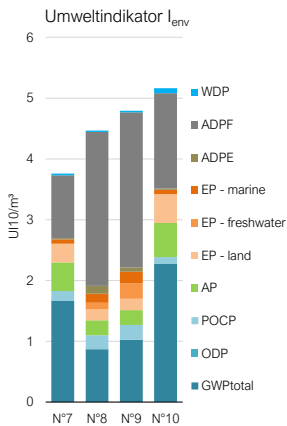


Anpassung des Umweltindikators für die Nachhaltigkeitszertifizierung LENOZ 2.0

10. März 2022 | Institut für Gebäude-Energieforschung Dr. Markus Lichtmeß
Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und nachhaltige Entwicklung, Luxemburg

Zusammenfassung



Im Rahmen der Luxemburger Zertifizierungssystem LENOZ für Wohngebäude werden unter anderem auch die Umweltauswirkungen bei der Baumaterialherstellung bewertet. Für die Ökobilanz werden entsprechende Informationen aus Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) verwendet und daraus ein Umweltindikator I_{env} berechnet, mit dem die wesentlichen Umweltauswirkungen in einer Kennzahl berücksichtigt werden. Derzeit werden 5 Wirkindikatoren einbezogen und die Normgrundlage ist EN 15804+A1. 2020 wurde die Version EN 15804+A2 verabschiedet. Die neue Norm bringt umfassende Änderungen im Bereich der Indikatoren mit sich. Neben Änderungen in der Berechnungsmethode sind auch neue Charakterisierungsfaktoren und Wirkindikatoren definiert. Nach neuer Norm (A2) berechnete Wirkindikatoren lassen sich nicht mit Ergebnissen nach altem Normstand (A1) vergleichen. Im Rahmen der Überarbeitung des Zertifizierungssystems LENOZ 2.0 muss der Bewertungsansatz für den Umweltindikator I_{env} auch mit EN 15804+A2 harmonisiert werden, da kurz- bis mittelfristig EPDs nach altem Normstand ihre Gültigkeit verlieren. Gemäß dem bisherigen Ansatz zur Bestimmung des Umweltindikators I_{env} sind die Wirkindikatoren, für die Verrechnung zu einem Indikator, zu normalisieren und miteinander zu gewichten. Hierzu wurden entsprechende Normalisierungsfaktoren f_N und Gewichtungsfaktoren f_G für die Anwendung von 10 Wirkindikatoren vorgeschlagen. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde ein Werkzeug entwickelt, mit dem EPD-Daten aus der Ökobaudat eingepflegt und weiterverarbeitet werden können. Die Datensätze wurden um weitere technische und bauphysikalische Daten ergänzt. Beispielhaft für verschiedene Dämmstoffe aus der Ökobaudat wurden Umweltindikatoren berechnet und die Ausprägung der Ergebnisse aufgezeigt. Im Zuge der Harmonisierung des Projekts *Environmental Footprint (EF)* der Europäischen Kommission und der EN 15804+A2 hinsichtlich der Wirkindikatoren lassen sich EPDs in Version A2 nun besser für die Ökobilanz verwenden, nicht zuletzt auch deshalb, weil die Bezugseinheiten angepasst wurden. Bezogen auf die untersuchten Dämmstoffe unterscheidet sich der Umweltindikator für LENOZ 2.0 von dem aus LENOZ 1.0 und insbesondere der Anteil der Eutrophierung ist im überarbeiteten Indikator weniger stark ausgeprägt. Die verwendete Datengrundlage Ökobaudat enthält derzeit noch nicht für alle gebräuchlichen Baustoffe entsprechende EPDs auf der Basis der EN 15804+A2. Für weitere Arbeiten, insbesondere zur Bestimmung von Bauteil-Referenzkennwerten, sind entsprechende EPDs zu recherchieren.

Umweltindikator für Baustoffe

Luxemburg hat mit dem „Règlement grand-ducal du 23 décembre 2016 relatif à la certification de la durabilité des logements“ (RGD16)¹ eine Grundlage zur Nachhaltigkeitsbewertung von Wohngebäuden geschaffen. LENOZ – Die Lëtzebuurger Nohaltegkeets-Zertifizéierung fir Wunngebaier – ist die Bezeichnung dieser Systematik.² Teile der LENOZ-Zertifizierung werden genutzt, um Anforderungen und Kriterien festzulegen, wie nachhaltiges Bauen in Luxemburg gefördert wird. Ein wichtiger Aspekt im LENOZ-System ist die Ökobilanzierung von Baumaterialien. Das Verfahren beruht auf der Berechnung eines Umweltindikators I_{env} und vergleicht den für das individuelle Gebäude ermittelten Wert mit einem Referenzgebäudewert. In Abhängigkeit der Differenz zum Referenzwert wird das Gebäude in einem Bewertungssystem eingeordnet. Erhoben und bewertet wird die Gebäudestruktur, insbesondere alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle, sowie die Innenwände und Geschossdecken. Die Bewertungsmethode und eine entsprechende Materialdatenbank wurde 2016 in die offizielle Software zur Erstellung von Energieausweisen (LuxEeB-h-Tool)³ integriert und seit dem Zeitpunkt wird für jedes Gebäude automatisch eine Ökobilanzierung erstellt – auch wenn eigentlich keine Zertifizierung angedacht ist. Datengrundlage für die bisherige Bewertung von Baustoffen sind Informationen aus Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) nach EN 15804. Die Norm beschreibt wie die Umwelteinflüsse von Bauprodukten zu berechnen sind und stellt eine Reihe von Wirkindikatoren (W) für die verschiedenen Bereiche im Lebenszyklus bereit. Derzeit fließen in LENOZ die folgenden 5 verschiedenen Wirkindikatoren für die Herstellung eines Baumaterials (A1-A3; Rohstoffbeschaffung, Transport, Produktion)⁴ in die Bewertung ein.

- Treibhauspotenzial (GWP)
- Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)
- Ozonbildungspotenzial (POCP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Überdüngungspotenzial (EP)

Die Zusammenführung der verschiedenen Umweltbelastungen zu einem gemeinsamen Indikator ist ein wesentlicher Aspekt in der Ökobilanz für LENOZ. Dafür werden die Wirkindikatoren zuerst normalisiert und über Gewichtungsfaktoren zu einem gemeinsamen Kennwert verrechnet. Im

Rahmen der Normalisierung werden die Wirkindikatoren durch einen Normalisierungsfaktor f_N (Referenzwert) geteilt. Dadurch spiegelt sich die Umweltbelastung relativ zu einer Referenzeinheit wider. Als Referenzeinheit dienen zum Beispiel die jährlichen weltweiten Emissionen bzw. der jährliche Ressourcenbedarf pro Person. Normalisierte Ergebnisse weisen jedoch nicht auf die Schwere oder Relevanz der jeweiligen Auswirkungen oder auf die Folgenabschätzung hin, da nicht alle Auswirkungen gleich kritisch sind. Die normalisierten Ergebnisse werden daher mit Gewichtungsfaktoren f_G multipliziert und darüber die wahrgenommene relative Auswirkung einbezogen. Nach der Bewertung mit Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren lassen sich die Umweltauswirkungen dann zu einem gemeinsamen Indikator zusammenfassen. Der Umweltindikator I_{env} berechnet sich gemäß $I_{env} = 10^{-3} \cdot \sum_i (W_i \cdot f_{G,i} / f_{N,i})$ und wird in [UJ5/m³] angegeben. Die Werte für die Wirkindikatoren in einer EPD können unterschiedliche Bezugseinheiten aufweisen (insbesondere sind das kg, m³, m², m). Die Zahlenwerte sind für die Berechnung des Umweltindikators auf das Volumen [m³] zu beziehen. In Tabelle 1 sind die zu verwendenden Faktoren für LENOZ 1.0 aufgeführt.

Tabelle 1: Normalisierungs- f_N und Gewichtungsfaktoren f_G (LENOZ 1.0)¹

Wirkindikator W	Normalisierung (pro Kopf) $f_N^{5,6}$	Gewichtung f_G^7
Treibhauspotenzial (GWP)	11,209 kg CO ₂ Äq.	0,54
Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,0146 kg R11 Äq.	0,09
Ozonbildungspotenzial (POCP)	60 kg Ethylen Äq.	0,12
Versauerungspotenzial (AP)	51 kg SO ₂ Äq.	0,09
Überdüngungspotenzial (EP)	0,75 kg Phosphat Äq.	0,16

Die Quantifizierung von Umweltauswirkungen wird durchaus auch kontrovers diskutiert. Die Bilanzierung von Emissionen und Ressourcen beruht oft auf unvollständigen Daten oder auf generischen Modellen. Dies betrifft nicht nur die Bestandsaufnahme und die Bewertung der Normalisierungswerte, sondern auch die mögliche Folgenabschätzung. Die Festlegung von Gewichtungsfaktoren basiert nicht ausschließlich auf naturwissenschaftlichen Berechnungen, sondern ist auch mit einer subjektiven Wertung verbunden. Das ist bei der Interpretation von Umweltindikatoren zu beachten. Für die praktische Anwendung und zur Kommunikation ist eine zusammengefasste Quantifizierung jedoch hilfreich.⁸

¹ Règlement grand-ducal du 23 décembre 2016 relatif à la certification de la durabilité des logements, Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg, 27. Dezember 2016.

² LENOZ Handbuch, Lëtzebuurger Nohaltegkeets-Zertifizéierung fir Wunngebaier, Ministère du Logement und unter Mitwirkung von Goblet Lavandier & Associés (M. Lichtmeß, S. Oberweis), Version 53 vom 12. Dezember 2016

³ Software LuxEeB-H-Tool, Version 6.05 (Herausgeber: Ministère de l'Énergie et de l'Amenagement du territoire, Entwicklung: Goblet Lavandier & Associés, M. Lichtmeß)

⁴ Die Recycling- und Kreislauffähigkeit wird in LENOZ an anderer Stelle bewertet.

⁵ Durchschnittliche Emissionen pro Europäer (EU-25+3) in 2010

⁶ Normalisierung nach: Wegener Sleeswijk A, Van Oers LFCM, Guinée JB, Struijs J, Huijbregts MAJ. 2008. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. Science of the Total Environment 390 (1): 227-240. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.040>

⁷ Gewichtung in Anlehnung an: Huppés, G. und van Oers, L. (2011). Evaluation of Weighting Methods for Measuring the EU-27 Overall Environmental Impact. JRC Scientific and Technical Reports. Ispra. (p.12).

⁸ Sala S, Cerutti AK, Pant R. (2018). Development of a weighting approach for Environmental Footprint. European Commission, Joint Research Centre, Publication Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-68041-0.

Normative Änderung

Mit der DIN EN 15804:2012+A2:2019 (im Folgenden „EN 15804+A2“) trat im Februar 2020 in Deutschland eine überarbeitete Version in Kraft und löste die DIN EN 15804:2012+A1:2013 (im Folgenden „EN 15804+A1“) ab.⁹ Hier wurden neben neuen Wirkindikatoren unter anderem auch die Berechnungsregeln für die Bestimmung der Kennwerte und Wirkungsabschätzung angepasst, und für manche Indikatoren auch die Bezugsgrößen harmonisiert. Das führt allerdings dazu, dass EPDs wechselseitig nicht ineinander überführt werden können.¹⁰ Hersteller sind demnach aufgefordert, nach Ablauf der Gültigkeitsdauer einer EPD (üblich 5 Jahre) oder für den Fall, dass Bewertungssysteme auf den aktuellen Normstand aufbauen, ihre Umwelt-Produktdeklarationen neu zu erstellen.

Der in Luxemburg derzeit verwendete Umweltindikator fußt auf 5 Wirkindikatoren und die Normalisierung bezieht sich auf die Emissionen in Europa. Nach Abstimmung innerhalb der ministeriellen Arbeitsgruppe zur Nachhaltigkeitszertifizierung, soll im Zuge der Überarbeitung der Nachhaltigkeitszertifizierung LENOZ 2.0 die Normversion EN 15804+A2 als Grundlage dienen und die Normalisierung soll auf globale Emissionen und Ressourcen bezogen werden.^{11,12} Die verwendeten Impact-Kategorien orientieren sich auch an den Empfehlungen der europäischen Kommission für die Nutzung von Methoden zur Bewertung des ökologischen Fußabdrucks.¹³

Neuer Umweltindikator für LENOZ 2.0

Gemäß der Abstimmung innerhalb der ministeriellen Arbeitsgruppe zur Nachhaltigkeitszertifizierung, soll die grundlegende Methodik und der Bilanzrahmen für die Berechnung des Umweltindikators für LENOZ 2.0 beibehalten werden – die Systematik jedoch um neue Wirkindikatoren und eine globale Normalisierung erweitert werden.^{4,12}

In Anlehnung an EN 15804+A2 werden für LENOZ 2.0 die folgenden Wirkindikatoren einbezogen, die in EPDs angegeben sind.

- Treibhauspotenzial (GWP)¹⁴
- Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)
- Ozonbildungspotenzial (POCP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Überdüngungspotenzial (EP) - Land
- Überdüngungspotenzial (EP) - Süßwasser
- Überdüngungspotenzial (EP) - Seewasser
- Abiotischer Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)
- Abiotischer Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)
- Wasserverbrauch (WDP)

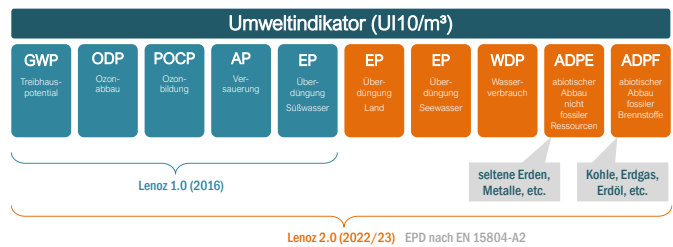


Abbildung 1: Wirkindikatoren für den Umweltindikator LENOZ 1.0 und 2.0

Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren

Für die gemeinsame Bewertung der Umweltauswirkungen werden die Wirkindikatoren entsprechend normalisiert und gewichtet. Die Faktoren aus LENOZ 1.0 (vgl. Tabelle 1) können für die neue Datengrundlage (A2) nicht verwendet werden. Neben der Berücksichtigung von 5 weiteren Wirkindikatoren (EP Land, EP Seewasser, ADPE, ADPF, WDP) haben sich insb. Bilanzierungsregeln und einige Bezugseinheiten verändert. Zur Bestimmung angepasster Normalisierungsfaktoren werden unterschiedliche Quellen^{15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25} ausgewertet. Die vorgeschlagenen Normalisierungsfaktoren lehnen sich am *Environmental Footprint (EF)* an, einem Bilanzierungsansatz der Europäischen Kommission. Auf der *European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA)*²⁶ werden entsprechende Informationen bereitgestellt.

Die Pilotphase des Projekts lief von 2013 bis 2018. Ab 2019 ist die „transition phase“ gestartet, während der das System überarbeitet wurde. Das EF-Bewertungssystem ist aktuell in Version 3.0 verfügbar und mit EN 15804+A2 harmonisiert. In Tabelle 2 werden verschiedene Normalisierungsfaktoren dargestellt. Im Rahmen eines Forschungsberichts¹⁸ wurden von der Europäischen Kommission Faktoren veröffentlicht (2017 EF). Für die Pilotphase wurden überarbeitete Normalisierungswerte festgelegt (2017 EF 2.0)^{24,27}. Für die aktuelle Phase wurden die Faktoren (2019 EF 3.0)^{17,28} umfangreich weiterentwickelt, harmonisiert und auf aktuelle Randbedingungen angepasst.

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Normalisierungsfaktoren, globale Werte

Wirkindikator W	Bezugseinheit pro Kopf	2017 EF ¹⁸	2017 EF2.0 ^{24,27}	2019 EF3.0 ^{17,28}
Treibhauspotenzial	kg CO ₂ Äq.	8,40E+03	7,76E+03	8,10E+03
Ozonschichtabbaupotenzial	kg CFC-11 Äq.	2,34E-02	2,34E-02	5,36E-02
Ozonbildungspotenzial	kg NMVOC Äq.	4,06E+01	4,06E+01	4,06E+01
Versauerungspotenzial	mol H ⁺ Äq.	5,55E+01	5,55E+01	5,56E+01
Überdüngungspotenzial - Land	mol N Äq.	1,77E+02	1,77E+02	1,77E+02
Überdüngungspotenzial - Süßwasser	kg P Äq.	7,34E-01	2,55E+00	1,61E+00
Überdüngungspotenzial - Seewasser	kg N Äq.	2,83E+01	2,83E+01	1,95E+01
Abiotischer Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq.	6,36E-02	5,79E-02	6,36E-02
Abiotischer Abbau fossiler Brennstoffe	MJ	6,53E+04	6,53E+04	6,50E+04
Wasserverbrauch	m ³ Äq.	1,15E+04	1,14E+04	1,15E+04

⁹ EN-Normversionen: EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021, EN 15804:2012+A2:2019, EN 15804:2012+A1:2013, EN 15804:2012

¹⁰ H. Figl (BO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie), Grundsätze zur Aufnahme von Ökobilanzdaten in die Online-Datenbank ÖKOBAUDAT, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Berlin, Wien, Freiburg am 04.10.2021

¹¹ Besprechungsbericht, GT Réforme « Aides écologiques et énergétiques » 20.01.2022

¹² M. Lichtmeß, C. Armborst, Präsentation: Umweltbewertung der Baumaterialien Ienv, Goblet Lavandier & Associés, Diskussion in der Arbeitsgruppe basierend auf EN 15804+A1, 9.1.2020

¹³ Commission recommendation of 16.12.2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations, incl. Annexes 1 to 2 and Annexes 3 to 4, Brussels (2021)

¹⁴ Beim Treibhauspotential werden zum Gesamtwert weitere Indikatoren angegeben. Für die Bewertung wird der Gesamtwert (total) herangezogen.

¹⁵ Virgile Aymard, Valerie Botta-Genoulaz, Normalisation in life-cycle assessment: consequences of new European factors on decision-making. Supply Chain Forum: An International Journal, Kedge Business School, 2017, Sustainability trends: metrics and approaches, 18 (2), pp.76-83.

¹⁶ Benini L., Mancini L., Sala S., Manfredi S., Schau E. M., Pant R. 2014 Normalisation method and data for Environmental Footprints. European Commission, Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN: 978-92-79-40847-2.

¹⁷ Crenna, E., Secchi, M., Benini, L. et al. Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization factors for LCA. Int J Life Cycle Assess 24, 1851–1877 (2019)

¹⁸ Sala S., Crenna E., Secchi M., Pant, R., Global normalisation factors for the Environmental Footprint and Life Cycle Assessment, EUR (28984), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-77213-9.

¹⁹ M.A.J. Huijbregts et al., ReCiPe 2016, A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level, Report I: Characterization, National Institute for Public Health and the Environment, 2016

²⁰ <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>. → Normalization scores ReCiPe 2016 (Spreadsheet 07/02/2020) | → Characterisation factors (Spreadsheet 19/06/2018), Abruf 05.02.2022

²¹ Niels Jungbluth (2022) Description of life cycle impact assessment methods. ESU-services Ltd., Schaffhausen, Switzerland.

²² Wai Chung Lam, Damien Trigaux, Environmental profile of buildings, update 2021, TO-TEM (Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials), Flemish Institute for Technological Research, 2021

²³ Sala, S., Benini, L., Mancini, L. et al. Integrated assessment of environmental impact of Europe in 2010: data sources and extrapolation strategies for calculating normalisation factors. Int J Life Cycle Assess 20, 1568–1585 (2015).

²⁴ European Commission, PEFCR Guidance document, Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), (Product Environmental Footprint Category Rules Guidance), Version 6.3 – May 2018

²⁵ Sala S., Benini L., Beylot A., Castellani V., Cerutti A., Corrado S., Crenna E., Diaconu E., Sanyé-Mengual E., Secchi M., Sinkko T., Pant R. (2019, in press). Consumption and Consumer Footprint: methodology and results. Indicators and assessment of the environmental impact of European consumption. JRC technical report. Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-79-3262-0.

²⁶ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>, Abruf 02.02.2022

²⁷ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EFpilot.html> → Normalisation and weighting factors (19.10.2017), Spreadsheet, Abruf 03.02.2022

²⁸ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EFtransition.html> → Normalisation and weighting factors (November 2019), Spreadsheet, Abruf 03.02.2022

Die Gewichtungsfaktoren f_G wurden aus einer projektbezogenen Studie⁸ abgeleitet und zur Anwendung auf 10 Wirkindikatoren für LENOZ 2.0 angepasst (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 2). Die in dieser Studie angegebenen Koeffizienten bestehen aus einer aggregierten Gewichtungskennzahl und einem Robustheitsfaktor, der eine Fehlertoleranz einbezieht. Für die Verwendung in LENOZ 2.0 werden die Koeffizienten (siehe⁸ → Tabelle 31, S. 34, \triangle Produkt aus aggregierter Gewichtungszahl und Robustheitsfaktor) der betrachteten Wirkindikatoren einbezogen und als Gewichtungsfaktor f_G auf 100 % skaliert. Die Koeffizienten werden mit und ohne Toxizitätskategorien angegeben. Auf die Gewichtungsfaktoren f_G für LENOZ 2.0 hat das jedoch keinen nennenswerten Einfluss.

Tabelle 3: Gewichtungsfaktoren f_G für LENOZ 2.0 angelehnt an⁸.

Kategorie	Koeffizienten aus ⁸		davon LENOZ 2.0 relevant		Gewichtungsfaktoren f_G	
	mit Toxizität	ohne Toxizität	mit Toxizität	ohne Toxizität	mit Toxizität	ohne Toxizität
	Wirkindikatoren					
Treibhauspotenzial	11,18	13,65	11,18	13,65	29,2%	29,0%
Ozonschichtabbaupotenzial	3,35	4,15	3,35	4,15	8,7%	8,8%
Humantoxizität (krebserzeugend)	1,13	-	-	-	-	-
Humantoxizität (nicht-krebserzeugend)	0,98	-	-	-	-	-
Partikuläre Stoffe	4,76	5,87	-	-	-	-
Ionisierende Strahlung	2,66	3,30	-	-	-	-
Ozonbildungspotenzial	2,54	3,14	2,54	3,14	6,6%	6,7%
Versauerungspotenzial	3,29	4,08	3,29	4,08	8,6%	8,7%
Überdüngungspotenzial - Land	1,97	2,40	1,97	2,4	5,1%	5,1%
Überdüngungspotenzial - Süßwasser	1,49	1,81	1,49	1,81	3,9%	3,8%
Überdüngungspotenzial - Seewasser	1,57	1,92	1,57	1,92	4,1%	4,1%
Ökotoxizität Süßwasser	1,02	-	-	-	-	-
Landnutzung	4,22	5,18	-	-	-	-
Wasserverbrauch	4,52	5,55	4,52	5,55	11,8%	11,8%
Abbau nicht fossiler Ressourcen	4,01	4,97	4,01	4,97	10,5%	10,5%
Abbau fossiler Brennstoffe	4,42	5,48	4,42	5,48	11,5%	11,6%

Auf der Plattform²⁶ „European Platform on Life Cycle Assessment“ stehen entsprechende Dokumente für Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren zur Verfügung.^{27,28}

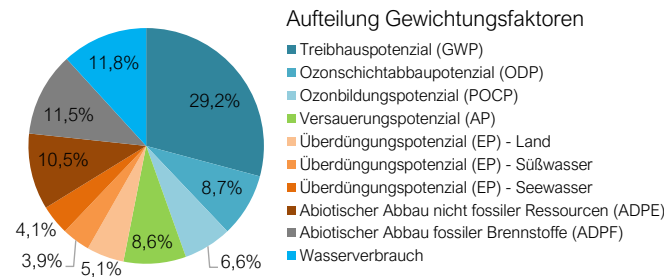


Abbildung 2: Gewichtungsfaktoren f_G angelehnt an⁸, für 10 Indikatoren skaliert auf 100%.

Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren für LENOZ 2.0

Für den LENOZ-Umweltindikator 2.0 wird die Nutzung rezenter globaler Normalisierungsfaktoren^{17,28} vorgeschlagen (entsprechend Tabelle 2, letzte Spalte). Die dort erhobenen Kennwerte bauen auf einer umfangreichen Datenanalyse zu Emissionen und zu Ressourcenverbrauch auf, die im Jahr 2010 auf globaler Ebene erhoben wurden. Diese Daten wurden hierarchisch mit anderen Quellen verglichen und fehlende Daten wurden über Hochrechnungen und Extrapolationen ergänzt.¹⁷ Die Gewichtungsfaktoren werden unter Berücksichtigung der Toxizität angesetzt und für die 10 in LENOZ 2.0 vorgesehenen Wirkindikatoren bestimmt (entsprechend Tabelle 3, vorletzte Spalte mit Toxizität).⁸ Die Bewertungsgleichung zur Berechnung des Umweltindikators bleibt unverändert $I_{env} = 10^3 \cdot \sum_i (W_i \cdot f_{G,i} / f_{N,i})$ – nun jedoch unter Berücksichtigung von 10 Wirkindikatoren und angepassten Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren. Der Umweltindikator wird in (UI10/m³) angegeben. Tabelle 4 zeigt die zurückbehaltenen Faktoren für LENOZ 2.0.

Tabelle 4: Normalisierungs- f_N und Gewichtungsfaktoren f_G (LENOZ 2.0)

Wirkindikator W	Normalisierung (pro Kopf) f_N ^{17,28,29}	Gewichtung f_G ^{8,28}
Treibhauspotenzial (GWP)	8.096 kg CO ₂ Äq.	0,292
Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,0536 kg CFC-11 Äq.	0,087
Ozonbildungspotenzial (POCP)	40,6 kg NMVOC Äq.	0,066
Versauerungspotenzial (AP)	55,6 mol H ⁺ Äq.	0,086
Überdüngungspotenzial (EP) - Land	176,8 mol N Äq.	0,051
Überdüngungspotenzial (EP) - Süßwasser	1,607 kg P Äq.	0,039
Überdüngungspotenzial (EP) - Seewasser	19,5 kg N Äq.	0,041
Abiotischer Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)	0,0636 kg Sb Äq.	0,105
Abiotischer Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	65.004 MJ	0,115
Wasserverbrauch (WDP)	11.469 m ³ Äq.	0,118

Datengrundlage EPDs nach EN 15840+A2

Das Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat stellt mit dem Informationsportal nachhaltiges Bauen – Ökobaudat³⁰ eine umfangreiche Sammlung von Umwelt-Produktdeklarationen zur Verfügung. Für die LENOZ-Zertifizierung ist die Ökobaudat gebräuchlich. Derzeit ist die Datenbank in zwei Bereiche unterteilt – EPDs nach EN 15804+A1 und EPDs nach EN 15804+A2.¹⁰ Im Datensatz EN 15804+A1 sind (Stand 03.02.2022) 974 Datensätze enthalten, hier sind neben generischen Daten auch produktspezifische Daten integriert. Der Datensatz EN 15804+A2 enthält erst 604 Datensätze. Allerdings sind für die Version A2 nicht für alle gebräuchlichen Stoffe EPDs vorhanden und diese basieren oft auch auf generischen Daten. EPDs nach A1 werden kurz bis mittelfristig ihre Gültigkeit verlieren und neue EPDs werden nach EN 15804+A2 erstellt.

Bezugsgröße Wärmeleitfähigkeit

In einer Umwelt-Produktdeklaration ist die Wärmeleitfähigkeit des Stoffes meist nicht als Bezugsgröße angegeben. Bei Dämmstoffen finden sich in der Regel Wertebereiche für die Wärmeleitfähigkeit bei den bautechnischen Daten. Bezieht man die Wirkindikatoren für eine generische EPD einer Produktgruppe³¹ auf ein individuelles Produkt, so müssen die Wirkindikatoren ggf. umgerechnet und angepasst werden. Bei bekannter deklarierter Dichte ρ (kg/m³) kann im Luxemburger System der berechnete Umweltindikator I_{env} mittels einer linearen Beziehung modifiziert werden. Ist die Bezugsgröße die Dichte ρ , erfolgt die Umrechnung des Wirkindikators W einer EPD oder des Umweltindikators I_{env} gemäß $W_{\text{individuell}} = W_{\text{EPD}} \cdot \rho_{\text{individuell}} / \rho_{\text{EPD}}$.^{32,33} Das gilt nur für Baustoffe der gleichen Gattung und ähnlichen Dichtebereichen. Entsprechende Bereiche sind in einer EPD in der Regel bei bautechnischen Daten angegeben. In Luxemburg wird die Ökobilanz automatisiert bereits bei der Erstellung eines Energiepasses³ für jeden Neubau durchgeführt. Zur Berechnung des U-Werts einer Konstruktion ist die Kenntnis der Schichtdicke(n) und als bauphysikalische Größe die Wärmeleitfähigkeit λ (W/(mK)) erforderlich. Die Dichte ρ als Bezugsgröße wird nicht benötigt. Im Zuge einer sinnvollen und baupraktischen Anwendung und zur Ausnutzung von Synergieeffekten bei der Energiepasserstellung kann ein Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit erforderlich sein, um die Ökobilanz automatisiert durchzuführen. In dem Fall wird von der Annahme gebraucht gemacht, dass sich Dichte und Wärmeleitfähigkeit in üblichen Wertebereichen linear zueinander verhalten. Analog zur Dichte als Bezugsgröße kann – in Bereichen ähnlich ausgeprägter Werte für die Dichte – die Umrechnung auch mit der Wärmeleitfähigkeit λ erfolgen ($W_{\text{individuell}} = W_{\text{EPD}} \cdot \lambda_{\text{individuell}} / \lambda_{\text{EPD}}$).³³ Bei der Adaption über die Wärmeleitfähigkeit muss für die deklarierte Einheit im EPD ein entsprechender Wert für die Wärmeleitfähigkeit ermittelt werden, sofern diese nicht angegeben ist. Die ggf. fehlenden Angaben zur Wärmeleitfähigkeit relevanter Baustoffe werden im Rahmen des Projekts zur Fortschreibung von LENOZ 2.0 von e3consult³⁴ und wurden zuvor vom IWU³⁵ erhoben und in die jeweilige Datenbank eingepflegt. Es wäre begrüßenswert, wenn für relevante Baustoffe (Dämmung, Mauersteine, etc.) der Bezugswert für die Wärmeleitfähigkeit in der EPD anzugeben wäre.

²⁹ Durchschnittliche Emissionen oder Ressourcenverbrauch pro Weltbürger.

³⁰ Plattform ÖKOBAUDAT des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI), (www.oekobaudat.de), Abruf 04.02.2022

³¹ Zum Beispiel Styropor im Dichtebereich von 20 bis 50 kg/m³ und Werten für die Wärmeleitfähigkeit von 0,03 bis 0,04 W/(mK) bei einer angegebenen Referenzdichte in der Umwelt-Produktdeklaration von z.B. 34 kg/m³.

³² Auch wenn nicht alle Kategorien gleichermaßen mit der Masse korrelieren.

³³ Gemäß Arbeitsmappe (lCalc) zur Bestimmung von Umweltindikatoren für LENOZ (Version 1.10 vom 19.12.2017), Goblet Lavandier & Associés, M. Lichtmeß, Veröffentlicht durch ehemalig Ministère du Développement durable et des Infrastructures, jetzt Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable.

³⁴ e3consult, 2, rue Haute, L-6680 Mertert

³⁵ IWU, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, ODP-Konverter Version 1.0.0, Datenrecherche Stand 01.03.2017.

Bauteil- und Gebäudebewertung, Referenzkennwerte

Analog zur Berechnung eines U-Wertes kann auch der Umweltindikator für eine Konstruktion – für alle Bauteilschichten i mit deren Dicke d [m] – ermittelt werden $I_{env,BT} = \sum_i (d_i \cdot I_{env,i})$ [UI10/m²]. Bereits auf der Bauteilebene kann über ein Ampelsystem die Qualität des Umweltindikators für dieses Bauteil angezeigt werden.³ Im Anschluss können die berechneten Bauteilkennwerte $I_{env,BT}$ mit ihrem Flächenaufkommen A [m²] zu einem Gebäudewert $I_{env,Geb}$ aggregiert werden $I_{env,Geb} = \sum_i (A_i \cdot I_{env,BT,i})$ [UI10]. Um eine besser vergleichbare Größe zu erhalten, wird das Ergebnis auf die Energiebezugsfläche A_n [m²] bezogen [UI10/m²].

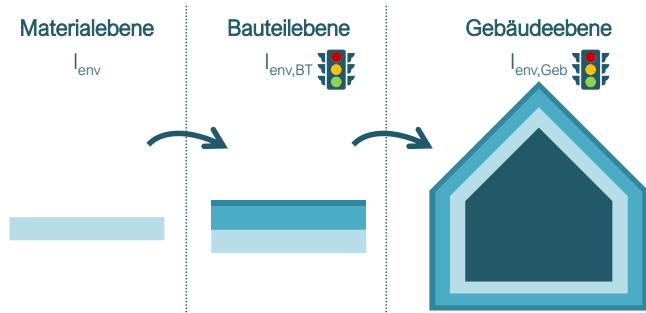


Abbildung 3: Darstellung der Bewertungsebenen für den Umweltindikator in LENOZ.

Hierbei werden neben den Bauteilen der thermischen Gebäudehülle auch die innere Struktur (Innenwände und Decken) mit einbezogen. Das Ergebnis der Ökobilanz wird also von der Material- auf die Bauteilebene und anschließend auf die Gebäudeebene transformiert und mit einem Referenzgebäudewert verglichen. In Abhängigkeit der Differenz zum Referenzgebäudewert erfolgt die Klassifizierung im LENOZ-System.^{1,36} Bei der Klassifizierung ist auf eine möglichst gute Transparenz zu achten. Die Nutzung von pauschalen gebäudebezogene Referenzwerten – so wie beim *Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG)*^{37,38} in Deutschland umgesetzt – kann unter Umständen dazu führen, dass ein Gebäude aufgrund seiner Geschossigkeit oder Baustruktur im Vergleich besser oder schlechter abschneidet, obwohl vielleicht die gleichen Baumaterialien und -konstruktionen verwendet werden, die auch dem Referenzwert zugrunde liegen. Um hier eine faire und baukörperunabhängige Bewertung zu ermöglichen, werden in LENOZ 1.0 die Referenzwerte bereits auf der Bauteilebene festgelegt (Wand, Dach, Boden, Fenster, Innenwände, Decken). Die Bauteilkennwerte werden mit den vorkommenden Flächen verrechnet und das Ergebnis des Referenz- und des Ist-Gebäudes auf die Energiebezugsfläche A_n bezogen. Beide Kennzahlen berechnen sich mit gleicher Gebäudegeometrie (vgl. Abbildung 4).

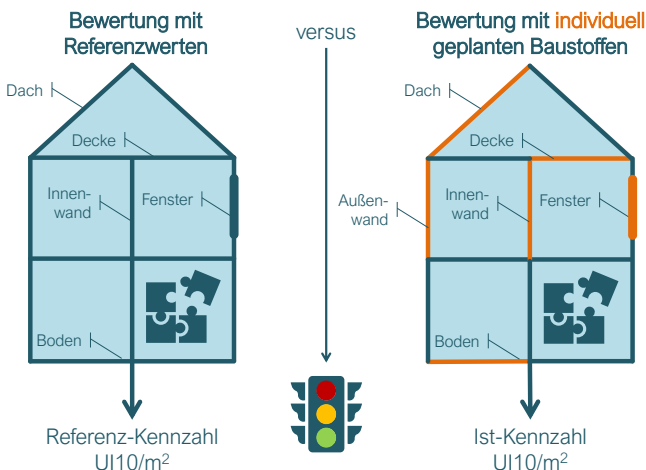


Abbildung 4: Darstellung des Referenzgebäudesystems für LENOZ-Bewertung.

Beispielhaft berechnete Umweltindikatoren für Dämmstoffe

Für verschiedene Dämmstoffe aus der Ökobaudat^{39,40} werden Umweltindikatoren I_{env} (UI10/m³) berechnet (vgl. Abbildung 6 und Tabelle 5). Der Umweltindikator berechnet sich nach $I_{env} = 10^3 \cdot \sum_i (W_i \cdot f_{G,i} / f_{N,i})$ unter Verwendung der Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren aus Tabelle 4. Tabelle 7 zeigt die verwendeten Rohdaten verschiedener Materialien gemäß den EPDs aus Ökobaudat nach EN 15804+A2 für die Systemgrenze der Herstellungsphase A1-A3. Für das Beispiel Hanfvlies (vgl. Tabelle 7, EPD-Daten, Zeile 8, Vlies | Hanfvlies und Abbildung 5) lautet der Berechnungsgang wie folgt. Die Wirkindikatoren sind in der EPD bereits auf m³ bezogen und können direkt verwendet werden (vgl. Abbildung 5).

$$I_{env} = 10^3 \cdot \left(\frac{0,292 \cdot \mathbf{GWP} + 0,087 \cdot \mathbf{OPD} + 0,066 \cdot \mathbf{POCP} + 0,086 \cdot \mathbf{AP}}{8,096 + 0,0536 + 40,6 + 55,6} + \frac{0,051 \cdot \mathbf{EP}_{Land} + 0,039 \cdot \mathbf{EP}_{Süßwasser} + 0,041 \cdot \mathbf{EP}_{Seewasser} + 0,105 \cdot \mathbf{ADPE}}{176,8 + 1,607 + 19,5 + 0,0636} + \frac{0,115 \cdot \mathbf{ADPF} + 0,118 \cdot \mathbf{WDP}}{65,004 + 11,469} \right)$$

$$I_{env} = 10^3 \cdot \left(\frac{0,292 \cdot \mathbf{24,156} + 0,087 \cdot \mathbf{1,125 \cdot 10^{-12}} + 0,066 \cdot \mathbf{0,1405} + 0,086 \cdot \mathbf{0,16}}{8,096 + 0,0536 + 40,6 + 55,6} + \frac{0,051 \cdot \mathbf{0,61} + 0,039 \cdot \mathbf{0,004599} + 0,041 \cdot \mathbf{0,0704} + 0,105 \cdot \mathbf{0,0000779}}{176,8 + 1,607 + 19,5 + 0,0636} + \frac{0,115 \cdot \mathbf{1,429} + 0,118 \cdot \mathbf{2,152}}{65,004 + 11,469} \right)$$

$$I_{env} = 4,47 \text{ [UI10/m}^3\text{]}$$

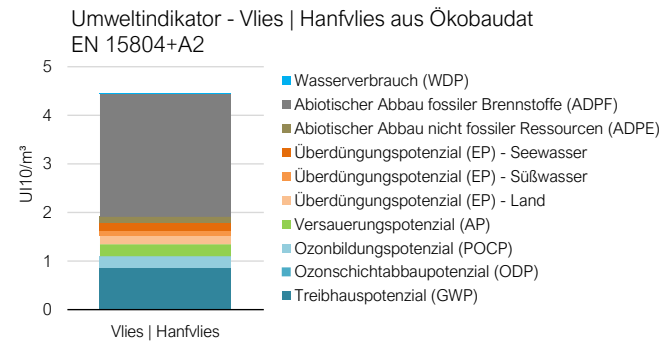


Abbildung 5: Umweltindikator für das Beispiel Hanfvlies aus Ökobaudat (EN 15804+A2).

Die betrachteten Dämmstoffe weisen allerdings unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten auf und zur Erreichung der gleichen Dämmeffizienz sind unter Umständen unterschiedliche Dämmstoffdicken vorzusehen. Deshalb kann es sinnvoll sein, Dämmstoffe für einen derartigen Vergleich auf eine einheitliche Dämmeffizienz zu beziehen ($I_{env,35} = I_{env} \cdot \lambda_{Dämmstoff} / 0,035$). Die entsprechenden Werte für die Wärmeleitfähigkeit wurden in der verwendeten Datenbank ergänzt.³⁴ Sortiert nach der Höhe des Umweltindikators $I_{env,35}$ ergibt sich dadurch eine andere Reihenfolge, da für Dämmstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit vergleichsweise mehr Materialeinsatz erforderlich ist (vgl. Abbildung 7).

Im Zuge der Fortschreibung der Nachhaltigkeitszertifizierung LENOZ 2.0 ist die Datenbank um gebräuchliche Stoffe zu ergänzen und in Anlehnung an die Festlegung der Referenzkennwerte für LENOZ 1.0³⁶ sind entsprechende Konstruktionen zu bewerten. Aufgrund der noch unvollständigen Datenlage für EPDs nach A2 können Referenzwerte allerdings erst dann berechnet werden, wenn für gängige Baustoffe entsprechende Umwelt-Produktdeklarationen vorliegen. Derzeit in der Ökobaudat fehlende Baustoffe, die im Rahmen der Kalibrierung gebraucht werden, können zum Beispiel bei entsprechenden Herstellern angefragt oder auf alternativen

³⁶ M. Lichtmeß, S. Oberweis, Rekalibrierung der Nachhaltigkeitskriterien Umwelt- und Primärenergieindikator, Bestimmung von Referenzwerten für die Umweltbelastung und den Primärenergiebedarf zur Herstellung von Konstruktionen für typischen Aufbauten in Luxemburg, Goblet Lavandier & Associés, Version 3, 2016

³⁷ Gemäß der Bewertung nach Anhang 3.1.1 zur Anlage 3 werden der Primärenergieaufwand und das Treibhauspotential bewertet und hierfür gebäudebezogene Referenzwerte angegeben, Stand 25.06.2021.

³⁸ <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/>, Abruf 03.02.2022

³⁹ ÖKOBAUDAT-Release 2021-II vom 25.06.2021 (EN 15804+A2), Abruf 04.02.2022

⁴⁰ In der ladbaren CSV-Datei vom 25.06.2021 wurde im Rahmen der Projektbearbeitung festgestellt, dass die Kennwerte für EP Süßwasser nicht korrekt sind und den Werten für EP Seewasser entsprechen. Nach Mitteilung wurde der Fehler behoben und am 28.02.2022 projektbezogen eine angepasste Version erstellt, die derzeit (Stand 09.02.22) noch nicht offiziell verfügbar ist. Die Online-Version ist davon nicht betroffen.

EPD-Plattformen⁴¹ recherchiert werden. Die Darstellung der Indikatoren beschränkt sich an dieser Stelle auf die in der Ökobaudat (2021 II)³⁹ nach EN 15804+A2 vorhandene Dämmstoffe und soll die Größenordnung und die Ausprägung des Indikators aufzeigen – auch im Vergleich zur bisherigen Methodik.

Aufgrund der festgestellten Unstimmigkeiten⁴⁰ in der exportierten Version der Ökobaudat können weitere Fehler nicht ausgeschlossen werden. Hierzu sollte gegebenenfalls die Qualitätssicherung hinsichtlich eingepflegter und exportierter Daten angepasst werden.

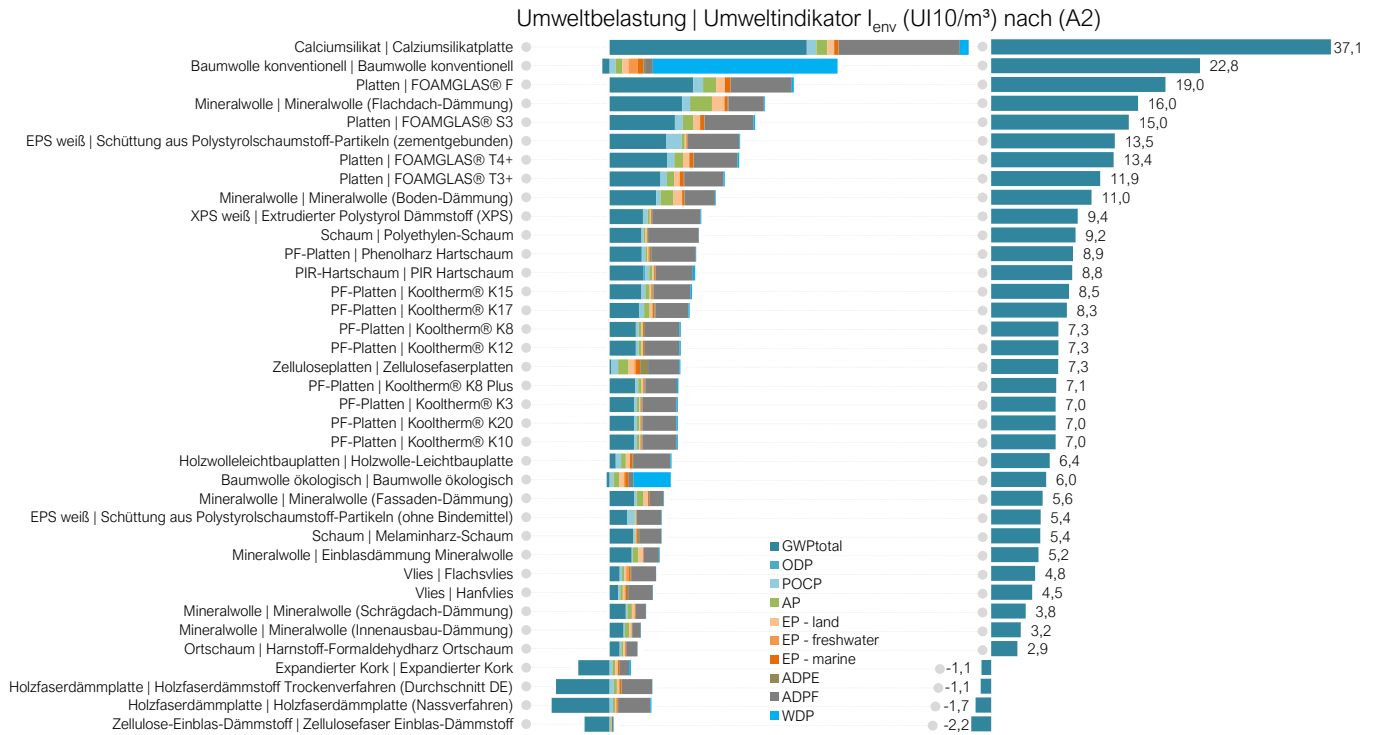


Abbildung 6: Umweltindikatoren I_{env} für Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2), links zusammengesetzt, rechts aggregiert.

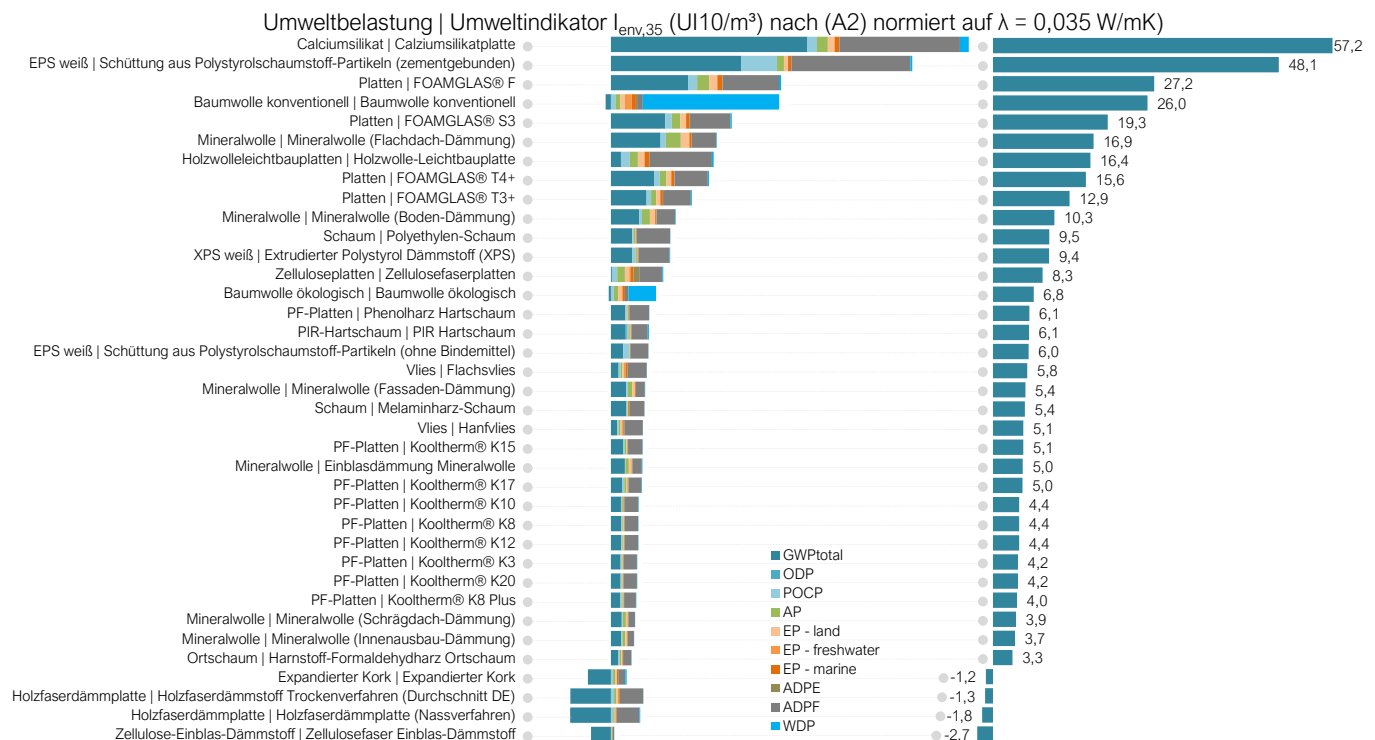


Abbildung 7: Umweltindikatoren $I_{env,35}$ für Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2), normiert auf 0,035 W/mK, links zusammengesetzt, rechts aggregiert.

⁴¹ Beispiele (Abruf 05.02.2022)

- IBU Institut Bauen und Umwelt e.V. (www.ibu-epd.com)
- IBO Ökologisch Bauen · Gesund Wohnen IBO Verein und GmbH, Wien (www.ibo.at)
- WECOBIS, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (www.wecobis.de)

- natureplus database.org, Internationaler Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen natureplus e.V. (www.natureplus.org)
- ECO Platform AISBL, Brüssel (www.eco-platform.org)
- EPD International AB, Stockholm, Sweden (www.environdec.com)
- EPD Danmark, Teknologisk Institut (www.epddanmark.dk/uk/)

Mittlere Zusammensetzung bei Dämmstoffen

Bildet man über alle betrachteten Dämmstoffe und Indikatoren den Mittelwert, so zeigt sich, dass für diese Baustoffgruppe das Treibhauspotential (GWP) und der abiotische Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) im Durchschnitt 76,2 % des Umweltindikators I_{env} ausmachen. 6,6 % entfallen auf das Überdüngungspotential (EP_{gesamt}), 6,1 % auf die Versauerung (AP) und 11,1 % auf die anderen Wirkindikatoren (vgl. Abbildung 8). Hierbei ist zu beachten, dass die Standardabweichung gerade bei den Hauptindikatoren am größten ist. Diese mittlere Zusammensetzung des Umweltindikators für Dämmstoffe kann demnach nur einen groben Eindruck vermitteln und die individuelle Bewertung eines Baustoffs kann sich davon deutlich unterscheiden. Abbildung 9 zeigt die relativen Anteile bzw. die Zusammensetzung des Indikators nach Wirkkategorien für jeden betrachteten Dämmstoff separat.

ØZusammensetzung über alle Dämmstoffe (A2)

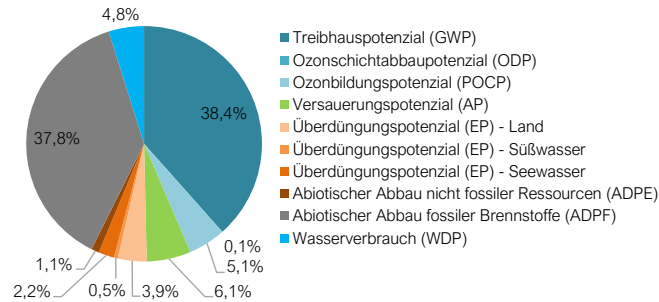


Abbildung 8: mittlere Zusammensetzung des Umweltindikators I_{env} für die betrachteten Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2).

Anteil Eutrophierung und Bezugseinheiten

Im Vergleich zum Umweltindikator aus LENOZ 1.0 nimmt beim neuen Umweltindikator die Eutrophierung (aggregiert über alle Bereiche Land, Süßwasser und Seewasser) einen geringeren Stellenwert ein. Vergleicht man die reinen Zahlenwerte der Wirkindikatoren aus EN 15804+A1 und EN 15804+A2, so liegen hier Unterschiede im Bereich der Eutrophierung vor, was neben einer differenzierten Betrachtung und Berechnung der Wirkindikatoren auch an unterschiedlichen Bezugseinheiten liegt.⁴² Im RGD16¹ ist die Einheit der Normalisierung in [kg PO₄-Äq.] (Phosphat)⁴³ angegeben. Die Methodik zum Umweltindikator für das RGD16 wurde im Rahmen einer Grundlagenstudie vom LIST (ehemals CRP Henri Tudor / CRTE) entwickelt.^{44,45,46} Der dort angegebene Bezugswert für den Normalisierungsfaktor wird in der zitierten Literatur⁶ jedoch in [kg P-Äq.] (Phosphor) angegeben.⁴⁷ Für den Bezug auf die Einheit [kg (PO₄)⁻³-Äq.] wäre der Normalisierungsfaktor auf diese Einheit zu beziehen.^{20,48,49} Warum das in der Grundlagenstudie entsprechend angesetzt wurde, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden.

Dazu kommt der Anteil für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF), der im vorigen Umweltindikator nicht enthalten war. Dafür wurde in LENOZ 1.0 ein Ökologieindikator I_{eco} definiert, über den vereinfacht der nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand (PENRT) mit einbezogen wurde⁵⁰. Dieser Indikator wurde bisher allerdings nicht zur Bewertung der Umweltbelastung herangezogen. Mit der Normversion der EN 15804+A2 sind die Wirkindikatoren und Einheiten mit dem *Environmental Footprint (EF)* der Europäischen Kommission harmonisiert und die Normalisierungsfaktoren haben die gleiche Bezugseinheit wie die Wirkindikatoren einer EPD nach EN 15804+A2. Dadurch verringern sich mögliche Fehler, die bei der Umrechnung von Kennwerten vorkommen können.

Zusammensetzung Umweltindikator für Dämmstoffe (EPDs nach EN 15804+A2)

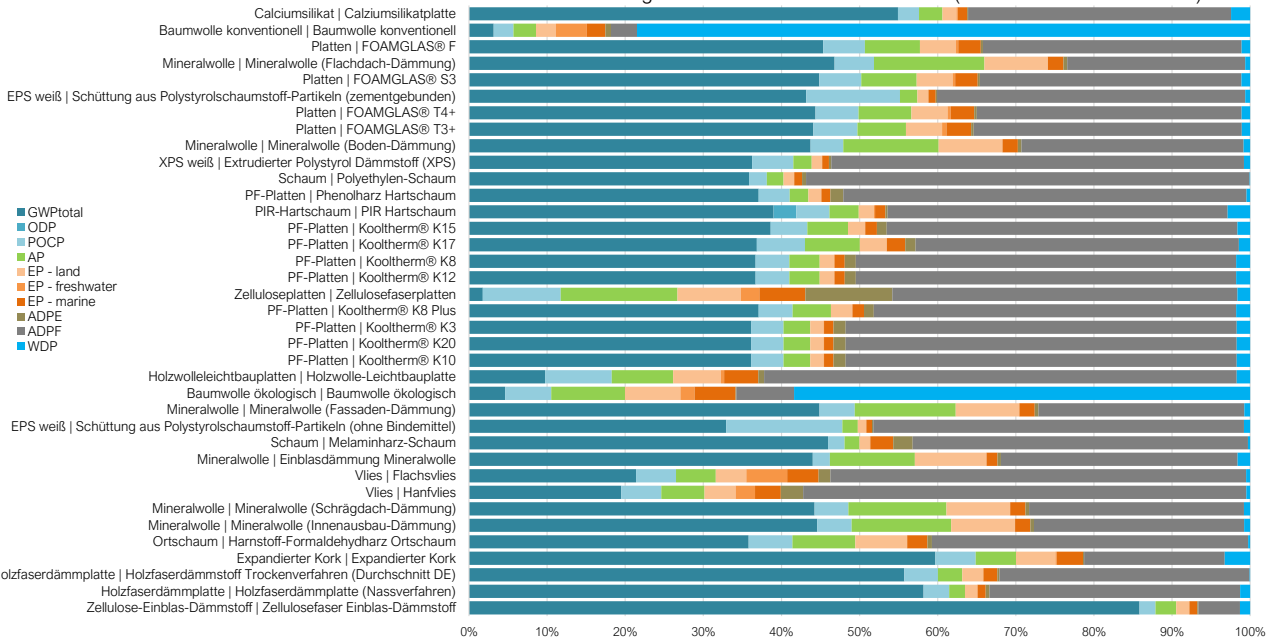


Abbildung 9: Zusammensetzung des Umweltindikators I_{env} für verschiedene Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2). Bei der Interpretation ist zu beachten, dass das Treibhauspotential (GWP_{total}), bei Materialien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, negative Werte annehmen kann und entsprechend der Betragswert in diese Darstellung einfließt.

⁴² In EN 15804+A1 wird Eutrophierung in [kg (PO₄)⁻³-Äq.] angegeben. In EN 15804:2012+A2:2019 ist Eutrophierung Süßwasser in [kg PO₄-Äq.] angegeben, allerdings handelt es sich hier um einen Einheitenfehler. Die Einheit müsste [kg P-Äq.] sein. (Quelle: Warmvermerk zur DIN EN 15804:2020-03: „In Tabelle 3 und Tabelle C.1 muss für die Wirkungskategorie „Eutrophierung Süßwasser“ die Einheit „kg PO₄-Äq.“ durch „kg P-Äq.“ ersetzt werden“, Beuth). Mit EN 15804:2012+A2:2019/AC:2021 wird die Einheit in [kg P Äq.] korrigiert und in Luxemburg entsprechend umgesetzt.

⁴³ Normkompatibel mit EN 15804 müsste es [kg (PO₄)⁻³] heißen.

⁴⁴ P. Hild, M. Guiton, Indicateurs de matériaux de construction, Public Research Centre Henri Tudor, Research Centre for Environmental Technologies (CRTE) 1.0, 09/2013

⁴⁵ P. Hild, M. Guiton, Indicateurs de matériaux de construction, Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Environmental Research and Innovation (ERIN), Version 1.0, 09/2015

⁴⁶ B. Schmitt, P. Hild, Ausarbeitung eines Baumaterialindikators für Luxemburg, Präsentation: Diskussion der Berechnungsdetails, LIST Luxembourg Institute of Science and Technology, 24.04.2015

⁴⁷ Der Zahlenwert für den Normalisierungsfaktor Eutrophierung im RGD16¹ bzw. aus der Grundlagenstudie zum Umweltindikator^{44,45} beträgt 0,75 [kg PO₄-Äq.]⁴³. Die Grundlage für diesen Normalisierungswert aus der Literatur⁶ (3,47E+08 [kg P Äq.] / 464.815.432 [Personen] = 0,75) wird in [kg P-Äq.] und nicht [PO₄⁻³-Äq.] angegeben. Ähnlich auch beim Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP), hier ist der Bezugswert (2,80E+10 [kg NMVOC Äq.] / 464.815.432 [Personen] = 60) in [kg NMVOC Äq.] und nicht in [kg C₂H₄ Äq.] (Ethylen) angegeben.

⁴⁸ Jawjit, W., Kroeze, C., Soontaranun, W. et al. An analysis of the environmental pressure exerted by the eucalyptus-based kraft pulp industry in Thailand. Environ Dev Sustain 8, 289–311 (2006) → (Tab. IV, Faktor 3,06)

⁴⁹ R. Heijungs, J.B. Guinée, G. Huppes, R.M. Lankreijer, H.A. Udo de Haes, A. Wegener Sleswijk, Environmental Life Cycle Assessment of Products, Backgrounds – October 1992, S.102, Table 3.5, Centre of Environmental Science, Leiden 1992

⁵⁰ Für den Ökologieindikator I_{eco} beträgt der Anteil des nicht erneuerbare Primärenergiebedarfs (PENRT), im Mittel über 24 betrachtete Dämmstoffe, etwa 70 % wobei $I_{eco} = 0,5 \cdot (10 \cdot I_{env} + I_{prim})$, berechnet nach RGD16¹ mit Daten aus Ökobaudat 2011-2013.

Tabelle 5: Umweltindikator I_{env} für verschiedene Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2), Wirkindikatoren (UI/m³) mit Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren bewertet und bezogen auf einen m³

Dämmstoffe EPD (EN 15804+A2) Systemgrenze A1-A3 ¹	Bezugs- einheit	ρ^{51}	λ^{51}	PENRT	GWP	I_{env}	GWP _{total}	ODP	POCP	AP	EP land	EP freshwater	EP marine	ADPE	ADPF	WDP
		kg/m ³	W/mK													
Zellulose-Einblas-Dämmstoff Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	m ³	45	0,043	25,3	-71,8	-2,16	-2,585	0,000	0,062	0,080	0,050	0,002	0,030	0,004	0,160	0,039
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³	160	0,038	502,1	-166,5	-1,69	-5,998	0,000	0,336	0,209	0,161	0,006	0,107	0,050	3,308	0,131
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	m ³	151	0,041	503,3	-153,9	-1,14	-5,543	0,000	0,427	0,310	0,263	0,008	0,176	0,027	3,185	0,008
Expandierter Kork Expandierter Kork	m ³	80	0,040	153,1	-89,9	-1,05	-3,238	0,000	0,280	0,280	0,274	0,009	0,183	0,006	0,977	0,176
Ortschaum Harnstoff-Formaldehydharz Ortschaum	kg	10	0,040	167,1	28,5	2,87	1,028	0,000	0,161	0,231	0,189	0,002	0,074	0,017	1,163	0,007
Mineralwolle Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³	26	0,040	136,3	40,0	3,23	1,441	0,000	0,143	0,412	0,263	0,001	0,063	0,015	0,870	0,025
Mineralwolle Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³	30	0,036	162,0	46,2	3,76	1,664	0,000	0,163	0,471	0,306	0,002	0,073	0,018	1,034	0,030
Vlies Hanfvlies	m ³	38	0,040	383,2	24,2	4,47	0,870	0,000	0,229	0,247	0,177	0,111	0,148	0,128	2,534	0,022
Vlies Flachsvlies	m ³	38	0,042	385,2	28,4	4,79	1,025	0,000	0,246	0,244	0,187	0,251	0,193	0,072	2,550	0,025
Mineralwolle Einblasdämmung Mineralwolle	m ³	50	0,034	245,0	63,1	5,16	2,272	0,000	0,113	0,562	0,472	0,002	0,072	0,022	1,564	0,083
Schaum Melaminharz-Schaum	kg	10	0,035	350,4	68,3	5,35	2,460	0,000	0,113	0,103	0,072	0,002	0,157	0,133	2,297	0,015
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (ohne Bindemittel)	m ³	15	0,039	384,5	49,3	5,39	1,775	0,000	0,804	0,106	0,058	0,001	0,038	0,009	2,561	0,042
Mineralwolle Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³	46	0,034	231,6	69,9	5,61	2,517	0,000	0,253	0,725	0,456	0,002	0,110	0,027	1,477	0,043
Baumwolle ökologisch Baumwolle ökologisch	kg	40	0,040	76,8	-8,5	5,99	-0,306	0,000	0,390	0,622	0,469	0,120	0,347	0,007	0,487	3,855
Holzwoleleichtbauplatten Holzwole-Leichtbauplatte	m ³	360	0,090	604,4	17,2	6,38	0,621	0,000	0,545	0,501	0,391	0,026	0,279	0,048	3,858	0,111
PF-Platten Kooltherm® K10	qm	35	0,022	550,6	70,4	7,02	2,537	0,000	0,290	0,242	0,118	0,005	0,085	0,110	3,515	0,122
PF-Platten Kooltherm® K20	qm	35	0,021	550,6	70,4	7,02	2,537	0,000	0,290	0,242	0,118	0,005	0,085	0,110	3,515	0,122
PF-Platten Kooltherm® K3	qm	35	0,021	550,6	70,4	7,02	2,537	0,000	0,290	0,242	0,118	0,005	0,085	0,110	3,515	0,122
PF-Platten Kooltherm® K8 Plus	qm	34	0,020	514,8	72,9	7,09	2,627	0,000	0,308	0,348	0,190	0,006	0,104	0,090	3,287	0,127
Zelluloseplatten Zellulosefaserplatten	m ³	80	0,040	506,5	3,6	7,30	0,130	0,000	0,727	1,093	0,591	0,174	0,430	0,813	3,226	0,119
PF-Platten Kooltherm® K12	qm	35	0,021	559,0	74,7	7,33	2,689	0,000	0,318	0,284	0,133	0,006	0,095	0,105	3,569	0,131
PF-Platten Kooltherm® K8	qm	35	0,021	559,0	74,7	7,33	2,689	0,000	0,318	0,284	0,133	0,006	0,095	0,105	3,569	0,131
PF-Platten Kooltherm® K17	qm	103	0,021	535,6	84,5	8,26	3,042	0,000	0,509	0,579	0,282	0,006	0,193	0,109	3,418	0,120
PF-Platten Kooltherm® K15	qm	35	0,021	594,4	91,0	8,49	3,278	0,000	0,400	0,442	0,183	0,005	0,127	0,106	3,813	0,138
PIR-Hartschaum PIR Hartschaum	m ³	250	0,024	579,8	95,6	8,83	3,444	0,256	0,375	0,331	0,171	0,015	0,117	0,023	3,844	0,255
PF-Platten Phenolharz Hartschaum	m ³	40	0,024	674,0	91,9	8,93	3,311	0,000	0,354	0,215	0,143	0,005	0,103	0,147	4,609	0,042
Schaum Polyethylen-Schaum	kg	30	0,036	741,3	91,6	9,20	3,298	0,000	0,209	0,197	0,120	0,006	0,093	0,046	5,222	0,007
XPS weiß Extrudierter Polystyrol Dämmstoff (XPS)	m ³	32	0,035	746,6	95,1	9,45	3,425	0,000	0,498	0,223	0,122	0,004	0,081	0,028	4,993	0,075
Mineralwolle Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³	85	0,033	488,3	133,0	10,95	4,789	0,000	0,458	1,338	0,891	0,005	0,212	0,052	3,115	0,091
Platten FOAMGLAS® T3+	kg	100	0,038	638,6	145,4	11,88	5,236	0,000	0,674	0,737	0,549	0,066	0,375	0,039	4,079	0,126
Platten FOAMGLAS® T4+	kg	115	0,041	710,4	164,5	13,36	5,924	0,000	0,737	0,902	0,618	0,055	0,402	0,041	4,528	0,148
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m ³	350	0,125	801,9	161,5	13,48	5,818	0,000	1,616	0,303	0,187	0,003	0,124	0,022	5,318	0,086
Platten FOAMGLAS® S3	kg	130	0,045	788,3	186,9	15,02	6,734	0,000	0,808	1,064	0,692	0,047	0,433	0,044	5,026	0,168
Mineralwolle Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³	145	0,037	571,5	208,0	16,01	7,492	0,000	0,808	2,262	1,298	0,006	0,317	0,078	3,647	0,101
Platten FOAMGLAS® F	kg	165	0,050	984,5	239,3	19,01	8,618	0,000	1,015	1,343	0,873	0,059	0,546	0,055	6,291	0,210
Baumwolle konventionell Baumwolle konventionell	kg	40	0,040	131,1	-21,2	22,77	-0,765	0,000	0,619	0,700	0,621	0,960	0,576	0,175	0,806	19,073
Calciumsilikat Calciumsilikatplatte	m ³	225	0,054	1.954,0	564,9	37,05	20,348	0,001	0,997	1,115	0,660	0,058	0,451	0,038	12,475	0,908

⁵¹ In EPDs fehlende Angaben zur Wärmeleitfähigkeit λ und/oder Dichte ρ wurden von *e3consult*³⁴ erhoben.

Tabelle 6: Umweltindikator $I_{env,35}$ für verschiedene Dämmstoffe aus Ökobaudat (Version EN 15804+A2), Wirkindikatoren mit Normalisierungs- und Gewichtungsfaktoren bewertet und bezogen auf einen m^3 und normiert auf $\lambda=0,035 W/(m^2K)$

Dämmstoffe EPD (EN 15804+A2) Systemgrenze A1-A3 ⁴ Bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK)	Bezugs- einheit	ρ^{51} kg/m ³	λ^{51} W/mK	PENRT kWh/m ³	GWP kgCO ₂ /m ³	$I_{env,35}$ UI10/m ³	GWP _{total} UI/m ³	ODP UI/m ³	POCP UI/m ³	AP UI/m ³	EP land UI/m ³	EP freshwater UI/m ³	EP marine UI/m ³	ADPE UI/m ³	ADPF UI/m ³	WDP UI/m ³
Zellulose-Einblas-Dämmstoff Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	m ³	45	0,043	31,1	-88,2	-2,65	-3,176	0,000	0,076	0,098	0,061	0,002	0,037	0,005	0,197	0,049
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³	160	0,038	545,2	-180,8	-1,84	-6,512	0,000	0,365	0,227	0,174	0,006	0,117	0,054	3,591	0,143
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	m ³	151	0,041	589,5	-180,3	-1,33	-6,494	0,000	0,501	0,364	0,309	0,009	0,206	0,031	3,731	0,009
Expandierter Kork Expandierter Kork	m ³	80	0,040	175,0	-102,7	-1,20	-3,700	0,000	0,320	0,320	0,314	0,010	0,209	0,007	1,117	0,201
Ortschaum Harnstoff-Formaldehydharz Ortschaum	kg	10	0,040	191,0	32,6	3,28	1,175	0,000	0,184	0,264	0,216	0,002	0,084	0,019	1,329	0,008
Mineralwolle Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³	26	0,040	155,8	45,7	3,70	1,647	0,000	0,163	0,471	0,300	0,002	0,072	0,018	0,994	0,029
Mineralwolle Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³	30	0,036	166,7	47,5	3,87	1,711	0,000	0,167	0,485	0,314	0,002	0,075	0,018	1,063	0,031
PF-Platten Kooltherm® K8 Plus	qm	34	0,020	294,2	41,7	4,05	1,501	0,000	0,176	0,199	0,109	0,003	0,059	0,051	1,878	0,073
PF-Platten Kooltherm® K20	qm	35	0,021	330,3	42,3	4,21	1,522	0,000	0,174	0,145	0,071	0,003	0,051	0,066	2,109	0,073
PF-Platten Kooltherm® K3	qm	35	0,021	330,3	42,3	4,21	1,522	0,000	0,174	0,145	0,071	0,003	0,051	0,066	2,109	0,073
PF-Platten Kooltherm® K12	qm	35	0,021	335,4	44,8	4,40	1,614	0,000	0,191	0,170	0,080	0,004	0,057	0,063	2,141	0,079
PF-Platten Kooltherm® K8	qm	35	0,021	335,4	44,8	4,40	1,614	0,000	0,191	0,170	0,080	0,004	0,057	0,063	2,141	0,079
PF-Platten Kooltherm® K10	qm	35	0,022	346,1	44,3	4,42	1,595	0,000	0,183	0,152	0,074	0,003	0,053	0,069	2,209	0,077
PF-Platten Kooltherm® K17	qm	103	0,021	321,3	50,7	4,95	1,825	0,000	0,305	0,348	0,169	0,003	0,116	0,065	2,051	0,072
Mineralwolle Einblasdämmung Mineralwolle	m ³	50	0,034	238,0	61,3	5,02	2,207	0,000	0,110	0,546	0,458	0,002	0,070	0,022	1,519	0,081
PF-Platten Kooltherm® K15	qm	35	0,021	356,7	54,6	5,09	1,967	0,000	0,240	0,265	0,110	0,003	0,076	0,064	2,288	0,083
Vlies Hanfvlies	m ³	38	0,040	437,9	27,6	5,11	0,994	0,000	0,262	0,283	0,203	0,127	0,169	0,146	2,896	0,025
Schaum Melaminharz-Schaum	kg	10	0,035	350,4	68,3	5,35	2,460	0,000	0,113	0,103	0,072	0,002	0,157	0,133	2,297	0,015
Mineralwolle Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³	46	0,034	224,9	67,9	5,45	2,445	0,000	0,246	0,705	0,443	0,002	0,106	0,026	1,435	0,041
Vlies Flachsvlies	m ³	38	0,042	462,3	34,1	5,75	1,230	0,000	0,295	0,293	0,224	0,301	0,232	0,086	3,060	0,030
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (ohne Bindemittel)	m ³	15	0,039	428,4	54,9	6,01	1,978	0,000	0,896	0,118	0,064	0,002	0,043	0,010	2,853	0,047
PIR-Hartschaum PIR Hartschaum	m ³	250	0,024	397,6	65,6	6,06	2,362	0,176	0,257	0,227	0,117	0,010	0,080	0,016	2,636	0,175
PF-Platten Phenolharz Hartschaum	m ³	40	0,024	462,2	63,0	6,12	2,270	0,000	0,243	0,148	0,098	0,004	0,071	0,101	3,160	0,029
Baumwolle ökologisch Baumwolle ökologisch	kg	40	0,040	87,8	-9,7	6,85	-0,349	0,000	0,446	0,711	0,536	0,137	0,396	0,008	0,557	4,405
Zelluloseplatten Zellulosefaserplatten	m ³	80	0,040	578,8	4,1	8,35	0,148	0,000	0,831	1,249	0,676	0,199	0,491	0,929	3,687	0,136
XPS weiß Extrudierter Polystyrol Dämmstoff (XPS)	m ³	32	0,035	746,6	95,1	9,45	3,425	0,000	0,498	0,223	0,122	0,004	0,081	0,028	4,993	0,075
Schaum Polyethylen-Schaum	kg	30	0,036	762,5	94,2	9,46	3,392	0,000	0,215	0,202	0,123	0,006	0,096	0,048	5,371	0,007
Mineralwolle Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³	85	0,033	460,4	125,4	10,33	4,515	0,000	0,432	1,262	0,840	0,004	0,200	0,049	2,937	0,086
Platten FOAMGLAS® T3+	kg	100	0,038	693,3	157,8	12,90	5,685	0,000	0,732	0,800	0,597	0,072	0,407	0,042	4,429	0,137
Platten FOAMGLAS® T4+	kg	115	0,041	832,2	192,6	15,65	6,939	0,000	0,864	1,057	0,724	0,065	0,471	0,048	5,304	0,173
Holzwoleleichtbauplatten Holzwole-Leichtbauplatte	m ³	360	0,090	1.554,3	44,3	16,40	1,596	0,000	1,401	1,288	1,004	0,068	0,718	0,123	9,921	0,285
Mineralwolle Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³	145	0,037	604,2	219,9	16,92	7,920	0,000	0,854	2,391	1,372	0,007	0,335	0,082	3,855	0,107
Platten FOAMGLAS® S3	kg	130	0,045	1.013,5	240,4	19,31	8,657	0,000	1,039	1,368	0,889	0,060	0,557	0,056	6,462	0,216
Baumwolle konventionell Baumwolle konventionell	kg	40	0,040	149,9	-24,3	26,02	-0,874	0,000	0,708	0,800	0,710	1,097	0,659	0,200	0,921	21,798
Platten FOAMGLAS® F	kg	165	0,050	1.406,4	341,8	27,16	12,311	0,000	1,450	1,918	1,247	0,084	0,780	0,079	8,988	0,300
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m ³	350	0,125	2.864,0	576,8	48,13	20,777	0,000	5,772	1,081	0,669	0,012	0,443	0,078	18,992	0,307
Calciumsilikat Calciumsilikatplatte	m ³	225	0,054	3.014,8	871,6	57,16	31,393	0,002	1,538	1,720	1,019	0,089	0,696	0,059	19,248	1,401

Tabelle 7: Aus Ökobaudat ausgelesene Daten der Wirkindikatoren für ausgewählte Dämmstoffe

Dämmstoffe EPD (EN 15804+A2) Systemgrenze A1-A3 ⁴	Wirkindikator gemäß EPD in Ökobaudat		Treibhaus- potenzial (GWP)	Ozonschich- tabbau- potenzial (ODP)	Ozonbildungs- potenzial (POCP)	Versauerungs- potenzial (AP)	Überdü- ngungs- potenzial (EP) Land	Überdü- ngungs- potenzial (EP) Süßwasser	Überdü- ngungs- potenzial (EP) ⁶ Seewasser	Abiotischer Abbau nicht fossiler Res- ourcen (ADPE)	Abiotischer Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)	Wasser- verbrauch (WDP)
	Kürzel Ökobaudat		A2GWPtotal (A2)	A2ODP (A2)	A2POCP (A2)	A2AP (A2)	A2EPterrestrial (A2)	A2EPfreshwater (A2)	A2EPmarine (A2)	A2ADPE (A2)	A2ADPF (A2)	A2WDP (A2)
	Bezugs- einheit	Dichte ⁵¹ kg/m ³	kg CO ₂ eq	kg CFC-11 eq	kg NMVOC eq.	mol H+ eq	mol N eq	kg P eq	kg N eq	kg Sb eq	MJ	m ³ water eq
Zellulose-Einblas-Dämmstoff Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	m ³	45	-71,772	1,456E-13	0,0379	0,052	0,171	0,000063	0,0145	0,0000023	90	3,841
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	m ³	160	-166,521	2,086E-12	0,2060	0,136	0,553	0,000240	0,0512	0,0000301	1.865	12,774
Holzfaserdämmplatte Holzfaserdämmstoff Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	m ³	151	-153,897	6,730E-13	0,2620	0,201	0,906	0,000317	0,0840	0,0000161	1.796	0,771
Expandierter Kork Expandierter Kork	m ³	80	-89,888	9,715E-14	0,1714	0,181	0,944	0,000367	0,0873	0,0000039	551	17,140
Ortschaum Harnstoff-Formaldehydharz Ortschaum	kg	10	2,855	4,311E-14	0,0098	0,015	0,065	0,000007	0,0035	0,0000010	66	0,072
Mineralwolle Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	m ³	26	40,016	5,276E-13	0,0876	0,267	0,904	0,000057	0,0301	0,0000094	490	2,450
Mineralwolle Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	m ³	30	46,183	6,423E-13	0,0998	0,305	1,051	0,000067	0,0349	0,0000108	583	2,927
Vlies Hanfvlies	m ³	38	24,156	1,125E-12	0,1405	0,160	0,610	0,004599	0,0704	0,0000779	1.429	2,152
Vlies Flachsvlies	m ³	38	28,449	9,787E-13	0,1505	0,158	0,643	0,010358	0,0923	0,0000437	1.438	2,436
Mineralwolle Einblasdämmung Mineralwolle	m ³	50	63,072	8,103E-13	0,0693	0,364	1,623	0,000103	0,0346	0,0000137	882	8,083
Schaum Melaminharz-Schaum	kg	10	6,831	2,478E-14	0,0069	0,007	0,025	0,000009	0,0075	0,0000081	130	0,149
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (ohne Bindemittel)	m ³	15	49,281	1,481E-13	0,4926	0,068	0,199	0,000061	0,0183	0,0000055	1.444	4,123
Mineralwolle Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³	46	69,885	8,755E-13	0,1549	0,470	1,568	0,000098	0,0523	0,0000163	833	4,142
Baumwolle ökologisch Baumwolle ökologisch	kg	40	-0,212	3,958E-12	0,0060	0,010	0,040	0,000124	0,0041	0,0000001	7	9,375
Holzwoleleichtbauplatten Holzwole-Leichtbauplatte	m ³	360	17,232	1,506E-12	0,3339	0,324	1,344	0,001091	0,1333	0,0000292	2.175	10,775
PF-Platten Kooltherm® K10	qm	35	5,634	1,110E-08	0,0142	0,013	0,032	0,000018	0,0032	0,0000054	159	0,948
PF-Platten Kooltherm® K20	qm	35	5,634	1,110E-08	0,0142	0,013	0,032	0,000018	0,0032	0,0000054	159	0,948
PF-Platten Kooltherm® K3	qm	35	5,634	1,110E-08	0,0142	0,013	0,032	0,000018	0,0032	0,0000054	159	0,948
PF-Platten Kooltherm® K8 Plus	qm	34	8,753	1,310E-08	0,0227	0,027	0,078	0,000028	0,0059	0,0000066	222	1,488
Zelluloseplatten Zellulosefaserplatten	m ³	80	3,598	1,815E-10	0,4455	0,708	2,034	0,007194	0,2051	0,0004947	1.819	11,609
PF-Platten Kooltherm® K12	qm	35	7,466	1,310E-08	0,0195	0,018	0,046	0,000026	0,0045	0,0000064	201	1,276
PF-Platten Kooltherm® K8	qm	35	7,466	1,310E-08	0,0195	0,018	0,046	0,000026	0,0045	0,0000064	201	1,276
PF-Platten Kooltherm® K17	qm	103	10,558	1,250E-08	0,0390	0,047	0,121	0,000029	0,0115	0,0000083	241	1,459
PF-Platten Kooltherm® K15	qm	35	9,100	1,200E-08	0,0245	0,029	0,063	0,000020	0,0061	0,0000065	215	1,340
PIR-Hartschaum PIR Hartschaum	m ³	250 ⁵²	95,626	1,574E-04	0,2299	0,214	0,587	0,000605	0,0558	0,0000141	2.168	24,851
PF-Platten Phenolharz Hartschaum	m ³	40	91,919	2,355E-07	0,2170	0,139	0,491	0,000212	0,0492	0,0000895	2.599	4,079
Schaum Polyethylen-Schaum	kg	30	3,052	5,623E-14	0,0043	0,004	0,014	0,000008	0,0015	0,0000009	98	0,021
XPS weiß Extrudierter Polystyrol Dämmstoff (XPS)	m ³	32	95,088	8,695E-13	0,3054	0,145	0,419	0,000176	0,0388	0,0000170	2.815	7,318
Mineralwolle Mineralwolle (Boden-Dämmung)	m ³	85	132,951	2,003E-12	0,2809	0,867	3,064	0,000197	0,1013	0,0000315	1.757	8,884
Platten FOAMGLAS® T3+	kg	100	1,454	1,010E-13	0,0041	0,005	0,019	0,000027	0,0018	0,0000002	23	0,123
Platten FOAMGLAS® T4+	kg	115	1,430	8,210E-14	0,0039	0,005	0,019	0,000020	0,0017	0,0000002	22	0,125
EPS weiß Schüttung aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln (zementgebunden)	m ³	350	161,511	4,510E-13	0,9905	0,196	0,644	0,000140	0,0591	0,0000132	2.999	8,355
Platten FOAMGLAS® S3	kg	130	1,438	7,380E-14	0,0038	0,005	0,018	0,000015	0,0016	0,0000002	22	0,126
Mineralwolle Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³	145	207,987	1,773E-12	0,4953	1,465	4,466	0,000266	0,1513	0,0000472	2.056	9,855
Platten FOAMGLAS® F	kg	165	1,450	5,390E-14	0,0038	0,005	0,018	0,000015	0,0016	0,0000002	22	0,124
Baumwolle konventionell Baumwolle konventionell	kg	40	-0,531	8,949E-16	0,0095	0,011	0,053	0,000092	0,0069	0,0000027	11	46,387
Calciumsilikat Calciumsilikatplatte	m ³	225	564,895	6,551E-07	0,6108	0,722	2,272	0,002398	0,2152	0,0000234	7.034	88,353

⁵² Wert in Onlinedatenbank ist 30 kg/m³