

EEI - Forschungsstudie

Forschungsprojekt: **Wirkung und Kosten von Wärmedämmung**

Studie zur finanziellen und ökologischen Amortisation am
Beispiel Außenwanddämmung und Dämmung der obersten
Geschossdecke

Aktenzeichen: EEI Dämmstudie 2022_11

Forschungsstelle: Energie Effizienz Institut



Forschungsteam: Winfried Schöffel M.A. (Projektleiter)
Dr.-Ing. Volker K. Drusche

erstellt am: 25.11.2022

Gliederung

1	Rahmenbedingungen	3
2	Fragestellungen und Zielsetzung	5
3	Analysegrundlagen	6
4	Dämmwirkung	9
5	Wirtschaftlichkeit	12
6	Treibhausgas im Lebenszyklus	19
6.1.	Zellulose	20
6.2	Expandiertes Polystyrol (EPS)	21
6.3	Mineralwolle	22
6.4	Polyurethan	23
7	Ökologische Amortisation von EPS- Mehrdämmstärken	24
8	Mehrdämmstärken im Lichte des Ordnungs- und Förderrechts	26
9	Energieverfügbarkeit	27
10	Fazit	29
11	Anhang	30

1 Rahmenbedingungen

Mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer > 50 Jahre sind Gebäude sehr langlebige Wirtschaftsgüter. Der Einfluss auf die Umwelt und das Klima ist hoch und dauerhaft. Gebäude verursachen mehr als 35 Prozent des Energieverbrauchs in Deutschland und sind mit ähnlich hohem Anteil für Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Die Bundesregierung will gemäß Bundes-Klimaschutzgesetz 1. Novelle vom 12. Mai 2021 bis zum Jahr 2045 einen klimaneutralen Gebäudebestand realisieren. Der Ausstoß von Treibhausgasen im Gebäudebereich soll bis 2030 um rd. 40 Prozent gegenüber 2021 reduziert werden. Bis 2040 sollen die Treibhausgase in Deutschland um 88 Prozent gegenüber dem Stand 1990 reduziert sein. Dazu muss u.a. der Energieverbrauch von Gebäuden deutlich gesenkt werden, um den verbleibenden Energiebedarf im Wesentlichen durch Erneuerbare Energien decken zu können.

Das Europäische Parlament hat eine Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD, erlassen. Die Richtlinie besagt, dass Neubauten bis 2021 unter Berücksichtigung der Nutzung und der gegebenen klimatischen Verhältnisse einen energetischen Betriebsstandard erlangen sollen, welcher nahe Null liegt; zudem soll der Restenergiebedarf in Neubauten zum überwiegenden Teil aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Bis 2050 soll dieses Ziel im gesamten europäischen Gebäudebestand erreicht sein. Deutschland hat das Datum der Erreichung der Klimaneutralität im Gebäudebestand auf Veranlassung des BVerfG-Urteils vom 29.04.2021 im Klimaschutzgesetz 2021 auf 2045 gesetzt. In der kommenden EPBD-Novelle soll das „Null-Emissions-Gebäude“ als Neubaustandard eingeführt werden. Für „worst-performing-buildings“ soll es energetische Renovierungspflichten geben.

In der EU-Bauproduktenverordnung ist festgelegt, dass ein Bauwerk energieeffizient sein muss. Zu möglichen Umweltwirkungen der Bauprodukte wird in Grundanforderung 7 postuliert, dass gefährliche Auswirkungen ausgeschlossen werden und Ressourcen nachhaltig genutzt werden sollen. Dadurch wird Art. 20 a GG: *Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen* als übergeordnet anzusehendes Staatsziel hinsichtlich Ressourcenschonung gestärkt.

Durch die Festlegung energetischer Kennwerte in Verordnungen und Gesetzen, die parallel zur Entwicklung neuer Baustofftechnologien und Erfahrungen vorangegangener Umsetzungen verschärft werden konnten, haben sich unterschiedliche Effizienzstandards gebildet. Darüber hinaus sind sie wichtige Grundlage für Förderprogramme im Handlungsfeld Gebäude.

Gesetzliche Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz und die Ausgestaltung von Förderprogrammen für den Wohnungsbau werden teilweise emotional und entsachlicht diskutiert. Dies gilt insbesondere für die Diskussion, um Wärmedämmqualitäten. Es wurde ebenfalls erörtert ob und wie der von der EU geforderte *nearly-zero-energy-level* in bezahlbarer Weise erreicht werden kann. Rückblickend kann festgestellt werden, dass bei allen Novellierungen der Wärmeschutzverordnung und der Energieeinsparverordnung die Bezahlbarkeit der Auflagen in Frage gestellt, und ein weitgehendes Erliegen der Bautätigkeit vorhergesagt wurde. Die tatsächliche Baupraxis erübrigt die Kommentierung dazu.

Hemmnisse aller Art werden oft ökonomisch begründet. Es gilt, die intensiv geführte Kostendiskussionen um Anforderungen zu analysieren und mit transparenten Fakten zu versachlichen. Unter Berücksichtigung der Zielsetzung dieser Studie wurden Schlüsselfragen, Grundlagen und Randbedingungen identifiziert, diskutiert und analysiert.

Die insbesondere durch den Ukraine-Krieg hervorgerufene Dynamik in der Entwicklung der Energiepreise, der Kosten von Baumaßnahmen und der Verfügbarkeit von Material macht die Beurteilung im Detail nicht einfacher. Es wird daher versucht, von einer Momentaufnahme abzusehen und die Randbedingungen so zu berücksichtigen, dass die Aussagen längerfristig Bestand haben.

2 Fragestellungen und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund gesetzlicher Mindestanforderungen und Förderprogramme wird immer wieder diskutiert, welche Dämmstoffstärken¹ energetisch und ökologisch zweckmäßig sind, klimapolitisch notwendig und demzufolge gefordert werden können bzw. sollen. Wie ist das Kosten-Nutzenverhältnis von Wärmedämmung? Sollen Investitionen in hohe Dämmqualitäten oder in ausgefeilte anlagentechnische Gebäude- und Quartierskonzepte gelenkt werden?

Es zeigt sich, dass die Frage der ausreichenden bzw. besser: zielführenden Dämmstoffstärke für Neu- und Altbauten gleichermaßen beantwortet kann bzw. sollte, denn das Ziel der Klimaneutralität erstreckt sich ja auf den gesamten Gebäudebestand. Natürlich ist klar, dass einige Bestandsgebäude aus diversen Gründen (Gestaltung, Machbarkeit, Konstruktive Einschränkungen, Denkmalrecht, Bauteilanschlüsse...) keine im Neubau übliche oder wünschenswerte Dämmstoffstärke erhalten können. In den allermeisten Fällen ist dies – mit angemessenem Aufwand – jedoch ebenfalls möglich. Per se kann nicht festgelegt werden, ob im Bestand weniger gedämmt werden soll oder kann. Vielmehr muss die Frage bauwerksindividuell geklärt werden. Im Folgenden betrachten wir die Situation daher abstrakt ohne Bezug auf spezielle Einbausituationen.

Die eingesetzten Dämm-Materialien unterscheiden sich im Einsatzschwerpunkt, im Preis und ihrem Aufwand bei der Herstellung und Entsorgung deutlich. Daher sollen hier die Fragestellungen anhand der thermischen Hüllbauteile *Außenwand* und *Oberste Geschossdecke* auf vier gängige Dämmstoffe fokussiert werden: Zellulose (Zell.), Extrudiertes Polystyrol (EPS), Mineralwolle (Miwo) und Polyurethan (PU).

- Wo werden Dämmstärken-Maximalgrenzen erreicht?
- Werden die Herstellungs-Treibhausgasemissions-Amortisation erreicht? (Ökologische Produktamortisation)
- Wie vermeidet man negative Lock-In-Effekte, wenn man die große Zeitspanne von Erneuerungszyklen im Außenwandbereich (40 bis 60 Jahre) betrachtet?

Unter den als maßgeblich identifizierten Aspekten Dämmwirkung, Energiekosten, Energieverfügbarkeit und Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus soll das jeweilige Optimum ermittelt werden.

3 Analysegrundlagen

Grundlage und Randbedingungen der Analysen:

Spezifische **Dämmstoff-Wärmeleitfähigkeit** häufig verwendeter Dämmstoffe gemäß DIN 4108-4:

Expandiertes Polystyrol EPS	0,032 W/mK
Polyurethan PU	0,023 W/mK
Mineralfaserlamelle MiWo	0,036 W/mK (Platten zur Verwendung in WDVS)
Mineralwolle MiWo	0,035 W/mK (Rollenware zur Verwendung als oGd- Dämmung)
Zellulose Zell.	0,040 W/mK

Durchschnittlichen **Materialkosten**, hergeleitet aus der umfangreichen Dämmstoff-Preisauswertungen des Instituts für preisoptimierte energetische Gebäudemodernisierung GmbH IpeG [16]. Beinhaltet sind Endverbraucherpreise für Dämmstoffmaterial, gesetzliche Umsatzsteuer und Baukostenindex für den Zeitraum der Preiserhebung 9/2021 Deutschland-Mittelwert zu 11/2022:

Expandiertes Polystyrol EPS	1,75 €/m ² cm Dämmstärke
Polyurethan PU	3,15 €/m ² cm Dämmstärke
Mineralfaserlamelle	2,88 €/m ² cm Dämmstärke
Mineralwolle	1,38 €/m ² cm Dämmstärke
Zellulose Zell.	0,58 €/m ² cm Dämmstärke (für die Anwendung als Fassadendämmmaterial wurden hier Differenzmehrkosten für eine Stütz-Unterkonstruktion von 75€/m ² aufaddiert)

Aktuell sind die Kosten stark in Bewegung. Die allgemeine Teuerungsrate bei vielen Baumaterialien beträgt > 15 % p.a. und ist großen Schwankungen unterworfen. Diese Entwicklung ist insbesondere durch Lieferengpässe bei gleichzeitiger hoher Nachfrage einerseits, andererseits durch hohe Energiepreise und -engpässe, die die Herstellungskosten negativ beeinflussen, geprägt. Diese Überhitzung wird langfristig eher nicht anhalten, ein Teil der Tendenzen aber sehr wohl. Die hier verwendeten Preise geben den Herstellungs- und Vertriebsaufwand wieder, nicht aber aktuell durch extreme Nachfrage oder Lieferengpässe auftretende Preisspitzen.

Tabelle 1: Ansätze für Energiepreise und Wärmekosten

	aktuell	persp. 2030	persp. 2040	persp. 2050	
Holzpellets	0,1500	0,150	0,214	0,261	€/kWh
Gas	0,2600	0,260	0,527	0,780	€/kWh
Strom	0,5600	0,560	0,800	0,975	€/kWh
WP 3,5	0,1600	0,160	0,229	0,279	€/kWh

Energiepreise, schwanken aktuell ebenfalls stark. In der langfristigen Tendenz wird ein allgemein steigender Trend unterstellt (Biomasse gering, Strom mittel, Gas und Öl stark). Wegen der großen Unsicherheiten wird auf eine differenzierte Prognose der Preisentwicklung verzichtet und von einer Momentaufnahme ausgegangen. Dass die Energiepreise aller Voraussicht nach eher stärker als die Dämmstoffpreise steigen werden, spricht aus wirtschaftlicher Erwägung heraus eher für höhere Dämmstoffstärken als hier dargestellt. Dieser Umstand wird mit den Ergebnissen auf Basis perspektivischer Wärmekosten 2040 gewürdigt. Dabei wird in den Berechnungen wegen aktuell kriegsbedingt hoher Energiepreise eine weitere Preissteigerung bis 2030 vorläufig ausgesetzt.

Tabelle 2: Treibhausgas-Lebenszyklus-Materialdaten aus generischen Datensätzen der ÖKOBAUDAT.

	Zellulose	EPS	MiWo Lam.	MiWo Rolle	PU	
Wärmeleitfähigkeit	0,040	0,032	0,036	0,035	0,023	W/(mK)
THG i. Lebenszyklus (A-D)	-4,80	81,00	81,00	72,36	193,17	kg CO ₂ /(m ³ a)

Die Bezifferung der ökologischen Materiallast sind von weiteren Randbedingungen abhängig. Die Umweltdaten wurden den Datenblättern der ÖKOBAUDAT Version 2020 II entnommen, die im öffentlich-rechtlich relevanten Bilanzierungsverfahren der QNG (Qualitätssiegel Nachhaltiges Bauen) Verwendung findet. Es handelt sich dabei um generische Datensätze, deren Herkunft nicht industriell, sondern administrativ ist und somit eine gewisse Neutralität und Allgemeingültigkeit zeigt. Zudem ist ein Sicherheitsaufschlag implementiert, der eine Umweltdatenaussage „auf der sicheren Seite“ ermöglicht.

Welche Wärmeenergiemenge durch Dämmung eingespart werden kann, lässt sich aus dem U-Wert und der **Gradtagzahl** ermitteln. Als weitere Randbedingung ist der Einsatzort zu wählen (hier: mittlerer Standort Deutschland nach GEG²: Potsdam).

Die Dämmwirkung wird abstrakt, d.h. unabhängig von der Einbaulage und der Befestigungstechnik betrachtet. Hierdurch lassen sich die Effekte ohne Störgrößen

analysieren. In den vorliegenden Analysen, wird davon ausgegangen, dass aus gesetzlichen oder anderen Gründen (Mindestwärmeschutz, Behaglichkeit oder dgl.) ohnehin gedämmt wird, also eine Montage mit entsprechend zugelassenem Aufbau und Verarbeitungsgrundkosten realisiert wird. Die Einbaulage (in der Außenwand oder auf der Obersten Geschossdecke) hat Einfluss auf die Wahl des Materials, des Aufbaus und die Dämmwirkung. Auch hier wird abstrahiert, da die Wirkung des unterschiedlichen inneren Wärmeübergangs (R_{si} nach DIN EN ISO 6946) typischer Weise ab dem 12. Zentimeter keine Rolle mehr spielt. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um einen Neu- oder Altbau handelt.

Falls im Sanierungsfall aus Klimaschutz-Gründen von typischen Erneuerungszyklen abgewichen werden (vorfristige Erneuerung von Bauteilen) so sollte die Förderkulisse die Kostendifferenz auffangen, so dass sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung keine Rolle spielt.

Niedrige U-Werte bzw. gute Wärmedämmwirkung lässt sich auch mit monolithischen Konstruktionen erreichen. Die Frage, ob alle Funktionen einer thermischen Gebäudehülle auch von monolithischen Konstruktionen optimal erfüllt werden können, wird hier nicht vertieft. Die vorliegenden Analysen konzentrieren sich auf mehrschichtige Konstruktionen mit Dämmebenen. In der Folge dieser Festlegungen erfolgt die Betrachtung abstrahierend losgelöst von Sowieso-Kosten, Konstruktionsaufbau, Einbaulage, etc. Die Analysen konzentrieren sich auf die Dämmmaterialien in variierenden Stärken die Dämmstoffkosten und Wirkungen. Die Entscheidung für die Wahl einer spezifischen Konstruktion wird planerisch zu treffen sein.

4 Dämmwirkung

Die Wärmeenergie-Einsparwirkung von Dämmstoffen ist sehr abhängig vom erreichten Wärmedurchlass-Widerstand der Gesamtkonstruktion. Diese besteht in der Regel aus einer tragenden Konstruktion – z.B. Mauerwerk oder Geschossdecke – und einer Dämmschicht. Um die Zusammenhänge zu verdeutlichen, werden zum einen nur die Dämmstoffe betrachtet (also das Mauerwerk bzw. Deckentragkonstruktion vernachlässigt) Mit zunehmender Dämmstärke spielt die tragende Konstruktion, bezogen auf die Dämmwirkung, eine untergeordnete Rolle (siehe Folgetabelle). Für die hier zu treffende Aussage erscheint diese Einschränkung zur Klärung der Fragestellung welche Dämmstoffstärke sinnvoll ist, hinreichend aussagekräftig. In der Praxis wird der Ziel- oder Anforderungswert als U-Wert definiert und durch die Tragkonstruktion und die Dämmschicht (oder einen einzigen monolithischen Baustoff) erfüllt. Die hier gezeigten Dämmstoffstärken stellen damit das theoretische Maximum dar.

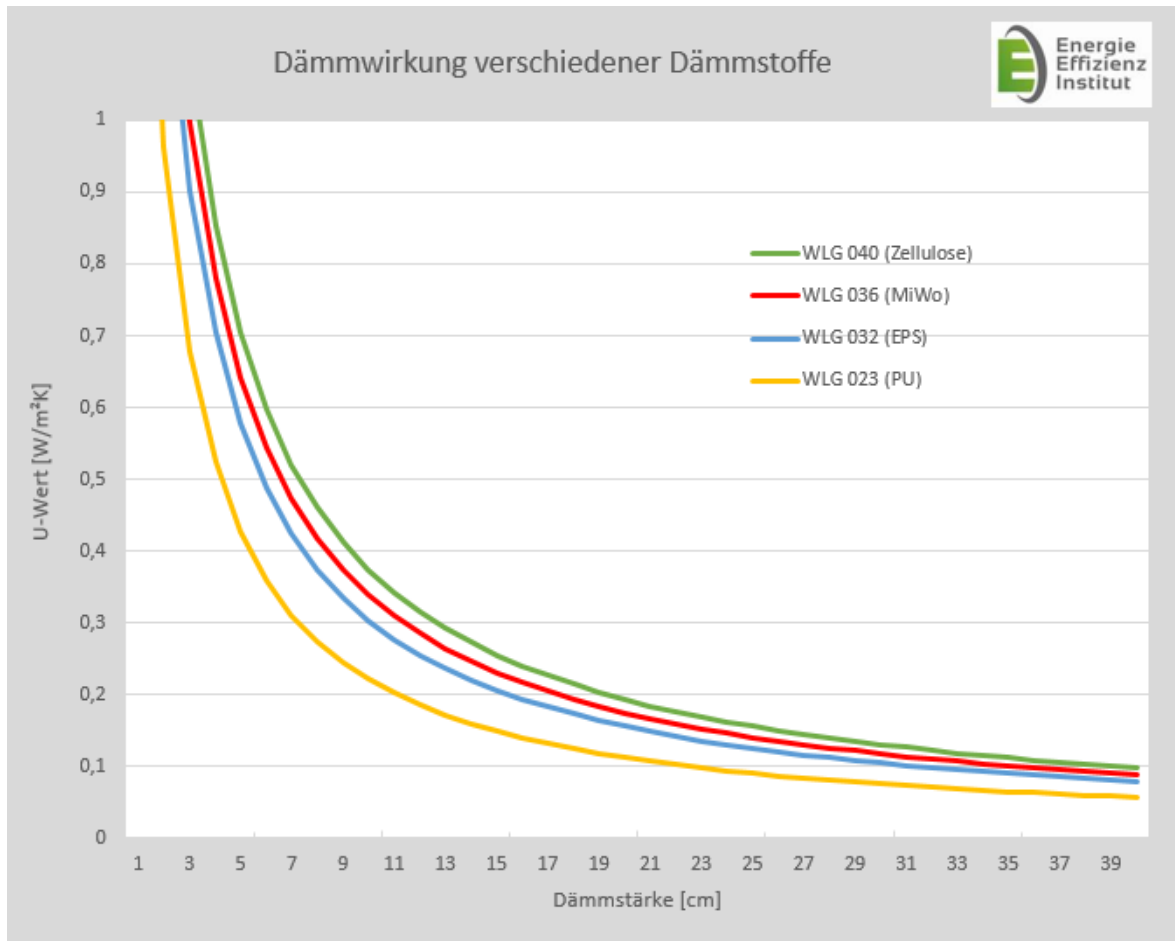
	U-Wert ges. W/(m ² K)	U-Wert Dm W/(m ² K)	Anteil MW
tragendes Mauerwerk Kalksandstein 24 cm	2,44	-	-
MW KS 24 cm mit 5 cm WLG 035 Dämmung	0,54	0,63	15%
MW KS 24 cm mit 10 cm WLG 035 Dämmung	0,31	0,33	8%
MW KS 24 cm mit 15 cm WLG 035 Dämmung	0,21	0,22	5%
MW KS 24 cm mit 20 cm WLG 035 Dämmung	0,16	0,17	4%
MW KS 24 cm mit 30 cm WLG 035 Dämmung	0,11	0,11	3%
tragendes Mauerwerk poros.Ziegel 24 cm	0,73	-	-
MW Zi 24 cm mit 5 cm WLG 035 Dämmung	0,36	0,63	75%
MW Zi 24 cm mit 10 cm WLG 035 Dämmung	0,24	0,33	40%
MW Zi 24 cm mit 15 cm WLG 035 Dämmung	0,18	0,22	27%
MW Zi 24 cm mit 20 cm WLG 035 Dämmung	0,14	0,17	20%
MW Zi 24 cm mit 30 cm WLG 035 Dämmung	0,10	0,11	14%

Tabelle 3: abnehmender Einfluss der Tragkonstruktion bei einer Beispielwand

In der folgenden Grafik wird die Wirkung eines durch Dämmung reduzierten (verbesserten) U-Wertes dargestellt. Die Kurve zeigt – unabhängig vom gewählten Dämmstoff – dass die ersten Zentimeter einer Dämmung die größte Wirkung haben. Die Kurve fällt zunächst steil ab, wird dann immer flacher. Daraus könnte man die Schlussfolgerung ziehen, dass wenig gedämmt werden sollte, da die Wirkung des Materials – und damit auch die Wirtschaftlichkeit) hier am größten ist. Tatsächlich wurde dies in den ersten Jahren der energetischen Außenwandsanierung (1970er

und frühen 1980er Jahren) so gehandhabt: Aus diesen Jahren finden sich Aufbauten mit 1 bis 4 cm Dämmung. Später waren 6 cm üblich und seither steigt die mittlere eingebaute Außenwanddämmstärke immer weiter, aktuell werden meist 12-16 cm verarbeitet.

Die Grafik zeigt, dass die Kurve zwar immer flacher verläuft, dass bei den betrachteten Dämmstoffmaterialien, aber auch der 40. Zentimeter eine – wenn auch geringe – Dämmwirkung hat.



Grafik 1: Dämmstärken-Dämmwirkung mit Materialbezug

Was spricht also gegen hohe Dämmstoffstärken?

Tatsächlich lassen sich starke Dämmstoffstärken (30 cm und mehr) gut verarbeiten. Dies geschieht in der Außenwand z.B. dadurch, dass die Wand überwiegend aus Dämmstoff besteht, wie bei Strohhallenhäusern oder Holzständerwandkonstruktionen. Die Grenze ist hier eher baukultureller und zulassungsrechtlicher denn technischer Natur. Bei der Obersten Geschossdecke in belüfteten Kaldächern ist es oft noch einfacher, große Dämmstoffstärken zu realisieren: die Dämmung befindet sich dann z.B. zwischen den Deckenbalken und/oder auf der Decke im Dachboden.

Ergänzend darf nicht unerwähnt bleiben, dass Luftschichten in der Unterkonstruktion zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen können. In der Praxis wäre daher zunächst die Art und Konstruktion der Tragschichten zu prüfen. Nur mit diesen Kenntnissen kann eine grundsätzlich sinnhafte Dämmmaßnahme gewählt bzw. vorbereitet werden.

Neben der Dämmwirkung in Abhängigkeit von der Dämmstärke sind aber weitere Aspekte zu betrachten. In dieser Studie stehen die finanziellen und ökologischen Wirkungen im Vordergrund; daneben gibt es natürlich auch Aspekte, die individuell vom spezifischen Bauprojekt abhängig sind, und daher hier nicht erörtert werden können.

5 Wirtschaftlichkeit

In der Praxis werden derzeit Energieeffizienzmaßnahmen nur umgesetzt, wenn es sich für die Investoren „rechnet“. Dies schlägt sich an verschiedenen Stellen der Gesetzgebung als Wirtschaftlichkeitsgebot nieder. Das Wirtschaftlichkeitsgebot ist vielfältig interpretierbar und bezieht Umweltfolgekosten bislang nicht ein. In der EU-Gebäuderichtlinie wird gefordert, Berechnungsmethodik zur Bewertung von kostenoptimalen Niveaus einzuführen. Im Gegensatz zur Immobilienbewertung gibt es für Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Energieeffizienzmaßnahmen jedoch noch keine allgemein gültigen und anwendbaren Berechnungsrichtlinien mit anzusetzenden Randbedingungen.

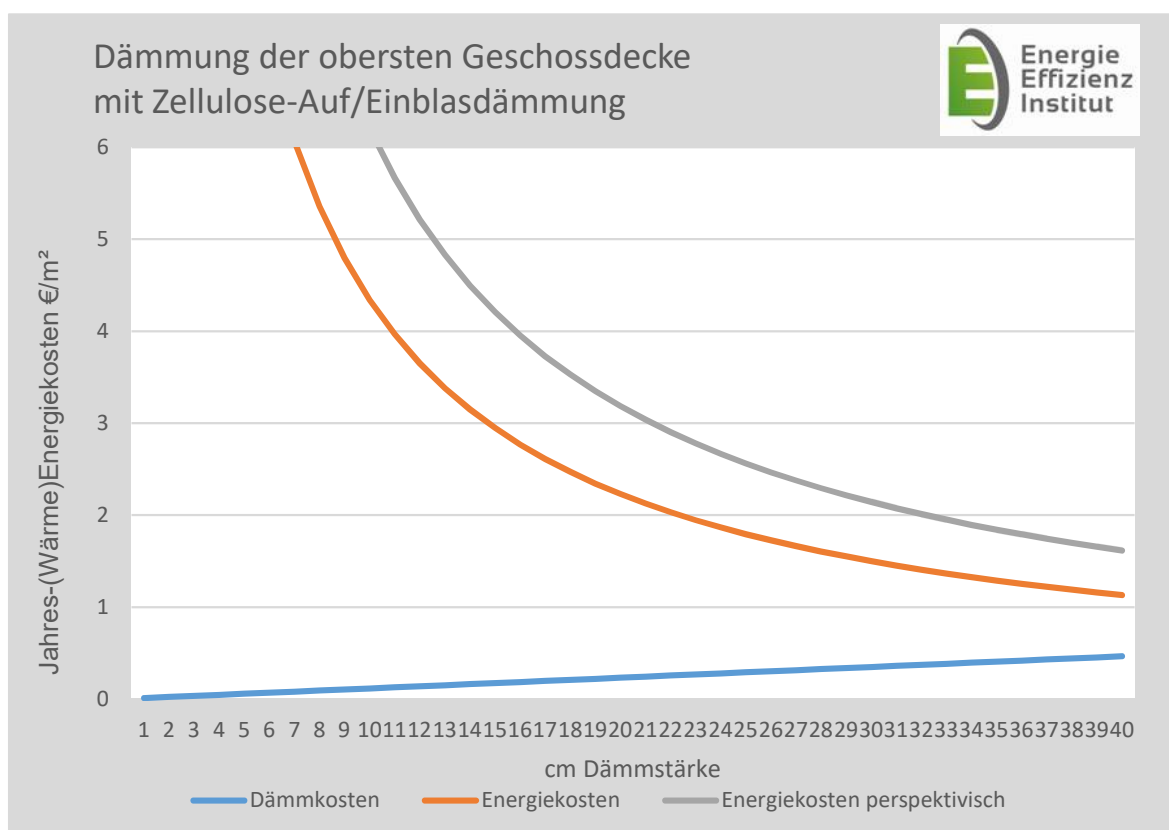
Die haushaltsrechtlichen Wirtschaftlichkeitsprinzipien haben keinen Vorrang gegenüber anderen Verfassungsprinzipien. Das Wirtschaftlichkeitsgebot erhält daher insbesondere in den Bereichen Bedeutung, in denen Ermessensspielräume bestehen. Für nicht direkt monetarisierbare Bewertungsaspekte sollte eine Nutzwertanalyse durchgeführt werden, die alle positiven und negativen Maßnahmenauswirkungen gegenüberstellt. Hierzu gehören: Gebäudebezogene Lebenszykluskosten, Treibhausgaspotential, nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf, Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle, u.a.. Neben Energiekosteneinsparungen bringen energetisch hochwertige Dämmstandards eine verbesserte thermische Behaglichkeit und reduzieren das Schimmelrisiko. Dieser Zusatznutzen kann sich in der weiter optimierten nachhaltigen Werthaltigkeit der Immobilie ausdrücken.

Volkswirtschaftliche Aspekte, wie die nicht beim Gebäudeeigentümer allozierten Klimafolgekosten, werden betriebswirtschaftlich allgemein nicht berücksichtigt. Erst mit einem CO₂-Preis, der diese vollständig widerspiegelt, wäre dieser Aspekt in einer betriebswirtschaftlichen Berechnung integriert. Aus Gründen der hohen Volatilität des Energiepreises wurden die in Tabelle 3 gezeigten Preise angesetzt. Nach vorläufiger Einschätzung der Verfasser werden sich die aktuell hohen Energiepreise künftig kaum wesentlich verringern. Bei Erdgas wird auch der wachsende CO₂-Preis am stärksten wirksam. Bei Biomasse wird die stark wachsende Nachfrage weiterhin für hohe Preise sorgen, sich der Preis aber weitgehend auf einem hohen Niveau stabilisieren. Beim Strom besteht zusätzliche Dynamik: natürlich schlägt auch hier der wachsende CO₂-Preis und künftige Mehrbedarfe zu Buche, allerdings gibt es durch den Ausbau der Erneuerbaren Stromerzeugung eine gegenläufige Tendenz.

Für die Simulation der Energiekosten-Einsparung und der Einsparung von Treibhausgas-Emissionen in CO₂-Äquivalenten³, wurde mit verschiedenen Technologien und Energieträgern gerechnet (Holzpellet-Heizkessel, Gas-Brennwert-Kessel, Wärmepumpe und Stromdirektheizung). Der Energieträger Fernwärme

eignet sich für den hier vorgenommenen Vergleich weniger gut, weil die Preise und Erzeugungstechnologien stark differieren. Bei der Wärmepumpe (Energieträger Strom) ist die Jahresarbeitszahl für die Effizienz entscheidend (hier angesetzt: 3,5).

In Grafik 2 wird beispielhaft eine Dämmung mit Zellulose, typischerweise eingesetzt bei der obersten Geschossdecke (z.B. als Einblas- oder Aufblasdämmung), gezeigt. Dabei werden die Ergebnisse für die politisch gewünschte und zurzeit im Neubau dominierende Wärmepumpe⁴ dargestellt. Bei dem hier relevanten Strompreis geht die Modellrechnung vom o.g. Strompreis im aktuellen deutschen Strommix⁵ aus (orange Linie). Die Dämmstoffkosten – in dieser Jahreskostenbetrachtung auf die Nutzungsdauer von 50 Jahren verteilt – steigen mit der Dämmstoffstärke linear an.

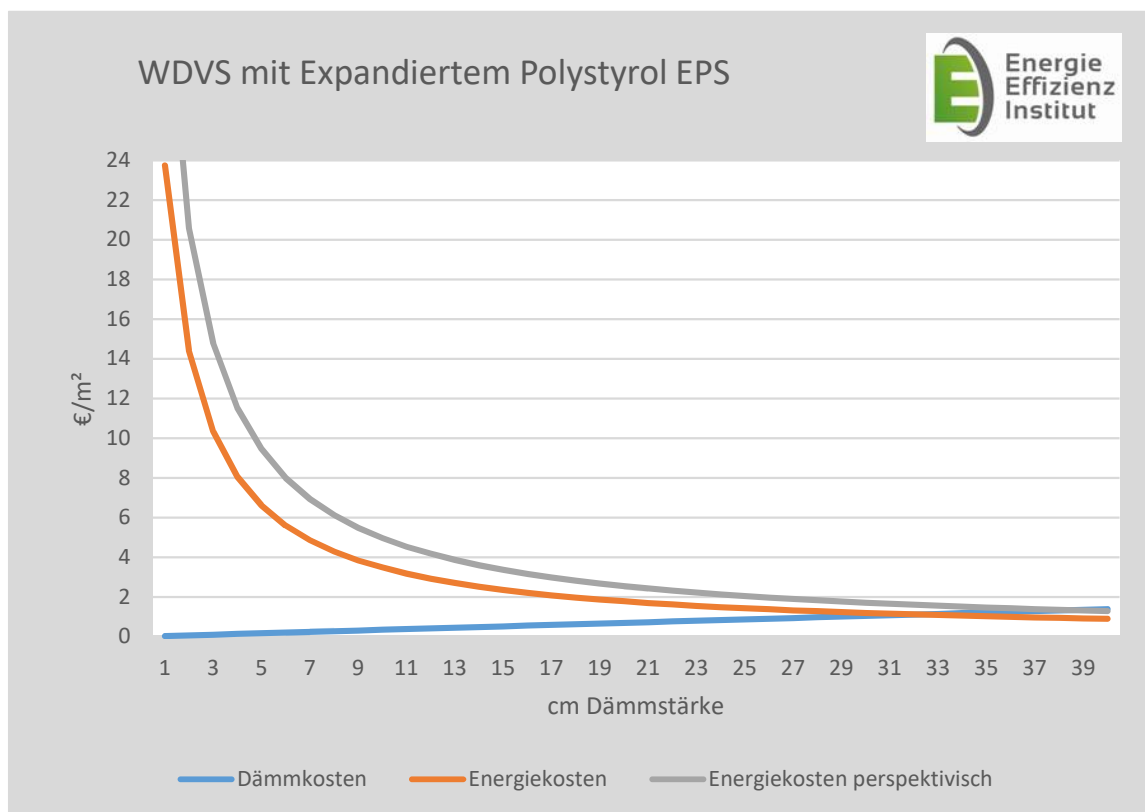


Grafik 2: wirtschaftlich optimale Dämmstoffstärke von Zellulose auf der Obersten Geschossdecke (ND=50a) in einem mit Wärmepumpe beheizten Gebäude.

Erst bei deutlich über 40 cm schneiden sich die Kurven, was bedeutet, dass sich hohe Dämmstoffstärken betriebswirtschaftlich „rechnen“. Darüber kostet die Dämmung mehr, als sie an Einsparung erwirtschaftet. Bei einem angenommenen perspektivischen Preis für das Jahr 2040 (siehe Tabelle 1) schneiden sich die Kurven erst bei noch höheren Dämmstoffstärken außerhalb des hier dargestellten Grafikbereichs.

Bei der Außenwanddämmung ist Zellulose als Dämmstoffschicht weniger üblich. Hier muss eine Stützkonstruktion montiert werden, in die eingeblasen wird und Zusatzkosten gegenüber WVDS verursacht die in die vorliegende Berechnung mit 75 €/m² einfließen. Erst bei deutlich über 40 cm die Kurven schneiden sich für diesen Fall bei 25 cm Dämmstärke und mit dem perspektivischen Energiepreis 2040 bei etwa 33 cm.

Bei der häufiger anzutreffenden Konstruktion eines Wärmedämmverbundsystems mit EPS oder Mineralwolle sind die Kosten eher linear mit der Dämmstoffstärke wachsend (das Befestigungsmaterial wird hier nicht skaliert). Betrachtet man allein das Dämmmaterial und seine Wirkung/Energiekosten, so zeigt sich in Grafik 3: die Kurven schneiden sich bei 32 (für aktuelle Energiepreise) bzw. 38 cm (Perspektivpreise 2040).

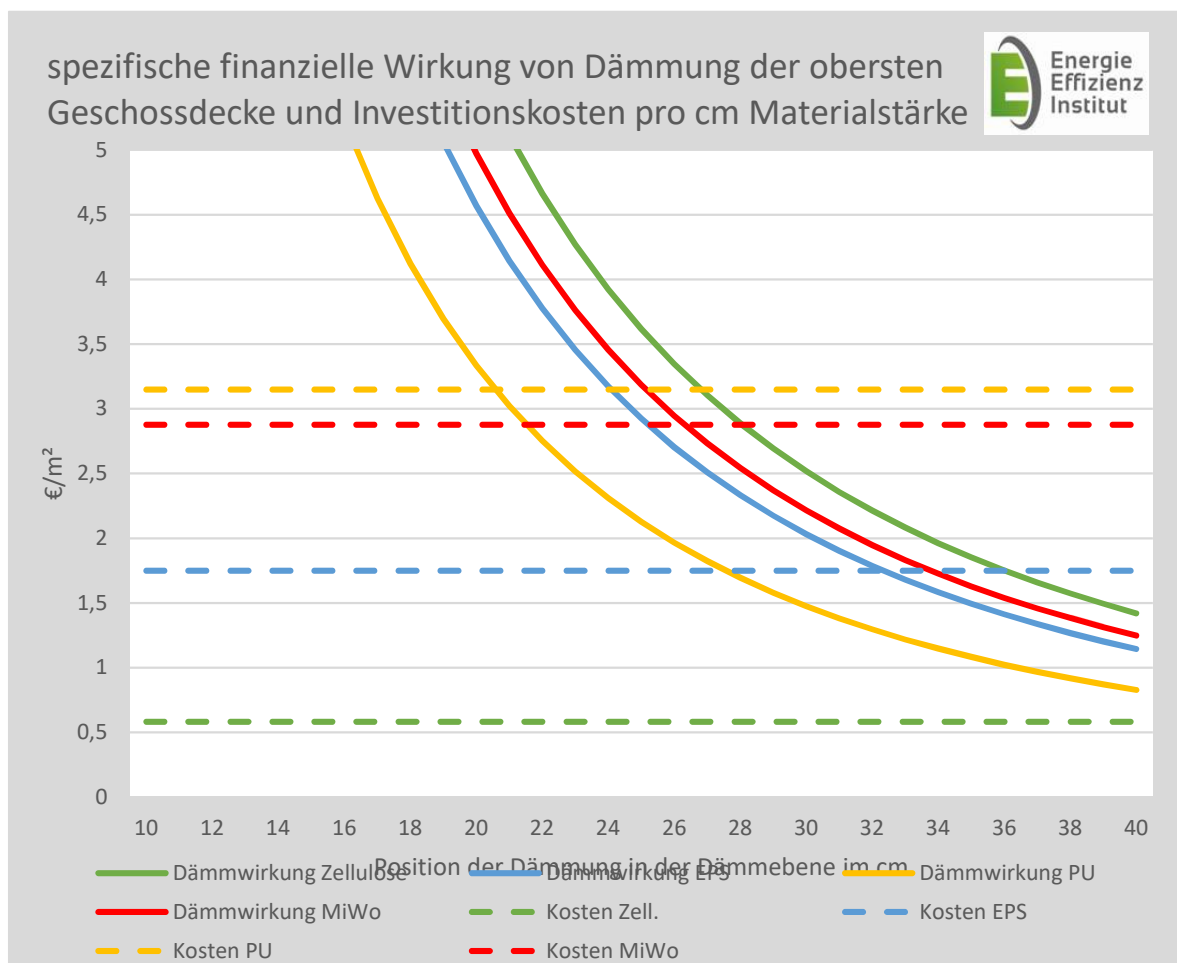


Grafik 3: wirtschaftlich optimale Dämmstoffstärke von EPS-Außenwand-WDVS (ND=50a) in einem mit Wärmepumpe beheizten Gebäude bei ohnehin erfolgreicher Maßnahme

Angenommen wurde hier eine ohnehin erfolgende energetische Wandertüchtigung. Ist dies nicht der Fall, also wenn alle Grundkosten hinzugerechnet werden (ohne Berücksichtigung von Sowiesokosten Planung, Gerüst, Montage...) verschiebt sich die blaue Kurve parallel nach oben, so dass sich die Kurven bei 16 cm bzw. 20 cm schneiden. Dieser Fall ist jedoch nur bei einer Sanierung einer noch intakten

Außenwand gegeben. Bei Neubauten und technisch abgedescribeneden Außenwänden ist das nicht der Fall. Hier lohnt somit eine Dämmstärke von mind. 30 cm aus nachhaltig- wirtschaftlicher Perspektive und unter Berücksichtigung bautechnischer Zulassungen).

In der folgenden Grafik 4 wird die Dämmwirkung jedes zusätzlichen Zentimeters (x-Achse) der Dämmung (Kurven) unterschiedlicher Materialien und die dafür aufzuwendenden zusätzlichen Kosten (jeweils zugehörige gleichfarbige Geraden) dargestellt:



Grafik 4: spezifische Wirtschaftlichkeit der Dämmmaterialien, oberste Geschossdecke

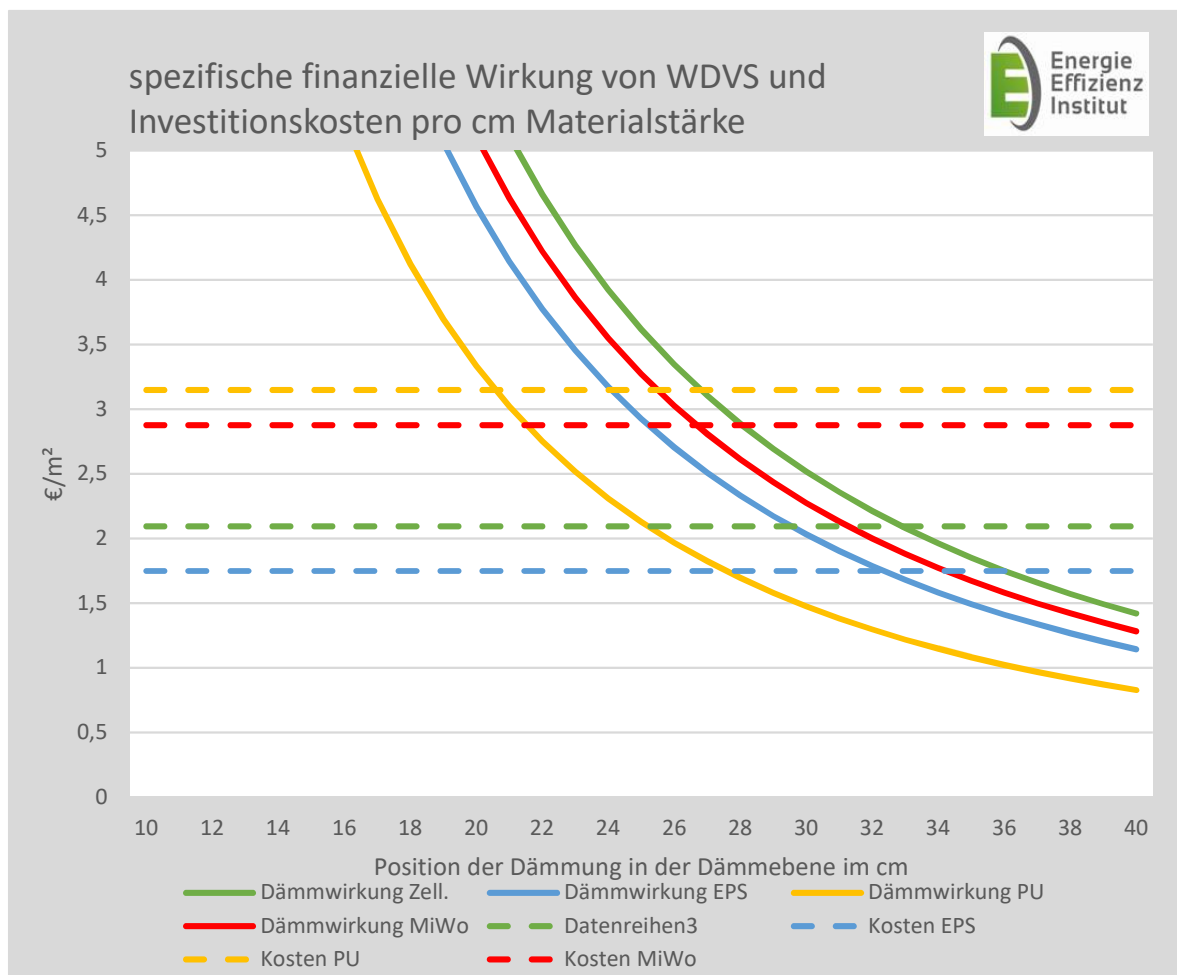
Grafikinterpretation: ausgehend von einem Material (z.B. EPS) folgt man der gestrichelten Linie der entsprechenden Farbe bis zum Schnittpunkt mit der durchgezogenen gleichfarbigen Linie. Im Falle EPS wäre das bei 32 cm der Fall und mit Mineralwoll-Rollenware bei 26 cm (der 26. Zentimeter einer 26 cm starken MiWo-Dämmschicht, ist also noch wirtschaftlich. Bei PU schneiden sich die Linien bei 21 cm, d.h. eine 21 cm starke PU-Dämmung ist wirtschaftlich. Durch den

besseren Lambda-Wert ist der R-Wert (Wärmeleitwiderstand) nur unwesentlich schlechter (8,5 statt 9,1 W/m²K). Zellulose hingegen erreicht erst deutlich später die Wirtschaftlichkeitsgrenze. Bei 40 cm ist die Dämmung mit einem R-Wert von 10 W/m²K deutlich besser und deutlich billiger als die anderen Dämmstoffe.

Wie bereits in den Grafik 1 dargestellt, wirkt der erste Dämmzentimeter sehr stark kostendämpfend auf die Energiekosten (die im gesamten Lebenszyklus dargestellt sind), die Kurve fällt rasch ab nähert sich im Unendlichen dem Nullwert.

Demgegenüber kosten zusätzliche Dämmstoffzentimeter nahezu gleich viel⁶.

Grafik 4 gilt für Dämmung von obersten Geschossdecken. Hier spielen die Verarbeitungs- und Konstruktionskosten eine kleinere Rolle als beim WDVS:



Grafik 5: spezifische Wirtschaftlichkeit der Dämmmaterialien, WDVS

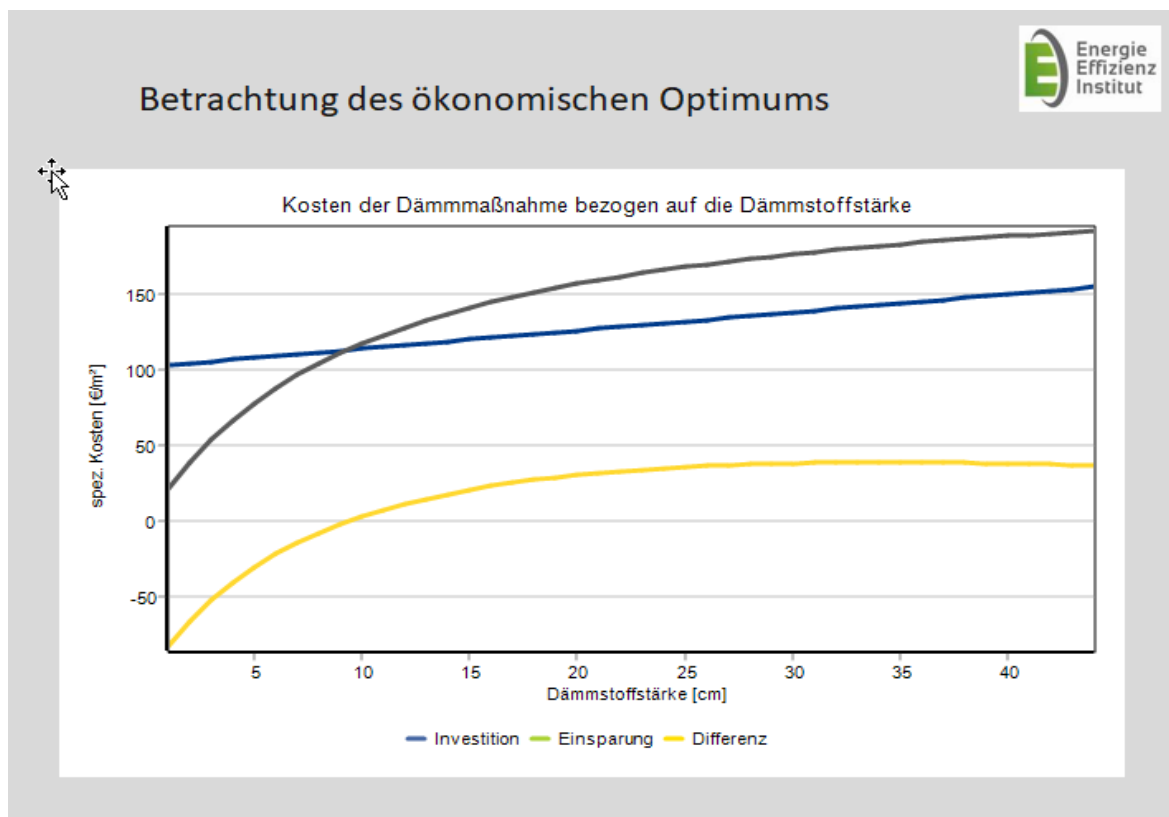
Beim WDVS verhält es sich differenzierter. Die Zellulosedämmung kommt nicht ohne eine Stützkonstruktion aus. Hierfür wurden Verarbeitungs-Differenzkosten von 75 €/m² berücksichtigt. Die sonstigen Verarbeitungs-Lohnkosten steigen nicht zwangsläufig mit der Dämmstärke, sondern sind nahezu unabhängig davon, da es

bis zur maximal-einlagigen WDVS-Verarbeitungsbreite von 30 cm kaum differente Aufwendungen gibt.

Auch in Grafik 5 zeigt sich, dass die Dämmung mit den hier analysierten Dämmstoffen erst bei Dämmstoffstärken ebenfalls weit oberhalb der gesetzlichen Mindestanforderung für Dämmwirkung ihr Kostenoptimum im Schnittpunkt der Kurven erreicht. Erst wenn die (gleichfarbigen) Kurven sich schneiden, ist das Optimum überschritten bzw. wird mehr Geld aufgewendet, als in der Nutzungsdauer der Dämmung eingespart werden kann. Dies ist bei PU bei ca. 21 cm, mit MiWo-Lamellenplatten bei ca. 27 cm, bei EPS und Zellulose bei ca. 33 cm der Fall.

Aus wirtschaftlicher Perspektive kann man daraus den Schluss ziehen, dass eine Wärmeleitfähigkeit in der U-Wert-Größenordnung von $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eine sinnvolle Zielgröße ist. Mit dem Dämmstoff Polyurethan lässt sich dies mit einer Dämmstoffstärke von etwa 16 cm (in Kombination mit 24 cm porosierten Hochlochziegel als tragende Wandkonstruktion) oder mit 20 cm Dämmstärke bei Verwendung von 24 cm Kalksandstein oder Beton als tragende Wandkonstruktion erreichen, bei Polystyrol, Mineralwolle oder Zellulose entsprechend mit 26 bis 30 cm Dämmstärke.

Das ökonomische Optimum der Dämmstoffstärke mit einem spezifischen Material, kann auf der Basis der gewählten Randbedingungen in einem Diagramm dargestellt werden:



Grafik 5: Beispiel einer **materialspezifischen Ermittlung der optimalen Dämmstoffstärke**; Quelle: ENVISYS GmbH & Co. KG- EVEBI

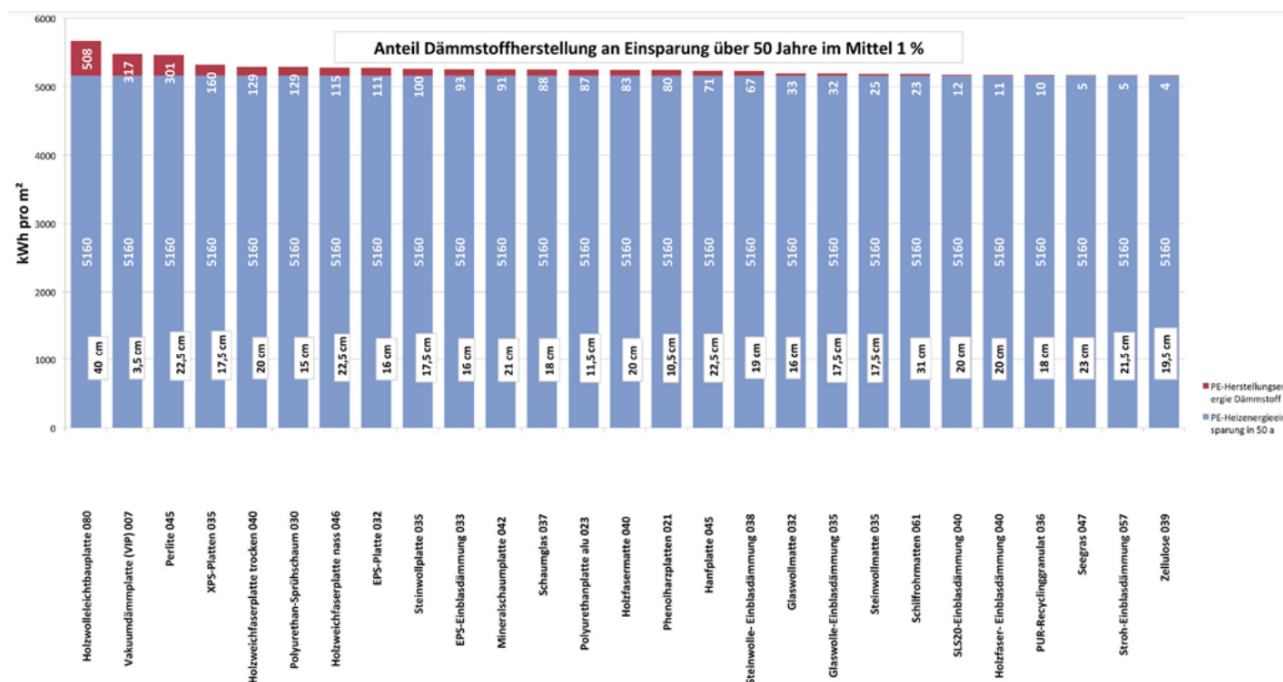
Gezeigt wird die Investition in die Maßnahme pro m² (blaue Linie). Die Grundkonstruktion, Planungs-, Montage-, Nebenkosten zusammen liegen im Beispiel bei ca. 100 €/m². Jeder Zentimeter der aufgetragenen Dämmung kostet je m² im Beispiel 1,20 €. Daraus ergibt sich eine lineare Steigerung. In Grau dargestellt ist die Einsparung durch die Dämmung in deren Nutzungszeit (Lebenszyklus, in diesem Fall 50 a). Nach ca. 9 cm Dämmung erwirtschaftet die Maßnahme bereits mehr als sie kostet. Entscheidend ist der höchste Punkt der Differenzkurve zwischen Investition und Einsparung (gelbe Kurve). Er markiert das ökonomische Optimum, das in diesem Beispiel bei 34 cm liegt.

Anzumerken ist, dass der Verlauf der Einsparkurve (hier dynamisch mit *Kapitalwertmethode VDI 2067* berechnet) stark von den Randbedingungen abhängig ist, insbesondere vom Energiepreis (hier 9 ct/kWh), der Energiepreisentwicklung (hier 1,3% p.a.) und dem verwendeten Zinsfuß (hier 0,6 % p.a.). Daher kann die Aussage zur wirtschaftlich optimalen Dämmstoffstärke nicht statisch für jeden Fall pauschal beantwortet werden.

6 Treibhausgas im Lebenszyklus

Die zweite Fragestellung richtet sich auf die ökologische Wirkung, insbesondere die Treibhausgas-Emissionen. Vielfach wurde behauptet, die Treibhausgasemissionen bei Herstellung, Transport und Entsorgung würden die Emissions-Einsparwirkung einer Dämmung im Lebenszyklus übersteigen. Um dieser Frage nachzugehen, saldieren wir die Umweltwirkung THG⁷ mit der Einsparwirkung der energiebedingten Emissionen.

Zunächst jedoch ein Blick auf die rein energetische Seite der Umweltwirkung: in der folgenden Grafik wird die Endenergieeinsparung aller gängigen Dämmstoffe bei gleichem R-Wert (Wärmeleitwiderstand), blau dargestellt mit der Herstellungsenergie für den jeweiligen Dämmstoff, rot dargestellt, verglichen. Auch wenn man Transport und Entsorgung hinzurechnet, ist die Aussage eindeutig: Energetisch lohnt sich die Dämmung immer.



Grafik 6: Graue Energie und Heizenergieeinsparung für 29 Dämmstoffe bei gleichem R-Wert (5 (m²K)/W) über 50 Jahre - Quelle: Energieinstitut Hessen auf Basis der Daten des IPeG-Institutes

Zur Herstellungs-Primärenergie kann hierbei keine Aussage getroffen werden, da diese von der verwendeten Technik abhängig ist. In jedem Fall muss die blau dargestellte Endenergie zur Produktion bereitgestellt werden. Nur in sehr ungünstigen Konstellationen – z.B. wenn ein mit Kohlestrom hergestellter Dämmstoff in einem rein solar betriebenen Gebäude eingesetzt wird – würde evtl. ein Fall auftreten, in dem die Primärenergiebilanz zu Ungunsten der Dämmung ausfällt.

Im Weiteren geht es um die Umweltwirkung Treibhausgas (THG), bei der die Materialität eine entscheidende Rolle spielt.

6.1. Zellulose

Zellulose wird meist in Form von recyceltem Altpapier, zur Verbesserung des Brandschutzes versetzt mit Borsalzen, eingesetzt. Es lässt sich leicht flocken und als Einblasdämmung in Hohlräumen verwenden (Dichte 30-50 kg/m³), aber auch als Plattenware mit höheren Dichten (bis 65 kg/m³). Als typischen Einsatzort gilt die Dämmung der obersten Geschossdecke, sei es als Zwischen-Deckenbalken-Dämmung, als lose oder befestigte Schüttung (verdichtet) oder zwischen Kant- oder Steghölzern.

Für die umweltrelevanten Daten wird einen Datensatz aus der Ökobaudat 2020 II/2021 II A1-Datenbank des Bundes für die Bewertung von Umweltwirkungen⁸ verwendet

Lebenszyklus-Modul	A 1-3	C 3-4	D	
Zellulosefaser Einblas-Dämmstoffe	-73,37	99,08	-30,51	kg CO _{2,eq} /m ³

Tabelle 4: THG-Wirkung des Datensatzes in Herstellung (A), Entsorgung (C) und Wiederverwertung (D)

Bei Nutzungsdaueransatz des Baustoffes von 50 Jahren, kann auf die Bewertung von Erneuerung (Modul B4) verzichtet werden. Da die Materialien – insbesondere aus nachwachsenden Rohstoffen – oft einen erheblichen Nutzen nach dem Rückbau haben (Recycling, thermische Nutzung), wird das Lebenszyklusmodul D berücksichtigt.

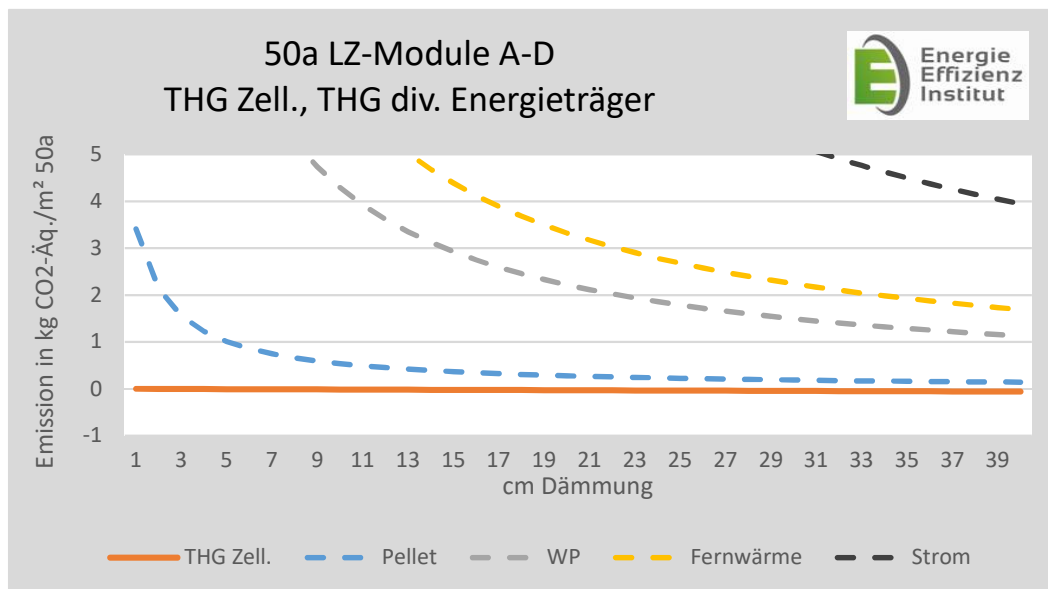
Im Falle der Zellulosedämmung ist die Treibhausgas-Emissionen dieses Recyclingdämmstoffs extrem gering (je nach Nachnutzung sogar negativ). Der Dämmstoff bindet CO₂ und nutzt daher per-se der Klimabilanz. Eine beliebig starke Dämmung wäre also unter diesem isolierten ökologischen Aspekt vertretbar.

Zum Einsatz kommen bei den Heiztechniken folgende Emissionsfaktoren, die auch für alle nachfolgenden Dämmmaterial-Betrachtungen angewendet wurden:

Pellet	0,02	kg/kWh
WP 3,5	0,16	kg/kWh
Gas	0,24	kg/kWh
Strom	0,56	kg/kWh

Tabelle 5: CO₂-Faktoren von Energieträgern/Technologien (nach GEG 2020)

Grafik 7 zeigt die nahe 0 liegenden „grauen Emissionen“ des Dämmstoffs Zellulose (orange Gerade) und die Emissionsverminderungen bei verschiedenen Heiztechniken (gestrichelt) bei Dämmstoffstärken bis 40 cm.



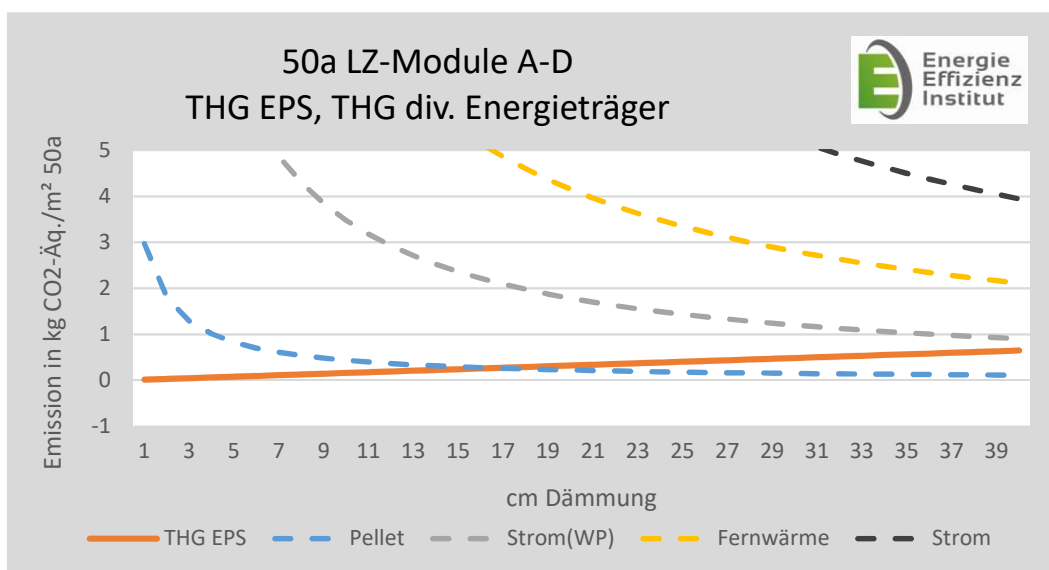
Grafik 7: Betrachtung der Lebenszyklus-THG für das Material Zellulosedämmung in Gebäuden unterschiedlicher Heiztechnologie/Energieträger

6.2 Expandiertes Polystyrol (EPS)

Das Material hat eine Treibhausgas-Wirkung, die bei ca. 81 kg CO₂-Äquivalent pro Kubikmeter aller Lebenszyklusmodule (DIN 15804 Module A-D) liegt. Die Frage der ökologischen Amortisation hängt hier stark von der verwendeten Heiztechnik ab.

Grafik 8 zeigt die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung des EPS-Materials in den Stärken 1 bis 40 cm (durchgezogene Linie). Die durch die Dämmung eingesparten Emissionen schneiden nur im Betrachtungsfall Holz-Pelletheizung die Linie unterhalb von 40 cm. Dies liegt an der geringen anzusetzenden Emission von Biomasse. Bei den anderen Energieträgern ist die verursachte kumulierte Emission schon nach wenigen Jahren höher als die Emission durch die Herstellung, den Transport, die Entsorgung und Nachnutzung – also im gesamten Lebenszyklus - des Materials. In dem Maße, wie es gelingt, den deutschen Strommix zu dekarbonisieren, gleitet die graue Kurve der Wärmepumpenheizung in Richtung X-

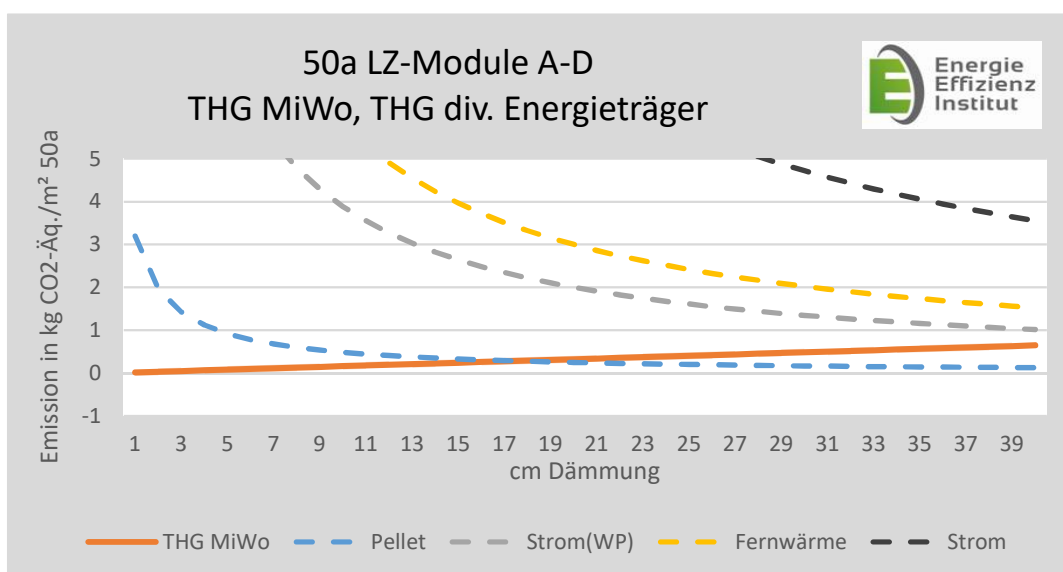
Achse nach unten; Aber selbst bei einer vollständigen Dekarbonisierung des Stromnetzes bis 2050 würde sie die Materialkurve erst bei ca. 24 cm Dämmstärke schneiden⁹.



Grafik 8: Betrachtung der Lebenszyklus-THG für das Material EPS in Gebäuden unterschiedlicher Heiztechnologie/Energieträger

6.3 Mineralwolle

Die Treibhausgasemissionen des Dämmstoffs betragen im Lebenszyklus etwa 72 kg CO₂-Äquivalent pro Kubikmeter. Das Ergebnis der THG-Saldierung ist mit dem Dämmstoff EPS vergleichbar (Dämmwirkung der hier verwendeten Datensätze WLK 035 statt 032; beim THG 72 statt 81 kg). Die Graphen verschieben sich also nur geringfügig.

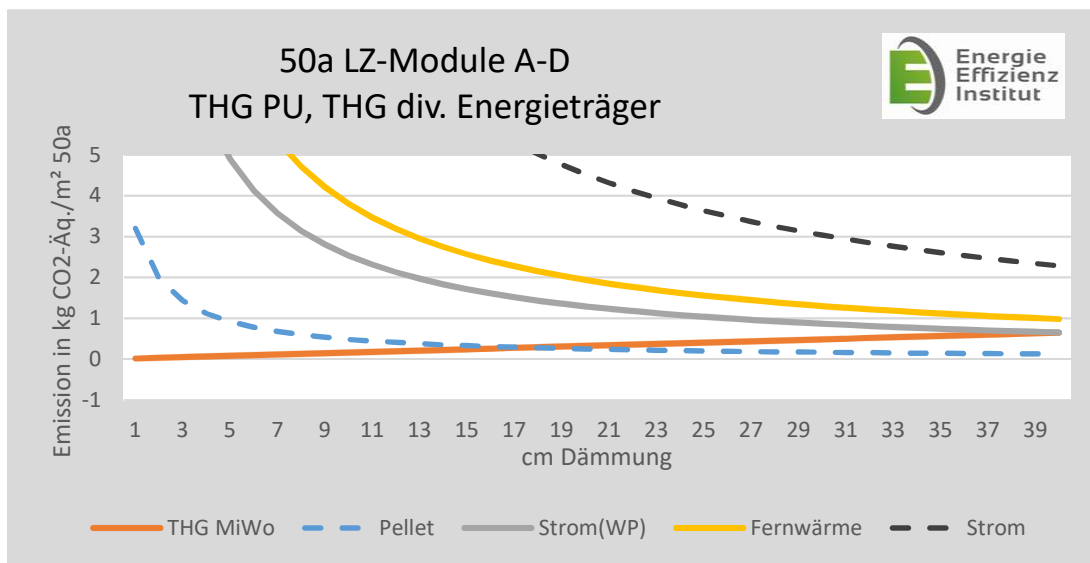


Grafik 9: Betrachtung der Lebenszyklus-THG für das Material Mineralwoll-Lamellenplatten in Gebäuden unterschiedlicher Heiztechnologie/Energieträger

6.4 Polyurethan

Die Treibhausgasemissionen des Dämmstoffs betragen im verwendeten Datensatz im Lebenszyklus etwa 193 kg CO₂-Äquivalent pro Kubikmeter, also deutlich mehr als die anderen betrachteten Dämmstoffe.

Das Ergebnis der THG-Saldierung ist ähnlich: die Einsparwirkung von Emissionen ist nur im Falle der Holz-Pellettheizung im betrachteten Wertebereich der Dämmstoffstärken nicht immer gegeben, was mit den anzuwendenden Bilanzierungsparametern der Biomasse zusammenhängt.

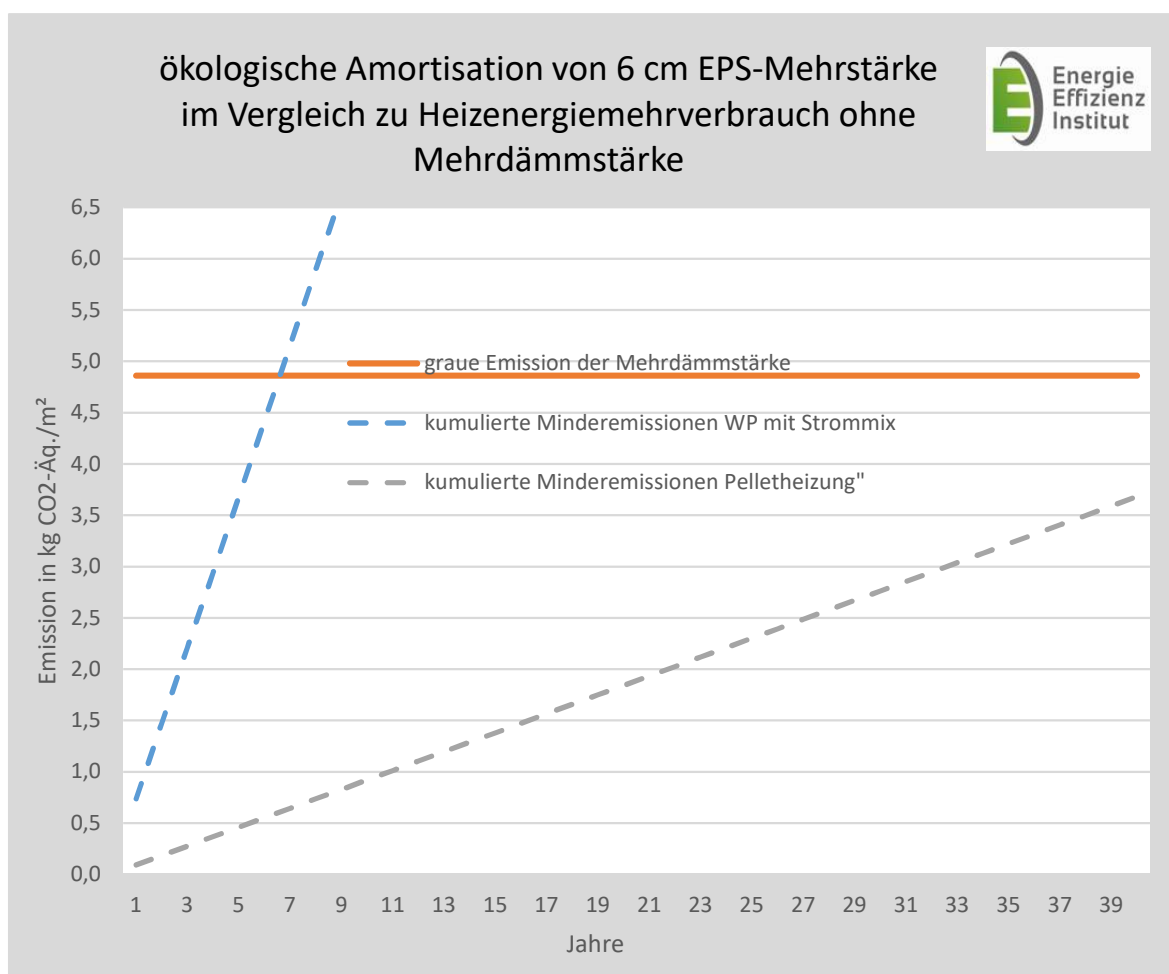


Grafik 10: Betrachtung der Lebenszyklus-THG für das Material Polyurethan in Gebäuden unterschiedlicher Beheizung.

7 Ökologische Amortisation von EPS- Mehrdämmstärken

Bei Verwendung von Energieträgern mit geringer oder geringster Emission (z.B. Biomasse, Solarenergie) für die Beheizung, findet eine ökologische Amortisation in der Nutzungsdauer der zusätzlichen EPS-Dämmstoffstärke nicht statt.

Die folgende Grafik zeigt dies am Vergleich einer EPS-Dämmung in GEG-Stärke (14 cm)¹⁰ und einer um 6 cm höheren Dämmstoffstärke. Dargestellt wird die CO₂-Emissionsdifferenz zwischen den etwas unter 6 kg CO₂-Äquivalentwert für einen Quadratmeter (6 cm) stärkerer Dämmung und den kumulierten Minder-Emissionen in der Energienutzung (Betrieb).



Grafik 11: ökologische Amortisation: kumulierte CO₂-Einsparung über die Mehrdämmung von 6 cm (20 statt 14 cm) bei zwei Heizszenarien (WP und Pelletheizung)

Die EPS Dämmung amortisiert sich bei der WP-Beheizung nach ca. 7 Jahren. Danach übersteigen die eingesparten Emissionen die bei der Herstellung des EPS emittierten Treibhausgase. Bei der Beheizung mit Biomasse geschieht das sehr viel später bzw. gar nicht in der Nutzungszeit des Materials. Dies liegt weniger am Dämmmaterial, sondern eher am günstigen CO₂-Faktor der Biomasse.

Es liegt auf der Hand, dass die ökologische Amortisation von Zellulosedämmung sehr viel schneller erfolgt, da die graue Emission der Mehrmenge an Zellulose nahe oder sogar unter 0 kg CO₂-Äquivalent beträgt.

Beim Material PU mit sehr viel höheren grauen Emissionen ist es umgekehrt: man benötigt zwar etwas weniger Dämmung (WLG 024 statt 032 – EPS - bzw. 040 - Zellulose), die volumenbezogenen Treibhausgase sind jedoch mehr als doppelt so hoch wie beim EPS. Dennoch findet die Amortisation sehr weit unterhalb der Nutzungsdauer des Materials statt.

8 Mehrdämmstärken im Lichte des Ordnungs- und Förderrechts

Die aktuelle gesetzliche Mindestanforderung an den U-Wert von Außenwänden bei Austausch/Erneuerung beträgt $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Wenn man die tragende Konstruktion ignoriert, sind das 16 cm einer (Zellulose-)Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W}/(\text{mK})$. Förderfähig im Sinne der BEG¹¹ wäre ein U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, der mit 4 cm Mehrdämmstärke erreicht werden könnte.

Beim Bauteil oberste Geschossdecke liegen die Anforderungen $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – ebenfalls 16 cm - bzw. $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – 28 cm. Um die förderfähigen Wärmedämmwerte zu erreichen müssten 4 cm (AW) bzw. 12 cm (OGD) Mehrdämmstärke verarbeitet werden.

Aus den Analysen lässt sich ableiten, dass diese und höhere Dämmstoffstärken, wie sie in Entwürfen zum GEG vorgeschlagen wurden¹², sich ökologisch bei Zellulosedämmung lohnen. Dasselbe gilt prinzipiell auch für die anderen Materialien, jedoch nicht uneingeschränkt: wird mit Biomasse geheizt, sorgt dessen geringer CO₂-Bilanzierungswert dafür.

9 Energieverfügbarkeit

Ausgehend von den hier als Ausnahme getroffenen Sachverhalt – der ausschließlichen Nutzung erneuerbarer Energieträger zur Gebäudebeheizung (bzw. technischen Kühlung) – könnte man unterstellen, dass in diesem Fall kaum Aufwand für die Dämmung gerechtfertigt ist, da ja keine resultierenden Emissionseinsparungen zu verzeichnen sind. Dieser Fall wird künftig immer häufiger auftreten, da zunehmend Erneuerbare Energien beigemischt (Dekarbonisierung der Netze, Zubau erneuerbarer Stromerzeugung, Umstieg von fossiler Verbrennung auf Wärmepumpen) werden und ab 2045 nur noch Erneuerbare Energien als Energieträger im Gebäude genutzt werden sollen. Tatsächlich schlagen daher einige Lobbyisten vor, die Dämmung auf das Niveau des GEG zu begrenzen¹³ und den klimaneutralen Gebäudebestand auf diesem Gebäudehüllen-Niveau durch den Wechsel auf erneuerbare Energieträger zu erreichen.

Folgt man diesem Ansatz, und setzt eine beliebig hohe Verfügbarkeit erneuerbarer Energie voraus, wird die Nachfragekonkurrenz anderer Energienutzungen ignoriert – zumindest in diesem Jahrhundert. Solange erneuerbare Energien endlich sind (bzw. mit einigem Aufwand erzeugt/zugebaut werden müssen) – und es sieht eher so aus, als liefern wir in einigen Monaten, spätestens Jahren in eine Energielücke – müssen alle Effizienzpotenziale genutzt werden, um den Bedarf mit erneuerbaren Energien nachhaltig decken zu können.

In Deutschland gibt es über 20 Mio. Gebäude, von denen ein überwiegender Teil noch nicht oder nicht ausreichend (gemessen an den Erfordernissen des Klimaschutzes) gedämmt ist. Zusammen haben sie eine wärmeübertragende Oberfläche von – vorsichtig gerechnet – 5 Mrd. Quadratmetern Gebäudehülle. Würde man diese mit 20 cm Stärke eines handelsüblichen Wanddämmstoffs ertüchtigen (was in etwa der BEG-Einzelmaßnahmen-Fördermindestanforderung an Wandbauteile entspricht), so würde dies einen jährlichen Minderverbrauch von mind. 10 TWh bedeuten. Dies ist eine Energiemenge, die der Jahresproduktion eines Atomreaktors (1,4 GW-Klasse) oder 50 Quadratkilometern Photovoltaik-Anlagen (7.000 Fußballfelder) entspricht. Diese Wärmeenergiemenge und die damit einhergehende THG- Reduktion könnte also Jahr für Jahr eingespart werden.

Allen Fachleuten ist inzwischen klar, dass der Strombedarf weiter ansteigen wird, befeuert insbesondere durch Elektromobilität, Wärmepumpen und Wasserstoffproduktion. Diese Energieanwendungen stehen in direktem Wettbewerb zur Energie für die Wärmeerzeugung für Gebäude. Wärmeerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen, wie z.B. Holz, ist ebenfalls durch die verfügbaren

Ressourcen gedeckelt. Insbesondere der Konkurrenzdruck bei der Stromnutzung sorgt dafür, dass es zur optimierten Gebäudedämmung keine Alternative gibt. Wir brauchen jedes Windkraft- und jede PV-Anlage um den wachsenden Energiehunger stillen zu können, aber auch jede Chance, Energie einzusparen und damit dessen Verschwendung zu vermeiden.

Somit scheint es zu kurz gegriffen, lediglich isoliert die energetischen und ökologischen Kosten von Wärmedämmung vs. Wärmeenergie zu vergleichen. Die Verfügbarkeit von Energie (insbesondere Strom) bzw. die Grenzen der Ausbaumöglichkeiten sind ebenfalls zu berücksichtigen.

10 Fazit

Aus den Analysen resultieren drei Schlussfolgerungen:

1. Endverbraucher-wirtschaftlich betrachtet, lohnen sich, bei den untersuchten Dämmmaterialien, deutlich höhere Dämmstoffstärken als im GEG als Mindestanforderung festgelegt. Je nach Material und Einbausituation sind dies meist Stärken jenseits der 20 cm.
2. Beim Einsatz von nicht-erneuerbaren Energieträgern zur Beheizung amortisieren sich die betrachteten Dämmmaterialien ökologisch sehr schnell, auch deutlich über den aktuell geforderten Dämmstoffstärken. Je nach Energieträger fällt die Klimabilanz erst mehr oder weniger deutlich nach mehr als 40 cm Dämmstärke negativ aus. Beim Einsatz erneuerbarer Energieträger ist das natürlich nicht der Fall. Recyclingdämmstoffe und andere Dämmstoffe mit geringen Lebenszyklus-THG-Werten amortisieren sich auch bei beliebig hohen Dämmstoffstärken unabhängig vom eingesetzten Energieträger.
3. Efficiency First ist das Gebot der Stunde um begrenzte Ressourcen und Ausbaugrenzen zu schonen. Jede Kilowattstunde Wärmeenergie die durch verbesserte Effizienz eingespart wird, muss nicht erzeugt werden.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass eine großzügige Dämmung der Ausgangspunkt und die Voraussetzung für erfolgreiche Bemühungen um einen klimaneutralen Gebäudebestand ist. Hohe Anforderungen in Ordnungs- und Förderrecht sind daher anzuraten. Das notwendige Zusammenspiel aus hervorragend gedämmter Gebäudehülle, effizienter Wärmeerzeugertechnologie und die Transformation zur erneuerbaren Energieversorgung funktioniert nur als Dreiklang.

Die Ergebnisse dieser Studie werden von einer parallel durchgeführten Parameterstudie für die Energieagentur Rheinland-Pfalz [17] mit konkreten vollständigen Gebäudemodellen vollumfänglich bestätigt.

11 Anhang

Fußnoten

¹ Im Folgenden ist oft vereinfachend von „Dämmstoffstärke“ die Rede. Sie steht hier für einen Dämmstoffstandard, der nicht an der Stärke, sondern an einem Wärmedurchgangskoeffizient, dem U-Wert festgemacht wird. Ein U-Wert hat aber je nach Material deutlich unterschiedliche Dämmstoffstärken zur Folge. In dieser Abhandlung geht es genau um diese Auswirkungen, was die Rede von „Dämmstoffstärken“ rechtfertigt.

² GEG: Gebäudeenergiegesetz

³ CO₂-Äquivalent: Summenparameter der Treibhausgas-Emissionen (THG), er beinhaltet neben CO₂ auch andere Treibhausgase (wie Methan oder Lachgas), die aber im Gebäudebereich eine kleinere Rolle spielen.

⁴ Hierbei wird mit einer Wärmepumpe mit Jahresarbeitszahl von 3,5 gerechnet sowie mit einem deutschen Strommix mit den Emissionen nach GEG. Bei der Pelletheizung ebenfalls mit dem GEG-Emissionsfaktor gerechnet.

⁵ Gerechnet wurde hier mit 30 Cent/kWh. Entgegen Ankündigungen und Plänen, den Strompreis zu senken, ist eine solche Tendenz nicht absehbar. Die Autoren halten eine Senkung für unwahrscheinlich

⁶ Der Montageaufwand steigt nur in zu vernachlässigender Weise mit der Dämmstoffstärke. Der Grundstücksflächenverbrauch unterschiedlicher Dämmstärken wurde an dieser Stelle vernachlässigt.

⁷ THG: Treibhausgas-Emissionen, auch Global Warming Potential (GWP) genannt, Einheit CO₂-Äquivalent

⁸ Der Datensatz mit der ID c355d75b-9026-4899-a41c-e5d221c424f2 gilt für Zellulosefaser-Dämmstoffe mit einer Dichte von 30-55 kg/m³. Als generischer Datensatz ist er allgemeingültig für deutsche Produkte und enthält einen Sicherheitsaufschlag von 20% (im Unterschied zu den anderen untersuchten Materialien).

⁹ hierzu erfolgte eine Berechnung mit einem mittleren CO₂-Faktor von 0,164 kg/kWh

¹⁰ mit 14 cm Stärke erreicht man die Anforderung für Außenwand-Bauteile bei erstmaligem Austausch.

¹¹ Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) vom 16.09.2021

¹² GEG 2.0-Studie von ifeu, EEl und Burkhard Schulze Darup, April 2021

¹³ Studie Norbert Fisch, Steinbeis

Quellen und Literaturverzeichnis

- [1] Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
- [2] Energy Performance of buildings directive (EPBD 2018/844/EU)
- [3] Bauproduktenverordnung: Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten.
- [4] Andreas Holm, Christine Maderspacher, Wolfgang Schmidt: Graue Energie und Graue Emissionen von Dämmstoffen im Vergleich zum Einsparpotenzial, FIW München 2020/06
- [5] Neukonzeption des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2.0) zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
- [6] Volker K. Drusche (2020) Energie - Synergie: Energie- nachhaltig planen, bauen und sanieren, Kosten sparen und Ressourcen schonen
- [7] Schulze-Darup et al. (2019) Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier. Projekt gefördert von der DBU AZ 33119/01-25
- [8] Schulze-Darup, Ecofys (2014) Initialstudie Preisentwicklung Gebäudeenergieeffizienz; Auftraggeber: Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e. V.
- [9] Volker K. Drusche (2012); Einfluss der energetischen Eigenschaften von Gebäudehüllen auf den Immobilien-Sachwert, Bauhausuni Weimar, Schriftenreihe Bau- und Immobilienmanagement
- [10] Hausladen GmbH: Endbericht Gutachten über erschließbare Umweltpotenziale von Effizienzhaus Plus Gebäuden (BBSR SWD -10.08.17.7-16.28, 2017
- [11] IWU Darmstadt (2014) Die "Cost-Optimal Methodology" Ansätze zur Beurteilung kostenoptimaler Lösungen; Vortrag zur Jahrestagung Energieberatung Jena
- [12] FIZ Karlsruhe GmbH (Themeninfo III/2017) Wirtschaftlichkeit energieoptimierter Gebäude
- [13] BKI Baukosteninformationszentrums deutscher Architektenkammern GmbH; Objekt-daten N17, E8 und Baukostenplaner
- [14] Walberg, Dietmar/ Gniechwitz, Timo/ Halstenberg, Michael (ARGE – Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e. V.): Kostentreiber für den Wohnungsbau -Untersuchung und Betrachtung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gestehungskosten und auf die aktuelle Kostenentwicklung von Wohnraum in Deutschland.

[15] EEl mit Winfried Schöffel, Volker K. Drusche, Burkhard Schulze Darup, Stefan Oehler: RV Handlungsplan Nachhaltiges Bauen, Teilprojekt 002 LCA_kompakt, Umfassende Grundlagenermittlung zur vereinfachten, Bewertung von grauer Energie bei der Errichtung von Gebäuden; 2020

[16] IpeG Stoffkennwerte zur Passivhaustagung 2021

[17] Burkhard Schulze Darup, Winfried Schöffel: Gebäudestudie, 2022

[18] FIW mit Andreas Holm et.al.: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe - Metastudie
Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen, 2012

6.1. Abkürzungen / Glossar

EPS	Extrudiertes Polystyrol
Miwo	Mineralwolle
PU	Polyurethan
Zell.	Zellulose
CO ₂	Kohlendioxid
EPBD	European Performance of buildings directive
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GWP	Global Warming Potential
THG	Treibhausgas auch Global Warming Potential (GWP), Einheit kg CO ₂ -Äquivalent
LZ	Lebenszyklus