

Erweiterte Zusammenfassung

Einfluss der Dämmung auf das GWP und PENRT über den gesamten Gebäudelebenszyklus

FIW München:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm
Raphaela Ivanica
Wolfgang Schmidt



FIW München

Forschungsbericht FO-2022-08

FO-2022-08

Erweiterte Zusammenfassung
Einfluss der Dämmung auf das GWP und PENRT über
den gesamten Gebäudelebenszyklus

im industriellen Auftrag

Der Bericht umfasst: 22 Seiten

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

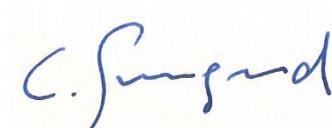
Gräfelfing, den 30. August 2023

Institutsleiter:in



Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Abteilungsleiter:in



Christoph Sprengard

Bearbeiter:in



Raphaela Ivanica

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	4
2	Durchgeführte Rechnerische Untersuchungen	5
2.1	Untersuchte Energiestandards	5
2.2	Untersuchte Dämmstoffe	5
2.3	Typengebäude	6
2.3.1	Einfamilienhaus	6
2.3.2	Mehrfamilienhaus	8
2.3.3	Lagerhalle	9
3	Methodik der Ökobilanzierung	11
4	Ergebnisse der Ökobilanz	13
4.1	Treibhausgaspotential (GWP)	13
4.2	QNG-Grenzwerte	14
4.3	Vergleich Dämmstoffe am Beispiel Mehrfamilienhaus	15
4.4	Mehrfamilienhaus – Vergleich von Gebäuden mit PU- und Holzfaserdämmung bei gleichen Außenmaßen	16
5	Diskussion und Fazit	18
6	Tabellenverzeichnis	19
7	Abbildungsverzeichnis	20
8	Literaturverzeichnis	21

1 Zielsetzung

Ziel der Studie ist die exemplarische Untersuchung zum Einfluss der Wärmedämmung auf das Treibhausgaspotential (GWP) sowie den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf total (PENRT) über den gesamten Gebäude-Lebenszyklus. Die Untersuchung wird am Beispiel eines typischen Einfamilienhauses, eines Mehrfamilienhauses und einer Lagerhalle durchgeführt. Dabei soll zum einen die Abhängigkeit der Ergebnisse vom Energieeffizienzstandard, zum anderen von der Art des Dämmstoffs betrachtet werden.

Die Ergebnisse sollen mit den Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltige Gebäude (QNG) hinsichtlich GWP und PENRT verglichen werden. Es wird dargestellt, welche der untersuchten Gebäudevarianten die Qualitätsstufen „QNG-PLUS“ und „QNG-PREMIUM“ erfüllen.

In der nachfolgenden Zusammenfassung werden lediglich Auszüge der Untersuchung dargestellt. Die vollständige und detaillierte Untersuchung kann dem Bericht „Einfluss der Dämmung auf das Treibhauspotential (GWP) und den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand (PENRT) über den gesamten Gebäudelebenszyklus unter Berücksichtigung verschiedener Effizienzstandards am Beispiel eines Einfamilienhauses, eines Mehrfamilienhauses und einer Lagerhalle. Vergleich mit den Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltige Gebäude (QNG)“ entnommen werden.

2 Durchgeführte Rechnerische Untersuchungen

Für die Vergleichsstudie werden drei verschiedene Gebäudetypen fünf unterschiedlichen Energiestandards und verschiedene Dämmstoffe miteinander verglichen. Dabei soll untersucht werden welchen Einfluss der Gebäudetyp, der Energiestandard und die Dämmstoffart auf das GWP und PENRT im Gebäudelebenszyklus haben.

2.1 Untersuchte Energiestandards

Der Energiestandard bezieht sich dabei auf einen Vergleich mit dem Referenzgebäude, welches im Gebäudeenergiegesetz (GEG) definiert ist (Deutscher Bundestag (BT) 2022). Untersucht wird zunächst ein Gebäude, welches den Anforderungen des GEG für Neubauten entspricht. Für die Berechnungen sollen bereits Kriterien des GEG 2023 (ersten Novelle gültig seit 1. Januar 2023) eingehalten werden. In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die in der Studie untersuchten Energiestandards dargestellt. Eine Förderung durch den Bund im Rahmen des BEG ist ausschließlich mit Einhaltung der Anforderungen an die EH 40 H_T 55-Variante möglich.

Tabelle 1: Auflistung der in der Studie betrachteten Energiestandards, die Angaben des Primärenergiebedarfs sowie des Transmissionswärmeverlustes beziehen sich auf das im GEG definierte Referenzgebäude

Bezeichnung	Primärenergiebedarf (QP) im Vergleich zur Referenzausführung	Spezifischer Transmissionswärmeverlust (H _T) im Vergleich zur Referenzausführung
GEG 23	55 %	100 %
EH 55 H _T 85	55 %	85 %
EH 55 H _T 70	55 %	70 %
EH 40 H _T 70	40 %	70 %
EH 40 H _T 55	40 %	55 %

Nach der aktuellen Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) vom 1. März 2023 können nur noch Neubauten gefördert werden, die dem Standard EH 40 H_T 55 entsprechen.

2.2 Untersuchte Dämmstoffe

Für die Untersuchung wurden die am häufigsten verwendeten Dämmstoffarten im Bauwesen verwendet werden. Die Berechnungen wurden anhand handelsüblicher Produkte exemplarisch durchgeführt und miteinander verglichen. Die untersuchten Dämmstoffe werden nachfolgend vorgestellt:

- Polyurethan-Hartschaum (PU)
- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)

- Mineralwolle (MW)
- Holzfaser (HolzF)

Bei der Untersuchung werden mit unterschiedlichen Dämmstoffen gedämmte Gebäude untereinander verglichen. Der Fokus der Untersuchung wird, entsprechend der Praxis, auf die Einhaltung der Grenzwerte des Primärenergiebedarfs (Q_P) und des spezifischen Transmissionswärmeverlusts (H'_T) der jeweiligen Energiestandards gelegt. Die Anforderungen an die thermische Hülle der unterschiedlichen Typengebäude und Dämmstoffe wird dabei bestmöglich an die gegebenen Grenzwerte der Effizienzhausklassen angepasst.

In der öffentlichen Debatte werden die Dämmstoffgruppen aufgrund ihrer Rohstoffbasis oft pauschal positiv oder negativ bewertet. Ein aussagekräftiger Vergleich ist jedoch nur bei Dämmstoffen mit ähnlichen technischen Eigenschaften, insbesondere hinsichtlich Wärmedurchlasswiderstand, Druckfestigkeit und Feuchteresistenz möglich. Die Rohdichte eines Dämmstoffs hat nicht nur auf die Druckfestigkeit maßgebenden Einfluss, sondern auch auf die zur Herstellung notwendigen Menge an Rohstoffen.

Bei der Auswahl der Dämmprodukte für die Studie wurden die technischen Anforderungen in den jeweiligen Anwendungsbereichen Aufsparrendämmung (DAD), Flachdachdämmung (DAA), Wärmedämmverbundsystem (WDVS), Fußbodendämmung (DEO), Perimeterdämmung unter der Bodenplatte (PB) und im Kern von Stahlsandwichelementen berücksichtigt. Es wurden Dämmprodukte ausgewählt, die repräsentativ für die jeweilige Stoffgruppe und Anwendung sind. Für die Berechnung des GWP und PENRT wurden Datensätze der Ökobaudat 2021_II verwendet. Bei fehlenden Datensätzen in der Datenbank wurde auf Umweltproduktdeklarationen (EPDs) zurückgegriffen.

2.3 Typengebäude

Für die oben beschriebenen Variationen der Energiestandards in unterschiedlichen Materialausführungen werden drei Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Lagerhalle) herangezogen.

2.3.1 Einfamilienhaus

Für die Vergleichsstudie wird das Typengebäude Einfamilienhaus (EFH) der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE eV), Kiel herangezogen. Es handelt es sich um ein freistehendes EFH im mit Pultdach mit Ausrichtung nach Norden. Das Gebäude verfügt über ein beheiztes Erdgeschoss und Dachgeschoss und ist vollständig unterkellert, das Kellergeschoss ist unbeheizt (Walberg et al. 2015). Die Gebäudenutzfläche beträgt 172 m², die beheizte Fläche umfasst 143 m².

Die Außenwand wird in Massivbauweise mit 240 mm Ziegeln und einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) ausgeführt. Die Dachkonstruktion des Gebäudes

besteht aus 200 mm Sparren (Sichtdachstuhl), einer 20 mm Holzschalung und einer Aufsparrendämmung. Die Kellerdecke ist in Stahlbetonbauweise realisiert und bildet den thermischen Gebäudeabschluss nach unten. Die Dämmebene befindet sich oberhalb des Stahlbetons und wird durch eine Trittschalldämmung und einen Zementestrich abgedeckt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Eingabeparameter EFH: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards

	GEG 23	EH 55 H_T 85	EH 55 H_T 70	EH 40 H_T 70	EH 40 H_T 55
H _T Grenzwerte in W/(m ² ·K)	0,407	0,346	0,285	0,285	0,224
Polyurethan – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,388	0,315	0,280	0,253	0,222
Außenwand	80	80	120	160	200
Pultdach	120	120	140	160	180
Kellerdecke	80	80	80	100	100
EPS – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,400	0,346	0,280	0,252	0,224
Außenwand	120	100	180	240	300
Pultdach	140	120	180	260	280
Kellerdecke	80	80	100	120	120
Steinwolle – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,400	0,339	0,284	0,254	0,224
Außenwand	140	120	180	260	300
Pultdach	140	120	220	280	300
Kellerdecke	80	80	100	120	120
Holzfaser – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,402	0,344	0,284	0,254	0,224
Außenwand	160	140	200	300	340
Pultdach	160	140	220	300	320
Kellerdecke	80	80	120	140	140
Verglasung	2-fach	3-fach	3-fach	3-fach	3-fach

Zur Wärmeerzeugung und Trinkwassererwärmung wird eine Wasser/Wasser Wärmepumpe mit einer elektronischen Spitzenlastabdeckung verwendet. Die Vorlauf-/Rücklauftemperatur für das System beträgt 35/28°C. Die Wärmeübertragung erfolgt mittels bauteilintegrierter Flächenheizung (Fußbodenheizung). Zusätzlich ist eine solarthermische Anlage mit Flachkollektoren auf dem Dach des Gebäudes montiert. Die Fläche entspricht dabei den Mindestanforderungen gemäß §35 des GEG (Deutscher Bundestag (BT) 2022). Zudem wird ein zentrales Abluftsystem eingesetzt um den geforderten Mindestluftwechsel zu gewährleisten.

Die Dämmstoffdicken wurden dabei so gewählt, dass die Grenzwerte für den Primärenergiebedarf (Q_P) und den spezifischen Transmissionswärmeverlust (H'_T) eingehalten werden. Die verwendeten Dämmstoffdicken sind in Tabelle 2 gelistet.

2.3.2 Mehrfamilienhaus

Für die Vergleichsstudie des Mehrfamilienhauses (MFH) wird das entsprechende Typengebäude der ARGE eV (Walberg et al. 2015) verwendet. Bei dem Gebäude handelt es sich um ein freistehendes MFH mit Flachdach. Es verfügt über fünf oberirdischen Vollgeschosse und ein unbeheiztes Kellergeschoss. Die Gebäudenutzfläche beträgt 1.162 m², davon sind 873 m² beheizt.

Der Außenwand-Aufbau des MFH ist identisch zu dem des EFH (Dicke des Mauerwerks wird auf 365 mm erhöht). Das Flachdach ist in Stahlbetonbauweise ausgeführt. Die Dämmebene befindet sich oberhalb der tragenden Konstruktion. Die Abdichtung besteht aus Bitumenbahnen. Der Schichtenaufbau der Kellerdecke des MFH ist identisch zum EFH.

Zur Wärmeerzeugung und Warmwasserbereitung wird eine Wasser/Wasser Wärmepumpe mit einer elektronischen Spitzenlastabdeckung verwendet. Die Vorlauf-/Rücklauftemperatur für das System beträgt 35/28°C. Die Wärmeübertragung erfolgt mittels Flächenheizung (Fußbodenheizung). Zusätzlich wird eine PV-Anlage mit einer Fläche von 100 m² installiert. Zudem wird ein zentrales Abluftsystem eingesetzt um den geforderten Mindestluftwechsel zu gewährleisten.

Die Dämmstoffdicken wurden dabei so gewählt, dass die Grenzwerte für den Primärenergiebedarf (Q_P) und den spezifischen Transmissionswärmeverlust (H'_T) eingehalten werden. Die verwendeten Dämmstoffdicken sind in Tabelle 3 gelistet.

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Eingabeparameter MFH: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards

	GEG 23	EH 55 H_T 85	EH 55 H_T 70	EH 40 H_T 70	EH 40 H_T 55
H _T Grenzwerte in W/(m ² ·K)	0,449	0,382	0,316	0,316	0,248
Polyurethan – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,426	0,347	0,316	0,316	0,245
Außenwand	60	60	80	80	140
Flachdach	120	120	140	140	160
Kellerdecke	80	80	80	80	100
EPS – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,444	0,365	0,315	0,315	0,247
Außenwand	80	80	140	140	220
Flachdach	120	120	120	120	200
Kellerdecke	80	80	80	80	100
Steinwolle – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,436	0,374	0,315	0,315	0,247
Außenwand	100	80	140	140	220
Flachdach	120	120	180	180	260
Kellerdecke	80	80	80	80	100
Holzfaser – Dämmstärken in mm					
H _T in W/(m ² ·K)	0,438	0,376	0,316	0,316	0,248
Außenwand	120	100	160	160	240
Flachdach	120	120	180	180	300
Kellerdecke	80	80	80	80	100
Verglasung	2-fach	3-fach	3-fach	3-fach	3-fach

2.3.3 Lagerhalle

Für die Berechnungsvarianten zur Lagerhalle wurde auf ein Typengebäude aus der Studie von Kuhnhenne et al. (2010) zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um eine Lagerhalle mit einer Länge von 60 m, einer Breite von 15 m und einer Traufhöhe von 5 m. Die Halle verfügt über ein Flachdach. Das Nutzungsprofil entspricht der DIN V 18599-10 Tabelle A.41 „Nutzung Lagerhallen, Logistikhallen“. Die Gebäudenutzfläche von 747 m² ist komplett beheizt. Das Tragwerk der Lagerhalle wird durch Zweigelenkrahmen aus Stahl S355 mit Blockfundamenten aus Stahlbeton abgebildet (Kuhnhenne et al. 2010).

Für die Außenwandkonstruktion werden selbsttragende Stahlsandwichelemente mit PU- oder MW-Dämmung, die an der Tragkonstruktion befestigt sind, verwendet. Das

Tragwerk des Dachs wird aus einer Rahmenkonstruktion und einer Tragschale aus Stahltrapezblechen gebildet. Darauf befinden sich eine dünne PE-Folie (Luftdichtigkeit/Dampfbremse), die Dämmung und eine Abdichtung aus einlagigen PVC-Dachbahnen. Anschließend folgt die Dämmebene mit einer Bitumenbahn als oberer Gebäudeabschluss. Die Bodenplatte zum Erdreich besteht aus Stahlbeton und bildet den thermischen Gebäudeabschluss nach unten. Die Dämmebene befindet sich unterhalb des Stahlbetons.

Zur Wärmeerzeugung wird eine Luft/Wasser **Wärmepumpe** verwendet. Die Vorlauf-/Rücklaufemperatur für das System beträgt 50/40°C. Die Wärmeübertragung erfolgt mittels Strahlplatten an der Decke der Lagerhalle. Es erfolgt keine Trinkwarmwasserbereitung. Zusätzlich wird eine **PV-Anlage** mit einer Fläche von 320 m² auf dem Dach der Halle installiert

Die Dämmstoffdicken für die jeweilige Konstruktion, bezogen auf die unterschiedlichen Energiestandards sowie die Dämmmaterialien, können Tabelle 4 entnommen werden. Die Dämmung unterhalb der Bodenplatte muss eine lastabtragende Perimeterdämmung sein. Für die vorliegende Studie wird diese beispielhaft durch eine XPS-Dämmung dargestellt.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Eingabeparameter Lagerhalle: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards

	GEG 23	EH 55 H_T 70	EH 40 H_T 55
Polyurethan – Dämmstärken in mm			
Außenwand	40	80	100
Flachdach	40	80	100
Bodenplatte	80 XPS	80 XPS	80 XPS
Steinwolle – Dämmstärken in mm			
Außenwand	60	120	160
Flachdach	80	120	140
Bodenplatte	80 XPS	80 XPS	80 XPS

3 Methodik der Ökobilanzierung

Der Untersuchungsrahmen der Ökobilanz erstreckt sich entlang des gesamten Lebenszyklus der vorgestellten Typengebäude. Die einbezogenen Gebäudelebenszyklusphasen nach DIN EN 15804:2020-03 werden durch das QNG-Handbuch festgelegt. In die Untersuchung miteinbezogen ist die Herstellungsphase (A1-A3), der Austausch (B4) und der Energieverbrauch im Betrieb (B6) der Nutzungsphase sowie die Abfallbehandlung (C3) und Entsorgung (C4) während der End-of-Life Phase. Gutschriften und Belastungen außerhalb der Systemgrenze (Modul D) werden separat ausgewiesen.

Die Modellierung und Berechnung der Ökobilanz erfolgt auf Grundlage der DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02. Speziell für die Ökobilanzierung von Gebäuden ist das Vorgehen in der DIN EN 15978:2012-10 definiert. Die Vorgehensweise zur Modellierung der Ökobilanz folgt den Richtlinien des Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG) (BMWSB 2023d).

Die **funktionelle Einheit** ist auf 1 m² Gebäudenutzfläche A_N der Typengebäude bezogen auf ein Nutzungsjahr gesetzt (1 m² A_N/a). Die Nutzungsphase der Gebäude ist nach QNG-Handbuch (BMWSB 2023d) auf 50 Jahre festgelegt. Die Nutzungsdauern bis zum Ersatz der verwendeten Materialien und Bauteile wurden dem BNB-Katalog Nutzungsdauern von Bauteilen (BBSR 2017) entnommen.

Die **Berechnung der Umweltwirkungen** erfolgt nach den angegebenen Formeln der QNG-Bilanzierungsregeln nach Anhang 3.1.1 zur Anlage 3 des QNG-Handbuches (BMWSB 2023a). Für die Herstellungsphase wird laut QNG neben den benötigten Materialien und Bauteilen ein pauschaler Sockelbetrag für die Kostengruppe 400 gefordert (BMWSB 2023a). Die vom QNG-Handbuch festgelegte Pauschale berücksichtigt die Herstellung, den Austausch und Entsorgung von Teilen für die technischen Anlagen. Dabei gibt es zwei Werte, einmal für Gebäude mit einem Energiestandard von >40 kWh/m² und für Gebäude ≤40 kWh/m². Zusätzlich zum Anlagenstrom wird für die Nutzungsphase B6 nach Anlage 3.1.1 des QNG-Handbuches eine Nutzerstrompauschale von 20 kWh pro Quadratmeter beheizter Nutzfläche angesetzt (BMWSB 2023a).

Für die Berechnung des GWP und PENRT für **Nichtwohngebäude** (in dieser Studie Lagerhalle) gibt es gesonderte Bilanzierungsregeln. Diese Bilanzierungsregeln werden im Anhang 3.2.1.1 zur Anlage 3 des QNG-Handbuches erläutert (BMWSB 2023b). Es wird eine Technikpauschale für die Kostengruppe 400 erfasst. Zusätzlich erfolgt eine Einzelerfassung ausgewählter Anlagenteile (z.B. Wärmeerzeuger, Lüftungsanlage), die in der Technikpauschale nicht erfasst sind. Es werden auch Austauschzyklen angegeben, welche von den Nutzungsdauern von Bauteilen nach BNB abweichen. Des Weiteren wird für die Nutzungsphase der Nichtwohngebäude ein Mittelwert für den jährlichen Strombedarf der „zentralen Dienste“ angegeben. Der Nutzer- und Nutzungsbezogene Strombedarf wird gesondert erfasst. In der vorliegenden Studie wird dieser für die Lagerhalle mit 0,0 kWh/(m²-a) vorgegeben (BMWSB 2023b).

Für die **Wirkungsabschätzung** der Ökobilanz im Rahmen dieser Studie wird zum einen der Indikator Treibhausgaspotential (GWP) verwendet. Das GWP ist in CO₂-Äquivalente pro m² Nutzfläche und Jahr (kg CO₂-Äq./m²·a) angegeben. Die Grenzwerte für GWP betragen in der Anforderungsstufe QNG-PLUS 24 kg CO₂-Äq./m²·a und QNG-PREMIUM 20 kg CO₂-Äq./m²·a. Zusätzlich wird die gesamte nicht erneuerbare Primärenergie bewertet (PENRT/m²·a). Der PENRT wird im Rahmen dieser Studie in kWh pro m² Nutzfläche und Jahr angegeben. Die Grenzwerte für PENRT betragen in der Anforderungsstufe QNG-PLUS 96 kWh/m²·a und QNG-PREMIUM 64 kWh/m²·a.

Als Datengrundlage für die Berechnungen des GWP für den Endenergieeinsatz wird ein zukunftsweisender Emissionswert für den deutschen Strommix von 0,35 kg/kWh CO₂-Äq. angenommen (deutscher Strommix laut Ökobaudat: 0,55 kg/kWh CO₂-Äq.). Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil an erneuerbaren Energieträgern in Zukunft zunimmt und sich das Treibhausgaspotential pro kWh Strom reduziert.

4 Ergebnisse der Ökobilanz

Im Folgenden werden die ökologischen **Ergebnisse exemplarisch für das MFH** mit PU-Dämmung dargestellt. Betrachtet wird das Treibhausgaspotential (GWP). Diese werden anschließend mit den Grenzwerten nach Anlage 3 des QNG-Handbuch (BMWSB 2023c) verglichen.

4.1 Treibhausgaspotential (GWP)

Die Ergebnisse zum **GWP optimiert nach H_T** können Abbildung 1 entnommen werden. Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der unterschiedlichen Effizienzhaus-Varianten über den gesamten Lebenszyklus des MFH. Das GWP ist dabei in die Materialgruppen Baumaterialien ohne Dämmung (u.a. Fenster, tragende Struktur, Abdichtungen), Dämmung Hülle (Dämmebene der AW, DA und KD), Anlagentechnik und Nutzung (Nutzerstrom und Endenergie zur Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser) gegliedert.

Es ist zu erkennen, dass die Nutzungsphase über 50 Jahre (rot) den größten Anteil an den Emissionen aufweist, gefolgt von den Baumaterialien (orange), der Anlagentechnik (grau) und der PU-Dämmung für die Gebäudehülle (blau). Zusätzlich ist der Grenzwert zur Einhaltung der QNG-PREMIUM-Anforderungen bei 20 kg CO₂-Äq./m²·a vermerkt.

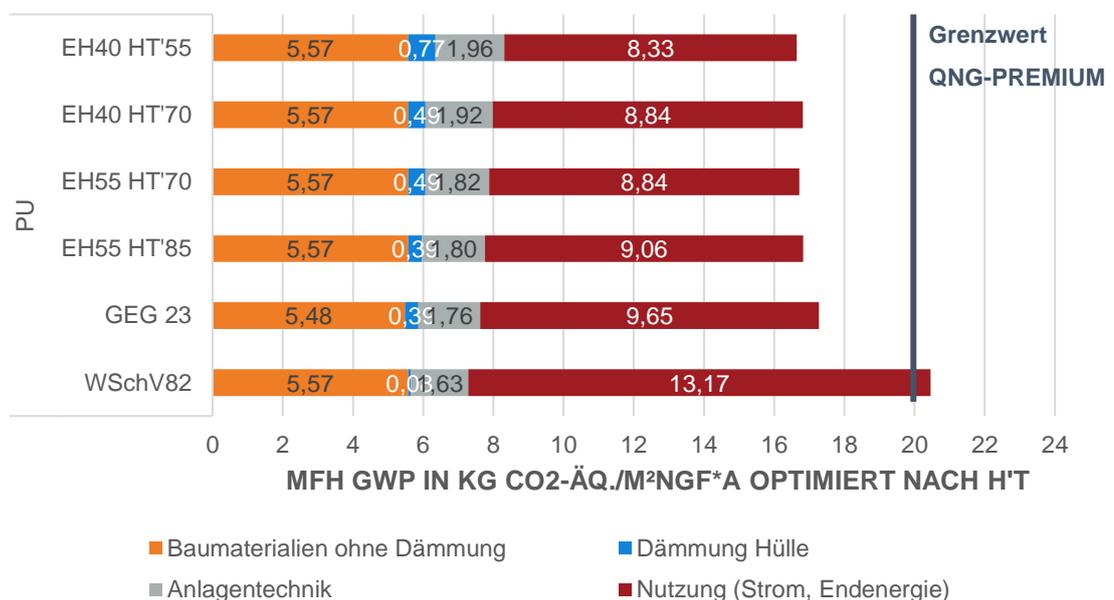


Abbildung 1 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP) für das MFH optimiert nach H_T anhand der unterschiedlichen Energiestandards für die PU-Dämmung, gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in kg CO₂-Äq. pro m² NGF und Jahr

Vergleicht man die Grauen Emissionen der Dämmung mit den eingesparten Treibhausgasemissionen im Betrieb, so zeigt sich, dass sich die Verbesserung vom bereits guten gesetzlichen Standard auf EH 40 H_T 55 lohnt. Der Erhöhung des GWP um 0,39 kg CO₂-Äq./m²·a durch die bessere Dämmung steht eine Einsparung von 1,31 kg

$\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ in der Nutzungsphase gegenüber. Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle verglichenen Gebäudevarianten eine moderne Anlagentechnik mit Wärmepumpe und Solaranlage nutzen. Für die Berechnungen wurde ein GWP für den Strom von $0,35 \text{ kg CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/\text{kWh}$ angenommen, der den zukünftigen Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung bereits berücksichtigt.

Der Nutzen einer gut gedämmten Gebäudehülle wird deutlich, wenn man ein Gebäude, das lediglich nach den Vorgaben der Wärmeschutzverordnung 82 (WSchV82) gedämmt ist, mit einem zeitgemäßen Standard vergleicht. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde in beiden Fällen dieselbe, moderne Anlagentechnik angenommen. Bei diesem hypothetischen WSchV82-Gebäude mit Wärmepumpe und PV ist der GWP der Dämmung zwar nur $0,08 \text{ kg CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, über den Lebenszyklus werden aber $20,46 \text{ kg CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ emittiert. Bei EH 40 H_T 55 ist das das GWP der Wärmedämmung um $0,70 \text{ kg CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ höher, es werden über die Nutzungsphase $4,84 \text{ kg CO}_2\text{-}\ddot{\text{A}}\text{q.}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ eingespart. Die Einsparung in der Nutzung ist um den Faktor 5,5 größer als die des GWP durch die Dämmung.

4.2 QNG-Grenzwerte

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden die Ergebnisse für die verschiedenen Effizienzstandards und Dämmstoffvarianten mit den Grenzwerten für das GWP und den PENRT nach Anlage 3 des QNG-Handbuch (BMWSB 2023c) verglichen. Keine der Gebäudevarianten erfüllt die Anforderungen des QNG-PREMIUM Levels an PENRT. Allerdings wäre das auch der Fall, wenn die Dämmstoffe keinen Beitrag zur PENRT leisten würden. Folglich kann ein Einfamilienhaus mit der ausgewählten Baukonstruktion das Premiumniveau unabhängig von den gewählten Dämmstoffen nicht erreichen. Nach der derzeitigen Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG) reicht QNG-PLUS für die Förderfähigkeit aus, somit können die berechneten Gebäude von der Bundesförderung profitieren. Um den QNG-Premiumstandard zu erreichen, müsste eine andere Baukonstruktion gewählt werden. Dies war jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Für der Optimierung des Gebäudeentwurfs im Rahmen der QNG-Zertifizierung ist eine gute Dämmung der Gebäudehülle wichtig. die Grauen Emissionen und die Graue Energie der Dämmstoffe spielt hingegen nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 5: Übersicht zur Einhaltung der Grenzwerte der berechnen Varianten - MFH

	QNG-PLUS		QNG-PREMIUM	
	GWP 24 kg CO ₂ - Äq./m ² -a	PENRT 96 kWh/m ² -a	GWP 20 kg CO ₂ - Äq./m ² -a	PENRT 64 kWh/m ² -a
GEG 23				
PU	✓	✓	✓	✗
EPS	✓	✓	✓	✗
MW	✓	✓	✓	✗
HolzF	✓	✓	✓	✗
EH 55 H_T 85				
PU	✓	✓	✓	✗
EPS	✓	✓	✓	✗
MW	✓	✓	✓	✗
HolzF	✓	✓	✓	✗
EH 55 H_T 70				
PU	✓	✓	✓	✗
EPS	✓	✓	✓	✗
MW	✓	✓	✓	✗
HolzF	✓	✓	✓	✗
EH 40 H_T 70				
PU	✓	✓	✓	✗
EPS	✓	✓	✓	✗
MW	✓	✓	✓	✗
HolzF	✓	✓	✓	✗
EH 40 H_T 55				
PU	✓	✓	✓	✗
EPS	✓	✓	✓	✗
MW	✓	✓	✓	✗
HolzF	✓	✓	✓	✗

4.3 Vergleich Dämmstoffe am Beispiel Mehrfamilienhaus

In Abbildung 2 werden die Ausführungsvarianten eines Mehrfamilienhauses exemplarisch mit dem derzeit nach der BEG förderfähigen Effizienzstandard EH 40 H_T55 verglichen. Grundkonstruktion und Anlagentechnik aller verglichenen Varianten sind identisch, sie unterscheiden sich nur durch die Art der Wärmedämmung. Für den Vergleich wurden die Wärmedämmstoffe Polyurethan-Hartschaum (PU), Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS), Mineralwolle (MW) und Holzfaser (HolzF) ausgewählt, die für die jeweilige Anwendung in Dach, Wand und Fußboden geeignet sind, und somit vergleichbare technische Eigenschaften haben. Die Dämmschichtdicken

wurden so dimensioniert, dass die Anforderungen an EH 40 H_T 55 für das Gebäude eingehalten werden. Daraus ergeben sich in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit unterschiedliche Dämmstoffdicken. Datensätze der Dämmstoffe wurden aus der Öko-baudat ausgewählt.

In diesem Fall liegen die den Dämmstoffen zuzurechnenden Emissionen zwischen 0,77 kg CO₂-Äq./((m²·a) für PU-Hartschaum und 0,96 kg CO₂-Äq./((m²·a) für Holzfaser. Bezogen auf den gesamten Gebäude-Lebenszyklus machen die Abweichungen zwischen 0,4 % und 1 % aus, sind also im Vergleich zu anderen Einflussgrößen eher gering. Demzufolge entscheidet die Auswahl der Dämmstoffart nicht darüber, ob die QNG-Anforderungen für das gesamte Gebäude erfüllt werden oder nicht. Die Ergebnisse hängen von der Gebäudekubatur und -konstruktion ab, so dass jedes Gebäude individuell zu betrachten ist.

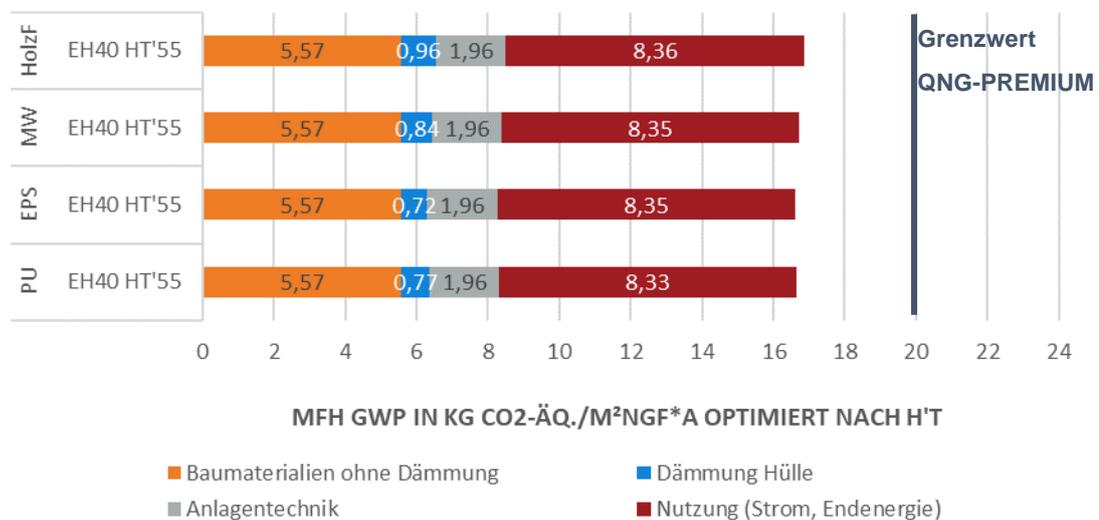


Abbildung 2 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP) für das MFH optimiert nach H_T anhand der unterschiedlichen Dämmstoffe, gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in kg CO₂-Äq. pro m² NGF und Jahr; PU = Polyurethan, EPS = expandiertes Polystyrol, MW = Steinwolle, HolzF = Holzfaser

Bei der Dämmstoffauswahl stehen technische Anforderungen wie Wärmeleitfähigkeit, Druckfestigkeit und Feuchteresistenz im Vordergrund. Die technischen Eigenschaften entscheiden, ob ein Dämmstoff für eine bestimmte Dämmanwendung (z. B. WDVS, Flachdach, Boden) eingesetzt werden kann. Für die Grauen Emissionen ist die Rohdichte ein wichtiger Faktor, die Rohstoffbasis (nachwachsend, mineralisch, synthetisch) spielt hingegen eine untergeordnete Rolle. Bezogen auf den gesamten Lebenszyklus sind die Unterschiede zwischen den Dämmstoffen eher gering.

4.4 Mehrfamilienhaus – Vergleich von Gebäuden mit PU- und Holzfaserdämmung bei gleichen Außenmaßen und unterschiedlichen Effizienzstandards

In diesem Abschnitt wird untersucht, welchen Einfluss die für das Erreichen der Energieeffizienzstandards erforderliche Dicke der Außenwanddämmung auf die Nutzfläche des Gebäudes und das GWP bei festgelegten Außenmaßen hat. Dadurch verändert sich das netto Gebäudevolumen und die zur Verfügung stehenden Nutzflächen

A_N . Die Berechnungen erfolgen am Typengebäude Mehrfamilienhaus. Die Wandaufbauten sowie die Anlagentechnik werden übernommen.

Der Basisfall wird durch die GEG 23-Variante des PU-Dämmstoffes mit einer Dämmstärke von 60 mm definiert. Bei allen Varianten, die eine höhere Dämmstoffstärke aufweisen, wird die Nutzfläche für die Berechnung anteilig verringert. Im Vergleich zur PU-Dämmung steht in dieser Variante die Holzfaserdämmung. Die Anpassungen an der Nutzfläche können Tabelle 6 entnommen werden. Mit steigendem Effizienzhausstandard verringert sich die nutzbare Grundfläche. Die Reduktion der Nutzfläche ist nicht bei allen Dämmvarianten gleich. Die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs spielt eine wichtige Rolle.

Tabelle 6 Berechnete Nutzflächen für PU und HolzF bei fixierten Gebäude-Außenmaßen

Nutzflächen A_N in m^2	GEG 23	EH 55 H'_T 85	EH 55 H'_T 70	EH 40 H'_T 70	EH 40 H'_T 55
PU	1.162	1.162	1.156	1.156	1.140
HolzF	1.145	1.151	1.135	1.135	1.113
Differenz in m^2	17	11	21	21	27

Die Ergebnisse der Berechnung des GWP sind in Abbildung 3 dargestellt. Das GWP dieser Variante, mit festgelegten Außenmaßen, ist nahezu identisch zum GWP der Basisvariante (Kapitel 4.1 optimiert nach H'_T). Aus umwelttechnischer Sicht sind somit keine Unterschiede zu erkennen. Bei Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte könnten dies anders jedoch anders sein. Eine wirtschaftliche Betrachtung der Ergebnisse wird in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen.

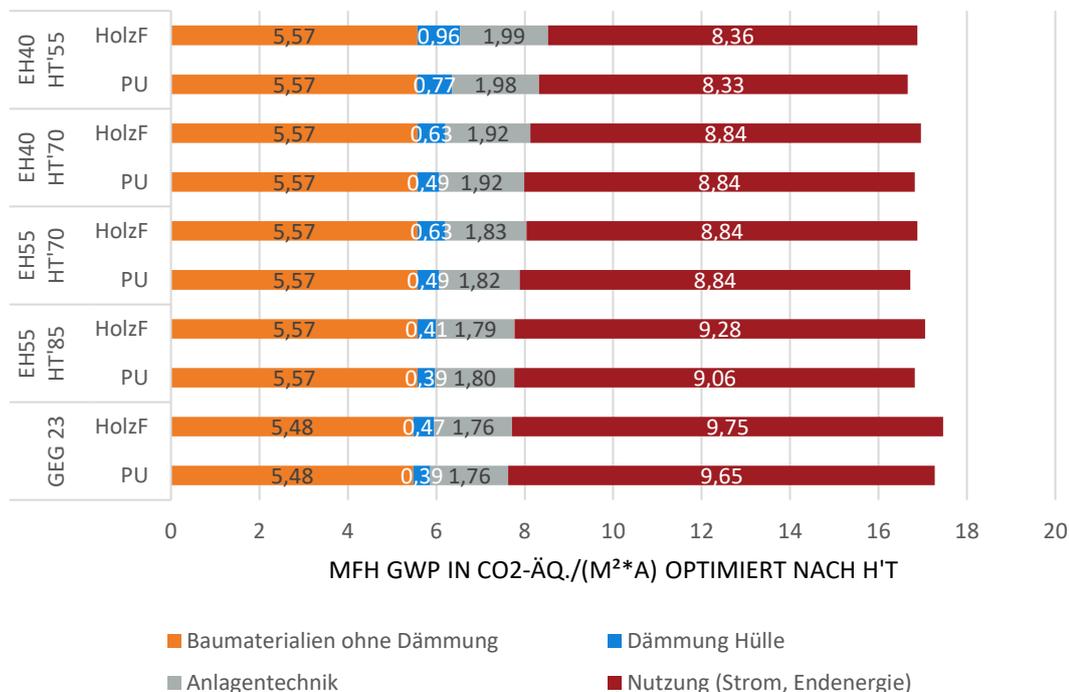


Abbildung 3 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP), für das MFH mit identischen Gebäude-Außenmaßen und optimiert nach H'_T anhand der unterschiedlichen Energiestandards sowie der Dämmstoffarten gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in $kg\ CO_2\text{-Äq. pro } m^2\ NGF\ \text{und}\ \text{Jahr}$; PU = Polyurethan, HolzF = Holzfaser

5 Diskussion und Fazit

Zusammenfassend ist zu erkennen, dass die Nutzungsphase den größten Einfluss auf das GWP hat, gefolgt von der tragenden Struktur des Gebäudes. Die Dämmstoffe haben nur einen geringen Anteil am GWP über den Gebäude-Lebenszyklus. Daraus lässt sich schließen, dass die Dämmstoffe keinen Einfluss auf die Einhaltung der Grenzwerte für QNG-PLUS oder QNG-PREMIUM haben.

Die steigenden Anforderungen an den Energiestandard verringert die Umweltwirkungen des Gebäudes. Die besser gedämmte thermische Hülle reduziert den Endenergieverbrauch und damit auch die Treibhausgasemissionen sowie den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand während der Nutzungsphase. Das gilt auch für Gebäude mit moderner Anlagentechnik. Die Einsparungen in der Nutzung sind bei den energieeffizienten Gebäuden deutlich höher als die Erhöhung der Grauen Energie und die Grauen Emissionen durch die gestiegenen Dämmstoffdicken.

Bei der Beheizung durch Wärmepumpen hat eine gute thermische Hülle einen doppelten Effekt. Einerseits wird der Wärmebedarf während der Nutzungsphase reduziert, andererseits die Arbeitszahl (JAZ) und damit die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert. Die JAZ steigt mit sinkender Vorlauftemperatur der Heizung. Kann die Vorlauftemperatur durch bessere Dämmung reduziert werden, wird die JAZ und damit die THG-Emission pro kWh herabgesetzt.

Die Nutzungsphase teilt sich dabei in den Nutzerstrom, der als Pauschale vom QNG-Handbuch angegeben wird und in den Betrieb der Anlagentechnik. Daher hat die Wahl der Anlagentechnik nicht nur einen Einfluss bei der Bereitstellung der Anlage, sondern auch auf Umweltwirkungen während des Betriebs. Beim EFH und MFH wurde eine Wärmepumpe (WP) als Wärmebereitstellung gewählt. Für den Betrieb der WP wird ausschließlich Strom eingesetzt. Dadurch beeinflussen die Emissionen des verwendeten Strommixes den Betrieb maßgeblich. In der vorliegenden Studie wird mit einem zukunftsweisenden Strommix gerechnet, der Emissionen von 350 g CO₂-Äq./kWh und einen Primärenergiefaktor von 1,8 aufweist (Pehnt et al. 2022). Es wird angenommen, dass in Zukunft der Anteil an erneuerbaren Energieträgern zunimmt und somit die pro kWh verursachten Emissionen abnehmen.

Generelle Aussagen, dass Dämmstoffe aus nachwachsenden, mineralischen oder synthetischen Rohstoffen aus ökologischer Sicht vorteilhaft sind, können nicht getroffen werden. Vielmehr müssen bei Vergleichen die technischen Eigenschaften, das Herstellverfahren und insbesondere die jeweilige, für die Anwendung notwendige Rohdichte berücksichtigt werden. Nicht jedes Dämmprodukt ist für jede Anwendung geeignet. Die Umweltwirkungen von Produkten innerhalb einer Dämmstoffgruppe unterscheiden sich teilweise deutlich. Dazu kommt, dass die Unterschiede bezogen auf den Gebäude-Lebenszyklus eher gering sind. Ein Vergleich ist daher nur im Einzelfall für individuelle Gebäude und Dämmprodukte sinnvoll.

6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auflistung der in der Studie betrachteten Energiestandards, die Angaben des Primärenergiebedarfs sowie des Transmissionswärmeverlustes beziehen sich auf das im GEG definierte Referenzgebäude	5
Tabelle 2:	Gegenüberstellung der Eingabeparameter EFH: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards	7
Tabelle 3:	Gegenüberstellung der Eingabeparameter MFH: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards	9
Tabelle 4:	Gegenüberstellung der Eingabeparameter Lagerhalle: Eingabeparameter für die Dämmstärken der betrachtenden Dämmstoffarten für die GEG-Anforderungen bzw. die unterschiedlichen Energiestandards	10
Tabelle 5:	Übersicht zur Einhaltung der Grenzwerte der berechnen Varianten - MFH	15
Tabelle 6	Berechnete Nutzflächen für PU und HolzF bei fixierten Gebäude-Außenmaßen	17

7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP) für das MFH optimiert nach H'_T anhand der unterschiedlichen Energiestandards für die PU-Dämmung, gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in kg CO₂-Äq. pro m² NGF und Jahr 13
- Abbildung 2 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP) für das MFH optimiert nach H'_T anhand der unterschiedlichen Dämmstoffe, gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in kg CO₂-Äq. pro m² NGF und Jahr; PU = Polyurethan, EPS = expandiertes Polystyrol, MW = Steinwolle, HolzF = Holzfaser 16
- Abbildung 3 Darstellung des Treibhausgaspotential (GWP), für das MFH mit identischen Gebäude-Außenmaßen und optimiert nach H'_T anhand der unterschiedlichen Energiestandards sowie der Dämmstoffarten gegliedert nach Materialgruppen, angegeben in kg CO₂-Äq. pro m² NGF und Jahr; PU = Polyurethan, HolzF = Holzfaser 17

8 Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) (Hg.) (2017): Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (Hg.) (2023a): Anhang 3.1.1 zur ANLAGE 3. Bilanzierungsregeln des QNG für Wohngebäude. 1.2. Aufl.

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (Hg.) (2023b): Anhang 3.2.1.1 zur ANLAGE 3. Bilanzierungsregeln des QNG für Nichtwohngebäude. 1.3. Aufl.

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (Hg.) (2023c): Anlage 3. Gebäudeanforderungen. Besondere Anforderungen im öffentlichen Interesse an den Beitrag von Gebäuden zur Nachhaltigen Entwicklung. 1.3. Aufl.

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) (Hg.) (2023d): Handbuch. Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude. 1.2. Aufl. Berlin.

Deutscher Bundestag (BT) (2022): Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das durch Artikel 18a des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1237) geändert worden ist. GEG.

DIN EN ISO 14040:2021-02, 2021: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006 + A1:2020).

DIN EN ISO 14044:2021-02, 2021: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020).

Kuhnhenne, Markus; Döring, Bernd; Pyschny, Dominik (2010): Ökobilanzierung von Typenhallen. Aachen.

DIN EN 15978:2012-10, 2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode (EN 15978:2011).

DIN EN 15804:2020-03, 2020: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklaration - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte (EN 15804:2012 + A2:2019).

Pehnt, Martin; Lempik, Julia; Mellwig, Peter; Maas, Anton; Schlitzberger, Stephan; Höttges, Kirsten et al. (2022): Kurzugutachten zur Überarbeitung von Anforderungssystemen und Standards im Gebäudeenergiegesetz für Neubauten sowie Bestandsgebäude einschl. der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Neubauten und Bestandsgebäude. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi). Heidelberg, Berlin, Dresden.

Walberg, Dietmar; Brosius, Oliver; Schulze, Thorsten; Cramer, Antje (2015): Massiv- und Holzbau bei Wohngebäuden. Vergleich von massiven Bauweisen mit Holzfertigbauten aus kostenseitiger, bautechnischer und nachhaltiger Sicht. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE eV). Kiel.

Im Auftrag von:

IVPU- Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.
Heilbronner Straße 154,
70919 Stuttgart



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

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

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

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