



Goblet Lavandier & Associés
Ingénieurs Conseils S.A.
Department of Energy and Building Physics

Diskussionspapier

Förderkriterien für den Einsatz nachhaltiger Dämmstoffe und Konstruktionen in der Modernisierung.

Ableitung von Kriterien zur Förderung von Modernisierungsmaßnahmen hinsichtlich der Verwendung nachhaltiger Materialien und Konstruktionen.

Entwurf

Auftraggeber	Umweltministerium Luxemburg
Bearbeitung	Dr. Markus Lichtmeß
Datum	22. Mai 2015
Version	4

Inhalt

1	Aufgabenstellung	3
2	Einflussfaktoren und nachhaltige Konstruktionen	3
2.1	Umweltauswirkungen und Primärenergie.....	5
2.1.1	Umweltindikator I_{env}	6
2.1.2	Primärenergieindikator I_{prim}	7
2.1.3	Ökologieindikator I_{eco}	7
2.1.4	Energiepass und LENOZ.....	9
2.1.5	Bewertung einer Konstruktion mit Referenzwerten.....	9
2.2	Bauphysik und Schadensrisiko.....	11
2.3	Recyclingfähigkeit.....	13
2.4	Demontierbarkeit.....	14
2.5	Schadstoffe und Baubiologie.....	15
3	Ableiten von Kriterien zur Förderung	17
3.1	Konzept der Bauteilförderung.....	18
3.2	Nachhaltigkeits-Kriterien-Set für energetische Modernisierung.....	20
3.2.1	Klimaschädliche Substanzen.....	20
3.2.2	Umweltschädliche und toxische Substanzen.....	20
3.2.3	Kriterien für den Einsatz von Bioziden.....	20
3.2.4	Kriterien für die Demontagefähigkeit.....	20
3.2.5	Kriterien für die bauphysikalische Schadensfreiheit.....	21
3.2.6	Kriterien für die Umweltverträglichkeit.....	21
3.2.7	Kriterien für den Primärenergieaufwand.....	21
3.2.8	Förderhöhen.....	24
3.3	Prüfung der Förderfähigkeit.....	24
4	Weitere Schritte	27
5	Literaturverzeichnis	28

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Umgestaltung des Förderprogramms für energieeffiziente Neubauten und energetische Modernisierungen soll die Verwendung von ökologischen Materialien beziehungsweise von nachhaltigen Konstruktionen in Zukunft stärker berücksichtigt werden.

Für neue Gebäude kann die ganzheitliche Nachhaltigkeitszertifizierung LENOZ (oder Teile davon) genutzt werden, um diese Aspekte beim energieeffizienten Neubau im Rahmen einer Förderung zu bewerten. Für einzelne Bauteile bzw. zur Bestimmung von energetischen und Nachhaltigkeitskriterien ist ein ganzheitlicher Ansatz nicht immer zielführend. Der Fokus liegt in diesem Dokument deshalb auf der energetischen Modernisierung und der sinnvollen Festlegung von Nachhaltigkeitskriterien, die als Grundlage zur Förderung von Modernisierungsmaßnahmen herangezogen werden können.

Seitens der verantwortlichen Ministerien wurde eine Arbeitsgruppe initiiert, die sich mit der Ausgestaltung von Definitionen, Förderhöhen und reglementarischen Aspekten beschäftigen soll. Die Arbeitsgruppe setzt sich derzeit aus folgenden Institutionen zusammen. Die Ministerien beziehen u. U. weitere externe Experten mit ein, die bei öffentlicher Bekanntgabe zukünftig mit aufgeführt werden.

Tabelle 1: Arbeitsgruppe zur Festlegung von Nachhaltigkeitskriterien bei der energetischen Modernisierung.

Institution	Ansprechpartner
Umweltministerium	Georges Gehl, Cheryl Dentzer
Wirtschaftsministerium	Daniel Flies
Wohnungsbauministerium	Annick Rock
myenergy	Christiane Conrady
Ökozentrum	Stephan Hain, Thécla Kirsch
LIST	Bianca Schmitt, Paula Hild
Energieinstitut Vorarlberg	Martin Ploss
Goblet Lavandier & Ass.	Markus Lichtmeß

Das vorliegende Papier soll eine Diskussionsgrundlage schaffen, die im angedachten Fördersystem berücksichtigt werden kann und reflektiert bereits Ergebnisse und Erkenntnisse, die im Rahmen der Arbeitsgruppe diskutiert wurden.

2 Einflussfaktoren und nachhaltige Konstruktionen

In folgendem Abschnitt werden Faktoren aufgezeigt, die einen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Baumaterialien und Konstruktionen haben. Die Darstellung der Kriterien ist nicht erschöpfend und soll im Wesentlichen die beleuchten, die im Rahmen der Förderung von nachhaltigen Materialien und Konstruktionen von Relevanz sind. Die Ausarbeitung ist aus diesem Grund auch nicht vollständig – gerade in Bezug auf mögliche Schadstoffe in und aus Baumaterialien gibt es ein weitreichendes Potential an möglichen Quellen, deren Auswirkungen nicht alle erforscht sind. An entsprechender Stelle wird auf die Wesentlichen Kriterien eingegangen, die den verschiedenen Literaturquellen entnommen wurden.

Die Bewertung über die Nachhaltigkeit von Materialien kann für unterschiedliche Bereiche erfolgen. Energetische und ökologische Aspekte sind ein Teilbereich bei der Nachhaltigkeit. Hierzu zählen auch andere Aspekte, wie zum Beispiel:

- Schadstoffbelastung für Mensch und Umwelt sowie die Baubiologie;
- Möglichkeit der Wiederverwertung bzw. Recyclingfähigkeit;
- Bauphysikalische Eigenschaften und Schadensrisiko.

Folgendes Bild zeigt die Einflussfaktoren auf die Wahl eines nachhaltigen Dämmstoffes oder Konstruktion. In den folgenden Abschnitten werden Nachhaltigkeitsaspekte bezogen auf die Hauptpunkte: Primärenergie, Umweltauswirkungen, Recyclingfähigkeit, Schadstoffe und Baubiologie, Bauphysik und Schadensrisiko sowie Demontierbarkeit kurz diskutiert.



Abbildung 1: Auswahl von Einflussfaktoren zur Definition der Nachhaltigkeit von Dämmstoffen.

2.1 Umweltauswirkungen und Primärenergie

Die Umweltauswirkungen umfassen allgemein die negative und schädliche Einflussnahme von Baumaterialien und Konstruktionen auf das planetare Ökosystem und indirekt auch auf Mensch, Tier und Natur über lange Zeiträume bzw. über den Lebenszyklus von Materialien (Herstellung, Nutzung, Abriss und Entsorgung/Wiederverwertung). Es werden klimatische Veränderungen (Ozonloch und Treibhauseffekt) und Veränderungen im Oberflächennahen Bereich (Versauerung, Überdüngung) einbezogen. Bei der Primärenergie wird, neben dem Energieinhalt eines Baustoffes selbst, auch der Primärenergiebedarf einbezogen, der für die Herstellung, den Transport und ggf. für die Entsorgung aufgewendet werden muss.

Der energetische und ökologische Aspekt von Dämmstoffen und Baumaterialien kann über Umwelt-Produktdeklarationen (EPD)¹ quantifiziert werden. Dort werden zum Beispiel der Primärenergiebedarf für die Erstellung des Materials sowie verschiedene Umweltauswirkungen dargestellt. Es gibt zudem Ansätze die auch die energetischen und umweltbeeinflussenden Auswirkungen der Entsorgung berücksichtigen. Diese Informationen sind in üblichen Stoffdatenbanken, jedoch nicht durchgängig für alle Stoffe verfügbar (1). In Luxemburg wird für das LENOZ (Luxemburger Nachhaltigkeitszertifizierung für Wohngebäude) die Materialdatenbank *ökobau.dat* als Grundlage für die ökologische Bewertung von Baumaterialien und Konstruktionen herangezogen(2).

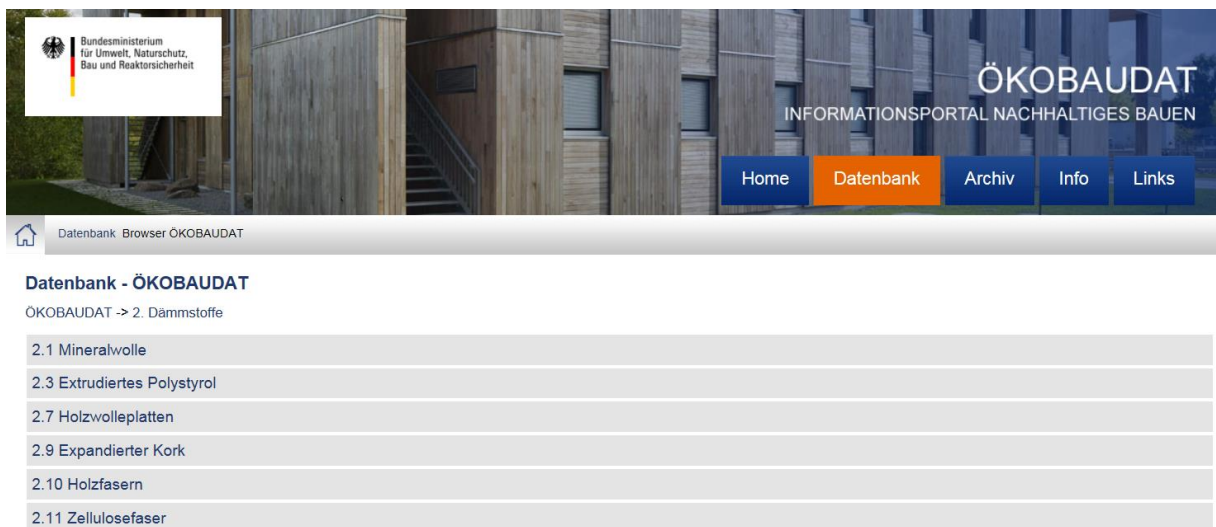


Abbildung 2: Darstellung zur Online-Datenbank Ökobau.dat für Baumaterialien²

Etwa 700 verschiedene Materialien und Baustoffe sowie Bau- und Transportprozesse der folgenden Kategorien werden hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen beschrieben:

- Mineralische Baustoffe;
- Dämmstoffe;
- Holzprodukte;
- Metalle;
- Anstriche und Dichtmassen;
- Bauprodukte aus Kunststoffen;
- Komponenten von Fenstern, Türen;
- Vorhangfassaden;
- Gebäudetechnik;
- Sonstiges

¹ Normen hierzu ISO 14025, ISO/FDIS 21930, prEN 15804

² <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>, seit September 2013 konform zur DIN EN 15804, Abrufdatum 20. Mai 2015

Die *ökobau.dat* enthält neben generischen Daten auch firmen- oder verbandspezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen, die auf den Luxemburger Markt applizierbar sind. In den Datensätzen sind unter anderem Kennzahlen für folgende Auswirkungen enthalten:

- Primärenergiebedarf für die Erstellung;
- Ozonschichtabbaupotenzial (ODP);
- Ozonbildungspotenzial (POCP);
- Eutrophierungspotential (Überdüngung, EP);
- Versauerungspotential (AP);
- Globales Erwärmungspotential (CO₂ Emissionen, Treibhauspotenzial, GWP).

Für die praktische Anwendung müssen die einzelnen Auswirkungen zu gemeinsamen Kennwerten zusammengefasst werden. Dazu werden in LENOZ drei unterschiedliche Kennwerte definiert, mit denen unterschiedliche Auswirkungen thematisch abgebildet werden. Der Umweltindikator I_{env} dient zur Bewertung der Umweltauswirkungen. Primärenergieindikator I_{prim} dient zur Bewertung der "grauen Energie" eines Materials bzw. einer Konstruktion und kann mit dem Primärenergiebedarf des Gebäudes in Relation gesetzt werden. Die ganzheitliche Bewertung erfolgt über einen Ökologieindikator I_{eco} , der beide Bewertungen in einem gemeinsamen Kennwert vereint.

2.1.1 Umweltindikator I_{env}

Der Umweltindikator I_{env} setzt sich aus den fünf Umweltauswirkungen zusammen. Er umfasst die Umweltauswirkungen die bei der Herstellung entstehen.

- Ozonschichtabbaupotenzial (ODP);
- Ozonbildungspotenzial (POCP);
- Eutrophierungspotential (Überdüngung, EP);
- Versauerungspotential (AP);
- Globales Erwärmungspotential (CO₂ Emissionen, Treibhauspotenzial, GWP).

Da die einzelnen Indikatoren unterschiedliche Einheiten aufweisen und zudem auch verschiedene Auswirkungen in der Umwelt bewirken, müssen diese sinnvoll miteinander kombiniert werden. Dazu werden die Bruttoangaben aus der Baumaterialdatenbank *ökobau.dat* harmonisiert und einheitlich auf die Volumeneinheit eines Stoffes bezogen. Um die Umweltauswirkungen miteinander in Bezug zu setzen, werden die Auswirkungen zueinander, unter Berücksichtigung der Emissionen eines durchschnittlichen Europäers (vgl. Tabelle 2), normalisiert. Anschließend erfolgt eine Gewichtung der Umweltauswirkungen zueinander (vgl. vgl. Tabelle 2). Dadurch wird eine einheitliche Bewertung aller Umweltauswirkungen in einem gemeinsamen Kennwert ermöglicht (3), (2).

Tabelle 2: Normalisierungsfaktoren³ und Gewichtungsfaktoren⁴ für die Berechnung des Umweltindikators.

Kennwert	Durchschnittliche Emissionen pro Europäer (EU-25+3) in 2010	Gewichtungsfaktor
Treibhauspotenzial (GWP)	11.209 kg CO ₂ - Äk. / Kopf	0,54
Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)	0,0146 kg R11- Äk. / Kopf	0,09
Ozonbildungspotenzial (POCP)	60 kg Ethylen - Äk. / Kopf	0,12
Versauerungspotenzial (AP)	51 kg SO ₂ - Äk. / Kopf	0,09
Überdüngungspotenzial (EP)	0,75 kg Phosphat-Äk. / Kopf	0,16

2.1.2 Primärenergieindikator I_{prim}

Der Primärenergieindikator I_{prim} berücksichtigt den Energieaufwand, der bei der Herstellung eines Baustoffes erforderlich ist und entspricht der *grauen Energie*, die in einer Konstruktion enthalten ist. Durch den primärenergetischen Bewertungsansatz kann dieser Indikator einfach in Relation zum Primärenergiebedarf des Gebäudes gesetzt werden und dient somit als direkte Vergleichsgröße. Dadurch wird unter anderen auch ermöglicht den gesamtenergetischen Effekt bei zum Beispiel der nachträglichen Dämmung von Gebäuden zu bewerten. Die energetische Amortisation liegt je nach verwendetem Dämmstoff zwischen wenigen (Heiz)Monaten und wenigen Jahren.

2.1.3 Ökologieindikator I_{eco}

Der Ökologieindikator I_{eco} dient zur kombinierten Bewertung von Energie- und Umweltauswirkungen in einem Kennwert. Die Berechnung des Kennwertes wird in (2) beschrieben, kommt im LENOZ aufgrund der getrennten Bewertung von Ökologie und Primärenergiebedarf im Lebenszyklus nicht direkt zum Einsatz. Die gemeinsame Bewertung eignet sich immer dann, wenn eine möglichst einfache Darstellung über einen Zahlenwert gewünscht ist. Der Ökologieindikator wird durch Gewichtung⁵ des Umweltindikators und des Primärindikators gebildet.

Tabelle 3: Volumenbezogene Umwelt-, Primärenergie- und Ökologieindikatoren für verschiedene Dämmstoffe.

Dämmstoff	I_{env} [UIL5/m ³]	I_{prim} [kWh/m ³]	I_{eco} [UIL6/m ³]
Baumwolle (konventionell) ($\lambda = 0,040$)	55,0	136,4	343,2
Blähton (Schüttung), Blähschiefer ($\lambda = 0,090$)	22,5	740,0	482,7
Glasschaumschotter ($\lambda = 0,040$)	39,0	1116,1	753,3
Zellulosefaserplatten ($\lambda = 0,040$)	25,7	638,3	447,8
Mineralwolle (Boden-Dämmung) ($\lambda = 0,035$)	26,6	520,9	393,6
Flachsvlies ($\lambda = 0,040$)	14,7	465,1	306,1
Holzweichfasermatte ($\lambda = 0,040$)	12,5	611,2	368,1
PU-Dämmplatte ($\lambda = 0,030$)	16,6	766,0	466,2
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung) ($\lambda = 0,035$)	13,8	245,2	191,7
Calciumsilikatplatten ($\lambda = 0,045$)	10,1	355,1	228,1
Schaumglasplatte, Glasschaumplatte ($\lambda = 0,041$)	10,8	423,5	266,0
Perlitschüttung ($\lambda = 0,060$)	6,9	294,4	181,9
XPS ($\lambda = 0,038$)	10,0	850,5	475,5
Baumwolle (ökologisch) ($\lambda = 0,040$)	9,2	90,8	91,2
Hanfvlies ($\lambda = 0,040$)	8,6	465,9	276,0

³ 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>

⁴ Gewichtung in Anlehnung an: Huppés, G. and van Oers, L. (2011). Evaluation of Weighting Methods for Measuring the EU-27 Overall Environmental Impact. JRC Scientific and Technical Reports. Ispra. (p.12).

⁵ $I_{eco} = \frac{1}{2} \cdot (10 \cdot I_{env} + I_{prim})$

Fortführung von Tabelle 3

Glaswolle ($\lambda = 0,035$)	9,4	373,3	233,4
EPS 035 (Boden, Decke) ($\lambda = 0,035$)	8,5	632,4	358,7
Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung) ($\lambda = 0,035$)	7,9	143,7	111,2
EPS 040 ($\lambda = 0,040$)	5,2	384,2	218,1
EPS 032 (grau) ($\lambda = 0,032$)	5,3	381,8	217,6
Holzfaserdämmplatte (Trockenverfahren) ($\lambda = 0,043$)	3,2	255,1	143,6
Porenbeton-Schüttung ($\lambda = 0,045$)	1,6	19,0	17,5
Kork, expandiert (Platte) ($\lambda = 0,042$)	1,6	182,8	99,4
Zellulosefaser (lose) ($\lambda = 0,040$)	0,5	45,9	25,3
Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren) ($\lambda = 0,043$)	-8,0	736,3	328,3

Aufgrund der Unterschiede bei der Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe sind unterschiedliche Dämmstoffdicken – und damit unterschiedliche Volumina – erforderlich, um die gleiche Energieeffizienz bzw. Dämmwirkung zu erreichen. Folgende Abbildung zeigt die Umwelt- und Primärenergieindikatoren beispielhaft für einen U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Umwelt- und Primärenergieindikatoren für verschiedene Dämmstoffe
bei gleichem U-Wert $= 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

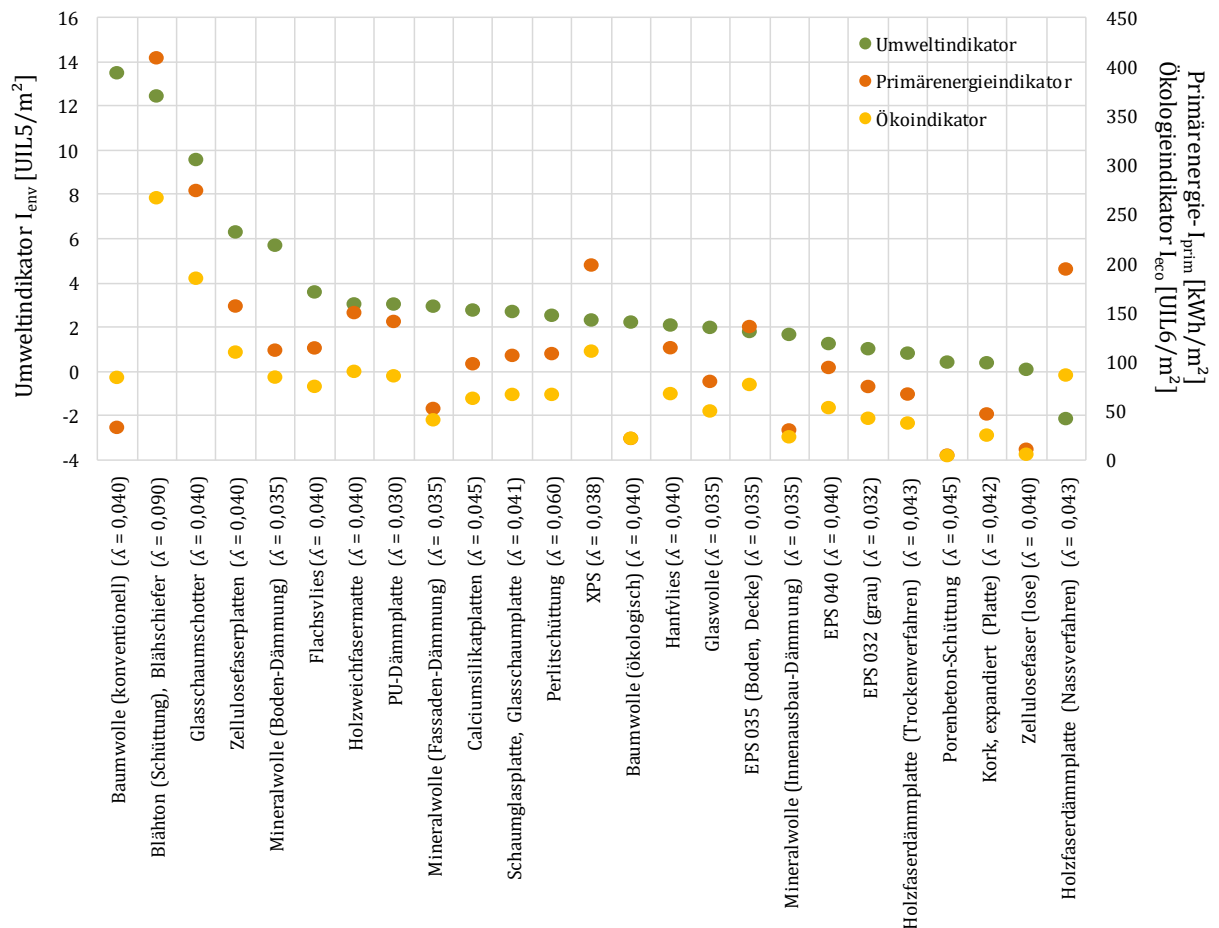


Abbildung 3: Umwelt-, Primärenergie- und Ökologieindikatoren für verschiedene Dämmstoffe bei $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

2.1.4 Energiepass und LENOZ

Neben der Integration dieser Aspekte in die Nachhaltigkeitsbewertung LENOZ, ist die Erweiterung der energetischen Bewertung von Gebäuden um die Umweltauswirkungen von Baumaterialien eine weitere Zielsetzung. Dafür wird im offiziellen Berechnungswerkzeug für den Luxemburger Energiepass (LuxEeB-Tool) die Materialdatenbank um Nachhaltigkeitsinformationen erweitert und eine zusätzliche Ausgabeseite geschaffen, die einen Überblick zu Umwelt- und Primärenergieauswirkungen der Konstruktionen eines Gebäudes gibt. Dies hat stets nur einen informativen und nicht verpflichtenden Charakter und soll als Hilfestellung bei der Wahl ökologischer Konstruktionen im Rahmen der Planung dienen.

Abbildung 4: Materialbewertung als Zusatzinformation im Energiepass und als Grundlage für die LenoZ-Zertifizierung für neue Gebäude und bei umfangreicher Modernisierung.

Lunaz^{eco} Baumaterialbewertung

Label zur Bewertung des direkten und indirekten Primärenergiebedarfs und der Umweltauswirkungen von Baumaterialien über den Lebenszyklus

Erstellt am 8.2.2012

Erstellt von Markus Lichmed (JA 125412)

Umweltauswirkungen – Materialbewertung I_{env}

Bewertet werden die Umweltauswirkungen der Baumaterialherstellung. Neben dem Energiebedarf werden auch Emissionen berücksichtigt, die einen schädlichen Einfluss auf die Umwelt (Boden, Wasser, Luft, Fauna, Flora und Landschaft) haben. Je niedriger der Kennwert ist, desto geringer ist die schädigende Wirkung.

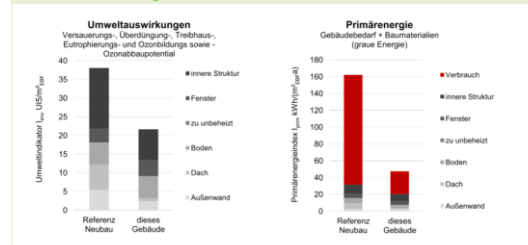
Bauteile	Referenz Neubau	dieses Gebäude	Verhältnis	Bewertung
Index Außenwand	5,4	2,4	44%	⊕
Index Dach	6,7	0,8	12%	⊕
Index Boden	6,0	5,9	99%	⊕
Index zu unbeheizt	0,0	0,0	0%	⊕
Index Fenster	3,7	4,3	114%	⊖
Index innere Struktur	16,2	8,3	51%	⊕
Gesamt-Index	38,0	21,6	57%	⊕

Primärenergieverbrauch – Heizen, Lüften, Warmwasser & Baumaterialien I_{prim}

Bewertet werden der Primärenergiebedarf (graue Energie) zur Herstellung der Baumaterialien und der Primärenergiebedarf für Heizen, Trinkwasserbereitung, Lüften und für Hilfsenergie über einen Zeitraum von 50 Jahren. Im Energieaufwand für die Erstellung werden die Energiemengen bilanziert, die für die Herstellung und Verarbeitung von Baustoffen aufgewendet werden müssen. Je geringer der Index ist, desto geringer ist auch der Primärenergieverbrauch für die Errichtung und den Betrieb des Gebäudes.

Bauteile / Bereich	Referenz Neubau	dieses Gebäude	Verhältnis	Bewertung
Index Außenwand	2,7	2,3	86%	⊕
Index Dach	6,7	1,2	18%	⊕
Index Boden	6,0	4,0	67%	⊕
Index zu unbeheizt	0,0	0,0	0%	⊕
Index Fenster	5,6	4,7	84%	⊕
Index innere Struktur	10,4	8,1	77%	⊕
Index Verbrauch	130,4	27,0	21%	⊕
Gesamt-Index	161,9	47,3	29%	⊕

Grafische Darstellung



2.1.5 Bewertung einer Konstruktion mit Referenzwerten

Hinsichtlich der quantitativen Bewertung von Konstruktionen und Bauteilen in LENOZ wird jede Konstruktion im Vergleich zu einem Referenzwert betrachtet. Für die unterschiedlichen Bauteiltypen Außenwand, Dach, Boden, Kellerdecke, Geschossdecke, Fenster sind mögliche Kombinationen von Aufbauten⁶ hinsichtlich des Umwelt-, Primärenergie- und Ökologieindicators bewertet worden. Für jede Bauteilgruppe wird mittels einer Normalverteilung der Mittelwert und die Bandbreite bestimmt, innerhalb der eine Konstruktion als "gut", "durchschnitt" und "schlecht" in einem Ampelsystem bewertet werden kann. Folgende Abbildung zeigt dies schematisch für den Umweltindikator.

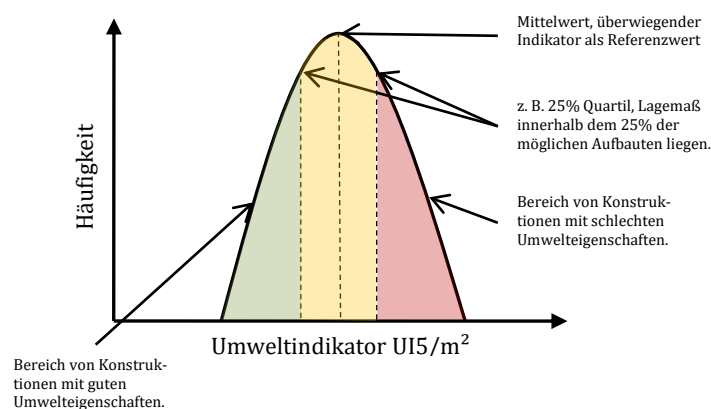


Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung der Bildung von Klassengrenzen zur Einschätzung von Umwelt-, Primärenergie- und Ökologieauswirkung.

⁶ Die möglichen Aufbauten wurden im Rahmen der LENOZ-Entwicklung von verschiedenen Projektbeteiligten definiert und u. a. mit dem OAI (Ordre des Architectes et des Ingénieurs-Conseils) abgestimmt.

Neben der Art des Dämmstoffes hängt die ökologische "Tauglichkeit" auch von der gewählten tragenden Konstruktion ab. Diese Bewertungssystematik kann im Rahmen der Modernisierung von Einzelbauteilen auch zur Einordnung von Dämmstoffen bzw. neu zu errichtenden Konstruktionen angewendet werden. In LENOZ sind für die verschiedenen Bauteilaufbauten (Neubau) und Baustoffe (Modernisierung) Referenzkennwerte angegeben. Die Festlegung der Klassengrenzen ist noch nicht endgültig abgeschlossen. Folgende Tabelle zeigt die Referenzwerte der Indikatoren gemäß dem vorläufigen Stand von LENOZ (Version 1.37).

Tabelle 4: Vorläufiger Ökologieindikator zur Bewertung bei nachträglicher Dämmung aus LENOZ (Version 1.37).

Dämmungsart - Dach	I_{env} (UI6/m³)		
Zellulosefaser (lose)	31,9	Calciumsilikatplatten	1163,4
Hanfvlies	276,0	Flachsvlies	306,1
Baumwolle (ökologisch)	105,5	Schaumglasplatte, Glasschaumplatte	265,8
Mineralwolle (Schrägdach-Dämmung)	132,5	Glaswolle	233,4
Expandierter Kork (Platten und Granulat)	133,5	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	402,9
EPS 040 (Wände, Dächer)	218,1	Holzweichfaserplatte	368,1
EPS 032 (grau)	217,6	Baumwolle (konventionell)	351,6
Calciumsilikatplatten	1163,4	EPS 035 (Wände, Dächer)	289,0
Flachsvlies	306,1	XPS	475,5
Schaumglasplatte, Glasschaumplatte	265,8	PU-Dämmplatte	466,5
Glaswolle	233,4	Zellulosefaserplatten	447,8
Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	402,9	Holzfaserdämmplatte (Trockenverfahren)	147,4
Holzweichfaserplatte	368,1		
Baumwolle (konventionell)	351,6	Dämmungsart - Kellerdecke	I_{env} (UI6/m³)
EPS 035 (Wände, Dächer)	289,0	Zellulosefaser (lose)	31,9
XPS	475,5	Hanfvlies	276,0
Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	508,8	Baumwolle (ökologisch)	105,5
PU-Dämmplatten	466,5	Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	191,7
Zellulosefaserplatten	447,8	Expandierter Kork (Platten und Granulat)	133,5
Holzfaserdämmplatte (Trockenverfahren)	147,4	EPS 040 (Wände, Dächer)	218,1
		EPS 032 (grau)	217,6
		Calciumsilikatplatten	1163,4
		Flachsvlies	306,1
		Schaumglasplatte, Glasschaumplatte	265,8
		Glaswolle	233,4
		Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	402,9
		Holzweichfaserplatte	368,1
		Baumwolle (konventionell)	351,6
		EPS 035 (Wände, Dächer)	289,0
		XPS	475,5
		PU-Dämmplatte	466,5
		Zellulosefaserplatten	447,8
Dämmungsart - Erdreichberührt	I_{env} (UI6/m³)	Fenster	I_{env} (UI6/m²)
Porenbeton-Schüttung	17,6	Dreifachverglasung mit Holzrahmen	219,2
Expandierter Kork (Platten und Granulat)	133,5	Dreifachverglasung mit Holzrahmen mit äußerer Aluminiumverkleidung	233,3
Mineralwolle (Boden-Dämmung)	393,6	Dreifachverglasung mit Metallrahmen (Alu)	265,7
Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	402,9	Dreifachverglasung mit PVC-Rahmen	241,4
XPS	475,5		
EPS 035 (Boden-, Perimeterdämmung)	358,7		
PU-Dämmplatten	466,5		
Dämmungsart - Wände	I_{env} (UI6/m³)		
Zellulosefaser (lose)	31,9		
Hanfvlies	276,0		
Baumwolle (ökologisch)	105,5		
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	191,7		
Expandierter Kork (Platten und Granulat)	133,5		
EPS 040 (Wände, Dächer)	218,1		
EPS 032 (grau)	217,6		

2.2 Bauphysik und Schadensrisiko

Feuchteschutz

Das bauphysikalische Schadensrisiko bezieht sich im Wesentlichen auf Schädigungen die zum Beispiel bei einer nachträglichen Modernisierung oder bei energieeffizienten Neubauten auftreten können. So hält sich die landläufige Meinung hartnäckig, dass durch eine Verbesserung des Wärmeschutzes die Gefahr von Schimmelpilzbildung in Gebäuden zunimmt. Statistisch gesehen treten Feuchteschäden überwiegend in ungedämmten Gebäuden auf (4).

Zieht man von einem ungedämmten und undichten Altbau in ein umfangreich modernisiertes oder in einen energieeffizienten Neubau, muss das Nutzerverhalten angepasst werden. Ungedämmte Gebäude weisen meist größere Undichtigkeiten auf, wodurch eine natürliche Lüftung des Gebäudes erfolgt. Diese Undichtigkeiten führen zu ungewollten Lüftungsverlusten und demnach zu höheren Heizkosten. Zudem können je nach Lage der Undichtigkeit Bauschäden die Folge sein, wenn sich warme und feuchtebelastete Luft beim Entweichen durch eine Konstruktion abkühlt und Tauwasser ausscheidet. Nach der Modernisierung fehlt diese unkontrollierte Lüftung über die Gebäudeundichtigkeiten und die Bewohner müssen selbst für Frischluft und den Feuchteabtransport sorgen – entweder über Fensterlüftung oder über eine mechanische Lüftungsanlage. Erfolgt dies nicht im erforderlichen Umfang, werden die Entstehung von feuchtebedingten Bauschäden begünstigt.

Neben einer unsachgemäßen Nutzung besteht die Gefahr von Bauschäden jedoch insbesondere bei unsachgemäß geplanter und ausgeführter Innendämmung. Im Planungsalltag kann eine oft unzureichende Kenntnis der physikalischen Vorgänge beim gekoppelten Wärme- und Feuchtertransport festgestellt werden. Hier spielen bauliche und konstruktive Fehler eine entscheidende Rolle. Die wesentlichen Fehlerquellen sind nachstehend aufgeführt.

- Nicht fachgerechtes anbringen der Dampfsperre (z. B. Lattung mit durchdringen der Dampfsperre, Auflage der Dampfsperre am Mauerwerk, Einbinden durchdringender Bauelemente wie z. B. Balken, ...);
- Nicht fachgerechte Vorbereitung des Untergrunds vor Anbringung der Dämmung (z. B. Luftspalte/-raum zwischen Mauerwerk und Dämmung (Konvektion), nicht satt im Putz eingebrachte Dämmung, nicht ausreichend vorbereiteter Untergrund z. B. nicht entfernte Tapeten, Verwendung falscher Materialien, wie z. B. Gipsputz zwischen Dämmung und Bestandsmauerwerk, ...);
- Nicht fachgerechtes Einbinden einkragender Bauteile (z. B. Geschossdecken, Wände, Laibungen nicht gedämmt, ...);
- Fehlerhafter Schichtenaufbau (z. B. Lage der Dampfsperre, Dimensionierung der Dampfsperre, ungeeignete Materialien und Kombinationen, ...);
- Kalte Installationsleitungen in der Dämmebene;
- Nicht ausreichender Schlagregenschutz der Außenwand.

Brandschutz

Der Brandschutz ist ein immer wieder kontrovers diskutierter Aspekt, auch bei der nachträglichen Isolierung von Gebäuden. In Deutschland sind die Grundlage der brandschutztechnischen Bewertung von Baustoffen die Prüfverfahren der DIN 4102. Das Europäische Pendant dazu ist die DIN EN 13501. Dort werden Baustoffe nach ihrem Brandverhalten klassifiziert. Es werden

sieben europäische Baustoffklassen (Euroklassen) unterschieden: A1, A2, B, C, D, E und F. Zusätzliche Unterteilungen bewerten Brandnebenerscheinungen wie Rauchentwicklung oder brennendes Abtropfen von Baustoffen.

- Euroklassen A1, A2 = nicht brennbare Baustoffe
- Euroklassen B, C = schwer entflammbare Baustoffe
- Euroklassen D, E = normal entflammbare Baustoffe
- Euroklasse F = leicht entflammbare Baustoffe

Das Brandverhalten von Wärmedämmstoffen wird durch die Art und die Dicke des Dämmstoffes, den Anteil der organischen Bestandteile in der äußeren Putzschicht, der Dicke der Armiierungsschicht und von der konstruktiven Ausbildung an Öffnungen, Einbauteilen und Anschlüssen beeinflusst (5).

Für Gebäude mit niedriger Höhe (0 m bis 7 m) können in Deutschland Baustoffe der Euroklasse D und E (Klasse nach DIN 4102: B2) eingesetzt werden, für Gebäude zwischen 7 m und 22 m ist die Baustoffklasse B oder C (Klasse nach DIN 4102: B1) erforderlich. Für Hochhäuser (22 m bis 100 m) ist die Klassen A1 oder A2 (Klasse nach DIN 4102: A1 oder A2) erforderlich (5).

In Luxemburg sind in der Regel die Vorschriften der *"Inspection du Travail et des Mines"* zu berücksichtigen – jedoch nicht für alle Gebäudetypen. Für Fassaden ist das Brandverhalten wie folgt beschrieben:

- ITM Vorschrift 1501.3 für *"Bâtiment bas"* (Gebäude bis 2 Geschosse oder 0 m bis 7 m) mindestens Euroklasse D s2d2;
- ITM Vorschrift 1502.3 für *"Bâtiment moyen"* (Gebäude bis 3 Geschosse oder bis 22 m) mindestens Euroklasse B s2d1;
- ITM Vorschrift 1503.3 für *"Bâtiment élevé"* (Gebäude über 22 m) Euroklasse A2 s2d0.

Bei der Einordnung in Brandschutzklassen werden nicht die Einzelkomponenten sondern Systeme unterschieden. So haben beispielsweise EPS und Hanf für sich betrachtet die Brandverhaltensklasse D bzw. E. In einem Verbundsystem erreichen sie bessere Klassifizierungen, da die Putzschicht die maßgebliche Ebene für das Brandverhalten darstellt. Folgende Tabelle zeigt wichtige Dämmstoffe im WDVS und die entsprechende Einordnung nach dem Brandverhalten.

Tabelle 5: Einordnung der verschiedenen Kombinationen von WDVS nach ihrem Brandverhalten (aus (6)).

System mit Dämmstoff	Baustoffklasse nach DIN 4102	Euroklasse nach EN 13501	Brandverhalten des WDVS
WDVS mit Mineralwolle	A1	A1	nicht brennbar
WDVS mit Mineralschaum	A1	A1	nicht brennbar
WDVS mit expandiertem Polystyrol ⁷	B1	E	schwer entflammbar
WDVS mit Polyurethan	B2	E	schwer entflammbar
WDVS mit Phenolhartschaum	B2	B-s1, d0	schwer entflammbar
WDVS mit Holzweichfaser	B2	E	normal entflammbar
WDVS mit Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen	B2	E	normal entflammbar

Wärmedämmverbundsysteme auf Basis von Mineralwolle erfüllen in der Regel die Anforderungen an nicht brennbare Baustoffe (A1 und A2). Systeme auf Basis von EPS-Hartschaum erfüllen die Anforderungen an schwer entflammbare Baustoffe bei Dämmplatten < 100 mm generell und bei Dämmplatten > 100 mm bis 300 mm mit zusätzlichen Maßnahmen.

⁷ Bei Dämmstoffdicken > 100 mm: schwer entflammbar nur mit Brandschutzmaßnahmen.

Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Ausführung von Fenster- und Türstürzen zu legen, um den Brandüberschlag in darüber liegende Geschosse zu verhindern. Hier ist in der Regel ein mindestens 200 mm hohes und nicht brennbares WDVS einzusetzen. Alternativ können auch umlaufende Brandriegel vorgesehen werden. Zudem gibt es Sonderlösungen, deren Wirksamkeit im Einzelfall nachzuweisen ist, was ist der Regel mit Produkt- und Systemzulassungen durch unabhängige Institute erfolgt. Nach (7) gehen gravierende Folgen bei Bränden im Zusammenhang mit WDVS oft mit Sonderfaktoren wie Fehlplanungen, hohe Brandlasten, unsachgemäßer Einbau, fehlerhaft oder nicht ausgeführter Brandschutz (Sturz, Brandriegel, ...) einher.

Derzeit liegen keine gesicherten Informationen vor, die ein generelles Verbot von WDVS mit Polystyrolämmplatten auf Basis einer erhöhten Brandgefährdung rechtfertigen. Es sei jedoch nachdrücklich darauf hingewiesen, dass hier verstärkt auf die fachgerechte Ausbildung des baulichen Brandschutzes und in der Konstruktionsphase auf den Brandschutz beim Baustellenprozess geachtet werden muss (vgl. (8)). Dies könnte im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeitsförderung ein Kriterium darstellen.

2.3 Recyclingfähigkeit

Die Frage der Entsorgung und des Recyclings von Dämmstoffen wird in der Forschung erst seit relativ kurzer Zeit wissenschaftlich fundiert untersucht. Einen guten Überblick zum Thema Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) gibt eine Studie des Fraunhofer Instituts für Bauphysik aus dem Jahr 2014 (9). Die Studie kommt u. a. zu den folgenden Einschätzungen:

- Der Anteil des EPS (Polystyrol) aus dem Bereich Wärmedämmverbundsystem (WDVS) am Abfallaufkommen der „übrigen Bau- und Abfallprodukte“ in Deutschland liegt derzeit mit 0,2% noch sehr niedrig. Für die kommenden Jahre ist jedoch mit einem Anstieg der Mengen zu rechnen.
- Hinsichtlich der Entsorgung von WDVS stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung. Von der werkstofflichen oder rohstofflichen Wiederverwertung über die thermische oder energetische Verwertung bis zur Deponierung. Die thermische Verwertung stellt in Deutschland das derzeit überwiegende Verwertungsverfahren dar. Mit diesem Verfahren wird ein sicheres ausschleusen von HBCD gewährleistet und in kommunalen Müllverbrennungsanlagen eine energetische Verwertung. Aufgrund der großen Anzahl von Müllverbrennungsanlagen in Deutschland ist dies mit relativ geringem Transportaufwand bewerkstelligbar. Auch die künftig zu erwartenden steigenden Abfallmengen könnten darüber bewältigt werden. Mit steigenden Rohölpreisen gewinnt die thermische Verwertung an Bedeutung, wofür jedoch eine möglichst reine Qualität des EPS-Abfalls vorausgesetzt wird. Hierzu sind verbesserte Entschichtungsverfahren nötig, mit denen bereits die Trennung auf der Baustelle erfolgen kann⁸.
- Es zeigt sich aber, dass neue Technologien zur Wiederverwertung und zum Recycling der Rohmaterialien bereits existieren, jedoch noch nicht kommerziell einsetzbar sind.

⁸ *„Die mechanische Entschichtung mittels Anbauaggregaten an übliche Hydraulikbagger in Kombination mit einer leistungsfähigen Staubabsaugung stellt hierfür eine Option dar. Für die Anbauaggregate bedarf es noch einer technischen Optimierung und Weiterentwicklung.“* zitiert aus (6).

- *"Das Abfallregime in Deutschland favorisiert die Abfallvermeidung. Bei WDVS bedeutet dies, bestehende Systeme, wo dies technisch möglich und ökonomisch und ökologisch sinnvoll erscheint, aufzudoppeln."* zitiert aus (9).

Bezogen auf die Luxemburger Situation ist das mögliche zukünftige Entsorgungskonzept unklar. Darüber hinaus eignen sich die verschiedenen Baumaterialien auch unterschiedlich gut für eine jeweilige Entsorgungsart. Der zukünftig zu favorisierende Technologiemix zur Entsorgung nach Ablauf des Materiallebenszyklus ist nicht bekannt, weshalb es aus heutiger Sicht nicht gerechtfertigt erscheint sich auf eine Technologie, zum Beispiel die thermische Verwertung, festzulegen, will man Entsorgungskennzahlen bzw. -kriterien für einzelne Baumaterialien festlegen. Deshalb wird von der Verwendung von berechneten Kennwerten aus EPD's abgeraten.

Die für Luxemburg bestmögliche Recyclingstrategie hängt, neben dem Bausektor, von vielen anderen Bereichen ab. Diesbezüglich muss eine globale Strategie – auch in Abstimmung mit den Potentialen umliegender Nachbarländer – erfolgen. In diese Strategie ist der Bausektor natürlich bestmöglich einzubeziehen. Es obliegt jedoch nicht einer Nachhaltigkeitsbewertung von Baustoffen hier eine Technologie zu favorisieren.

Unabhängig von dem Verfahren welches zukünftig angewendet wird, ist die bestmögliche Trennbarkeit der Baustoffe immer erforderlich, um die Stoffströme sauber und baustoffspezifisch beim Rückbau zu trennen. Dieses Kriterium fließt bei der Bewertung der Demontagefähigkeit ein und dient hier stellvertretend auch zur Bewertung des Recyclingpotentials.

2.4 Demontierbarkeit

Die Demontierbarkeit von Konstruktionen in einzelne Materialien und Baustoffe ist ein wesentlicher Schlüsselfaktor zur Ermöglichung eines zukünftigen Recyclings oder für die direkte Wiederverwertung von Baustoffen. Die Vorfertigung von Gebäuden und Konstruktionen hat im Vergleich zur Vor-Ort-Montage oft deutliche Vorteile hinsichtlich der Demontierbarkeit(10). Verklebte oder über Adhäsionskräfte verbundene Materialien lassen sich tendenziell schlechter voneinander trennen als kraft- oder formschlüssige Verbindungen. Bei den meisten Dach- und Bodenaufbauten ist die Demontage in der Regel relativ problemlos möglich. Hier ist die Kenntnis der verbauten Materialien von großer Bedeutung, damit nach dem Lebenszyklus des Gebäudes bekannt ist, wo welche Materialien vorkommen und wie sie dann wiederzuverwerten sind. Dies wird mit der LENOZ-Bewertung bereits berücksichtigt.

Bei Fassaden ist die statische Belastung größer, weshalb der Befestigung größere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Die Befestigung beim Wärmedämmverbundsystem erfolgt in der Regel so, dass die Dämmplatten angeklebt oder angeklebt und gedübelt werden. Daneben existieren Verfahren mit formschlüssiger Verbindung der Dämmung am Mauerwerk, sofern hier ein geeignetes System aus Stein und Dämmung (z. B. Fixolite Bloc HI) angewandt wird. Diese erweisen sich beim Rückbau als günstiger hinsichtlich der Trennbarkeit von Dämmstoff und Mauerwerk.

Bei der nachträglichen Dämmung eines bestehenden Mauerwerks als WDVS ist in der Regel nur ein Verkleben und Dübeln im WDVS möglich. Das betrifft gleichermaßen mineralische, synthetische und nachwachsende Dämmstoffe. Alternative Konstruktionen, wie z. B. ein Vorbau mit TJI-Trägern und Holzfaserdämmplatte als Putzträger ist hinsichtlich der Demontierbarkeit vorteilhaft. Folgendes Schema zeigt übliche Systeme von Fassaden in Massivbauweise.

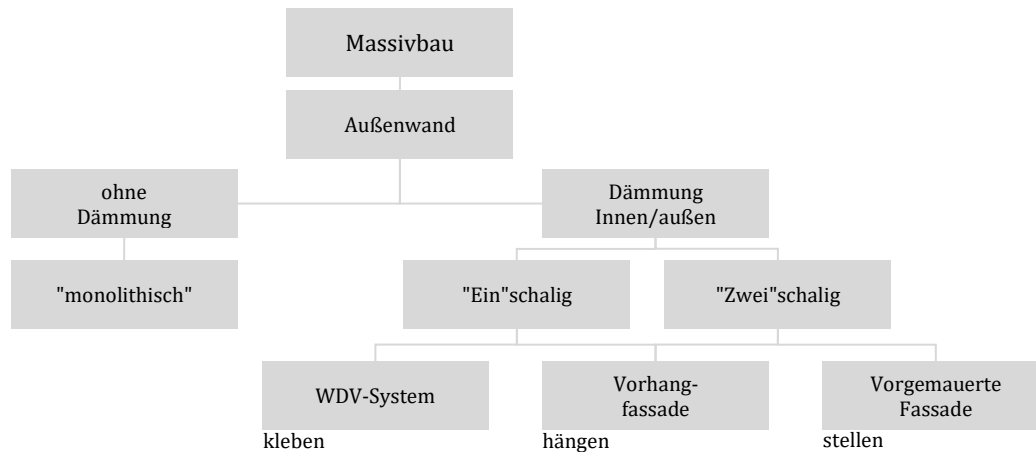


Abbildung 6: Systemübersicht Fassaden im Massivbau nach (10).

Gerade bei Fassaden mit WDVS führt die Verwendung von Putzen in der Regel immer dazu, dass die Putz- bzw. die Armierungsschicht und der darunterliegende Dämmstoff nicht einfach voneinander getrennt werden können. Hier sind Konstruktionen, die den Wetter- und Regenschutz zum Beispiel als Vorsatzschale ausbilden, im Vorteil.

Bei effizienten Fenstern wird neben einer beschichteten Dreifach-Wärmeschutzverglasung der Wärmeschutz auch über hochgedämmte Fensterrahmen sichergestellt. Dazu werden die Fensterrahmen zusätzlich mit Dämmstoff ausgestattet. Bei Kunststofffenstern wird Dämmstoff in die Kammern eingebracht, der kann zum Beispiel geschäumt oder gestopft sein. Bei der gestopften Variante kann Dämmstoff und Fensterrahmen voneinander getrennt werden. Bei Holzfenstern kann z. B. ein Dämmkern aus PU im Holzaufbau eingebracht sein oder der Rahmen wird in zwei Komponenten ausgeführt. Die innere Ebene aus Vollholz, die äußere aus eine Kombination von Dämmstoff und Kunststoff- oder Aluschale.

2.5 Schadstoffe und Baubiologie

Flammschutzmittel

Aktuelle Diskussionen fokussieren sich auf das Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD), welches in auf Kunststoff basierten Dämmstoffen und in Textilien eingesetzt wird und nachweislich ein hohes schädigendes Potential aufweist (11). HBCD war das am weitesten verbreitete Flammschutzmittel für EPS (0,7 M%) und XPS (3 M%) (9). Aufgrund der Risikobewertung bzw. der PBT-Eigenschaft wurde der Stoff in der Verordnung EU/Nr. 143/2011: Anhang XIV der REACH-Verordnung vom 17. Februar 2011 aufgenommen (12). Damit geht ein Betriebsverbot mit einem Ablaufdatum⁹ für die Verwendung vom 21. August 2015 einher. Gemäß einer Studie vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik haben viele EPS-Schaumstoffhersteller bereits Ende 2014 auf Materialien mit neuem Flammschutzmittel Polymer-FR umgestellt (9).

Neben den Flammschutzmitteln finden sich weitere schädigende Bestandteile in Baumaterialien. Hierzu zählt Styrol, welcher als Basis für die Kunststoffverarbeitung dient und somit in Polystyrol und PU-Schäumen Anwendung findet. Styrol hat viele schädigende Eigenschaften; dementsprechend wurden maximale Arbeitsplatzkonzentrationen definiert. Hier gilt es insbesondere bei der Verwendung von Innendämmungen auf eine möglichst niedrige Konzentration von Styrol zu achten.

⁹ Zeitpunkt nach Artikel 58 Absatz 1 Buchstabe c Ziffer i der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006.

Biozide

Zum Schutz vor Algen und Pilzbildung auf Gebäudefassaden werden in Putzen und Fassadenfarben zunehmend Biozide eingesetzt. Dazu gesellen sich Reinigungslösungen die ebenfalls Biozide enthalten um Fassaden nach einer Reinigung besser vor Befall zu schützen (13). Biozide können toxisch nur gegen Algen und Pilze wirken, wenn sie an der Oberfläche verfügbar sind. Damit geht auch einher, dass sie über Regen ausgewaschen werden und dadurch unmittelbar die Umwelt eingetragen werden (13). Die Minimierung oder die Vermeidung von Bioziden kann im Neubau oder bei der Modernisierung planerisch unterstützt werden. Einflussfaktoren sind zum Beispiel der Dachüberstand, die Tropfkantenausbildung, die Wärmespeicherfähigkeit der Oberflächen, die Abstimmung des Farbanstriches auf das Putzsystem und das Abtrocknungsverhalten von Materialien. Wenn möglich sollte auf Materialien ohne zusätzliche biozide Ausstattung zurückgegriffen werden. Das sind zum Beispiel mineralische oder kunstharzgebundene Farben und Putze, Wärmedämmverbundsysteme mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 140) oder vergleichbare Systeme (13). Wenn Biozide bei Beschichtungen zum Einsatz kommen, so sollten diese möglichst in Polymerkugeln verkapselt sein (14), dies betrifft die Baustoffe Holz, Klinker, Sichtbeton oder Faserzementplatten (13). Herstellerangaben sind jedoch nicht einheitlich verfügbar.

Klimatoxische Gase

Hinsichtlich des Klimaschutzes werden bereits die wesentlichen Einflüsse als Summenwert im Umweltindikator I_{env} abgebildet. Zum aufschäumen von XPS-, PUR- und PU-Dämmelementen werden Treibmittel eingesetzt. Als Ersatzsubstanzen für FCKW und HFCKW werden unter anderem auch HFKW (teilfluorierter Kohlenwasserstoff) verwendet. Während FCKW und HFCKW – aufgrund des Chlors – einen großen Einfluss auf die Ozonschicht haben, wurde mehrfach der Ersatzstoff HFKW eingesetzt. HFKW haben jedoch einen großen Einfluss auf den Treibhauseffekt und sind im Vergleich zu CO_2 etwa um den Faktor 3 klimatoxischer (13). XPS- und PUR-Dämmplatten können mit weitaus weniger klimatoxischen Gasen als HFKW aufgeschäumt werden (15).

Toxische Stoffe

Bei der Anbringung von Dämmstoffen im Innern von Gebäuden können die in den Dämmstoffen enthaltenen Stoffe an die Raumluft abgegeben werden. Einige Inhaltsstoffe können krebserregend, erbgutverändernd und/oder fortpflanzungsgefährdend sein. Mit der DIN EN ISO 16000-9, 2006-06 existiert eine Prüfgrundlage mit der die Innenraumluftverunreinigung durch die Bestimmung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen bestimmt werden kann. In Deutschland wird diese Methodik auch vom Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) bzw. vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zu Grunde gelegt.

Die Französische VOC-Verordnung (16) hat diesbezüglich seit Anfang 2012 ein VOC-Label eingeführt, das als zusätzliche Kennzeichnung zum CE-Zeichen seit dem 01. September 2013 anzubringen ist. Die Grenzwerte der Emissionsklassen beziehen sich auf Gesamt-VOC-Emissionen sowie auf die Bewertung für 10 einzelne Stoffe (in $\mu g/m^3$); folgende Tabelle zeigt die Klassifizierung. Darüber hinaus besteht seit 2010 eine CRM-Verordnung, die besagt, dass nur Bauprodukte verkauft werden dürfen, die nach 28 Tage eine Emission von weniger als $1 \mu g/m^3$ Trichlorethylen, Benzol, DEHP und DBP aufweisen.

Tabelle 6: Grenzwerte und Klassifizierung der VOC-Emissionen (aus (17)).

Stoffe/Emissionsklasse	Einheit	A+	A	B	C
Formaldehyd	µg/m ³	<10	<60	<120	>120
Acetaldehyd	µg/m ³	<200	<300	<400	>400
Toluol	µg/m ³	<300	<450	<600	>600
Tetrachlorethen	µg/m ³	<250	<350	<500	>500
Xylol	µg/m ³	<200	<300	<400	>400
1,2,4-Trimethylbenzol	µg/m ³	<1 000	<1 500	<2 000	>2 000
1,4-Dichlorbenzol	µg/m ³	<60	<90	<120	>120
Ethylbenzol	µg/m ³	<750	<1 000	<1 500	>1 500
2-Butoxyethanol	µg/m ³	<1 000	<1 500	<2 000	>2 000
Styrol	µg/m ³	<250	<350	<500	>500
TVOC	µg/m³	<1 000	<1 500	<2 000	>2 000

Da in der Regel alle Baumaterialien über ein solches Prüfsertifikat verfügen, kann hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbewertung diese Klassifizierung für Baustoffe zur Innendämmung herangezogen werden.

3 Ableiten von Kriterien zur Förderung

In (18) wurde 2011 eine Möglichkeit zur Ausgestaltung eines angepassten Fördersystems skizziert. Bezogen auf die Altbauförderung liegt die Grundlage in der Trennung der Aspekte Energie, Nachhaltigkeit und Soziales; folgendes Schema zeigt die Methodik.

Energetische Förderung	Nachhaltige Förderung	Soziale Förderung
<p>Bauteilbezogene Förderung, in Anlehnung an das derzeit vorhandene Förderkonzept.</p> <p>Die Einzelförderung ermöglicht eine leichte Nachvollziehbarkeit und Prognostizierbarkeit von möglichen Maßnahmen.</p> <p>Diese Art Basisförderung wird immer gewährt, und kann bei Erreichung vorgegebener Gesamtziele über einen Bonus erhöht werden.</p> <p>Gesamtziele können sein: Modernisierung D · 1,1 Modernisierung C · 1,2 Modernisierung B · 1,2 Modernisierung A · 1,4</p>	<p>Grundlage ist die LENOZ-Bewertung <u>oder</u> Einzelkriterien für Baustoffe/Konstruktionen.</p> <p><u>LENOZ-Bewertung</u> Einige Bewertungskriterien, können zu einer sozial ungerechten Vergabe von Subventionen führen (Bereiche zum Standort) und müssen ausgeklammert werden. Es handelt sich in der Regel um nicht durch den Bauherrn beeinflussbare Randbedingungen. Der Zuschlag für die Förderung wird in Abhängigkeit der erreichten Punktezahl berechnet.</p> <p>Im Falle einer umfangreichen Modernisierung in Kombination mit LENOZ kann bei Erreichen eines Gesamtziels eine Bonusförderung gewährt werden.</p> <p><u>Einzelkriterien</u> Material und Konstruktionsliste</p>	<p>Hierunter fallen die derzeit bestehenden Förderungen (Sozialbonus, Hauskauf, Einkommen, etc.).</p> <p>Im Konzept der Förderung besteht die Möglichkeit diese unabhängig von der energetischen Grundförderung zu erhalten, um soziale Härtefälle im Neubau zu vermeiden.</p> <p>Es sollte darauf geachtet werden, dass ein finanzieller Anreiz geschaffen wird, das Gesamtpaket (ganzheitliche Modernisierung) in Anspruch zu nehmen um:</p> <p>a) einer Altersenergiearmut durch stark steigenden Energiepreisen entgegenzuwirken</p> <p>b) einen hohen Anteil von energiesparenden Gebäuden zu erreichen.</p>
Kriterium Mindestanforderung	Kriterium Nachhaltigkeit	Kriterium Finanzielle Situation
<p>Grundförderung X €/m² Bonusförderung %</p>	<p>Grundförderung X €/m² Bonusförderung %</p>	<p>Förderung oder X €/m² %</p>

Abbildung 7: Mögliches Förderkonzept aus (18).

Aktuelle Diskussion

In der aktuellen Diskussion sollen energetische und Nachhaltigkeitsaspekte zusammengefasst werden, damit zukünftig nur noch nachhaltige und energetisch sinnvolle Konstruktionen gefördert werden. Die Nutzung von z. B. nachwachsenden Dämmstoffen führt mit den am Markt verfügbaren Systemen zu deutlichen Mehrkosten im Vergleich zu konventionellen Systemen. Dies kann generell für nachhaltige geplante und ausgeführte Konstruktionen unterstellt werden. Die Kombination von energetischen und Nachhaltigkeitsaspekten bei der Förderung der energetischen Modernisierung führt zu höheren Kosten. Damit es nicht zu einem Sanierungsstau und damit ggf. nicht zur Erreichung der politischen Zielsetzung führt, sollten die entstehenden Mehrkosten im Rahmen der Förderung zumindest zum Teil kompensiert werden. Die ohnehin hohe Hemmschwelle bei der energetischen Modernisierung sollte nicht vergrößert werden. Diesbezüglich wurden bereits im Rahmen der Arbeitsgruppe erste Mehrkostenschätzungen für nachhaltiges Bauen, auf Basis von konkreten Ausschreibungen, bestimmt. Die Mehrkosten liegen etwa zwischen 10 und 20 €/m²¹⁰ Fassadendämmung. Bei Grundkosten von etwa 80 bis 120 €/m² liegen die prozentualen Mehrinvestitionen zwischen 10 % und 25 %.

3.1 Konzept der Bauteilförderung

Die Ausarbeitung eines Kriterienkataloges für den Einsatz nachhaltiger Konstruktionen bei der Modernisierung von Gebäuden muss zwei Zielsetzungen verfolgen. Zum einen sind bestmöglich alle Einflussfaktoren die einen Einfluss auf die Nachhaltigkeit haben einzubeziehen und zum anderen muss das System für den Bürger verständlich bleiben, damit die energiepolitischen Ziele – die Erhöhung der energetischen Modernisierungsrate – erfüllt werden können. Für den Bürger, also den Inanspruchnehmer der Fördergelder, muss das System einfach und klar verständlich sein, sodass auch die Baumarktmodernisierung weiterhin möglich ist. Unter Betrachtung der Einbeziehung der Nachhaltigkeitsaspekte stellt dies einen Zielkonflikt dar und es gilt zu vermeiden, dass das Bewertungssystem zu komplex wird. Die oberste Priorität liegt, aus Gründen der Akzeptanz, in der einfachen Handhabung. Zur Ausgestaltung und Konkretisierung von Nachhaltigkeitskriterien sind folgende Optionen denkbar. Dabei handelt es sich um erste Konzeptskizzen die im Rahmen der Arbeitsgruppe konkretisiert und ergänzt werden sollen.

Bereitstellen einer öffentlichen Datenbank

Bereitstellung einer umfangreichen Datenbank mit Konstruktionen und Materialdaten auf einer Internetplattform mit einfachem und bereits vorsortierten Inhalten und Systemen für die eine Förderung in Frage kommt. Ähnlich wie das Konzept von *baubook.at* – jedoch deutlich verschlankt, da die allgemeinen Nachhaltigkeitsaspekte bereits mit LENOZ bewertet werden. Die Informationen müssen auf die Altbaumodernisierung und den Luxemburger Markt (Materialien, Hersteller, LENOZ) abgestimmt sein.

¹⁰ Präsentation von Stephan Hain (Ökozentler Luxemburg) im Rahmen der Arbeitsgruppe. Die prozentualen Mehrkosten beziehen sich auf die Vollkosten.

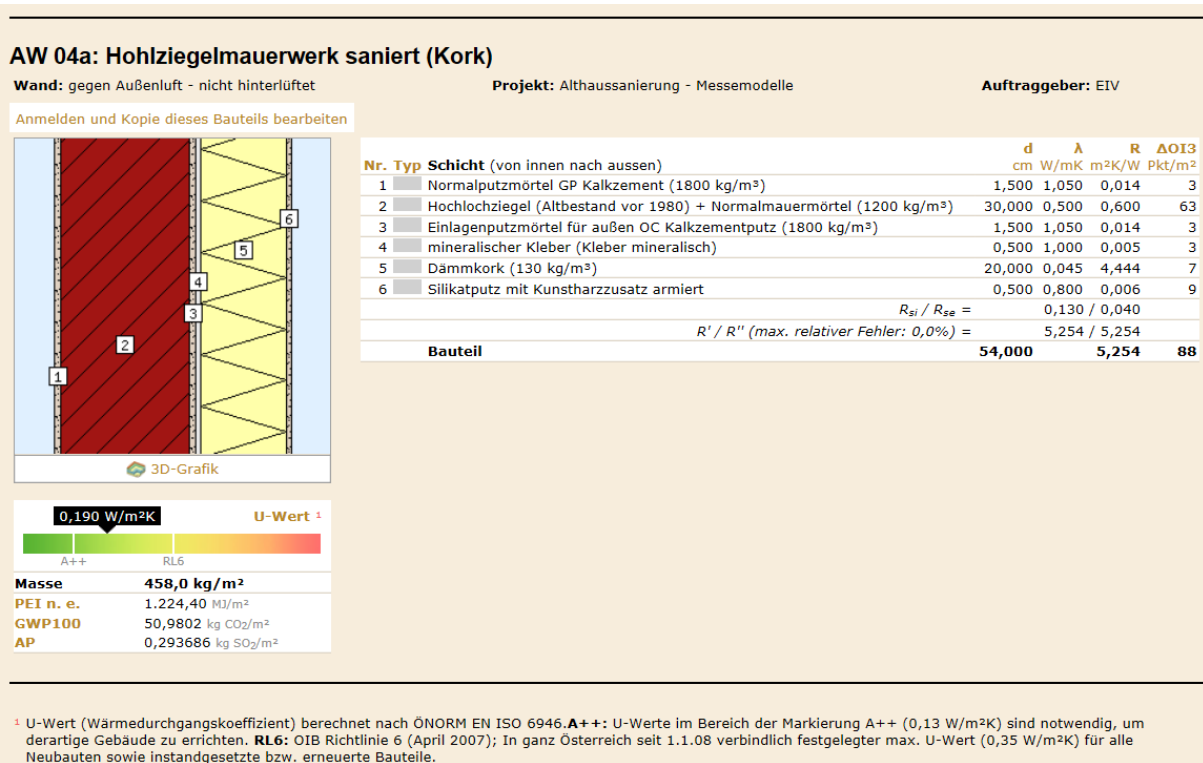


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung einer Konstruktion aus der baubook.at – Datenbank.

Bereitstellen von Tabellen

Entwicklung einer Liste mit Materialien und Konstruktionen für die eine Förderung gewährt wird. Dort sind die gängigsten Aufbauten, Baustoffe, Konstruktionsarten und spezifischen Randbedingungen aufzulisten. Diese können in tabellarischer Form veröffentlicht werden. Folgende Tabelle dient als Beispiel für die Berücksichtigung der Einzelkriterien beim jeweiligen Bauteiltyp. Des Weiteren sind Tabellen für Baustoffe erforderlich (siehe späteres Kapitel).

Tabelle 7: Einzubeziehende Kriterien in Abhängigkeit der Konstruktionsart.

Konstruktionen	Kriterium						Demontierbarkeit
	HFKW	HBCD	Biozid	I _{prim}	I _{env}	Bau-physik	
Wärmedämmverbundsystem	•	•	•	•	•		•
Vorhangfassade	•	•	•	•	•		•
Dämmfassade mit Vorbau (z. B. TJI)	•	•	•	•	•		•
Innendämmung diffusionsoffen	•	•		•	•	•	•
Innendämmung diffusionsgeschlossen	•	•		•	•	•	•
Zwischensparrendämmung	•	•		•	•		•
Aufdachdämmung	•	•		•	•		•
Geschossdämmung	•	•		•	•		•
Erdreichberührte Bauteile	•	•		•	•		•
Kellerdecke	•	•		•	•		•

Anmerkungen

Zur Umsetzung beider Ansätze ist zunächst eine umfangreiche Vorarbeit innerhalb der Arbeitsgruppe erforderlich. Die für die Nachhaltigkeitsaspekte infrage kommenden Kriterien sind zu definieren und auszuarbeiten.

3.2 Nachhaltigkeits-Kriterien-Set für die energetische Modernisierung

Beim Neubau kann auf die Kriterien aus dem LENOZ zurückgegriffen werden. Dort werden die wesentlichen Nachhaltigkeitsaspekte behandelt. Hinsichtlich der Vermeidung von klimaschädlichen und umweltschädlichen Substanzen können Zusatzanforderungen gestellt werden, oder diese in LENOZ integriert werden. Bei der energetischen Modernisierung steht oft die einzelne Maßnahme im Fokus. Soll auch diese an Nachhaltigkeitskriterien gebunden werden, so muss ein Kriterien-Set zur Bewertung von Dämmstoff, Konstruktion bei der energetischen Modernisierung von Gebäuden erarbeitet werden. Zur Wahrung des Gesundheitsschutzes sind bestimmte Stoffe auszuschließen, die einen großen Einfluss haben. Die Kriterien sollen für verschiedene Dämmstoff- sowie Konstruktionsgruppen und -arten ausgearbeitet werden.

Tabelle 8: Systematik zur Bestimmung eines Kriterien-Sets für nachhaltige Baumaterialien.

Systematik zur Bestimmung eines Kriterien-Sets	
Gesundheitsschutz	Ausschluss durch Verbot von Inhaltsstoffen
	Kriterien für Biozidverwendung
Umweltauswirkungen	Kriterien über Kennzahl I_{env}
Primärenergie	Kriterien über Kennzahl I_{prim}
Demontierbarkeit	Kriterien zur Befestigungen je nach Konstruktionsart
Bauphysik und Brandschutz	Kriterien für schadensfreie Konstruktionen

3.2.1 Klimaschädliche Substanzen

Ausschlusskriterium: HFKW-Freiheit bei XPS-Dämplatten, PU-Montageschaum, PUR- und PIR-Dämmstoffe.

3.2.2 Umweltschädliche und toxische Substanzen

Ausschluss: HBCD-Freiheit bei allen Dämmstoffen als Flammschutzmittel.

Ausschluss: Emissionsprüfungen (VOC nach AgBB DIN EN ISO 16000-9) für Innendämmungen bzw. Bauteile die im Rauminnern angeordnet sind oder deren Emissionen in die Raumluft gelangen können und Unterschreitung der Grenzwerte der Klasse A gemäß Tabelle 6.

3.2.3 Kriterien für den Einsatz von Bioziden

Ganz ausschließen kann man den Einsatz von Bioziden wahrscheinlich nicht, da es immer wieder Anwendungsfälle gibt, bei denen der Einsatz gerechtfertigt ist. Daher sollen die Kriterien beschreiben, in welchen Fällen der Einsatz von Bioziden erlaubt ist. Es kann vermutet werden, dass es aufgrund von Haftung etc. nicht einfach möglich sein wird hier sinnvolle Richtwerte anzugeben.

3.2.4 Kriterien für die Demontagefähigkeit

Bei der Demontagefähigkeit sollte die Art der Fügung für verschiedene Bauelemente, Konstruktionsarten und Aufbauten definiert werden. Neben der Deklaration im LENOZ könnte man sich

hier ein Punktesystem vorstellen, mit dem verschiedene Montage- und Fügearten bewertet werden. Für die jeweilige Konstruktionsart können Demontagepunkte vergeben werden, die im Gesamtsystem angerechnet werden können.

3.2.5 Kriterien für die bauphysikalische Schadensfreiheit

Vorgabe von Kriterien für die fachgerechte Planung und den Bau von Konstruktionen mit Innendämmung und ggf. Bereitstellung gesicherter Informationen in Form von typischen und abgesicherten Konstruktionen, die im Rahmen der Förderung zu berücksichtigen sind. Gleiches gilt für die Ausbildung zum Brandschutz.

3.2.6 Kriterien für die Umweltverträglichkeit

Bewertung der Umweltverträglichkeit nach dem Umweltindikator I_{env} für neu anzubringenden Dämmstoffe, Materialien und Konstruktionen.

3.2.7 Kriterien für den Primärenergieaufwand und -einsparung

Bewertung des Primärenergieaufwands nach dem Primärenergieindikator I_{prim} für neu anzubringenden Dämmstoffe, Materialien und Konstruktionen in Kombination mit der energetischen Heizenergieeinsparung durch die Dämmmaßnahme.

Einfluss des Wärmeerzeugers bei der primärenergetischen Bewertung

In LENOZ wird für neue und umfangreich modernisierte Gebäude der Primärenergieaufwand für die Erstellung/Modernisierung des Gebäudes¹¹ mit dem Primärenergiebedarf des Gebäudes für die Energiegewerke Heizen, Trinkwarmwassererwärmung, Lüftung und Hilfsenergie als Gesamtbelastung für das Gebäude bewertet. Für das Gebäude wird ein Referenzwert (vgl. Abschnitt 2.1.5) gebildet, der eine übliche Konstruktionsart und die aktuellen Anforderungen an die Gesamt-Energieeffizienz beschreibt. Bezogen auf die Förderung einer Einzelmaßnahme im Bestand ist das gebäudeweite Konzept nur bedingt geeignet.

Einerseits führt die nachträgliche Anbringung einer Dämmung zur Energieeinsparung, andererseits ist für die Herstellung der Dämmung ebenfalls Energie erforderlich (graue Energie). Die energetische Amortisationszeit beschreibt den Zeitraum, innerhalb dem die Energieeinsparung durch Reduktion der Transmissionswärmeverluste den Energieaufwand zur Herstellung der Dämmung überschreitet. Dieser liegt, wie bereits beschrieben, je nach Dämmstoff zwischen wenigen (heiz)Monaten und wenigen Jahren. Da bei der Bestimmung des Energieaufwands zur Herstellung von Baustoffen unterschiedliche Energieträger beteiligt sind, werden die Angaben auf dem Niveau der Primärenergie ausgewiesen. Bei der Bestimmung der energetischen Amortisation muss die Energieeinsparung ebenfalls über den primärenergetischen Ansatz erfolgen. Kommt nun ein erneuerbarer Energieträger zum Heizen zum Einsatz, fallen die absoluten primärenergetischen Einsparungen entsprechend gering aus. Die endenergetischen (gleichzusetzen mit den Energiekosten) Einsparungen sind jedoch weiterhin hoch. Dieser Zusammenhang muss bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Folgende Bilder zeigen den gemeinsam bewerteten Primärenergieaufwand für eine Konstruktion mit unterschiedlichem Wärmeerzeuger, einmal für den Dämmstoff EPS ($385 \text{ kWh}_{prim}/\text{m}^3$) und einmal für Zellulose ($45 \text{ kWh}_{prim}/\text{m}^3$). Die in einem Quadratmeter Dämmstoff enthaltene Primärenergie ($\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$) wird auf einen Zeitraum von 30 Jahren bezogen und kann als

¹¹ Der Bewertungszeitraum und die Gewichtung der baulichen Maßnahmen betragen in LENOZ 30 Jahre.

äquivalenter Jahreswert ($\text{kWh}/(\text{m}^2 a_{30, \text{Bauteil}})$) mit dem Primärenergieaufwand des Heizsystems ($\text{kWh}/(\text{m}^2 a_{\text{Bauteil}})$) verrechnet werden. Über die dargestellten Dämmstoffdicken verringert sich der Gesamtprimärenergieaufwand (Heizbedarf - graue Energie) mit der Dicke des Dämmstoffs. Je geringer der Primärenergieaufwand für die Herstellung des Dämmstoffs ist, desto ausgeprägter ist der Effekt. Setzt man im Fall von EPS als Dämmstoff einen Wärmeerzeuger auf Basis von erneuerbaren Energie an (im Beispiel Pellets), zeigt sich, dass die Kurve zur gesamtprimärenergetischen Bewertung ab Dämmstoffdicken von 6 bis 10 cm steigt, da die Primärenergetische Einsparung auf der Erzeugungsseite gering ist.

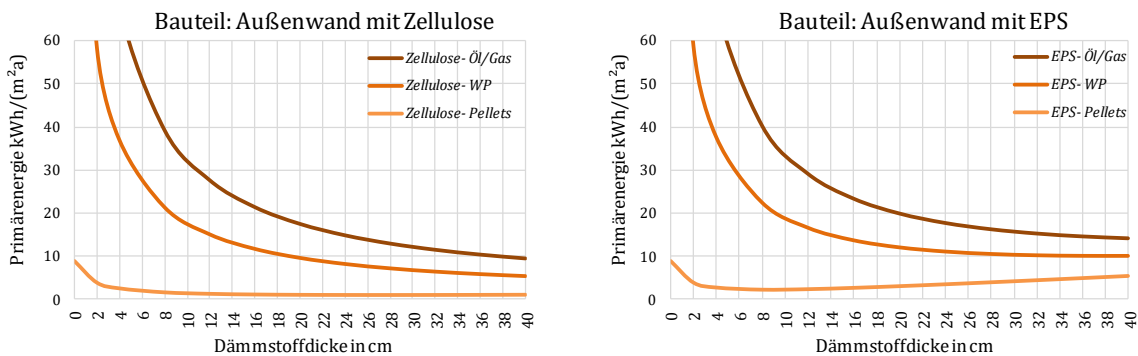


Abbildung 9: Bauteilbezogene gemeinsame Primärenergiebilanz für verschiedene Szenarien für Dämmstoffe (EPS und Zellulose) und Heizsysteme (Öl/Gas-Kessel, Wärmepumpe und Pelletskessel).

Betrachtet man unter Einbeziehung des Heizsystems die energetische Amortisationszeit, so liegen diese unabhängig vom gewählten Dämmstoff bei Nutzung eines erneuerbaren Energieträgers zum Heizen an der Grenze der Lebensdauer baulicher Maßnahmen (vgl. rechtes Bild aus Abbildung 10). Dies veranschaulicht, dass der primärenergetische Bewertungsansatz alleine betrachtet nicht ausreicht, um die Effizienz von Dämmmaßnahmen zu bewerten. Das linke Bild aus Abbildung 10 zeigt die mittleren Gesamtkosten einer Modernisierungsmaßnahme über 30 Jahre Betrachtungszeitraum, für unterschiedliche Kostenansätze für Dämmstoff im Neubau. Es zeigt sich der bekannte flache Verlauf über einen weiten Dämmstoffdickenbereich.

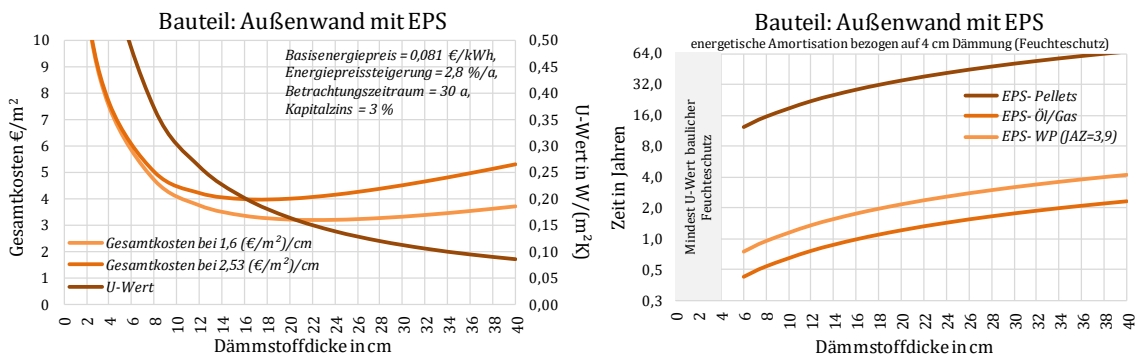


Abbildung 10: Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Dämmmaßnahmen (Randbedingungen aus(19)) und energetische Amortisationszeit in Abhängigkeit von der Wärmeerzeugung.

Die primärenergetische Gesamtbelastung eines Bauteils setzt sich aus dem über einen Wärmeerzeuger zu deckenden Transmissionswärmeverlust und dem Primärenergieaufwand zur Herstellung des Dämmstoffes zusammen. Der Transmissionswärmeverlust sinkt mit steigender Dämmstoffdicke (nicht linear), gleichermaßen steigt der Primärenergieaufwand zur Herstellung der Dämmung (linear mit der Dicke).

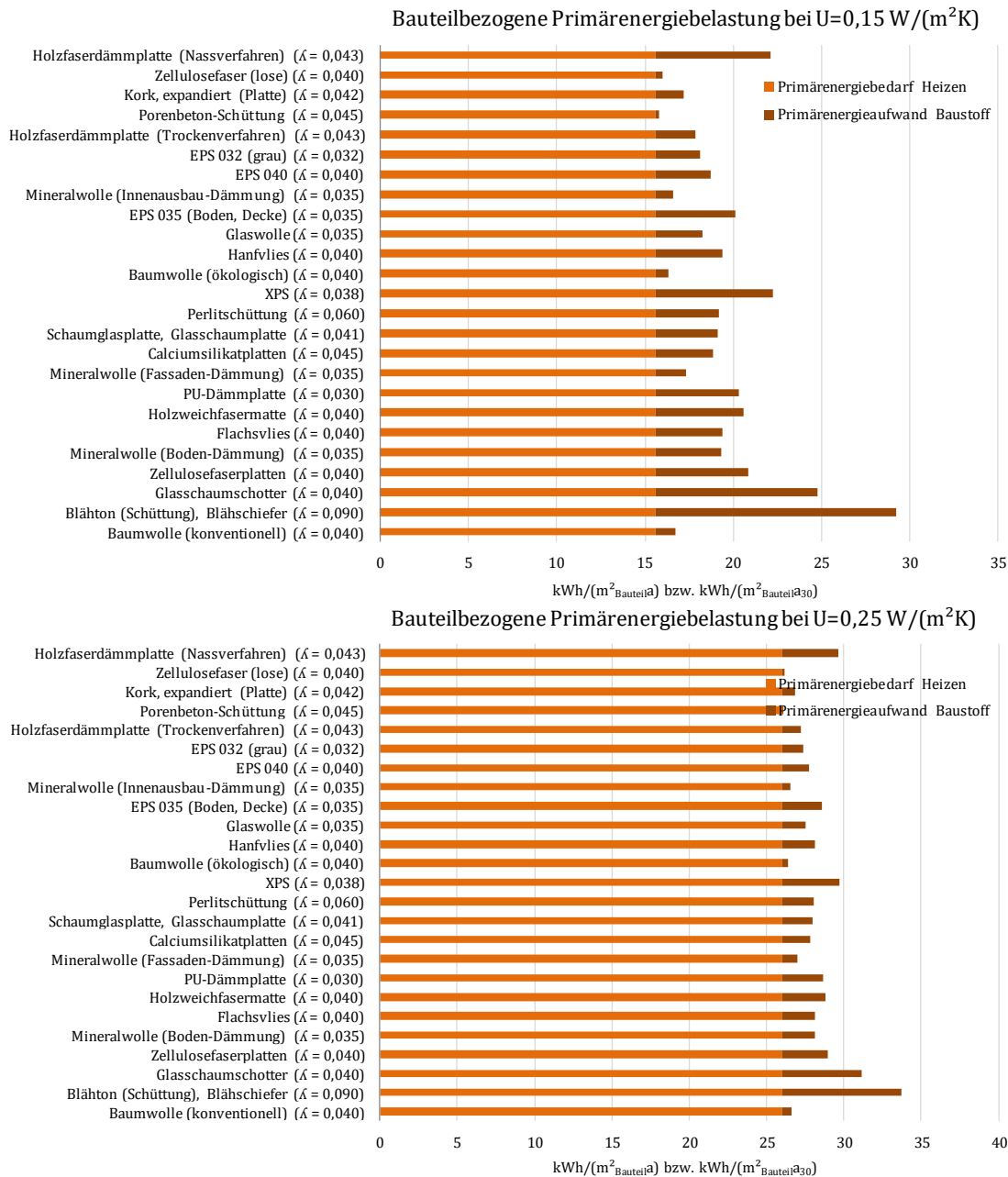


Abbildung 11: Beispielhaft wird die primärenergetische Gesamtbelastung für unterschiedliche Dämmstoffe dargestellt. Basis ist ein U-Wert von 0,15 W/(m²K) (oberes Bild) und 0,25 W/(m²K) (unteres Bild). Zur Bestimmung des Bauteilflächen spezifischen Primärenergiebedarfs wurde ein Gaskessel angesetzt.

Exkurs: Der österreichische *baubook.at-Rechner*¹² ermöglicht für angebrachte Dämmung eine primärenergetische Bewertung von Anlagentechnik und baulicher Maßnahme. Der Ansatz ist vom Prinzip ähnlich wie der bei LENOZ. Dadurch kann die primärenergetische Effizienz der Energiebereitstellung mit in die Gesamtbetrachtung einfließen. Liegt nun eine Wärmeerzeugung auf der Basis eines erneuerbaren Energieträgers vor, verschiebt sich das Verhältnis von "optimaler Dämmstoffdicke" und "Primärenergiebedarf im Lebenszyklus" zu Gunsten einer geringeren Dämmung. Da bauliche Maßnahmen über einen wesentlich längeren Zeitraum (>30 Jahre) betrachtet werden als Technische (15 Jahre) ist ein möglicher Wechsel des Energieträgers nicht auszuschließen und Energieeffizienz (=Einsparung, Vermeidung) hat in der Regel eine höhere Priorität als die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen (erneuerbare Energie).

¹² <http://www.baubook.at/>, Abrufdatum 19.05.2015

3.2.8 Förderhöhen

Die Bestimmung der erforderlichen Förderhöhen können in Anlehnung an (20) erfolgen. Dort wurde im Rahmen der Überarbeitung der Luxemburger Wohnbauförderung im Jahr 2013 mittels einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsbewertung der Deckungsfehlbetrag bestimmt, der erforderlich ist, damit eine Modernisierungsmaßnahme über einen festgelegten Zeitraum wirtschaftlich ist (NPV=0)¹³. Zur Berücksichtigung der nachhaltigen Materialien und Konstruktionen kann das bestehende Rechenmodell genutzt werden und muss lediglich um die zusätzlichen Kostenbestandteile ergänzt werden.¹⁴

3.3 Prüfung der Förderfähigkeit

Zur Bestimmung der Förderfähigkeit wird die Nachhaltigkeit über alle Bereiche betrachtet. Zur Ausarbeitung einer einfachen und verständlichen Liste müssen Dämmstoffe über alle Aspekte hin bewertet werden. Hierbei ist eine Unterteilung hinsichtlich der vorkommenden Bauteile vorzunehmen (Dach, Außenwand, Geschossdecke, Kellerdecke, Boden, Fenster, ...).

Schadenspunkte

Für die übergreifende Bewertung könnte ein Schadenspunktesystem in Frage kommen. Dabei werden für den jeweiligen Bereich (Umwelt, Primärenergie, Demontage, ...) Kriterien definiert und in Abhängigkeit des Erfüllungsgrads Schadenspunkte vergeben. Erreicht die vorgesehene Maßnahme eine gewisse Punktzahl, ist die Nachhaltigkeit nicht mehr gewährleistet und es wird keine Förderung gewährt. Wird die für den jeweiligen Bauteiltyp akzeptierte Menge an Schadenspunkten unterschritten, kann eine Förderung gewährt werden – ggf. auch in Abhängigkeit der erreichten Punktzahl.

Folgendes Schema zeigt die konzeptuelle Vorgehensweise bei der Bestimmung der Förderhöhe. Hier sei insbesondere darauf hingewiesen, dass dieses Schema lediglich zur internen und transparenten Bestimmung dient. Für den Endanwender kann daraus eine einfache Kriterienliste abgeleitet werden, die in Form einer Tabelle mit z. B. Baustoff, Konstruktionsart und Förderhöhe eine einfache – und analog zur derzeitigen Situation – ein schnelle Überprüfung des Bauvorhabens ermöglicht.

¹³ NPV = net present value, das entspricht dem Barwert.

¹⁴ Das Energiemodell wurde dahingehend angepasst, dass die prognostizierten Einsparungen mit realen Verbrauchswerten übereinstimmen. Dafür werden die Ergebnisse aus der einfachen Energiebilanz mit statistisch abgesicherten Einflussfaktoren zum Bedarfs- und Verbrauchsabgleich modifiziert.

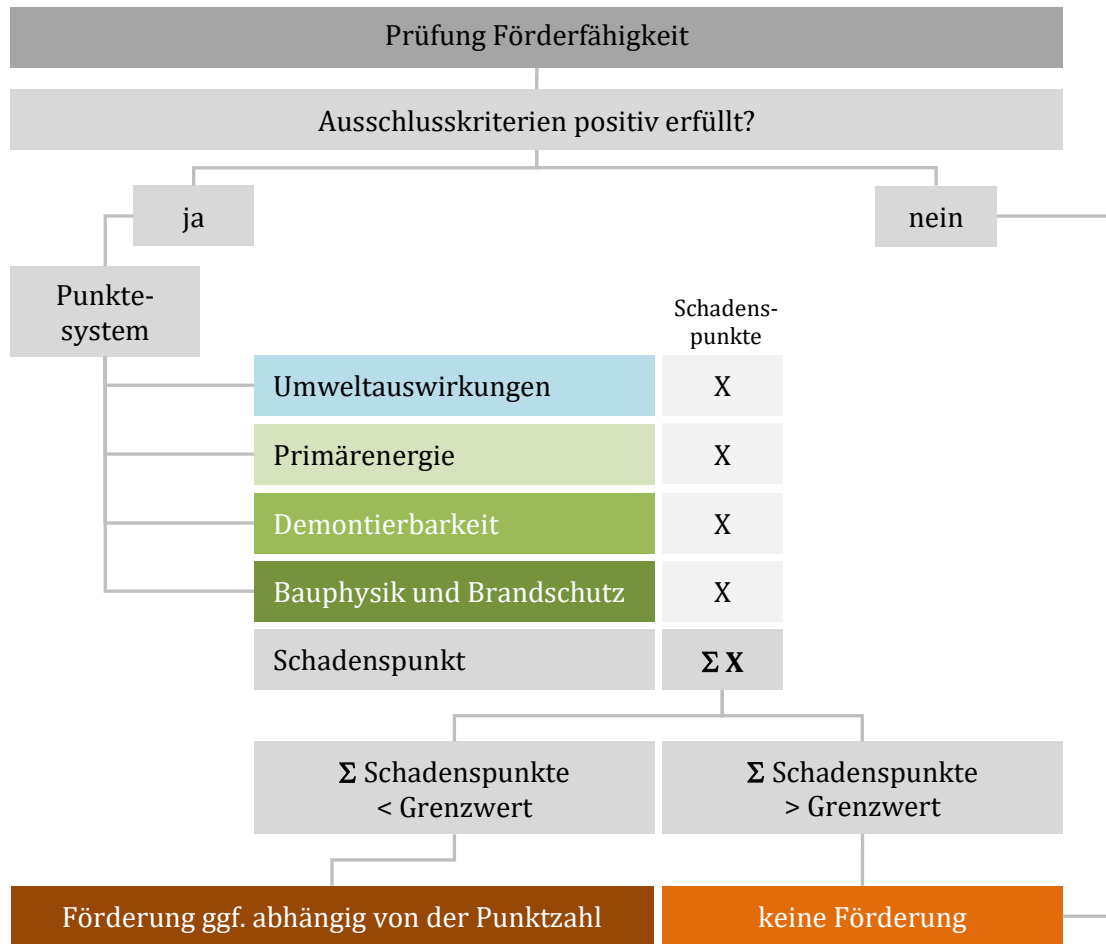


Abbildung 12: Schema für eine mögliche und transparente Vorgehensweise bei der Bestimmung von förderfähigen Systemen für nachhaltige Baustoffe und Konstruktionen im Rahmen einer einzelnen Modernisierungsmaßnahme.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich hier um einen konzeptuellen Vorschlag handelt, der konkretisiert werden muss.

Beispielhaft für eine Außenwand könnte eine Fördertabelle wie folgt ausgestaltet sein. Darin sind keine Ausschlusskriterien enthalten. Die Werte für Schadenspunkte sind Indikativ und dienen zur Veranschaulichung. Werden für die Bereiche Demontierbarkeit, Toxizität und Biozid keine unterschiedlichen Werte für die verschiedenen Dämmstoffe angesetzt, können diese Schadenspunkte aus der Tabelle entfallen und werden unabhängig vom Baustoff vergeben. Das verringert den Umfang der Tabelle. Im Rahmen einer Kalibrierung muss die Gewichtung der Schadenspunkte zwischen den Nachhaltigkeitsfaktoren erfolgen.

Tabelle 9: Beispielhafte Darstellung mit Schadenspunkten für eine Außenwand.

Material	Umwelt	Primärenergie				Demontierbarkeit		Toxizität		Biozid	
		U-Wert				+	-	A	B	< X	> X
		I _{env}	0,15	0,18	0,22						
Baumwolle (konventionell) ($\lambda = 0,040$)	6	0	3	6	8	0	3	0	3	0	3
Blähton (Schüttung), Blähschiefer ($\lambda = 0,090$)	6	11	11	12	12	0	3	0	3	0	3
Glasschaumschotter ($\lambda = 0,040$)	6	7	8	10	12	0	3	0	3	0	3
Zellulosefaserplatten ($\lambda = 0,040$)	6	4	5	8	10	0	3	0	3	0	3
Mineralwolle (Boden-Dämmung) ($\lambda = 0,035$)	6	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
Flachsvlies ($\lambda = 0,040$)	6	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
Holzweichfaserplatte ($\lambda = 0,040$)	6	3	5	8	10	0	3	0	3	0	3
PU-Dämmplatte ($\lambda = 0,030$)	6	3	5	8	10	0	3	0	3	0	3
Mineralwolle (Fassaden-Dämmung) ($\lambda=0,035$)	6	1	3	6	9	0	3	0	3	0	3
Calciumsilikatplatten ($\lambda = 0,045$)	3	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
Schaumglasplatte, Glasschaumplatte ($\lambda=0,041$)	3	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
Perlitschüttung ($\lambda = 0,060$)	3	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
XPS ($\lambda = 0,038$)	3	5	6	9	11	0	3	0	3	0	3
Baumwolle (ökologisch) ($\lambda = 0,040$)	3	0	2	6	8	0	3	0	3	0	3
Hanfvlies ($\lambda = 0,040$)	3	2	4	7	10	0	3	0	3	0	3
Glaswolle ($\lambda = 0,035$)	3	1	4	7	9	0	3	0	3	0	3
EPS 035 (Boden, Decke) ($\lambda = 0,035$)	3	3	5	8	10	0	3	0	3	0	3
Mineralwolle (Innenbau) ($\lambda = 0,035$)	0	0	3	6	8	0	3	0	3	0	3
EPS 040 ($\lambda = 0,040$)	0	2	4	7	9	0	3	0	3	0	3
EPS 032 (grau) ($\lambda = 0,032$)	0	1	4	7	9	0	3	0	3	0	3
Holzfaserdämmung (Trockenverf.) ($\lambda = 0,043$)	0	1	3	7	9	0	3	0	3	0	3
Porenbeton-Schüttung ($\lambda = 0,045$)	0	0	2	5	8	0	3	0	3	0	3
Kork, expandiert (Platte) ($\lambda = 0,042$)	0	1	3	6	9	0	3	0	3	0	3
Zellulosefaser (lose) ($\lambda = 0,040$)	0	0	2	6	8	0	3	0	3	0	3
Holzfaserdämmplatte (Nassverf.) ($\lambda = 0,043$)	0	5	6	9	11	0	3	0	3	0	3

4 Weitere Schritte

Definition Nachhaltigkeit bei der Modernisierung

Im Rahmen der Arbeitsgruppe muss sich auf die einzubeziehenden Aspekte bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Baustoffen im Rahmen der energetischen Modernisierung verständigt werden. Hier gilt es stets einen Kompromiss zu finden zwischen Komplexität, wissenschaftlichem Detail und Verständlichkeit beim Endanwender – dem Bürger.

Bewertungssystem für nachhaltige Konstruktionen

Neben den inhaltlichen Aspekten muss ein System zur Bewertung definiert werden, über das es möglich ist, die Nachhaltigkeitskriterien mit unterschiedlichen und zuvor definierten Kriterien zusammenzuführen. Dieses System muss einfach, nachvollziehbar und transparent ausgestaltet sein und muss es zudem erlauben, zukünftige Baustoffe und Konstruktionsarten einzupflegen.

Kalibrierung

Nach der Definition des Bewertungssystems müssen Berechnungen und Bewertungen durchgeführt werden, auf deren Basis das Gesamtsystem kalibriert werden muss. Hier gilt es übergreifende Aspekte wie die praktische Baubarkeit, Verfügbarkeit von Materialien und Baustoffen einzubeziehen.

Bestimmung von Förderhöhen

Aufbauend auf der Identifikation von geeigneten Baustoffen und Konstruktionen müssen die Mehrkosten bestimmt werden, die zusätzlich zu den energetischen Mehrkosten für die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien anfallen. Auf der Basis dieser Kosten können Förderungen bestimmt werden, die erforderlich sind, um zum einen die Sanierungsrate in Luxemburg zu erhöhen, und zum anderen nachhaltiges Bauen zu fördern.

Zusammenfassung und Vereinfachung

Abschließend müssen die Kriterien – wie sie denn auch immer ausfallen – weitestgehend vereinfacht werden, damit eine verständliche Darstellung für den Bürger ermöglicht wird. Das best-case-Szenario wäre eine einfache Liste mit verschiedenen Materialien, in der neben den Kriterien auch die Fördersumme angegeben ist.

Hier gilt es zu beachten, dass die Förderhöhe auch vom erreichten energetischen Standard abhängig sein sollte (wer viel dämmt, bekommt viel. Wer dazu nachhaltig dämmt, bekommt mehr) – wie es im derzeitigen System zur energetischen Förderungen bereits der Fall ist. Das kann zum Beispiel dadurch erreicht werden, dass die primärenergetischen Auswirkungen der Energieeinsparung und des baustoffbedingten Aufwands gemeinsam als Gesamtbelastung veranschlagt werden.

Man könnte zudem auch über eine zusätzliche Onlineplattform (Luxemburger Förderrechner) nachdenken, die mit ein wenig gestalterischem Geschick einen einfachen Zugang für den Bürger ermöglicht. Ziel ist auch hier, mit wenigen Klicks zu wissen, welche Maßnahme wie hoch gefördert wird.

5 Literaturverzeichnis

1. **Hild, Paula und Schmitt, Bianca.** *Ausarbeitung eines Baumaterialindikators für Luxemburg (Projektpräsentation).* Luxemburg : LIST Luxembourg institute of science and technology, 2015.
2. **Markus Lichtmeß, Tim Mirgain.** *Im Auftrag des Wohnungsbauministeriums. Luxemburger Nachhaltigkeits-Zertifizierung für Wohngebäude - LENOZ.* Luxemburg : Ministère du Logement, 2013.
3. **Paula Hild, Mélanie Guiton.** *Indicateurs de matériaux de construction.* Luxemburg : Public Research Centre Henri Tudor, Research Centre for Environmental Technologies (CRTE), 2013.
4. **Künzel, Hartwig.** *Langzeitbewährung von WDVS.* Präsentation beim 1. Deutscher Techniktag Dämmsysteme : IBP Fraunhofer, 2014.
5. **Brillux.** *WDVS Brandschutz, Grundlagen und Begriffe, brandschutzrelevante Verarbeitungsdetails.* s.l. : Brillux, Technische Info 5b04, 2011.
6. **Pasker, Ralf und Mai, Werner.** *WDVS und Brandschutz, Brandschutz-aktivität des Fachverbands WDVS.* s.l. : 1. Deutscher Techniktag Dämmsysteme, 2014.
7. **Eberl-Pacan, Reinhard.** *Wie brandgefährlich sind WDV-Systeme?* s.l. : EnEV im Bestand 03/13, 2013.
8. **VdS Schadenverhütung GmbH.** *Wärmedämmverbundsystem, Leitfaden zum Brandschutz.* Köln : VdS 3461, 2014.
9. **Wolfgang Albrecht, Christoph Schwitalla.** *Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS.* Stuttgart : Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2014. IBP-Bericht BBHB 019/2014/281.
10. **Jäger, Wolfram, et al.** *entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0-Energiebasis.* Stuttgart : Fraunhofer IRB-Verlag, 2013.
11. **Umweltbundesamt.** *Bromierte Flammschutzmittel - Schutzengel mit schlechten Eigenschaften?* <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3521.pdf> : Bundesumweltamt, 2008. Abruf 19.05.2015.
12. **Europäische Kommission.** *Verordnung (EU) Nr. 143/2011: Anhang XIV der REACH-Verordnung vom 17. Februar 2011 und Berichtigung dieser Verordnung vom 24.2.2011 (Abl. L 49/52), Verordnung (EU) Nr. 125/2012: Änderung des Anhang XIV der REACH-Verordnung vom 14. Februar 2012, Verordnung.* Amtsblatt der Europäischen Union : <http://www.reach-clp-biozid-helpdesk.de/de/REACH/Zulassung-Beschaerung/Zulassung/Anhang-XIV/Anhang14.html>, 2014. Abrufdatum 19.05.2015.
13. **Umweltbundesamt.** *Entscheidungshilfe zur Verringerung des Biozideinsatzes an Fassaden, Merkblätter 1-5.* s.l. : http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/merkblaetter_1-5_entscheidungshilfen_zur_verringderung_des_biozideinsatzes_an_fassaden.pdf, Abrufdatum 19.05.2015.
14. **Etienne, Vermeirssen und Michael, Burkhardt.** *oekotoxzentrum news.* Schweiz : Schweizerisches Zentrum für angewandte Oekotoxologie | Eawag-EPFL, 2013.
15. **Mas, Thomas Belazzi und Rosenberger, Robert.** *Vermeidung von HFKW-Produkten am Bau.* Wien : WKO, wirtschaftskammer Österreich, Geschäftsstelle Bau, 2004.
16. **MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT.** *Arrêté du 19 avril 2011 relatif à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement.* s.l. : JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 2011.
17. **eurofins.** *Die Französische VOC-Verordnung.* s.l. : Eurofins Product Testing A/S, 2012.
18. **Lichtmeß, Markus und Knissel, Jens.** *Förderkonzept – Energie, Nachhaltigkeit, Sozial für neue und bestehende Gebäude.* Luxemburg : Goblet Lavandier & Associés, IWU Institut für Wohnen und Umwelt, 2011.
19. **Ministère de l'Economie und Mitwirkung von Markus Lichtmeß und Sven Viktor.** *Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz für neue und bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude.* Luxemburg : Ministère de l'Economie, 2014.
20. **Lichtmeß, Markus; Knissel, Jens.** *Überarbeitung des Förderprogramms für energieeffiziente Neu- und Altbauten aus dem Jahre 2009.* Luxemburg : Wirtschaftsministerium, 2013.