

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 7



Bildquelle: © Panther Media/futag.mail.ru

Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau

Juni 2014

Kurzanalyse Nr. 7: Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau
3. aktualisierte Auflage 2016

Autoren:

Dr.-Ing. Nicole Becker, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
Franziska Pichlmeier, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (Aktualisierung)

Die Kurzanalyse wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
Tel. +49 30 27 59 506 0
Fax +49 30 27 59 506 30
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Coverbild: © PantherMedia/futag.mail.ru

Satz und Gestaltung: Marco Naujokat

Druck: LASERLINE Digitales Druckzentrum Bucec & Co. Berlin KG Scheringstraße 1, 13355 Berlin

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	2
2. MYTHOS: DICKE DÄMMSTOFFPAKETE VERBRAUCHEN IN DER HERSTELLUNG MEHR ENERGIE ALS SIE JE EINSPAREN	4
3. KRITERIEN FÜR RESSOURCENEFFIZIENZ	8
3.1 Rohstoffart	9
3.2 Energiebedarf	9
3.3 CO ₂ -Emission	15
3.4 Energiebedarf/CO ₂ -Emission nach Einsatzbereich	17
3.5 Entsorgung	22
4. ZUSAMMENFASSUNG	27
5. ANHANG	30
6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	34

1. EINLEITUNG

Ein Drittel des deutschen Endenergieverbrauchs entfällt auf Heizung und Warmwasserbereitung¹. Diese Zahl verdeutlicht, dass die Umsetzung von Energieeffizienz und die Energiewende in Deutschland nur dann gelingt, wenn sie eine systematische und hochwertig energetische Sanierung des Gebäudebestands einschließen. Dies zieht in den kommenden Jahren eine ganz erhebliche Bautätigkeit nach sich. Um dabei nicht nur im Hinblick auf die endlichen Energierohstoffe Verantwortung für kommende Generationen zu übernehmen, sollte auch der Ressourcenverbrauch der hervorgerufenen Bautätigkeit beachtet werden. Kurz: eine erfolgreiche Energiewende ist nur über Ressourceneffizienz d.h. die Kombination von Energie- und Materialeffizienz möglich.

Der Bausektor ist gekennzeichnet von langen Nutzungsdauern und hohen Investitionskosten. Daher sollten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz immer mit einem hohen, zukunftsfähigen Dämmstandard, wie beispielsweise dem Passivhaus-Standard, durchgeführt werden. Niemand möchte in ein oder zwei Jahrzehnten aufgrund gestiegener Energiepreise erneut zehntausende Euro in ein voll funktionsfähiges Bauteil stecken müssen. Unter dem Gesichtspunkt der Materialeffizienz sollte gleichzeitig die Ressourceninanspruchnahme über den Lebensweg reduziert werden. Dies kann durch eine entsprechende Materialwahl gelingen. Da Dämmstoffen eine zentrale Rolle bei der energetischen Gebäudesanierung zukommt, wird in der vorliegenden Publikation die Ressourceneffizienz der zahlreichen am Markt erhältlichen Materialien vergleichend untersucht.

Unter dem Blickwinkel der Ressourceneffizienz ist die Sanierung bestehender Gebäude in doppelter Hinsicht positiv: neben der erzielten Energieeinsparung bedeutet sie im Vergleich zum Neubau nur ein Drittel des Materialverbrauchs².

Es sei darauf hingewiesen, dass vor jeder energetischen Sanierung ein Fachmann, beispielsweise ein Energieberater, die Ausgangslage des zu sanierenden Gebäudes untersuchen und ein umfassendes Sanierungskonzept ausarbeiten sollte. Dabei ist neben

¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiedaten, Berlin, 25.1.2012

² UBA (Hrsg.): Rohstoffeffizienz – Wirtschaft entlasten, Umwelt schonen, 2010, S. 8

der Dämmung großer Flächen ein besonderes Augenmerk auf Übergänge und Anschlüsse zu richten, da diese leicht zu verlustträchtigen Wärmebrücken werden können.

Eine besondere Situation ergibt sich bei Gebäuden, in denen aufgrund innerer Wärmequellen erhöhte Raumtemperaturen zu erwarten sind und daher eine Kühlung vorzusehen ist. Dies ist sehr häufig in Nichtwohngebäuden wie beispielsweise Krankenhäusern der Fall. Hier muss der Energieaufwand für die Kühlung in die ökobilanzielle Bewertung von Dämmmaßnahmen mit einfließen, wodurch sich eine veränderte Effizienz ergeben kann.

2. MYTHOS: DICKE DÄMMSTOFFPAKETE VERBRAUCHEN IN DER HERSTELLUNG MEHR ENERGIE ALS SIE JE EINSPAREN

Die Sinnhaftigkeit der energetischen Gebäudesanierung sei durch einen plakativen Vergleich dargestellt: ein Einfamilienhaus mit 120 m² Grundfläche und durchschnittlichen Wärmedämmeigenschaften verbraucht zur Raumheizung jährlich ca. 1600 l Heizöl³. Dabei würden bereits 40 Prozent des in einem Winter verheizten Erdöls ausreichen, um daraus eine 25 cm dicke Fasadendämmung aus Expandiertem Polystyrol (EPS)⁴ herzustellen und damit über Jahrzehnte den Heizölbedarf des Gebäudes drastisch zu reduzieren⁵.

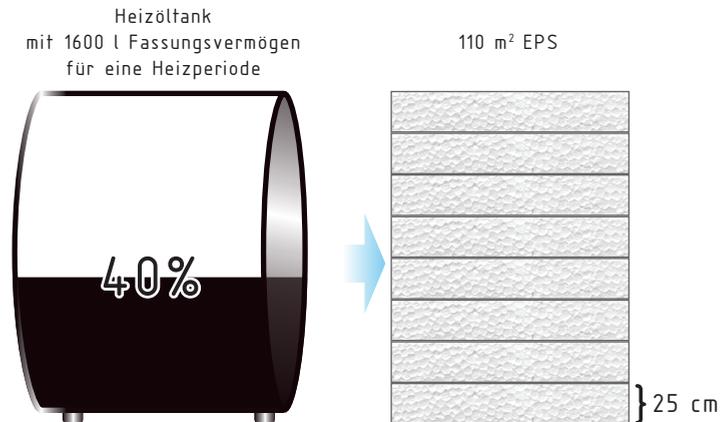


Abb. 1: Vergleich Heizölbedarf für eine Heizperiode zu Erdölbedarf für komplette Fasadendämmung aus EPS

Dennoch hält sich der Mythos, dass bei sehr großen Schichtdicken an Dämmung diese in der Herstellung mehr Energie benötigen, als sie in der Nutzungsdauer einsparen. Um den Wahrheitsgehalt dieser Aussage zu prüfen, stellt die nachfolgende Abbildung, in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke, den Energieverbrauch für die Dämmstoffherstellung den Energieeinsparungen während der Nutzungsphase gegenüber. Dabei wurde von einer Wand aus 24 cm

³ Angenommen wurde der durchschnittliche deutsche Heizölverbrauch laut Techem-Studie von 13,6 l/m² a; das entspricht einem Energieverbrauch von ca. 136 kWh/m²a.

⁴ Besser bekannt unter dem Markennamen Styropor®

⁵ Durch die angenommene Dämmstoffdicke wird Passivhausniveau erzielt; angenommen wurde eine Fassadefläche von 110 m²; für die Herstellung von 1 kg Styropor werden 1,3 kg Erdöl benötigt (Quelle: Industrieverband Hartschaum e.V. (IVH)); es wurde eine EPS-Dichte von 16,6 kg/m³ angenommen.

Hochlochziegeln ausgegangen. Für das angegebene Beispiel wurde bewusst ein Dämmstoff mit einem hohen Herstellungsenergiebedarf (d. h. nicht erneuerbare Primärenergie) gewählt, im konkreten Fall EPS⁶.

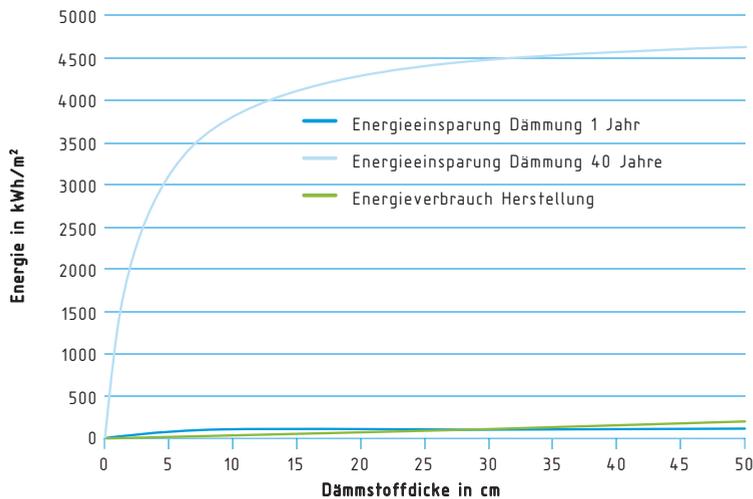


Abb. 2: Vergleich Energiebedarf zur Dämmstoffherstellung und Energieeinsparung während der Nutzungsphase

Es zeigt sich, dass über eine 40-jährige Nutzungsdauer⁷ die eingesparte Raumwärme bei weitem die Energie für die Produktherstellung überschreitet. Für eine Dämmstoffdicke von bis zu 28 cm wird diese sogar innerhalb eines Jahres eingespart. Die nachfolgende Untersuchung der Dämmstoffe wird zeigen, dass zahlreiche Dämmstoffe deutlich weniger Herstellungsenergie benötigen als das hier gewählte EPS, die Bilanz also noch günstiger ausfällt.

Interessant ist auch eine vergleichende Energie- und Kostenbilanz, die die aktuell gültige Energieeinsparverordnung EnEV 2014 ab der

⁶ Industrierverband Hartschaum e. V. (IVH): Umwelt-Produktdeklaration: EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer, 2015, URL: <https://epd-online.com/EmbeddedEpdList/Download/7108> [Stand: Dezember 2016]

⁷ Anmerkung: Die anzunehmenden Nutzungsdauern von Bauteilen sind aktuell noch Gegenstand von Diskussionen wie beispielsweise die Einrichtung der Arbeitsgruppe „Nutzungsdauern“ beim Runden Tisch „Nachhaltiges Bauen“ verdeutlicht; die angegebene 40-jährige Nutzungsdauer wurde folgender Quelle entnommen: BBSR: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Stand: 03.11.2011, URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html> [Stand: Januar 2014]

Verschärfung 2016 ($U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ ⁸) dem deutlich ambitionierteren Dämmstandard des Passivhauses ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) bei einer 40-jährigen Nutzungsdauer gegenüberstellt:

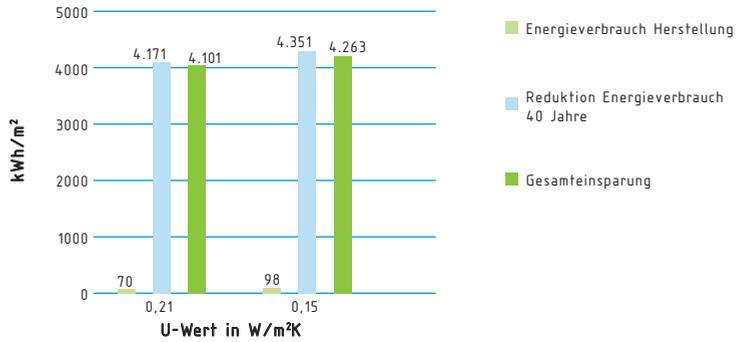


Abb. 3: Energiebilanz für Dämmung nach EnEV 2014/2016 ($U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Passivhaus-Standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)

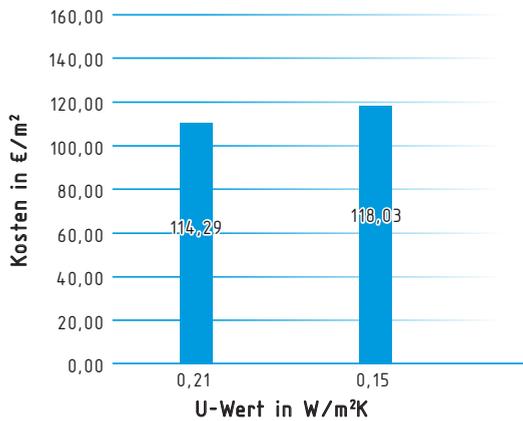


Abb. 4: Herstellungskosten für Dämmung nach EnEV 2014/2016 ($U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Passivhaus-Standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)

⁸ U-Wert: Wärmedurchgangskoeffizient, i. e. Maß für die Dämmeigenschaft eines Bauteils; gibt an, wie viel Watt durch einen Quadratmeter Bauteil bei einem Temperaturunterschied von einem Kelvin bzw. Grad Celsius durchfließen.

⁹ Es wurde erneut ein Wandaufbau mit 24 cm Hochlochziegeln und einer EPS-Dämmung betrachtet. EnEV 2014, Anlage 1: Anforderungen an Wohngebäude; EnEV 2014 ab 2016, Anlage 1: Anforderungen an Wohngebäude, URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/V/verordnung-zur-energiesparverordnung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> [Stand: Dezember 2016]; Passivhaus-Institut: Qualitätsanforderungen an Passivhäusern, URL: http://passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm [Stand: Dezember 2016]

Der erhöhte Herstellungsenergiebedarf für die Passivhausvariante wird durch die Ersparnisse weit überkompensiert. Die Dimension der Energieeinsparung wird dabei erst fassbar, wenn man sich vor Augen führt, dass sich die angegebenen Werte auf einen Quadratmeter beziehen. Was die Kosten einer nachträglichen Gebäudedämmung anbelangt, so sind diese zum überwiegenden Teil auf Fixkosten zurückzuführen¹⁰. In dem hier gewählten Beispiel einer Wandaußendämmung unter Putz, besser bekannt unter der Bezeichnung Wärmedämmverbundsystem (WDVS), beinhalten diese beispielsweise das Aufstellen eines Gerüsts sowie das abschließende Verputzen und Streichen der Fassade. Daher verursacht der erhöhte Dämmstandard nur die vergleichsweise geringen Mehrkosten von 6,62 €/m² für zusätzliches Dämmmaterial. Würde man alternativ diese Mehrkosten für Energie aufwenden, so könnte man hierfür 79 kWh Heizöl beziehungsweise 103 kWh Erdgas beziehen – einen Bruchteil der Energiemehraufwendungen, die bei Anwendung des Dämmstandards nach EnEV 2014 ab der Verschärfung 2016 anfallen würden¹¹.

¹⁰ Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU) (Hrsg.): Querschnittsbericht Energieeffizienz im Wohngebäudebestand, Darmstadt, 2007, S. 11; Öko-Test: Unter Dach und Fach – Dachdämmstoffe, 10/2009, S. 147

¹¹ Angenommen wurde der durchschnittliche deutsche Endverbraucherpreis für 2012 laut Statistischem Bundesamt, i.e. 8,16 Cent/kWh für Heizöl leicht und 6,39 Cent/kWh für Gas; Verluste bei der Wärmeerzeugung u. ä. wurden nicht berücksichtigt.

3. KRITERIEN FÜR RESSOURCENEFFIZIENZ

Unter dem Gesichtspunkt der Ressourceneffizienz ist es entscheidend, nicht nur die Energieeinsparung eines Dämmstoffes während der Nutzung zu betrachten, sondern den gesamten Produktlebensweg zu analysieren. Dies beinhaltet auch die Herstellung und die Entsorgung des Dämmstoffes am Lebenswegende. Dabei steht die zu erzielende Dämmwirkung eines Bauteils auch weiterhin im Mittelpunkt. Sie wird als gewünschte Funktion beziehungsweise Nutzen der sogenannten funktionalen Einheit festgelegt. Bezogen auf diese Funktion werden nunmehr die einzelnen Dämmstoffe anhand von vier Ressourceneffizienzkriterien entlang des Produktlebenswegs miteinander verglichen:

1. Rohstoffart
2. Energiebedarf (Herstellung)
3. CO₂-Emission (Herstellung)
4. Entsorgung (End of Life)

Die Daten für die ökobilanzielle Bewertung der Materialien wurden dabei der Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2016-I beziehungsweise soweit vorliegend den Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) entnommen¹². Als funktionale Einheit wurde eine Dämmwirkung von $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ d.h. Passivhaus-Standard festgelegt, die bei einem bestehenden Gebäude erzielt werden soll. Es wurde davon ausgegangen, dass ein schlecht wärmedämmendes Bauteil mit einem U-Wert von $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, wie dies beispielsweise als oberer Gebäudeabschluss bei Mehrfamilienhäusern aus den 60er Jahren anzutreffen ist, nachträglich gedämmt wird¹³. Entsprechend der Wärmedämmeigenschaften der einzelnen Dämmstoffe variiert die für das Passivhausniveau erforderliche Dämmschichtdicke (s. Tabelle 1).

¹² Eine detaillierte Aufschlüsselung der Herkunft der Datensätze für die einzelnen Dämmstoffe findet sich im Anhang. Informationsportal Nachhaltiges Bauen, BMVBS: Ökobau.dat (Version 2016-I), URL: <http://www.nachhaltigesbauen.de/oekobaudat/> [Stand: Nov. 2016]; Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU): Umwelt-Deklarationen (EPD) – Dämmstoffe, URL: <http://ibu-epd.com/epd-programm/veroeffentlichte-epds/> [Stand: Nov. 2016]

¹³ Es wurde von einem vergleichsweise schlecht gedämmten Bauteil ausgegangen, so dass für die Mehrzahl der energetischen Sanierungen eine geringere Dämmschichtdicke erforderlich sein wird. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU): Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze, 2. Auflage, Dez. 2003

3.1 Rohstoffart

Die Rohstoffart wurde als Kriterium für Ressourceneffizienz aufgenommen, da möglichst geringe Mengen knapper Ressourcen verbraucht werden sollten. Die Verwendung nachwachsender Rohstoffe oder von Materialien mit einem Recyclinganteil von mehr als 50 Prozent ist somit positiv zu bewerten. Nachfolgend werden daher drei Gruppen von Dämmstoffen unterschieden: mineralische, fossile und nachwachsende, wobei diese Unterscheidung auch zwecks Übersichtlichkeit als Untergliederungselement für die zahlreichen untersuchten Dämmstoffe dienen wird. Besonders der Einsatz fossiler Materialien ist dabei aufgrund der zunehmenden Knappheit als kritisch zu bewerten. Bei der Betrachtung der Dämmstoffe ist auch die Zusammensetzung der Materialien zu beachten. Die als nachwachsend bezeichneten Dämmstoffe weisen 5 bis 15 Prozent Anteile an nicht nachwachsenden Zusatzstoffen auf. Diese Zusätze werden unter anderem als Brandschutzmittel (z.B. Aluminiumsulfat), als Feuchteschutzmittel (z.B. Paraffin) oder als Stützfasern (z.B. Polyesterfasern) benötigt. Nur einzelne Dämmstoffe bestehen zu 100 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen.

3.2 Energiebedarf

Beim Energiebedarf für die Dämmstoffherstellung ist zu unterscheiden zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie, wobei letztere das entscheidendste Bewertungskriterium darstellt¹⁴. Für zahlreiche Dämmstoffe werden dabei je nach Einsatzgebiet verschiedene Werte angegeben. Diese ergeben sich aus den unterschiedlichen Anforderungen an die Druckfestigkeit, die beispielsweise für eine Flachdachdämmung viel höher sein muss als für eine Zwischensparrendämmung. Hierfür ist eine entsprechend höhere Materialdichte erforderlich, die einen erhöhten Materialbedarf und damit auch einen höheren Energiebedarf sowie höhere CO₂-Emissionen bei der Produktion nach sich ziehen. Eine detaillierte Übersicht über die erforderliche

¹⁴ Der angegebene Primärenergieeinsatz beinhaltet sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung der Energieträger, d.h. beispielsweise bei Erdöl neben der Nutzung zur Energieerzeugung auch die stoffliche Verwendung zur Herstellung von Kunststoffen. Die in den Produkten gebundene Energie wird am Lebenswegende bei der thermischen Verwertung (Erzeugung von Strom und Wärme) gutgeschrieben. Als Referenzdatenbank der Ökobau.dat 2016-I dient die GaBi-Datenbank. Um eine detaillierte Abgrenzung zu den verschiedenen existierenden Definitionen des Energiebedarfs wie etwa KEA und KNA zu ermöglichen, sei auf folgende Quelle hingewiesen: PE International: Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen – Methodische Grundlagen, Version 2 – 09.12.2011, URL: www.nachhaltigesbauen.de/no_cache/baustoff-und-gebauedaten/oekobaudat.html?cid=4433&did=2531&sechash=ee37138c [Stand: Januar 2014]

Materialdichte in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet der einzelnen Dämmstoffe findet sich im Anhang (s. Tabelle 1).

Um die Daten der Dämmstoffe untereinander vergleichbar zu machen, muss eine Umrechnung der in der Ökobau.dat 2016-I beziehungsweise in den EPDs vorliegenden Daten von MJ/kg in MJ/m², bezogen auf die funktionale Einheit einer Dämmwirkung von $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, erfolgen. Neben der bereits erwähnten Dichte geht hierbei die unterschiedliche Dämmwirkung der Baustoffe, die im Anhang als Wärmeleitfähigkeit λ tabelliert ist, mit ein. Das heißt, dass für ein Material mit einer schlechteren Dämmwirkung entsprechend eine größere Schichtdicke vorzusehen ist, um den geforderten U-Wert zu erzielen. Der vorbeschriebene Rechenweg gilt analog für die nachfolgende Untersuchung der CO₂-Emission.

Es zeigt sich, dass der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie über die betrachteten Dämmstoffe erheblich variiert, wie folgende Abbildung zeigt:

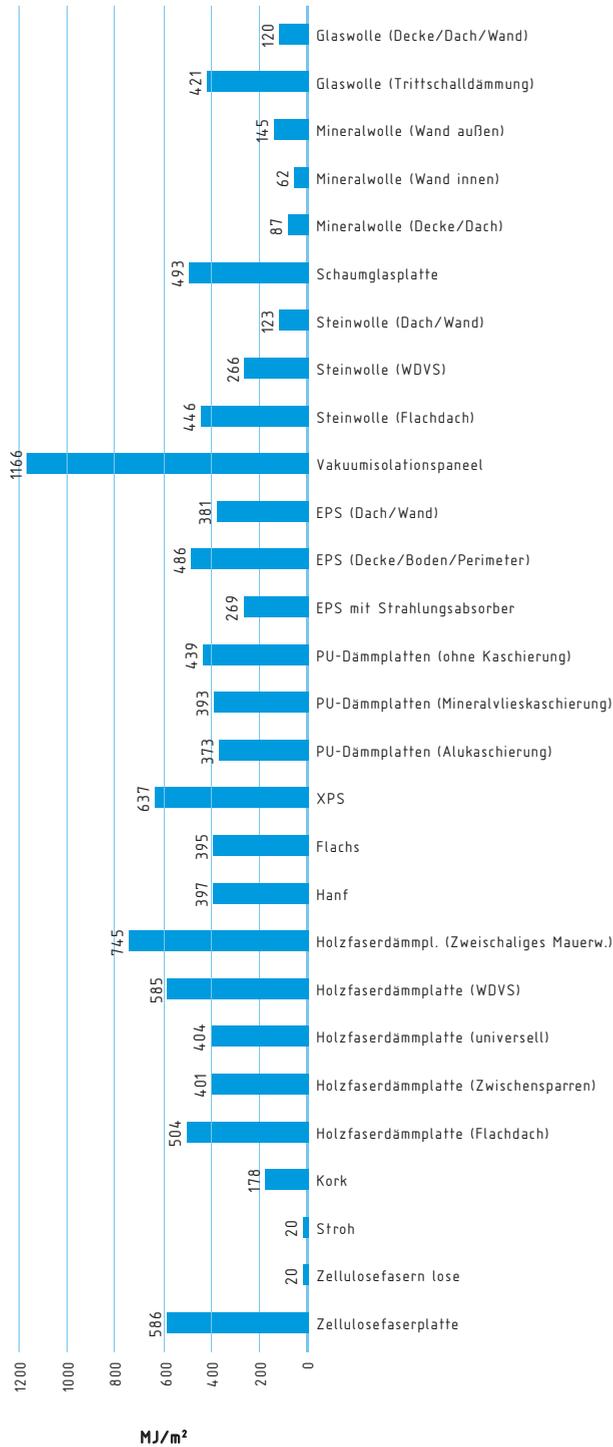


Abb. 5: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Dämmstoffherstellung

Mit Abstand am geringsten ist der Energiebedarf für lose Zellulosefasern und Stroh, wohingegen der Wert für die Vakuumsisolationspaneele die anderen Werte deutlich überragt.

Als weiteres Kriterium geringeren Gewichts ist die Kombination aus Gesamtprimärenergiebedarf und dem Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf zu betrachten, wobei dieses der Übersichtlichkeit halber in zwei getrennten Diagrammen dargestellt wird:

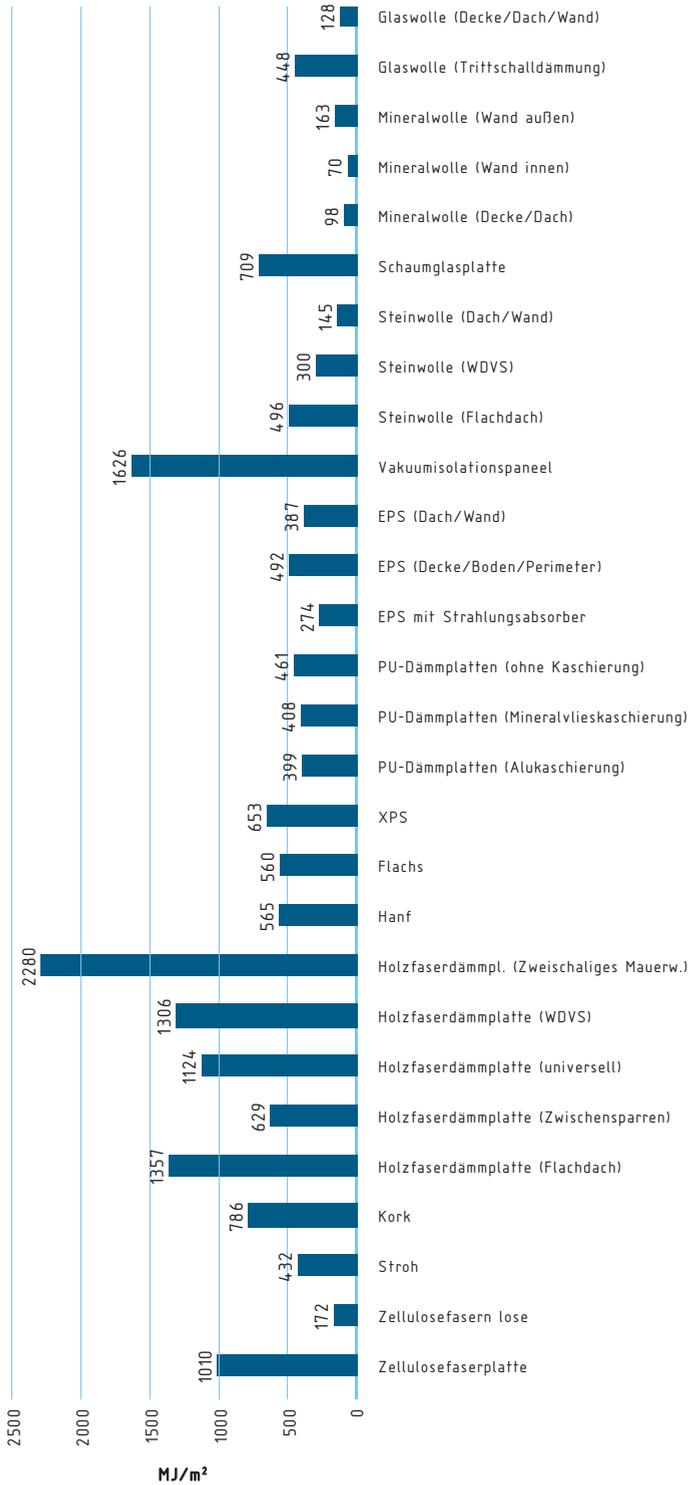


Abb. 6: Gesamter Primärenergiebedarf (i.e. erneuerbar und nicht erneuerbar) für die Dämmstoffherstellung

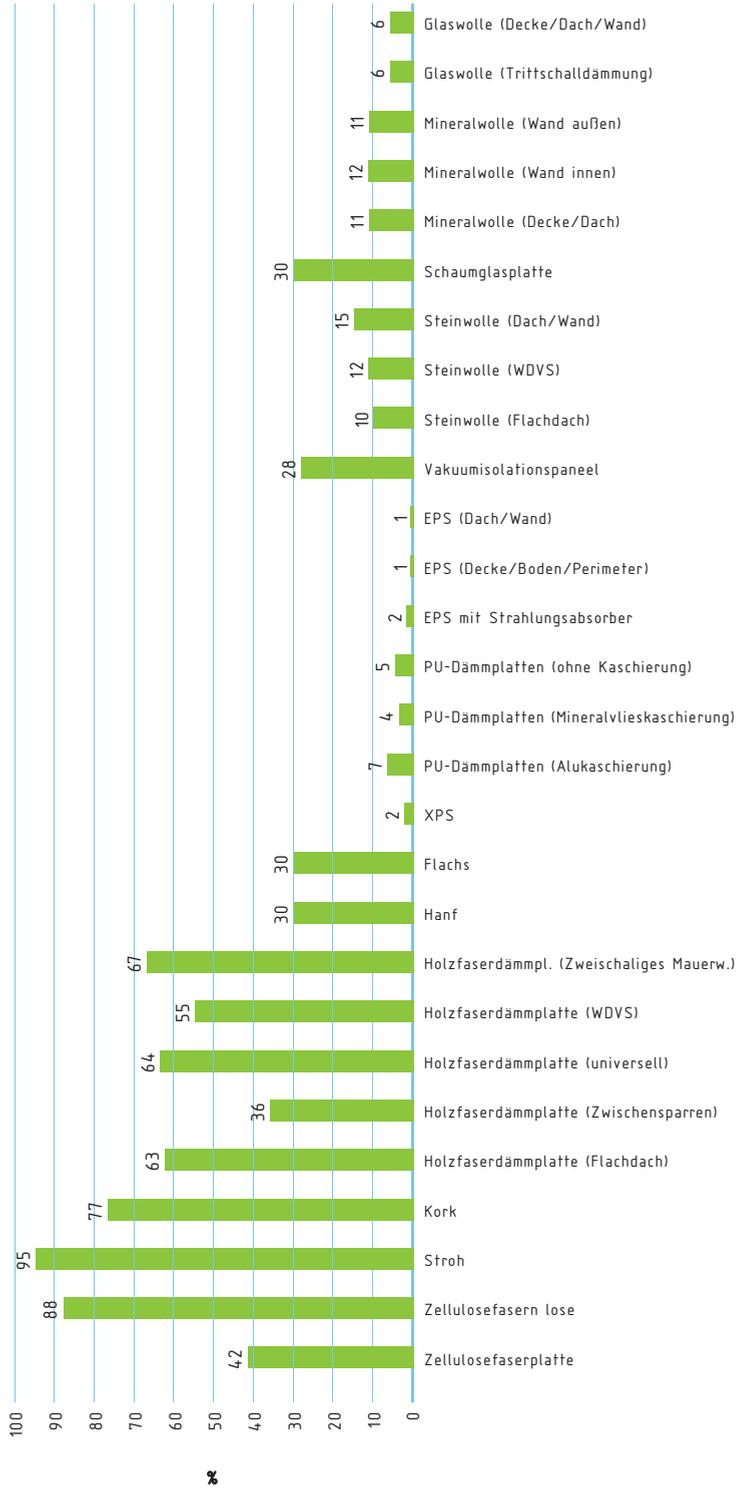


Abb. 7: Anteil erneuerbarer Primärenergie an Gesamtprimärenergie für die Dämmstoffherstellung

Auffallend ist der hohe Anteil erneuerbarer Primärenergie am Gesamtprimärenergiebedarf für alle nachwachsenden Dämmstoffe, welcher die beim Pflanzenwachstum gespeicherte solare Energie widerspiegelt. Diese steht während der Nutzungsphase des Gebäudes nicht zur Verfügung, kann aber nach dem Rückbau im Rahmen der thermischen Verwertung voll genutzt werden. Für alle übrigen Dämmstoffe variiert der Anteil erneuerbarer Energie stark zwischen 1,2 Prozent für EPS bis hin zu 30,4 Prozent für Schaumglasplatten (s. Abbildung 7).

3.3 CO₂-Emission

Die CO₂-Bilanz bei der Herstellung fällt je nach Dämmstoff sehr unterschiedlich aus, wie nachfolgende Abbildung verdeutlicht:

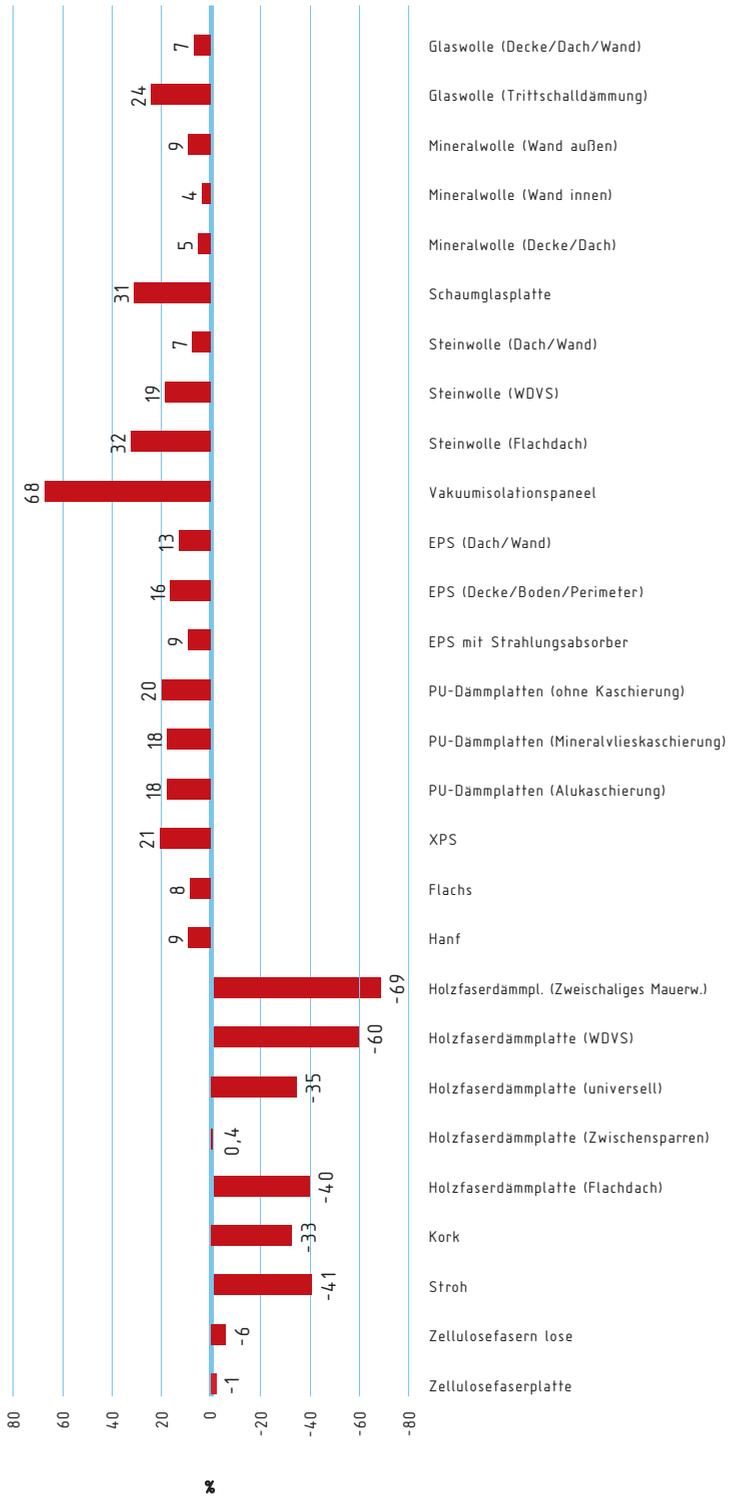


Abb. 8: Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung

Die Mehrzahl der nachwachsenden Dämmstoffe weist eine negative CO₂-Emission auf, da während des Pflanzenwachstums der Atmosphäre CO₂ entzogen wird, welches über die Nutzungsdauer im Dämmstoff gespeichert bleibt.

3.4 Energiebedarf/CO₂-Emission nach Einsatzbereich

Da nicht jeder Dämmstoff für jeden Einsatzbereich in Frage kommt, seien nachfolgend für die fünf gängigsten Anwendungsfelder noch einmal die zur Verfügung stehenden Dämmstoffe mit ihrem Energiebedarf und ihrer CO₂-Emission gegenübergestellt.

- Wanddämmung als Wärmedämmverbundsystem (WAP)

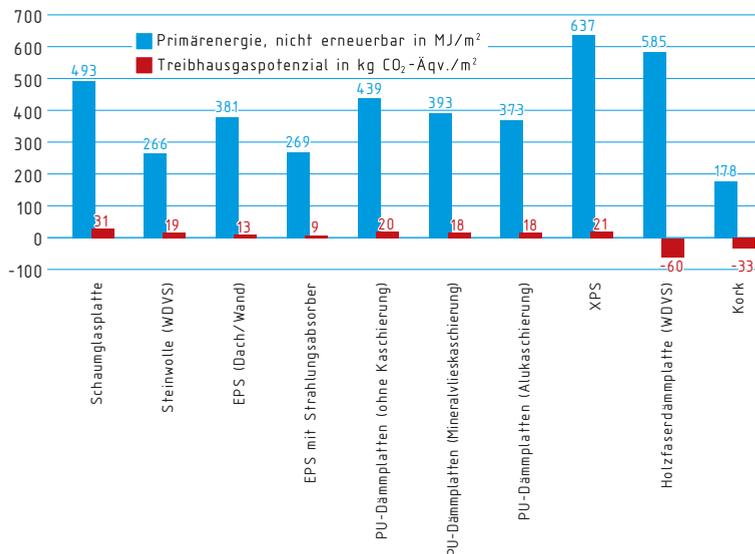


Abb. 9: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Wärmedämmverbundsystemen

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie variiert stark zwischen 178 MJ/m² für Kork und 637 MJ/m² für XPS. Klar erkennbar ist das Ressourcenschonungspotenzial des Strahlungsabsorbers, der zu einer besseren Dämmwirkung und damit einhergehend zu einem geringeren Materialbedarf führt. Hierdurch kann der Energiebedarf für die Dämmstoffherstellung um 29 Prozent im Vergleich zu dem EPS ohne Strahlungsabsorber reduziert werden. Beim Treibhausgaspotenzial erzielen die beiden nachwachsenden Dämmstoffe Holzfaserdämmplatte und Kork mit einer negativen Emission die besten Ergebnisse.

- Dachdämmung zwischen Sparren (DZ)

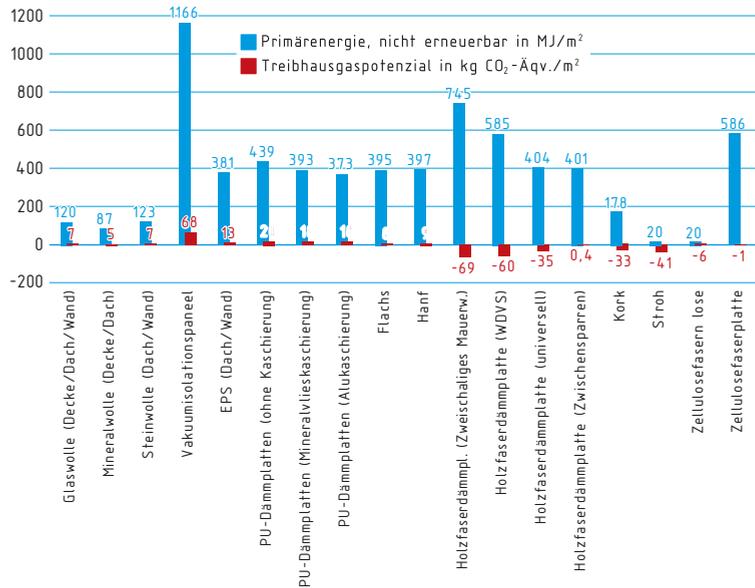


Abb. 10: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Zwischensparrendämmungen

Beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf erzielen Stroh und die Einblasdämmung loser Zellulosefasern mit jeweils 20 MJ/m² klar die besten Ergebnisse, gefolgt von Mineralwolle (87 MJ/m²). Den größten Energiebedarf weist das Vakuumisolationspaneel (1166 MJ/m²) auf. Auch die Holzfaserdämmplatte für zweischaliges Mauerwerk (745 MJ/m²) hat einen sehr hohen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Dies bedeutet jedoch keineswegs, dass eine Holzfaserdämmung für diese Anwendung nicht zu empfehlen ist, sondern das genaue Augenmerk auf die Auswahl der speziellen Dämmplatte für die Einbausituation zwischen den Sparren zu richten ist. Bei Holzfaserdämmplatte (Zwischensparren) wird nicht unnötig Energie für eine erhöhte Druckfestigkeit verbraucht und sie weist daher mit einem Energiebedarf von 401 MJ/m² ein gutes Ergebnis auf. Beim Treibhausgaspotenzial schneiden die Dämmstoffe aus Holzfasern, Kork, Stroh und losen Zellulosefasern mit negativen Emissionen am besten ab.

- Außendämmung von Dach/Decke unter Deckung (DAD)

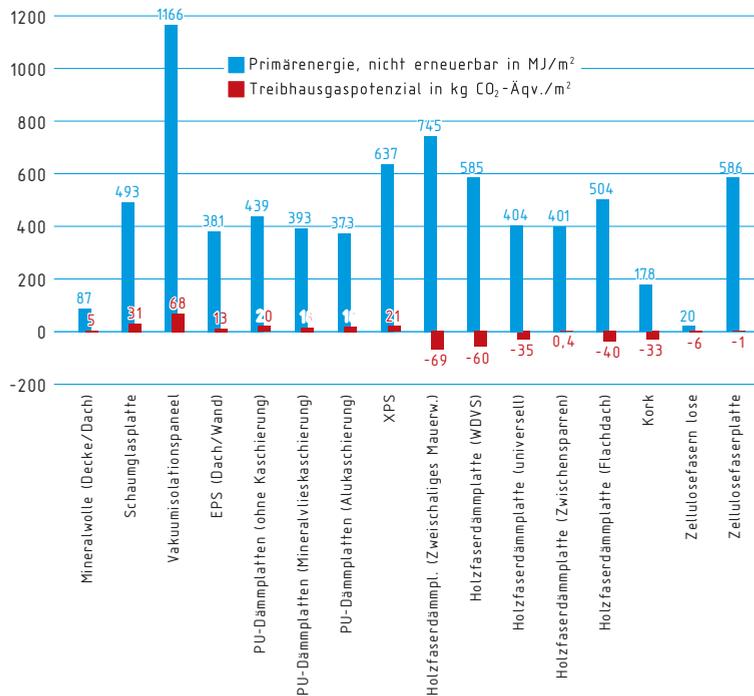


Abb. 11: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei der Dach-/Deckendämmung unter Deckung

Die Ergebnisse stellen sich ganz ähnlich wie für die Zwischensparrendämmung dar. Sie variieren dabei stark zwischen dem Vakuuminisulationspaneel (1166 MJ/m²) und den Zellulosefasern lose (20 MJ/m²). Bei der Beurteilung der beiden Dämmstoffe ist der große Unterschied der benötigten Schichtdicke ebenfalls zu beachten. Das Vakuuminisulationspaneel benötigt nur 4 Zentimeter um einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/m²K zu erreichen, die Zellulosefasern lose benötigen hingegen 24 Zentimeter (s. Tabelle 1).

- Außendämmung von Dach/Decke unter Abdichtung bspw. von Flachdächern (DAA)

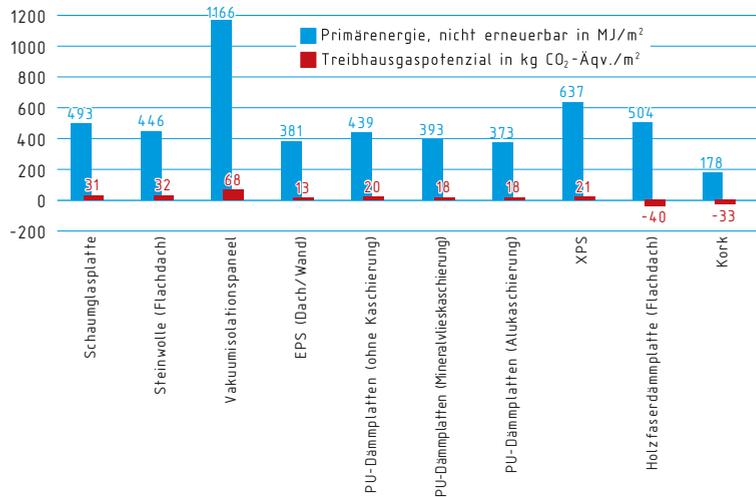


Abb. 12: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei der Dach-/Deckendämmung unter Abdichtung beispielsweise von Flachdächern

Beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf schneidet Kork mit 178 MJ/m² mit Abstand am besten ab. Am meisten Energie benötigt das Vakuumisulationspaneel, da es einen energieintensiven Herstellungsprozess durchläuft. Die nachwachsenden Dämmstoffen - Holzfaserdämmplatte und Kork - weisen bei der CO₂-Emission einen negativen Wert auf, wodurch sie sich im positiven Sinne deutlich von den nicht nachwachsenden Dämmstoffen unterscheidet.

- Außen liegende Dämmung von Kellerwänden gegen Erdreich (PW)

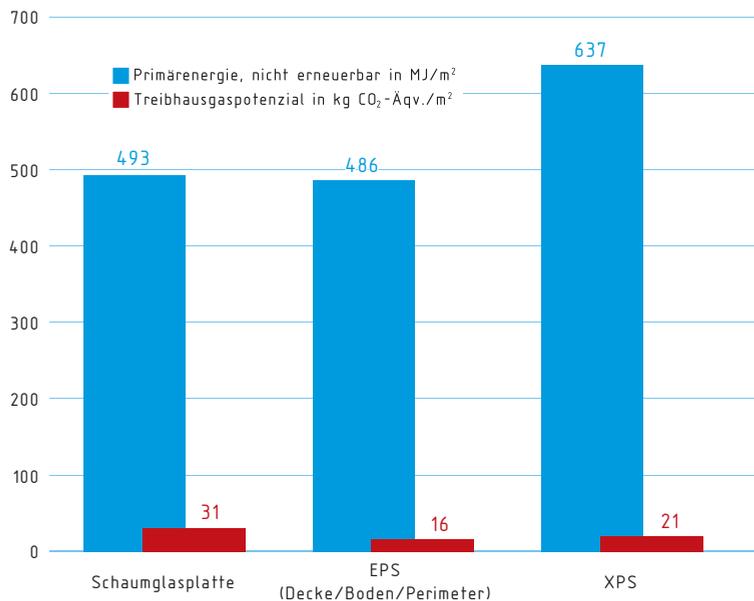


Abb. 13: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei außenliegender Kellerwanddämmung

Aufgrund der besonders hohen Anforderung durch den Kontakt mit Erdreich stehen nur wenige Dämmstoffe für diese Einbausituation zur Verfügung. Es fällt auf, dass selbst die günstigsten Lösungen einen vergleichsweise hohen Energiebedarf aufweisen, wobei die Spreizung der Ergebnisse nicht so groß ist wie bei anderen Anwendungen. Bei der CO₂-Emission erzeugt der beste Dämmstoffe EPS nur gut halb so viele Emissionen wie eine Schaumglasplatte am anderen Ende der Skala.

Die vorstehende Abbildung 13 stellt auch jene Dämmstoffe dar, die für eine außen liegende Dämmung der Bodenplatte gegen Erdreich (PB) zur Verfügung stehen.

Aus den obenstehenden Abbildungen 13 wird in der Summe klar erkennbar, dass für Einsatzbereiche mit geringeren Anforderungen an die Druckfestigkeit und folglich an die Materialdichte Dämmstoffe mit geringerem Energiebedarf und geringerer CO₂-Emission zur Verfügung stehen, während beispielsweise für die Dämmung von Flachdächern und Kellern weitaus weniger Dämmstoffe angeboten werden und diese eine höhere Ressourcenanspruchnahme aufweisen.

3.5 Entsorgung

Am Lebenswegende (End of Life, EoL) müssen die Dämmstoffe zurückgebaut und entsorgt werden. Für die Entsorgung stehen – abgesehen von den Vakuumisulationspaneelen – zurzeit nur zwei Varianten zur Verfügung, die unter dem Gesichtspunkt der ressourcenschonenden Kreislaufführung nicht als ideal anzusehen sind: die Deponierung, welche bei den mineralischen Baustoffen angewendet wird, und die thermische Verwertung, die bei allen anderen Baustoffen möglich ist und bei einigen Nachwachsenden durch die zusätzliche Option einer Kompostierung ergänzt wird. Lediglich bei den Vakuumisulationspaneelen wird ein Teil der Baustoffe durch eine stoffliche Verwertung positiverweise im Kreislauf gehalten, während die übrigen Bestandteile einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

Die thermische Verwertung wird als End-of-life-Szenario in der Ökobilanz 2016-I beziehungsweise in den Umwelt-Produktdeklarationen berücksichtigt, so dass ihre Auswirkungen auf den Energiebedarf und die CO₂-Emission bilanziert werden können. Die im Baustoff gespeicherte Energie wird dabei zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt, wodurch der Bedarf an fossilen Energieträgern reduziert werden kann. Entsprechend ergibt sich am Lebenswegende (EoL) eine Gutschrift an nicht erneuerbarer Primärenergie (PE_{ne}), die durch einen geringeren Wert erneuerbarer Primärenergie (PE_e) noch ergänzt wird. In die CO₂-Bilanz am Lebenswegende gehen die Emissionen aus der Verbrennung des Baustoffs sowie eine Gutschrift für die reduzierte Verbrennung fossiler Energieträger ein. Bei einigen nachwachsenden Dämmstoffen führt dies in der Gesamtbilanz (Ges) über Herstellung und End of Life dazu, dass eine negative CO₂-Emission erhalten bleibt, obwohl alles im Baustoff gespeicherte CO₂ durch den Verbrennungsvorgang freigesetzt wurde.

Es ergibt sich am Lebenswegende folgende Energiebilanz für alle Dämmstoffe mit thermischer Verwertung:

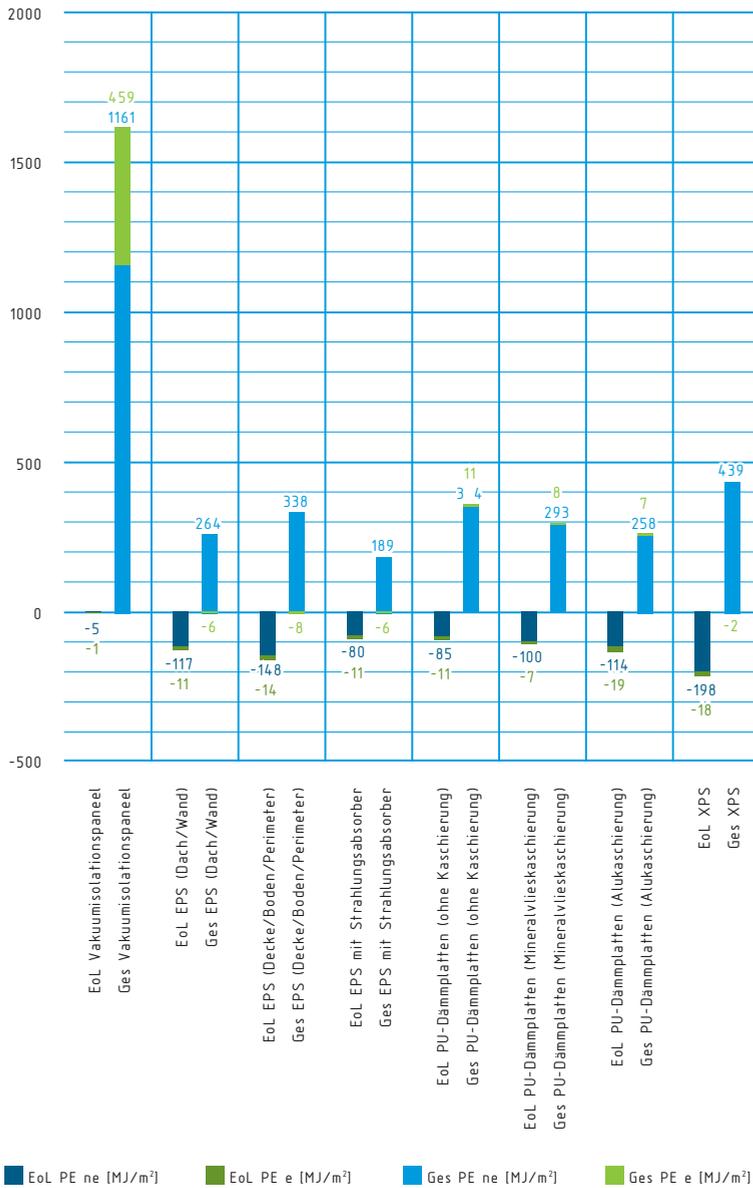


Abb. 14: Energiebilanz am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für mineralische und fossile Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung

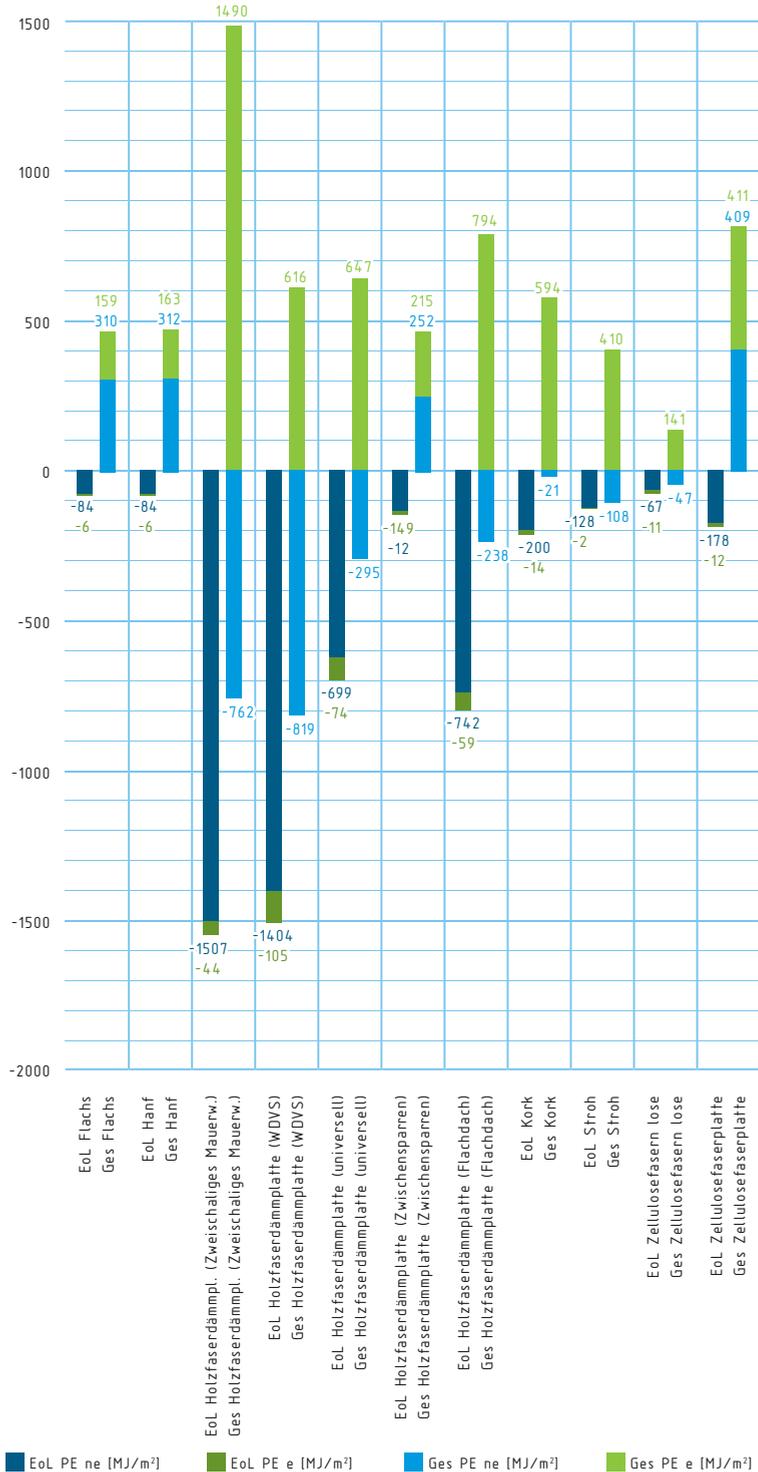


Abb. 15: Energiebilanz am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für nachwachsende Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung

Es zeigt sich, dass bei den in der Herstellung sehr energieintensiven Holzfaserdämmplatten bei einer thermischen Verwertung sehr viel Energie freigesetzt wird, wodurch im großen Stile nicht erneuerbare Primärenergie substituiert werden kann (s. entsprechende Gutschrift bei EoL PE ne). Dies setzt allerdings beim Rückbau eine entsprechende sortenreine Erfassung des Dämmstoffs und die konsequente thermische Verwertung voraus. Unter diesen Voraussetzungen fällt die Gesamtbilanz über den Lebensweg für die Holzfaserdämmstoffe deutlich besser aus, als nur die Betrachtung des Herstellungsprozesses weiter oben vermuten ließ. Bemerkenswert ist das gute Abschneiden von losen Zellulosefasern: bereits in der Herstellung zeichneten sie sich durch einen geringen Energiebedarf aus und weisen nun zusätzlich bei der Betrachtung des gesamten Lebensweg am Lebenswegende eine Gutschrift nicht erneuerbarer Primärenergie auf (s. negativer Wert für ges PE ne).

Analog dazu erhält man nachfolgende CO₂-Bilanz:

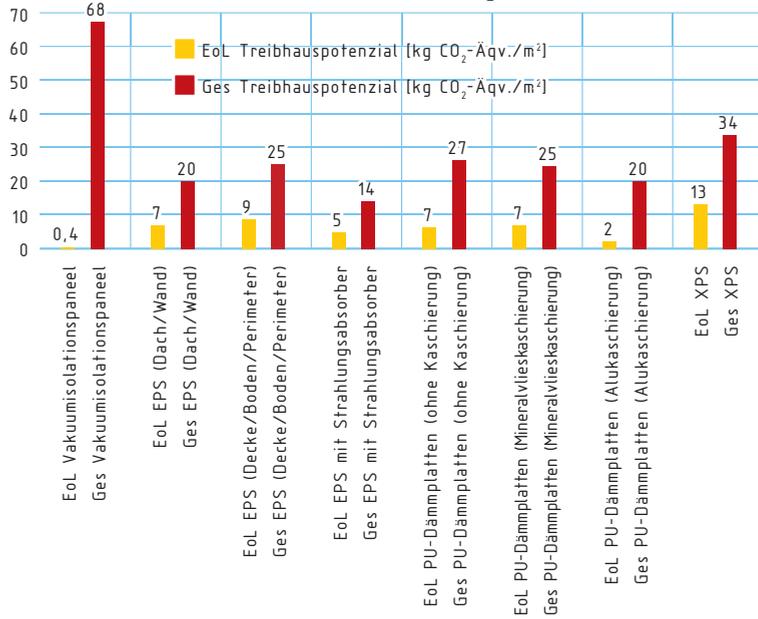


Abb. 16: Bilanz des Treibhausgaspotenzials am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für mineralische und fossile Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung

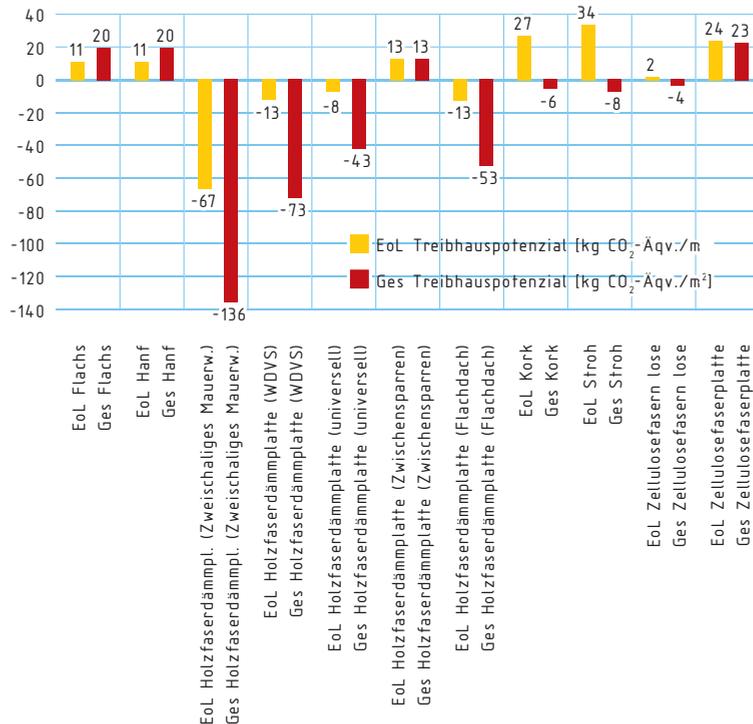


Abb. 17: Bilanz des Treibhausgaspotenzials am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für nachwachsende Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung

4. ZUSAMMENFASSUNG

Vor der abschließenden Zusammenfassung der Ergebnisse sei darauf hingewiesen, dass es zu Situationen kommen kann, in denen für eine Dämmaufgabe nur ein vergleichsweise ressourcenintensiver Dämmstoff zur Verfügung steht. Aufgrund des teilweise recht knappen finanziellen Budgets für Sanierungsmaßnahmen kann dies zum Beispiel dann der Fall sein, wenn alle ressourcenschonenderen Dämmstoffe deutlich teurer sind. Da, wie oben bereits gezeigt, die Energieeinsparung in der Nutzungsphase ein Vielfaches der Herstellungsenergie beträgt, ist es in jedem Fall besser, einen ressourcenintensiveren Dämmstoff zu verwenden als keinen.

Die Ergebnisse der vier Ressourceneffizienz-Kriterien, Rohstoffart, Energiebedarf (Herstellung), CO₂-Emission (Herstellung) und Entsorgung (End of Life), lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Dämmstoff	Herstellung		End of Life	
	Rohstoffart	Primärenergie nicht erneuerbar [MJ/m²]	Treibhausgaspotenzial [kg CO ₂ -Äqv./m²]	Entsorgung
mineralisch	Glaswolle (Decke/Dach/Wand)	mineral. (Recycling)	120,3	6,9 Deponieklasse 1/2
	Glaswolle (Trittschalldämmung)	mineral. (Recycling)	421,1	24,3 Deponieklasse 1/2
	Mineralwolle (Wand außen)	mineralisch	144,6	9,1 Deponieklasse 1/2
	Mineralwolle (Wand innen)	mineralisch	61,6	3,6 Deponieklasse 1/2
	Mineralwolle (Decke/Dach)	mineralisch	86,9	5,0 Deponieklasse 1/2
	Schaumglasplatte	mineralisch	493,4	31,4 Deponieklasse 1
	Steinwolle (Dach/Wand)	mineralisch	123,2	7,5 Deponieklasse 1/2
	Steinwolle (WDVS)	mineralisch	265,7	18,5 Deponieklasse 1/2
	Steinwolle (Flachdach)	mineralisch	445,7	32,5 Deponieklasse 1/2
	Vakuuminulationspaneel	mineralisch (Hauptbestandteil)	1166,0	67,5 stoffl./therm. Verwertung
synthetisch	EPS (Dach/Wand)	fossil	381,3	13,1 thermische Verwertung
	EPS (Decke/Boden/Perimeter)	fossil	486,3	16,4 thermische Verwertung
	EPS mit Strahlungsabsorber	fossil	269,1	9,3 thermische Verwertung
	PU-Dämmplatten (ohne Kaschierung)	fossil	439,7	20,0 thermische Verwertung
	PU-Dämmplatten (Mineralwieskaschierung)	fossil	392,8	17,7 thermische Verwertung
	PU-Dämmplatten (Alukaschierung)	fossil	372,6	17,9 thermische Verwertung
	XPS	fossil	637,1	20,8 thermische Verwertung
	Flachs	nachwachsend	394,7	8,5 therm. Verwert./Kompostierung
	Hanf	nachwachsend	396,7	9,0 thermische Verwertung
	Holzfaserdämmpl. (Zweischaliges Mauerw.)	nachwachsend	745,3	-69,1 therm. Verwert./Kompostierung
nachwachsend	Holzfaserdämmplatte (WDVS)	nachwachsend	584,7	-60,3 therm. Verwert./Kompostierung
	Holzfaserdämmplatte (universell)	nachwachsend	403,6	-35,0 therm. Verwert./Kompostierung
	Holzfaserdämmplatte (Zwischensparren)	nachwachsend	400,9	0,4 therm. Verwert./Kompostierung
	Holzfaserdämmplatte (Flachdach)	nachwachsend	504,1	-40,2 therm. Verwert./Kompostierung
	Kork	nachwachsend	178,2	-33,0 therm. Verwert./Kompostierung
	Stroh	nachwachsend	20,0	-41,2 thermische Verwertung
	Zellulosefasern lose	nachw. (Recycling)	19,9	-6,0 thermische Verwertung
	Zellulosefaserplatte	nachw. (Recycling)	586,4	-1,4 thermische Verwertung

Abb. 18: Vergleich aller vier Ressourceneffizienz-Kriterien

In der Gesamtbewertung schneidet die Dämmung aus losen Zellulosefasern klar am besten ab. Dies hatte sich bereits in der Analyse der Einzelaspekte abgezeichnet. Es sei allerdings darauf verwiesen, dass sich dieser Dämmstoff nur für Einbausituationen ohne Anforderungen an die Druckfestigkeit wie beispielsweise als Einblasdämmstoff zwischen den Sparren eignet (s. Tabelle 1). Ebenfalls positiv zu bemerken, allerdings mit schlechteren Zahlenwerten, sind die Holzfaserdämmplatten für den Zwischensparrenbereich, Stroh und Kork.

Bei der Entsorgung gibt es noch Nachholbedarf, da die aktuell verfügbaren Optionen bei weitem nicht über die Ressourcenschonungspotenziale eines Recyclings verfügen. Hierfür geeignete Konzepte zu entwickeln ist dringend notwendig, da bereits heute durch die Auswahl bestimmter Produkte und Befestigungsvarianten über die zukünftigen Wiederverwendungsmöglichkeiten beim Rückbau entschieden wird. Eine positive Ausnahme bilden die Vakuumisulationspaneele, da bei ihnen zumindest ein Teil der Rohstoffe im Kreislauf gehalten wird.

5. ANHANG

In Ergänzung zu den Informationen zur Ressourceneffizienz finden sich nachfolgend noch einige allgemeine Informationen zu den betrachteten Dämmstoffen sowie eine Auflistung der jeweils verwendeten Datensätze auf Baustoffebene. An allgemeinen Daten ist die Dichte tabelliert, da diese wichtige Schlüsse auf die verwendete Materialmenge zulässt, die bei einzelnen Dämmstoffen je nach Einsatzbereich stark variiert und sich direkt auf die Ressourceninanspruchnahme auswirkt. Die ebenfalls angegebene Wärmeleitfähigkeit λ misst die Dämmeigenschaften der Baustoffe, wobei ein kleiner Wert für eine geringe Wärmeweiterleitung steht, das heißt für gute Dämmung. In Korrespondenz hierzu ergibt sich die erforderliche Schichtdicke, die nötig ist, um den Wärmedurchgang auf $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu begrenzen. Je besser das Dämmvermögen des jeweiligen Baustoffs, desto geringer fällt die erforderliche Schichtdicke aus. Darüber hinaus wird der Einsatzbereich angegeben das heißt für welche Bauteile der jeweilige Dämmstoff geeignet ist. Alle Werte sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt:

Dämmstoff	Dichte [kg/m ³]	λ [W/mK]	erf. Schichtdicke [m]	Einsatzbereich (Definition Kurzzeichen s. nachfolgende Tab.)
mineralisch				
Glaswolle (Decke/Dach/Wand)	20	0,032- 0,035	0,20-0,22	DZ, DI, WAB, WH, WI, WTR
Glaswolle (Trittschalldämmung)	70	0,032- 0,035	0,20-0,22	DES
Mineralwolle (Wand außen)	24-35	0,035	0,22	WAB, WZ
Mineralwolle (Wand innen)	24-30	0,040	0,25	WI, WTR
Mineralwolle (Decke/ Dach)	10-35	0,040	0,25	DAD, DZ, DI
Schaumglasplatte	100	0,040	0,25	DAD, DAA, DI, DEO, WAB, WAA, WAP, WZ, WI, WTR, PW, PB
Steinwolle (Dach/Wand)	41	0,035	0,22	DZ, WAB, WH
Steinwolle (WDVS)	94	0,036	0,22	WAP
Steinwolle (Flachdach)	158	0,037	0,23	DAA
Vakuumisulationspaneel	170-210	0,007	0,04	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WAA, WH, WTR, WI

Dämmstoff	Dichte [kg/m ³]	λ [W/mK]	erf. Schichtdicke [m]	Einsatzbereich (Definition Kurzzeichen s. nachfolgende Tab.)
synthetisch				
EPS (Dach/Wand)	17-23	0,040	0,25	DAD, DAA, DZ, DI, WAB, WAP, WI
EPS (Decke/Boden/Perimeter)	25,9	0,035	0,22	DEO, DES, PW, PB
EPS mit Strahlungsabsorber	15,7	0,032	0,20	WAP
PU-Dämmplatten (ohne Kaschierung)	33	0,026	0,16	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WAA, WAP, WZ, WH, WI
PU-Dämmplatten (Mineralvlieskaschierung)	31	0,026	0,16	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WAA, WAP, WZ, WH, WI
PU-Dämmplatten (Alukaschierung)	31	0,023	0,14	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WAA, WAP, WZ, WH, WI
XPS	34,6	0,035	0,22	DAD, DAA, DUK, DI, DEO, WAB, WAP, WZ, WI, PW, PB
nachwachsend				
Flachs	38	0,040	0,25	DZ, DI, WH, WI, WTR
Hanf	38	0,040	0,25	DZ, DI, WH, WTR
Holzfaserdämmpl. (ZweischaligesMauerw.)	180- 240	0,045- 0,050	0,28-0,31	DAD, DZ, DI, DEO, WAB, WZ, WH, WI, WTR
Holzfaserdämmplatte (WDVS)	160-190	0,042- 0,46	0,26-0,29	DAD, DZ, DI, DEO, WAB, WAP, WH, WI, WTR
Holzfaserdämmplatte (universell)	110-160	0,040	0,25	DAD, DZ, DI, DEO, WAB, WH, WI, WTR
Holzfaserdämmplatte (Zwischensparren)	55	0,039	0,24	DAD, DZ, DI, WH, WI, WTR
Holzfaserdämmplatte (Flachdach)	140	0,042- 0,043	0,26-0,27	DAD, DAA, DI, WAB, WH
Kork	80	0,045	0,28	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WZ, WH, WI, WTR
Stroh	100	0,052	0,32	DAD, DAA, DZ, DI, DEO, WAB, WZ, WH, WI, WTR
Zellulosefasern lose	45	0,039	0,24	DAD, DZ, DI, WH, WI, WTR
Zellulosefaserplatte	80	0,040	0,25	DAD, DZ, DI, WH, WI, WTR

Tab. 1: Dichte, Wärmeleitfähigkeit λ , erforderliche Schichtdicke und Einsatzbereich aller Dämmstoffe

Dämmung von Decke oder Dach	
DAD	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen
DAA	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtung
DUK	Außendämmung des Dachs, der Bewitterung ausgesetzt (Umkehrdach)
DZ	Zwischensparrendämmung, zweischaliges Dach, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken
DI	Innendämmung der Decke (unterseitig) oder des Daches, Dämmung unter den Sparren / Tragkonstruktion, abgehängte Decke usw.
DEO	Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig), unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen
DES	Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig), unter Estrich mit Schallschutzanforderungen
Dämmung der Wand	
WAB	Außendämmung hinter Bekleidung
WAA	Außendämmung hinter Abdichtung
WAP	Außendämmung unter Putz
WZ	Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung
WH	Dämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise
WI	Innendämmung
WTH	Dämmung zwischen Haustrennwänden mit Schallschutzanforderungen
WTR	Dämmung von Rauntrennwänden
Perimeterdämmung	
PW	Außen liegende Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)
PB	Außen liegende Wärmedämmung unter der Bodenplatte gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)

Tab. 2: Erläuterung der Kurzzeichen zur Einbausituation nach DIN 4108-10

Für die Ressourceneffizienz-Analyse wurden sowohl die Ökobau.dat 2016-I als auch Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) verwendet. Die nachfolgende Abbildung 21 listet für die einzelnen Baustoffe auf, welche der beiden Quellen gewählt wurde. Wo EPDs verwendet wurden, ist zusätzlich angegeben, ob unter Umständen der Mittelwert aus den Deklarationen verschiedener Hersteller gebildet wurde.

Dämmstoff	EPD	Ökobau.dat 2016-I	Mittelwert
mineralisch			
Glaswolle (Decke/Dach/Wand)	x		x
Glaswolle (Trittschalldämmung)	x		x
Mineralwolle (Wand außen)	x		
Mineralwolle (Wand innen)	x		
Mineralwolle (Decke/Dach)	x		
Schaumglasplatte	x		
Steinwolle (Dach/Wand)	x		
Steinwolle (WDVS)	x		
Steinwolle (Flachdach)	x		
Vakuumisulationspaneel	x		
synthetisch			
EPS (Dach/Wand)	x		
EPS (Decke/Boden/Perimeter)	x		
EPS mit Strahlungsabsorber	x		
PUR (ohne Kaschierung)	x		
PUR (Mineralvlieskaschierung)	x		
PUR (Alukaschierung)	x		
XPS	x		
nachwachsend			
Flachs		x	
Hanf		x	
Holzfaserdämmpl. (Zweischaliges Mauerw.)	x		x
Holzfaserdämmplatte (WDVS)	x		x
Holzfaserdämmplatte (universell)	x		x
Holzfaserdämmplatte (Zwischensparren)	x		
Holzfaserdämmplatte (Flachdach)	x		x
Kork		x	
Stroh	x		
Zellulosefasern lose	x		x
Zellulosefaserplatte		x	

Tab. 3: Aufschlüsselung der Datensatzherkunft für die ökobilanzielle Bewertung

6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Vergleich Heizölbedarf für eine Heizperiode zu Erdölbedarf für komplette Fassadendämmung aus EPS	4
Abb. 2:	Vergleich Energiebedarf zur Dämmstoffherstellung und Energieeinsparung während der Nutzungsphase	5
Abb. 3:	Energiebilanz für Dämmung nach EnEV 2009/2014 ($U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Passivhaus-Standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)	6
Abb. 4:	Herstellungskosten für Dämmung nach EnEV 2009/2014 ($U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Passivhaus-Standard ($U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)	6
Abb. 5:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für die Dämmstoffherstellung	11
Abb. 6:	Gesamt Primärenergiebedarf (i.e. erneuerbar und nicht erneuerbar) für die Dämmstoffherstellung	13
Abb. 7:	Anteil erneuerbarer Primärenergie an Gesamtprimärenergie für die Dämmstoffherstellung	14
Abb. 8:	Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung	16
Abb. 9:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Wärmedämmverbundsystemen	17
Abb. 10:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei Zwischensparrendämmungen	18
Abb. 11:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei der Dach-/Deckendämmung unter Deckung	19
Abb. 12:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei der Dach-/Deckendämmung unter Abdichtung beispielsweise von Flachdächern	20
Abb. 13:	Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Treibhausgaspotenzial für die Dämmstoffherstellung bei außenliegender Kellerwanddämmung	21
Abb. 14:	Energiebilanz am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für mineralische und fossile Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung	23
Abb. 15:	Energiebilanz am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für nachwachsende Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung	24

Abb. 16:	Bilanz des Treibhausgaspotenzials am Lebenswegende und über den gesamten Lebensweg (Ges) für mineralische und fossile Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung	26
Abb. 17:	Bilanz des Treibhausgaspotenzials am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für nachwachsende Dämmstoffe mit der Möglichkeit einer thermischen Verwertung	26
Abb. 18:	Vergleich aller vier Ressourceneffizienz-Kriterien mit grüner Markierung für geringe, gelb für mittlere und rot für hohe Ressourceninanspruchnahme	28

Ressourceneffizienz im Internet:

www.ressource-deutschland.de

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin
Tel. +49 30 27 59 506 0
Fax +49 30 27 59 506 30
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE