einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 4,3 %. Hier ist darauf zu verweisen, dass Sonntage generell eine weit unter der

werktäglichem Höchstlast liegende Netzlast aufweisen. Wurde die Höchstlast im MFH im Jahr 1991 noch durch die Badespitze am Sonntagmorgen dominiert, haben im heutigen Verhalten kurze Duschzeiten die Wannenbäder ersetzt, was den Gleichzeitigkeitsfaktor und die Größe der Leistungsspitze weiter absenkt. Man beachte auch die Spalten 5 und 6, die nur einen geringen Unterschied zwischen den Anschlussleistungen von Haushalten mit und ohne elektrischer TWW zeigen.

6.3 Gleichzeitigkeitsfaktoren in der DIN 181015-1

Auf Grundlage der o.g. Feldmessungen verschiedener EVU und weiterer Untersuchungen entstanden die Gleichzeitigkeitsfaktoren in der DIN 181015-1 : 2013-09.⁴⁴ Sie sind sowohl für die Auslegung der Wärmeerzeuger als auch für die Netzdimensionierungen der EVU von Bedeutung. Messungen an Gebäuden zeigen regelmäßig, selbst diese Werte werden in der Praxis unterboten. Die Werte für die Tabelle 10 auf der nächsten Seite sind der DIN 181015-1 entnommen.

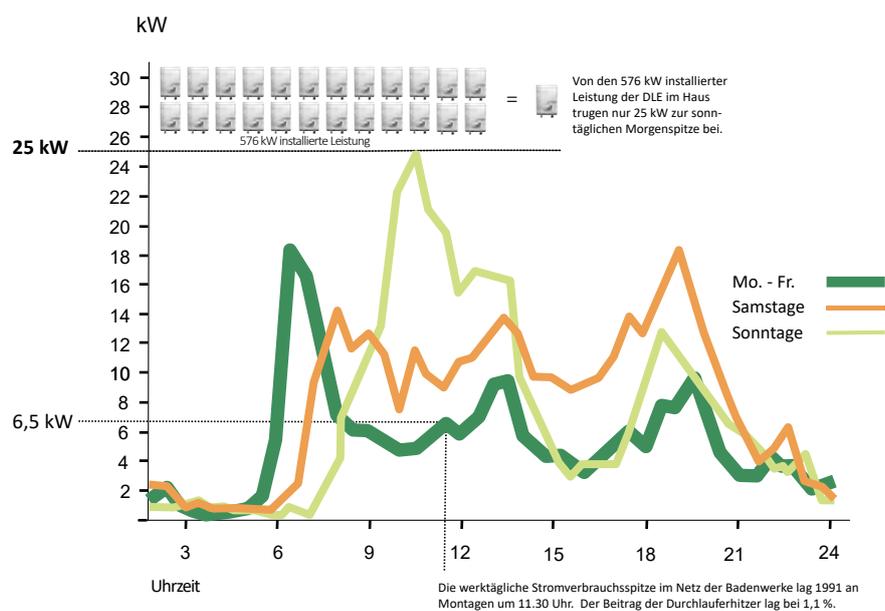
Für die hier interessierenden größeren Grundgesamtheiten von Wohnungen/

Verbrauchsstellen in Versorgungsnetzen ist von einer Gleichzeitigkeit von maximal 4,4 % auszugehen. Das Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (Recknagel/Sprenger) nennt im Kapitel „Warmwasserversorgung“ unter „Fernwärmeversorgung“ Gleichzeitigkeitsfaktoren bis 0,03. Der Kleinstwert gilt für Durchflusssysteme der Fernwärme und kann damit äquivalent dem elektr. Durchlauferhitzer angenommen werden. „Der Gleichzeitigkeitsfaktor ϕ beträgt für 1000 Wohnungen

beim Speichersystem: $\phi = 0,20$
 beim Durchflusssystem: $\phi = 0,03 \dots 0,05$.

Er ist im letzten Fall infolge der kurzzeitigen Beanspruchung sehr viel geringer. Demnach sind bei $n = 1000$ Wohnungen die Wärmeverbrauchszahlen $7 * 0,20 = 1,4$ kW bzw. $56 * 0,04 = 2,24$ kW.⁴⁵ (Unterstreichung der ϕ -Werte durch Verfasser; 7 bzw. 56 sind empfohlene kW-Leistungsannahmen für die erf. Wärmeleistung in Fernwärmenetzen bei Speicher- und bei Durchflusssystem).

Abb. 22: Gemessene Strom-Netzbelastung von 24 Durchlauferhitzern mit einer Nennleistung von 24 kW in einem Mehrfamilienhaus



Quelle Messdaten aus: VDEW Elektro-Warmwasserversorgung im Haushalt, Frankfurt am Main 1991.

Tabelle 10: Gleichzeitigkeitsfaktoren und Anschlussleistungen in Abhängigkeit von der Wohnungszahl gemäß DIN 18015-1

	ohne elektr. TWW-Bereitung	mit elektr. TWW-Bereitung	Bedarf el. TWW	P pro WE ohne el. TWW	P pro WE mit el. TWW	Gleichzeitigkeit
WE	P _{ges} [kVA]	P _{ges} [kVA]	P [kVA]	P [kVA]	P [kVA]	GLZ [%]
1	14	34	20	14,0	34,0	100
2	24	52	28	12,0	26,0	66,7
3	31	64	33	10,3	21,3	52,4
4	36	73	37	9,0	18,3	44,0
5	41	81	40	8,2	16,2	38,1
6	44	88	44	7,3	14,7	34,9
7	47	93	46	6,7	13,3	31,3
8	51	98	47	6,4	12,3	28,0
9	53	102	49	5,9	11,3	25,9
10	55	108	53	5,5	10,8	25,2
15	65	122	57	4,3	8,1	18,1
20	72	134	62	3,6	6,7	14,8
30	82	150	68	2,7	5,0	10,8
40	90	161	71	2,3	4,0	8,5
50	95	172	77	1,9	3,4	7,3
60	100	179	79	1,7	3,0	6,3
70	103	186	83	1,5	2,7	5,6
80	105	192	87	1,3	2,4	5,2
90	106	199	93	1,2	2,2	4,9
100	108	201	93	1,1	2,0	4,4

kVA= kilo Volt x Ampere; P= Leistung; WE= Wohneinheiten; el. WW= elektrische Warmwasserversorgung; Grundlage hydr. Durchlauferhitzer

6.4 Lastgang-Messungen- Mehrfamilienhaus Bad Bevensen

Das Mehrfamilienhaus mit 8 Wohneinheiten wurde 2018 als KfW-Effizienzhaus 40 plus errichtet.⁴⁶ Durch den guten Dämmstand kann das Gebäude effizient mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe beheizt werden. Die Warmwasserversorgung erfolgt getrennt von der Heizung über insgesamt 16 elektronische Elektro-Durchlauferhitzer. Das sichert eine höhere Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe und erspart Kosten und grauen Energieeinsatz der technischen Infrastruktur mit Warmwasserspeicher und Zirkulationsleitungen, Dämmung und Pumpen. Zum Anlagenkonzept gehören stattdessen eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung und eine Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung mit Batteriespeicher. Im Gebäude wird durch die eigene Photovoltaik und den Umbau der nationalen Stromerzeugung auf erneuerbare Energien künftig vermehrt Ökostrom eingesetzt. Für das Objekt wurden Lastmessungen im bewohnten Zustand durchgeführt, um die tatsächliche Netzbelastung in einem rein elektrisch versorgten Wohngebäude festzustellen. Hier ist besonders der Winterbetrieb von Interesse, wenn die elektrische Wärmepumpe heizt, die Lüftungsanlage läuft und zusätzlich warmes Wasser benötigt wird.

Für die Darstellung von Sommer- und Winterbetrieb wurden zwei Zeiträume ausgewählt:

- 17.07.2020 – 24.07.2020 (Sommer, kein Heizbetrieb)
- 15.12.2020 – 05.01.2021 (Weihnachten/Neujahr)

Installierte Heiztechnik

Die elektrische Heiz- und Warmwassertechnik zusammen verfügt über eine elektr. Leistung vom 310 kW im Haus.

- Luft-Wasser-Wärmepumpe (mit 800l Pufferspeicher) ELCO AEROTOP T20 EXT 1 x 9,3 kW
- E-Komfortdurchlauferhitzer DSX Touch 8 x 24 kW
- E-Kompaktdurchlauferhitzer CFX-U 8 x 13,5 kW



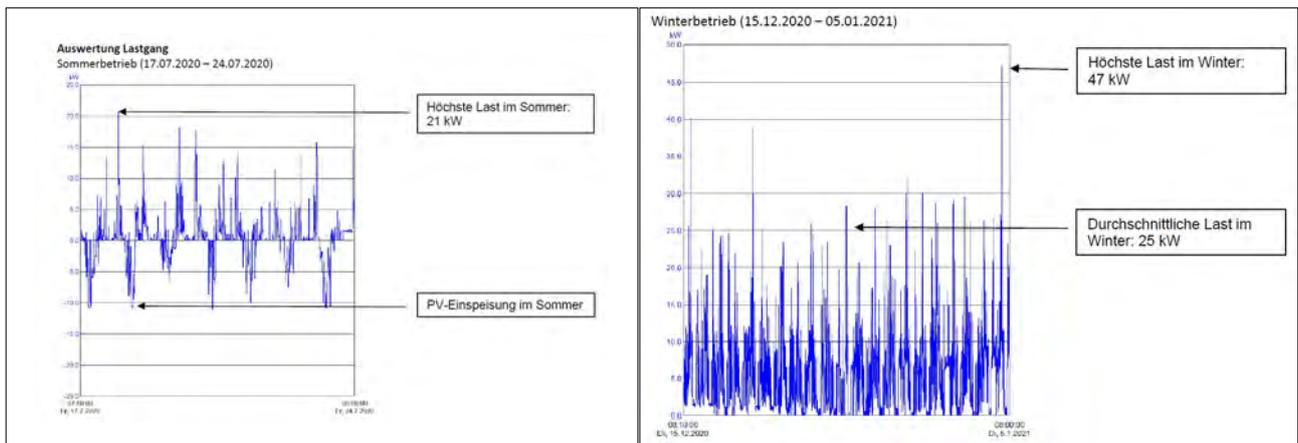
Abbildung 23: Quadro-Haus in Bad Bevensen

Ergebnisse der Lastmessung

Die Lastmessungen über beide Zeiträume zeigen, der tatsächliche Bedarf ist im Betrieb deutlich geringer als die Summe der Nennleistungen aller Wärmeerzeuger von 310 kW. Die abgeforderte Höchstlast lag im Sommer bei 21 kW und im Winter bei 41 kW, ein auf die Spitzenbelastung bezogener Gleichzeitigkeitsfaktor um 6 bis 13 %. Das untertrifft den in DIN 18015 für Gebäude mit 8 WE genannten Wert von $\phi = 28 \%$. Die durchschnittliche Netzbeanspruchung betrug im Sommer 10 kW und im Winter 25 kW. Der eingesetzte Hausanschluss mit 3x100 A (69 kVA) wurde auch im Corona-Jahr 2020 mit dem ersten Lockdown zu keinem Zeitpunkt beansprucht, obwohl mehr Zeit zu Hause verbracht wurde (Home-Office, Kontaktbeschränkungen, etc.). Selbst im Winterbetrieb wurden im Durchschnitt nur ca. 25 kVA (kW) benö-

tigt. Im Sommer war bei gefülltem Stromspeicher zeitweilig eine Einspeisung des Photovoltaikstroms ins öffentliche Stromnetz erforderlich, im Winter wurde der selbst erzeugte Strom kostensparend im Haus genutzt. Durch Lastmanagement können die erzielten Werte zukünftig in zeitlicher Hinsicht und in ihrer Größe beeinflusst werden. Die Messungen wurden vom örtlichen Stromversorger durchgeführt. Die Ergebnisse der VDEW-Studie sowie der DIN 18015 wurden bestätigt, letztere sogar unterschritten.

Abbildung 24: Höchste und durchschnittliche Last im Sommer und Winterbetrieb im Quadrohaus, Bad Bevensen



6.5 Lastmessungen am MFH K 76 Darmstadt (Passivhaus)

Das Passivhaus K 76 verfügt über 16 Wohneinheiten mit 1620 m² Wohnfläche (A_N), entsprechend ca. 1362 m² realer Wohnfläche.⁴⁷ Das MFH wurde 2017 im hochwärmegedämmten Standard des Passivhauses von einer hierfür gegründeten Wohnungsbaugenossenschaft errichtet. Die Verbrauchsmessung über zwei Heizperioden wurde dem Endbericht entnommen. Das am Gebäude realisierte Optimum des Wärmeschutzes ermöglicht den Einbau einer Infrarotstrahlungsheizung mit 2,2 – 3,7 kW Leistung pro Wohnung. Die Heizplatten sind unter den Decken installiert. Die Warmwasserbereitung erfolgt über 16 elektronische Durchlauferhitzer von je 21 kW in den Bädern und 16 Untertischspeicher (5-Liter, 2 kW) an den Küchenspülen. Die

Wohnungslüftung erfolgt über wohnungswise Wärmerückgewinnungsgeräte. Der Endbericht der Begleitforschung hebt den besonderen Nutzen der geringinvestiven Versorgungsstrategie hervor: „Die Investitionskosten sowie der Aufwand an grauer Energie für Heizraum, zentraler Wärmeerzeuger, Wärmequellenschließung, Pufferspeicher, Pumpen, Ventile, Leitung samt Leitungsdämmung, Wärmengenzähler samt dessen Ablesung, Heizkreisverteile, Fußbodenheizung und Heizstrich entfallen damit.“

Ab der zweiten Heizperiode war das Haus mit 40 Personen voll bewohnt und anfangs noch existierende kleinere Män-



Abb. 25: MFH K 76 in Darmstadt, Bild: Endbericht

gel im Anlagenbetrieb waren behoben. Die Messungen des Stromverbrauches zeigten, die gemessenen Kennwerte unterboten die Planwerte. Der Endenergie-

Jahresverbräuche	EnEV-Berechnung - Planwerte Endenergie kWh/(m ² *a)	Heizperiode 2018/2019 witterungsbereinigt kWh/(m ² *a)
Lüftungsanlage Stromverbrauch	3,1	2,2
Warmwasserbereitung (TWW)	16,9	6,7¹⁾
IR-Heizung witterungsbereinigt	24,4	20,7
SUMME	44,4	29,6

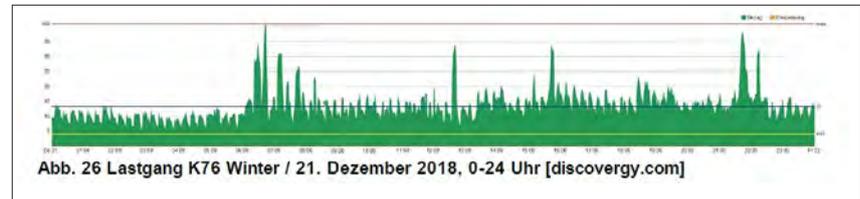
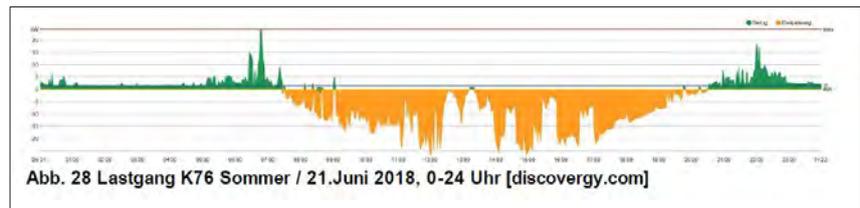
¹⁾ Umgerechnet von Fläche A_N auf Wohnfläche nach IWU, Deutsche Wohngebäudetypologie, Darmstadt 2015
Quelle: HTWG Konstanz, Prof. Dr. Thomas Stark u.a., Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Gebäude, Konstanz 2020

Tab. 11: Endenergiebedarf EnEV im Vergleich mit dem Endenergieverbrauch Heizperiode 2018/19 (Messwerte)

verbrauch Strom für Warmwasserbereitung ist mit $6,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \cdot \text{a})$ äußerst gering. Der Rechenwert für Nutzenergie TWW in der EnEV bzw. dem GEG liegt weit höher bei $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Typische empirisch erfasste Werte für den Endenergieverbrauch der TWW in Wohngebäuden liegen bei $16\text{--}35 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.⁴⁸

Der Lastgang ist durch kurze Spitzenwerte der installierten 16 E-Durchlauferhitzer bestimmt. Jedoch bildet sich auch bei diesem Gebäude die Summe der installierten Leistungen mit zusammen 336 kW nur zu einem Bruchteil im Lastgang ab. Der aus den Messwerten der E-Durchlauferhitzer bestimmte Gleichzeitigkeitsfaktor liegt bei ϕ 7,4 % und damit unter den Angaben der DIN 18015, der für diese Gebäudegröße ϕ von 18 % nennt. Die höchste Verbrauchsspitze wurde werktags jeweils ab 7:00 Uhr morgens verzeichnet, sie übersteigt die Grundlast von Beleuchtung, HH-Geräten, Kleinspeichern und Raumwärmeerzeugung ganzjährig um ca. 23–27 kW. Die Auswertungen des Berichtes enthalten leider keine Besprechung des Lastganges, er kann jedoch hinreichend aus

Abb. 26: Gemessener Lastgang in drei Jahreszeiten für das Gebäude K 76



Quelle: HTWG Konstanz, Prof. Dr. Thomas Stark u.a., Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Gebäude, Konstanz 2020

der Abbildung 26 entnommen werden. Weiteres Optimierungspotential besteht in der besseren Abstimmung von dem am Gebäude erzeugten Photovoltaikstrom mit dem Stromverbrauch, das Gebäude verfügt noch über keinen Stromspeicher. Auch steht die Steuerung der Verbraucher E-Durchlauferhitzer und der einzelnen Infrarotheizflächen im Tagesverlauf zur Reduktion von Spitzenstrom noch aus. Bisher werden die Heizflächen nur unzureichend und

einzelnen thermostatisch geregelt.

Das Konzept der TWW durch dezentrale Elektrogeräte ist im Hinblick auf die erzielten sparsamen TWW-Verbrauchswerte außerordentlich erfolgreich. Sie bestätigen nicht nur die Ergebnisse der VDEW-Studie, auch die Gleichzeitigkeitsfaktoren der DIN 18015 wurden sogar unterschritten

6.6 Verbrauchswerte Trinkwarmwasser im KliNaWo-MFH mit zentraler TWW

Das Mehrfamilienhaus in Passivhausstandard wurde 2017 im österreichischen Vorarlberg errichtet.⁴⁹ Die Wohnnutzfläche beträgt 1281 m², die auf 19 Wohnungen aufgeteilt sind. Die österreichische Wohnnutzfläche errechnet sich nur geringfügig größer als die deutsche Wohnfläche nach DIN 277, da dort alle Flächen unter 2 Meter Kopfhöhe voll in die Wohnfläche eingerechnet werden, andere Areale wie Balkone aber wegfallen. Entsprechend erfolgt hier keine Umrechnung. Das MFH verfügt beim baulichen Wärmeschutz und der Anlagentechnik über das physikalische Optimum. Trotz des erhöhten wärmetechnischen Aufwands bewegten sich seine Baukosten unter der Obergrenze für den österreichischen sozialen Wohnungsbau. Auch die gemessenen Jahresverbrauchswerte für Heizung und TWW liegen unter den Planungswerten.

Das TWW-System wurde als zentrales System mit Wärmepumpe plus thermischer Solaranlage mit zentralem Heizungs-/TWW-Speicher ausgeführt. Die Komponenten:

- Thermische Solaranlage 99 m²
- Speicherladepumpe
- Rohrleitungsdämmung zum Speicher
- Zentraler Kombispeicher für Heizung/TWW, 6 m³-Inhalt
- Hochtemperaturwärmepumpe TWW, JAZ gemessen 2,5 (Nachheizung im



Abb. 27: Mehrfamilienhaus im KliNaWo-Projekt; Bild: Endbericht Energieinstitut Vorarlberg

Sommer, Haupterzeuger im Winterbetrieb)

- Zirkulationsleitung 266 m
- Zirkulationspumpe
- Dämmung Zirkulationsleitung

6.7 Vergleich der TWW-Bereitung Gebäude K 76 und KliNaWo

Die beiden Gebäude wurden hinsichtlich ihrer Energieverbräuche sehr umfangreich über 2 Heizperioden gemessen. Die Messwerte zeigen, ein sehr niedriger Energieaufwand für die TWW-Bereitung lässt sich sowohl mit der zentralen als auch der dezentralen TWW erzielen, beim zentralen System ist jedoch eine Wärmepumpe erforderlich, um die Zirkulationsverluste zu kompensieren. Den geringsten Energieverbrauch für TWW weist das mit dem dezentralen Elektrodurchlauferhitzern ausgerüstete Gebäude auf, er liegt trotz einer um 21 % höheren Bewohneranzahl noch um 20 % unter dem Messwert des Gebäudes KliNaWo.

Das Ziel liegt im Höchstmaß an Effizienz bei der Energieverwendung. Mit Energiekennwerten für TWW unter 8 kWh/(m²*a) sinkt auf der Nachfrageseite sektorübergreifend der Bedarf für neu zu errichtende EE-Kraftwerke, angebotsseitig decken bei beiden Gebäuden thermisch-solare und photovoltaische Anlagen Teile des Bedarfs.

Damit stehen grundsätzlich beide Wege für die Zukunft offen, wobei beim Gebäude K 76 mit 6 bis 7 kWh/(m²*a) Endenergie für TWW-Bereitung das Effizienzziel durch das dezentral-elektrische TWW-

Tab. 11: Endenergieverbrauch und Bedarfs-Planwerte für das MFH KliNaWo Vorarlberg

Anwendungsbereich	Heizperiode 2018/2019 Endenergieverbrauch witterungsbereinigt kWh/(m ² _{WNF} *a)-	Planwerte nach PHPP Endenergiebedarf kWh/(m ² _{WNF} *a)
Endenergie Warmwasserbereitung (TWW)	8,3	9,9
Endenergie Gebäudeheizung	5,9	7,1
Endenergie Heizung + TWW	14,2	17,0
Endenergie Haustechnik+Leittechnik+Monitoring	3,7	3,6
Endenergie Allgmeinestrom	1,9	0,0
Endenergie Tiefgarage	1,3	0,0
Endenergie Haushaltsstrom	20,0	21,4
Gesamtsumme	41,1	42,0

*) Umgerechnet von Fläche A_g auf Wohnfläche nach IWU, Deutsche Wohngebäudetypologie, Darmstadt 2015
Quelle: Energieinstitut Vorarlberg, Martin Ploss u.a., Modellvorhaben KliNaWo, Monitoringsbericht 2019, Dornbirn 2019

System mit elektronischen Durchlauferhitzern auch mit einem Mindestmaß an grauer Energie für die Herstellung des technischen Systems erreicht wurde. Auch die Betriebskosten sind dort trotz des Strompreises von 40 Cent/kWh gering: Die Warmwasserkosten liegen für eine 100 m²-Wohnung bei 23 EUR pro Monat oder 0,78 Cent pro Tag.

Einen Vergleich mit den heute noch üblichen Energieaufwand für die TWW im Gebäudebestand zeigen die in Tab. 12 dokumentierten Werte aus der Techem-Studie 2022. Beide Gebäude erzielen eine sehr hohe Energieeinsparung von 75 bzw. 80 % gegenüber den heute noch üblichen zentralen TWW-Systemen im Gebäudebestand.

Endenergie-Messwerte TWW-Bereitung	Darmstadt MFH K 76 TWW dezentral E-Durchlauferhitzer + Kleinspeicher in Küchen kWh/(m ² *a)	Vorarlberg MFH KliNaWo zentrale TWW mit Solaranlage und Wärmepumpe, Zirkulation kWh/(m ² *a)	Zum Vergleich: Energieaufwand für TWW-Bereitung in Fernwärme/Gas/Öl beheizten Gebäuden mit zentraler Warmwasserbereitung kWh/(m ² *a)
Warmwasserbereitung (TWW)	6,7^{*)}	8,3	30,8/32,6/33,0
<small>*) Umgerechnet von Fläche A_g auf Wohnfläche nach IWU, Deutsche Wohngebäudetypologie, Darmstadt 2015, bezogen auf Fläche A_g = 5,6 kWh/(m²*a). Quelle: HTWG Konstanz, Prof. Dr. Thomas Stark u.a., Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Gebäude, Konstanz 2020; Energieinstitut Vorarlberg, Martin Ploss u.a., Monitoringbericht KliNaWo, Dornbirn 2019; Techem, Verbrauchskennwerte 2021, Eschborn 2021</small>			

Tab. 12: Vergleich des gemessenen Endenergieverbrauchs für TWW zwischen zwei MFH in Passivhausstandard mit zentralem und dezentralem TWW-Bereitungssystem

7. Handlungsträger und energiepolitischer Vorschlag

Erforderlich ist die Anregung einer Diskussion mit dem Ziel, die neue Rolle und Bedeutung der elektrischen TWW im Gebäudebestand und beim Neubau darzustellen und ihren Stellenwert bei der notwendigen Beseitigung der Schwachstellen in der „Peripherie“ von Heizanlagen zu unterstreichen. Die Diskussion sollte die folgenden Handlungsträger erfassen können:

Entscheidungsvorbereitung

- Bauhandwerk
- SHK-Handwerk
- Schornsteinfeger
- Ausbauhandwerks-Gewerke
- Architekten
- Stadtplaner
- Ingenieure, beratende Ingenieure
- Energieberater und ihre Verbände
- Energieversorger
- Bauverwaltung
- Planungsämter
- Bauunternehmen
- Berufsschullehrer der
- Baufachrichtungen, techn. Ausbau
- Architekturstudenten und-Hochschullehrer
- Bauingenieurstudenten und-Hochschullehrer
- Banken, Sparkassen
- Bausparkassen

Anlagenbetreiber

- Private Hauseigentümer, verbände (EFH,RH)
- Private Vermieter
- -Wohnungsbaugesellschaften,-genossenschaften, sonstige Eigentümergruppen
- Investoren im Bausektor
- Verband Haus und Grundeigen-

tümer

- Verband Freie Wohnungswirtschaft
- Bauunternehmen
- Generalunternehmer
- Facility-Management-Unternehmen
- Handel, Banken Versicherungen als Gebäudebetreiber
- Handwerk als TWW-Verbraucher
- Gewerbe/Industrie (optional, Nichtwohnbaubestand)
- Investorengruppen Nichtwohngebäude,
- technische Abteilungen der Banken und Versicherungen

Multiplikatoren

- Umweltverbände
- Fachzeitschriften
- Umweltzeitschriften

Die Wärmewende erfordert über den Energieträger- und Kesseltausch hinausgehende Maßnahmen, es steht die Optimierung des gesamten Systems inklusive seiner jahrzehntelang gewachsenen Mängel an, um den notwendigen Zubau von EE-Erzeugungsanlagen zu begrenzen. Ökologische Systeme verfügen über keinen Überfluss, auch der Einsatz baulicher Ressourcen ist daran zu messen. Es macht demzufolge keinen Sinn, Windkraftwerke wegen geringer Gerätewirkungsgrade und vermeidbarer TWW-Zirkulationsverluste bauen zu müssen. Zielführend ist es indessen, über die Öffentlichkeitsarbeit der Hersteller und ihrer Fachverbände die Notwendigkeit einer grundsätzlichen Modernisierung des TWW-Systems in einer Informationskampagne gegenüber Kommunen, Bauverwaltungen der Länder, Bauträger, Wohnungsbaugesellschaften sowie die Baufachzeitschriften und Baupublikums-

zeitschriften darzustellen.

Die neue Bedeutung der dezentralen elektrischen TWW sollte anhand einer ausdrücklichen Benennung als förderfähiges Element in die technischen Merkblätter der BAFA und der KfW eingehen. Es gilt nicht nur der energetische Modernisierung im Gebäudebestand Beachtung zu schenken, sondern auch den Neubau, für den die Einsparung „grauer Energie“ ein energiepolitisches Ziel beschreibt.

Ähnlich der niederländischen Förderung „erdgasfreier Wohnquartiere“ wird die Förderung des Ersatzes von Gasdurchlauferhitzern durch elektronische E-Durchlauferhitzer nach BEG als Einzelmaßnahme vorgeschlagen. Bei dieser Maßnahme entsteht keine Amortisation der Kosten, da bis auf weiteres der Haushaltsstrompreis über dem Gaspreis liegt. Für die Anreizförderung wird ein Betrag von 1.000 EUR pro Gerät vorgeschlagen, um vorgezogene Investitionen außerhalb der Modernisierungszyklen anzuregen. Die bereitzustellende Fördersumme läge bei einer Streckung über 10 Jahre bei 430 Mio. EUR pro Jahr.

Die Modernisierung von hydraulischen E-Durchlauferhitzern durch elektronische DLE führt zu einer um 20 % geringeren Belastung des Stromnetzes. Aus dieser energiepolitischen Erwägung heraus, ist diese Modernisierungsstrategie förderungswürdig. Bei einem Satz von 850 EUR pro Gerät entstünde für 15 Jahre ein jährlicher Förderbetrag von 198 Mio. EUR. Die Kosten der ersparten 233 Windkraftwerke liegen einmalig bei 770 Mio. EUR, jedoch liegt die Hauptentlastung im Wegfall von Windkraftwerks-Standorten.

8. Ausblick auf den Gebäudebestand

Im Gebäudebestand dominiert mit 72 % an allen Wohneinheiten die zentrale TWW mit dem Heizkessel. Ihr Brennstoffaufwand wurde für Wohngebäude nach Techem⁵⁰, Studien von Prof. Wolff et al. und Messungen der Wohnungswirtschaft⁵¹ mit 16-36 kWh/(m²*a) gemessen, der Nutzwärmebedarf zwischen 15 und 25 kWh/(m²*a) bestimmt.

men werden im Mittel in vielen Wohnungen nur rund 15 m³ Warmwasser im Jahr verbraucht. Daraus resultiert ein Energieverbrauch von rund 28 bis über 30 kWh/m² Wohnfläche im Jahr. Der Warmwasser-Energieverbrauch kann aber in Einzelfällen auch zwischen 30 und 50 kWh im Jahr und damit über dem Energieverbrauch für Heizung lie-

bei Annahme eines mittleren Wärmeverlustes von 15 kWh/(m²*a), die gesamten Zirkulations- und Speicherverluste in Höhe von ca. 38 TWh pro Jahr. Diese Entlastung beträgt mit 36 % mehr als ein Drittel des Energieaufwandes für TWW im Wohngebäudebestand in Höhe von 106 TWh. Mit dieser überschlägigen Abschätzung ist eine Größenordnung genannt: Die hohen Verluste im TWW-Verteilungsbereich gehören zu den Faktoren, die für die Wärmewende abgebaut werden müssen. Diese Modernisierung ist auch Voraussetzung für die Erzielung hoher JAZ bei Heizungs-Wärmepumpen. In ihrer Studie „EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft“⁵³ zeigen die Autoren Wolff et al., dass die Varianten mit dezentraler TWW auf Basis von elektronischen Durchlauferhitzern eine Elektrowärmepumpenstrategie unterstützen, indem die JAZ um bis zu 0,5 Punkte auf die Bafa-Anforderungen angehoben wird. Elektronische Durchlauferhitzer empfehlen sich nicht nur als Modernisierungsstrategie für vorhandene veraltete elektrische Warmwassergeräte, sondern sind auf Basis einer decarbonisierten Stromversorgung geeignet die zentralen TWW-Systeme abzulösen.

Tab. 13: Kennwerte für den TWW-Verbrauch im Wohngebäudebestand bei zentraler Warmwasserbereitung

Kennwerte für Energie und Verbrauch an Warmwasser (TWW) in zentralen Anlagen				
	TWW-Verbrauch je Wohnung in m ³	Energieverbrauch TWW nach Volumen kWh/a je m ³ WW	Energieverbrauch TWW nach Fläche kWh/m ² WF	Anteil TWW an Gesamtverbrauch in %
Mittelwert	15	124	28	31 %
min.	5	62	15	16 %
max.	43	233	99	45 %

Quelle: BBU, ALPHA-Handbuch, Berlin 2016

Das ALPHA-Handbuch der Wohnungswirtschaft stellt zur fehlenden Effizienz im TWW-Bereich fest: „Das liegt u. a. auch an den bisher nicht messbaren Zirkulationsverlusten in der Warmwasserverteilung, die bis zu 50 Prozent des Energieverbrauchs für Warmwasser betragen können. (...) Nach Erhebungen des BBU bei seinen Mitgliedsunterneh-

gen. Zirkulationsverluste können einen Energieverbrauch zwischen 13 und 26 kWh/m² Wohnfläche im Jahr verursachen.“

Mit dem Übergang zu dezentraler TWW mit elektronischen DLE entfielen bei Stilllegung aller Zirkulationsleitungen im deutschen Wohngebäudebestand und



Endnoten

- ¹ Deutsche Energie-Agentur (dena): dena-Gebäudereport 2021 – Fokusthemen zum Klimaschutz im Gebäudebereich
- ² Bayrische Landesanstalt für Umwelt, EXCEL-Blatt über die CO₂-Emissionen des deutschen Energiesystems unter: https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnen-sie-ihre-treibhausgasemissionen-mit-co2-rechner.
- ³ Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU), ALPHA-Handbuch, Berlin 2016
- ⁴ Tobias Loga, Institut Wohnen und Umwelt, Energiepaß Heizung/Warmwasser, Darmstadt 2001
- ⁵ Tobias Loga, IWU, Energiebilanz-Toolbox, Darmstadt 2001
- ⁶ Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Conrad U. Brunner, Verminderung des elektrischen Energieverbrauchs in Gebäuden, Zürich 1986
- ⁷ CLAGE GmbH, Technische Informationen, fortlaufend, www.clage.de
- ⁸ CLAGE GmbH, Modernisierung des Gebäudekomplexes Die Welle in Frankfurt, Lüneburg 2019
- ⁹ CLAGE GmbH, Darstellung meßtechnischer Ergebnisse des regionalen Stromversorgers Celle-Uelzen-Netz GmbH über die Leistungsmessung der elektronischen Durchlauferhitzer im MFH „Quadrohaus“, Lüneburg 2020
- ¹⁰ Forschungsprojekt IR-Bau, Prof. Dr. Thomas Stark, u.a., Potenzial für Infrarot-Heizsysteme für hocheffiziente Wohngebäude, Darmstadt/Kaiserslautern/Konstanz 2020
- ¹¹ Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU), ALPHA-Handbuch, Berlin 2016
- ¹² Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE, Universität München, Energiesparpotenziale durch Optimierung bestehender Trinkwassersysteme, München 2017
- ¹³ Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 2: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021
- ¹⁴ Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 5: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021
- ¹⁵ BaltBest Abschlussbericht, zum Voprhaben BaltBest Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsanlagen im Bestand, Bochum 2022
- ¹⁶ BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Heizungsmarkt Wohnungswirtschaft, Berlin 2016
- ¹⁷ BDEW Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland, Berlin 2019 und 2022
- ¹⁸ Institut Wohnen und Umwelt, Nikolaus Diefenbach, Tobias Loga u.a., Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand, Darmstadt 2001
- ¹⁹ Delta-q, Prof. Dr.-Ing. Jagnow, Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, TWW Wolfenbüttel: <https://www.delta-q.de/energie/kennwerte/>.
- ²⁰ VDEW, Elektro-Warmwasserversorgung im Haushalt: netztechnische und elektrizitätswirtschaftliche Betrachtung, Frankfurt 1991
- ²¹ 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.
- ²² Deutsche Wohngebäudetypologie TABULA, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2015: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebäudebestand/episcopo/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf
- ²³ Institut Wohnen und Umwelt (Hrsg.), Michael Hörner, Forschungsdatenbank Nicht-Wohngebäude, ENOB: dataNWG, Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland, Darmstadt 2022
- ²⁴ IWU/Bremer Energieinstitut, Datenbasis Gebäudebestand, Darmstadt 2010
- ²⁵ IWU, Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016, Darmstadt 2018
- ²⁶ 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
- ²⁷ Diefenbach/Cischinsky, IWU, Datenbasis Gebäudebestand, Darmstadt 2010; Zwischen 2010 und 2022 wurde eine Abnahme der Kleinspeicheranzahl in Wohngebäuden von 4,8 auf 3,8 % angenommen, da in der Modernisierung der Trend zu zentralen Systemen geht.
- ²⁸ Mittelwert aus 9 marktführenden Geräten Baujahr nach 2020, die Bereitschaftsverluste werden somit eher unterschätzt; eine ältere Datenaufstellung findet sich in: RWE, Bauhandbuch, 12. Auflage, Essen, Seite 15/44;
- ²⁹ RWE, Bauhandbuch, 12. Auflage, Essen 1998. Hier wird eine Bandbreite in den Angaben zu den Speicherbereitschaftsverlusten von 5-Liter-Speichern von 0,25 bis 0,45 kWh/d je nach Warmwassertemperatur von 45 °C bis 65 °C angegeben. Nach IWU, Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen, Darmstadt 2002 ergeben sich für 5-Liter-Speicher ab 1990 Bereitschaftsverluste von 0,359 kWh/d, dies ist auch mit 59 Watt der Grenzwert nach DIN V 4753 Teil 8 und der in die DIN 4701-10 aufgenommene Wert. Für Speicher bis 25-Liter Inhalt gibt der IWU, Energiepaß Heizung+Warmwasser, Darmstadt 2001 Bereitschaftsverluste von 1,10 kWh/d an.
- ³⁰ FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Universität München, Energiesparpotenziale durch Optimierung bestehender Trinkwassersysteme, München 2017
- ³¹ CLAGE GmbH, Modernisierung des Gebäudekomplexes Die Welle in Frankfurt, Lüneburg 2019
- ³² <http://www.klimagaarden.de/> Die einzelne Stromverbrauchsspitze von 0,13 kWh zwischen 25. und 26.11. blieb ungeklärt.
- ³³ bdew, Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Deutschland, Berlin 2019 und 2022; Enthält Basisdaten und Einflussfaktoren, auch Beheizungs- und TWW-Strukturdaten
- ³⁴ RWE, Bauhandbuch, 12. Auflage, Essen 1998. Hier wird eine Bandbreite in den Angaben zu den Speicherbereitschaftsverlusten von 10-50-Liter-Speichern von 0,31 bis 0,90 kWh/d je nach Warmwassertemperatur von 45 °C bis 65 °C angegeben. Nach IWU, Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen, Darmstadt 2002 ergeben sich für 10-50-Liter-Speicher ab 1990 Bereitschaftsverluste zwischen 0,6 und 1,25 kWh/d.
- ³⁵ ebenda
- ³⁶ IWU, Energiepaß Heizung+Warmwasser, Darmstadt 2001
- ³⁷ FfE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Universität München, Energiesparpotenziale durch Optimierung bestehender Trinkwassersysteme, München 2017
- ³⁸ ebenda
- ³⁹ Vgl. Studie im hier vorliegenden Studienkonvolut niedriginvestiver Energiespartechiken: WILO, Strom- und CO₂-Einspa-

- rung durch vorzeitigen Austausch von elektronischen Umwälzpumpen in Wohn- und Zweckbauten, Frankfurt am Main 2022
- ⁴⁰ VDEW, „Elektro-Warmwasserversorgung im Haushalt: Netztechnische und elektrizitätswirtschaftliche Betrachtung“, Frankfurt am Main 1991
- ⁴¹ Das ist ein Drittel der „Gänsebraten-Spitze“ im deutschen Stromnetz zu Weihnachten, die regelmäßig am 1. Weihnachtstag zwischen 9:00 und 11:30 Uhr auftritt und die mittlere Netzlast um rund 15 GW erhöht – ohne Probleme zu erzeugen.
- ⁴² <https://de.wikipedia.org/wiki/Spitzenlast>
- ⁴³ DIN 18015-1 : 2013-09, Beuth Verlag Berlin 2013
- ⁴ Recknagel/Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, München 2005, Seite 1741 ff.
- ⁴⁵ CLAGE GmbH, Darstellung meßtechnischer Ergebnisse des regionalen Stromversorgers Celle-Uelzen-Netz GmbH über die Leistungsmessung der elektronischen Durchlauferhitzer im MFH „Quadrohaus“, Lüneburg 2020
- ⁴⁶ Berechnet nach Tobias Loga, IWU, Deutsche Wohngebäudetypologie, Darmstadt 1981, Seite 81
- ⁴⁷ HTWG Konstanz, Prof. Dr. Thomas Stark u.a., Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Gebäude, Konstanz 2020
- ⁴⁸ Techem, Energiekennwerte, Eschborn 2022
- ⁴⁹ Energieinstitut Vorarlberg, Martin Ploss u.a., Monitoringbericht 2019, Vorarlberg 2019
- ⁵⁰ Techem, a.a.O.
- ⁵¹ Prof. Dieter Wolff u.a., Ostfalia FH Wolfenbüttel, DBU-Projekt "EAV-Anwendung in der Wohnungswirtschaft" Teil 2: Excel-Rechenhilfe Standardbilanz (Abschlussbericht), Wolfenbüttel 2021 sowie die übrigen Bände der Untersuchungsreihe
- ⁵² Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU), ALPHA-Handbuch, Berlin 2016
- ⁵³ Prof. Dieter Wolff. A.a.O., alle Bände der Gebäudeuntersuchungen
-