



Sachstand

Studien zum Thema ökologischer Fußabdruck von Bauprodukten im Baubereich – Teil 1

Graue Energie (Allgemeine Darstellung)– Teil 2



**Studien zum Thema ökologischer Fußabdruck von Bauprodukten im Baubereich – Teil 1-
Graue Energie (Allgemeine Darstellung) -Teil 2**

[REDACTED]

Aktenzeichen:

Abschluss der Arbeit:

Fachbereich:

[REDACTED]

[REDACTED]

WD 8 - 3000 - 010/15

23.03.2015

WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

[REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

1.	Teil 1 - Einleitung	4
2.	Umweltproduktdeklaration (EDP)	4
3.	Bewertungssystem und Informationsportal Nachhaltiges Bauen	5
3.1.	Beispiel aus dem Anwendungsbereich „Dämmstoffe“ (Wand) aus Wecobis	7
3.2.	Beispiel aus der Datenbank – Ökobaudat	8
4.	Ökobilanzierung von Dämmstoffen	9
4.1.	Teilstudie zur Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich	10
4.1.1.	Außenwanddämmung mit Wärmeverbundsystem	12
4.1.2.	Dämmung zwischen den Sparren	12
4.2.	Studie zur Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen	13
4.3.	Fazit	16
5.	Quellen und weiterführende Literatur	17
6.	Teil 2 - Einleitung	21
7.	Graue Energie und KEA	21
8.	Graue Energie von Energiesparmaßnahmen am Beispiel Wärmedämmung	24
9.	Quellen und weiterführende Literatur	26

1. Teil 1 - Einleitung

Im Jahr 1994 wurde das Konzept des „Ökologischen Fußabdrucks“ von William E. Rees und Mathis Wackernagel entwickelt, um herauszufinden, inwieweit der eigene aktuelle Lebensstandard oder zum Beispiel das Wirtschaften eines Unternehmens bereits ökologisch und sozial verträglich gestaltet ist. Der ökologische Fußabdruck steht für den Ressourcenverbrauch. Er bezieht sich auf die Leistungsfähigkeit des Systems Erde und soll beschreiben, wieviel Biokapazität gemessen in Hektar bereitgestellt werden muss, um die Ressourcen für eine Nation, eine Region, eine Stadt, einen Haushalt, ein Unternehmen oder eine Person bereitzustellen und ihre Abfälle aufzunehmen. Damit fungiert der ökologische Fußabdruck als ein Indikator der Nachhaltigkeit, oder Nicht-Nachhaltigkeit im Falle ökologischer Defizite.¹

Der Ökologische Fußabdruck ist eine Methode zur Ökobilanzierung, die eine quantitative Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen beschreiben soll. Bei der Ökobilanzierung erfolgt eine systematische Analyse und Bewertung „sämtlicher“ Stoff- und Energieströme aus und in die Umwelt. Das Bilanzmodell wird durch ein zu definierendes System und seine Prozesse beschrieben. Diese Prozesse sind abhängig von Zuflüssen (Inputs) und Abflüssen (Outputs) von Stoff und Energie.²

Ökobilanzen sollen eine systematische und standardisierte Datengrundlage liefern und aus der Gesamtheit der Deklarationen einzelner Bauprodukte eine ökologische Bewertung eines Bauwerks ermöglichen. Zudem können Ökobilanzen unter Einbeziehung einer Lebenszyklus-Analyse (Life Cycle Analysis, LCA) zum Beispiel eines Gebäudes, die Bauphase, die Nutzungsphase mit möglichen Umnutzungen sowie Abriss und Entsorgung berücksichtigen.³ Ökobilanzen können auch für einzelne Baugruppen oder Baustoffe durchgeführt werden.

2. Umweltproduktdeklaration (EPD)

Im europäischen Normungsprojekt "Nachhaltigkeit von Bauwerken" wurde festgelegt, dass Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declaration, EPD) die Datengrundlage für die

1 Lexikon der Nachhaltigkeit abgerufen unter https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/kologischer_fussabdruck_733.htm am 2.3.2015

Erlbeck, H. (2006): „Der ökologische Fußabdruck – Ein Modell, um den Verbrauch von Rohstoffen und Ressourcen sichtbar zu machen“, Wissenschaftliche Dienste, Deutscher Bundestag

2 IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, http://kek-bo.eu/wp-content/uploads/2013/04/Vortrag-Bernhard-Lipp_BauenSanieren.pdf

DIN EN ISO 14040: „Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen“

3 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014), Ökologisches Baustoffinformationssystem: „Umweltdeklarationen“, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/umweltproduktdeklaration-lex.html> am 3.3.2015

ökologische Gebäudebewertung bilden. Die Umwelt-Produktdeklarationen basieren auf internationalen Normen (ISO 14025; ISO 14040ff) und der Europäischen DIN EN 15804.

Die EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ regelt die Berechnungsmethoden, Auswahl von Umweltindikatoren und Verifizierungsregeln für Umweltproduktdeklarationen. Die Verwendung von Umweltdeklarationen bietet eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Produkte untereinander. Umweltdeklarationen bilden auch eine Informationsbasis für die Ökobilanzierung auf Gebäudeebene.⁴

Auf der Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit heißt es zur Funktion der Umweltdeklarationen:

„Die Deklaration macht Aussagen zum Energie- und Ressourceneinsatz und in welchem Ausmaß ein Produkt zu Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung, Zerstörung der Ozonschicht und Smogbildung beiträgt. Außerdem werden Angaben zu technischen Eigenschaften gemacht, die für die Einschätzung der Performance des Bauproduktes im Gebäude benötigt werden, wie Lebensdauer, Wärme- und Schallisolierung oder den Einfluss auf die Qualität der Innenraumluft,

Ressourcenverbrauch und Emissionen in die Umwelt werden über den gesamten Herstellungsprozess aufgenommen. Der resultierende Beitrag zum Treibhauseffekt oder beispielsweise der Beitrag zur Überdüngung oder Versauerung von Gewässern kann mit der Ökobilanzmethodik quantifiziert und bewertet werden.“⁵

Die Methoden zur Erstellung der Ökobilanz werden kontinuierlich erweitert und weiterentwickelt. Beispielsweise wird nach den Vorgaben des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB) zusätzlich die gesundheitliche Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten in die Ökobilanz einbezogen.⁶

3. Bewertungssystem und Informationsportal Nachhaltiges Bauen

Das Web-basierte ökologische Baustoffinformationssystem „Wecobis“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „bietet auf nationaler Ebene für die

4 Für die Zertifizierung nachhaltiger Gebäude nach BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) oder DGNB (Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen) ist eine Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/14044 erforderlich.

5 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014), Ökologisches Baustoffinformationssystem: „Umweltdeklarationen“, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/umweltproduktdeklaration-lex.html> am 3.3.2015

6 Industrieverband Hartschaum e.V., IVH, Heidelberg (2010): „Das Neueste zum ökologischen Fußabdruck von Dämmstoffen“ http://www.gph.at/images/gph/events/2010_04_21/FV/vortrag_schoenell_10.pdf am 3.3.2015

wichtigen Bauproduktgruppen und Grundstoffe umfassende, strukturiert aufbereitete, herstellerneutrale Informationen zu gesundheitlichen und umweltrelevanten Aspekten einschließlich möglicher Anwendungsbereiche. Diese Informationen werden für die Lebenszyklusphasen Rohstoffe, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung zur Verfügung gestellt.“⁷

Die Online - Datenbank „Ökobaodat“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit stellt ein Baustein des Informationsportals Nachhaltiges Bauen für den Bereich Baustoff- und Gebäudedaten dar. Sie bildet die standardisierte Schnittstelle über die Ökobilanzdaten direkt aus Softwarewerkzeugen für Ökobilanzmodellierung in die Ökobaodat zu exportiert werden können. Darüber hinaus ermöglicht die Schnittstelle weiterführenden Ökobilanzierungstools Daten direkt aus der Ökobaodat abzufragen. Die Datenbank enthält Datensätze mit Umweltindikatoren von Bauprodukten, die die Grundlage der im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) vorgeschriebenen Berechnung von Ökobilanzen auf Gebäudeebene bilden. Ökobaodat soll als erste Datenbank in Deutschland die Anforderungen der europäischen Norm DIN EN 15804 vollständig umsetzen.⁸

Die einheitlichen Werte zu Umweltindikatoren in Wecobis soll ausschließlich die Datenbank Ökobaodat des Informationsportals Nachhaltiges Bauen des BMUB liefern. Solange für Bauproduktgruppen noch keine durchgängigen Datensätze in der Datenbank Ökobaodat vorliegen, werden die bereits in Ecobis 2000⁹ zitierten Werte der Grauen Energie (Schweiz) hilfsweise noch angeboten.¹⁰

7 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Wecobis - Ökologisches Baustoffinformationssystem, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/#&slider1=1> am 6.3.2015

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), TATuP - Zeitschrift des ITAS zur Technikfolgenabschätzung, abgerufen unter http://www.tatup-journal.de/tatup092_klje09a.php am 6.3.2015

8 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Informationsportal Nachhaltiges Bauen, abgerufen unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaodat.html> am 3.3.2015

Datenbank „Ökobaodat“ des Informationsportals Nachhaltiges Bauen, abgerufen unter <http://www.oekobaodat.de/> am 3.3.2015

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), abgerufen unter <http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Home/Topthemen/oekobau.html> am 6.3.2015

DIN EN 15804: Norm beschreibt u.a. die Auswahl der Umweltindikatoren, die Berechnungsmethodik und die Verifizierungsregeln für Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten

9 ECOBIS 2000 war das ursprünglich von der Bayerischen Architektenkammer mit Unterstützung des Bundesbauministeriums erarbeitete ökologische Baustoffinformationssystem

10 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014), Ökologisches Baustoffinformationssystem: „Umweltdeklarationen“, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/umweltindikatoren-lex.html> am 3.3.2015

3.1. Beispiel aus dem Anwendungsbereich „Dämmstoffe“ (Wand) aus Wecobis¹¹

	Wand Kurzzeichen nach DIN 4108-10 (Erläuterungen s.u.) ²⁾								Perimeter Kurzzeichen nach DIN 4108-10 (Erläuterungen s.u.) ²⁾		Zulassung in Bauteilen aus Holz nach DIN 68800-2 bei WH (Dämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise, DIN 4108- 10)
	WAB	WAA	WAP	WZ	WH	WI	WTH	WTR	PW	PB	GK 0 ¹⁾
WECOBIS- Produktgruppen:											
Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen:											
<u>Blähperlit-Dämmstoffe</u>	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-
<u>Calciumsilikat-Dämmplatten</u>	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-
<u>Dämmstoffe mit Aerogelen*</u>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	sehr geringe Dämmstärken*
<u>Mineralwolle-Dämmstoffe</u>	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+
<u>Schaumglas-Dämmstoffe</u>	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
<u>Vermiculite-Dämmstoffe</u>	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen:											
<u>Expandierter Polystyrolschaum (EPS)</u>	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-
<u>Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)</u>	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-
<u>Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)</u>	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-
<u>Polyurethan(PUR/PIR)- Spritzschaum</u>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

11 Die Daten wurden abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/daemmstoffe-anw.html> am 6.3.2015

3.2. Beispiel aus der Datenbank – Ökobaudat¹²

Beispiel aus Punkt 2. Dämmstoffe -> 2.3 Extrudiertes Polystyrol -> 2.3.01 XPS weiß, XPS-Dämmstoff; 32 kg/m³

Prozess-Datensatz: XPS-Dämmstoff; 32 kg/m3 (de) - Google Chrome

5.35.255.22:8080/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=919b396a-5d30-48f7-93a8-9b02cc990c71

Prozess-Datensatz: XPS-Dämmstoff; 32 kg/m3 (de) Alle Abschnitte einklappen Zurück Schließen

Prozess-Information

Kerninformationen des Datensatzes

Ort	DE
Referenzjahr	2006
Name	Name ; Quantitative Produkt-/Prozesseigenschaften XPS-Dämmstoff, 32 kg/m3
Anwendungshinweis für Datensatz	Dieser Datensatz beinhaltet die Ergebnisse für die Module A1 – A3 gemäß EN 15804. Der vorliegende Datensatz ist mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen. Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen.
Technisches Anwendungsgebiet	Dämmplatten für Dach, Wand, Fußboden, Perimeterdämmung (geschlossenzellig); typische Dichte 30 - 35 kg/m3, 300kPa Druckfestigkeit
Gliederungsnummer	2.3.01
Klassifizierung	Klassenname : Hierarchieebene OEKBAU.DAT: 2.3.01 Dämmstoffe / Extrudiertes Polystyrol / XPS weiß
Allgemeine Anmerkungen zum Datensatz	Dieser Datensatz beinhaltet die Ergebnisse für die Module A1 – A3 gemäß EN 15804.
Urheberrecht	Ja
Eigentümer des Datensatzes	PE INTERNATIONAL

Quantitative Referenz

Referenzfluss(flüsse)	Extrudiertes Polystyrol (XPS) - 1.0 kg (Masse)
-----------------------	--

Zeitliche Repräsentativität

Datensatz gültig bis	2013
Erläuterungen zur zeitlichen Repräsentativität	Jährlicher Durchschnitt

Technologische Repräsentativität

Technische Beschreibung inklusive der Hintergrundsysteme	Die Ökobilanzergebnisse umfassen die Lebenszyklusstadien der Herstellung der Vorprodukte bis hin zur Rohstoffgewinnung und Verarbeitungsprozesse von als Input dienenden Sekundärstoffen (z.B. Recyclingprozesse), deren Transporte zum Werk sowie die Produktion selbst, einschließlich der Bereitstellung von allen Hilfs- und Betriebsstoffen, Energie, sowie die vollständige Abfallbehandlung oder die Deponierung der Restabfälle während des Stadiums der Produktion. Die Module A1, A2 und A3 sind hier als ein aggregiertes Modul A1-A3 ausgewiesen. Falls für diesen Datensatz weitere Module berechnet wurden, sind diese separat zu finden und können für eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus zusammengeführt werden. Polystyrol-Extruderschäum (extrudierter Polystyrol-Hartschaumstoff XPS) wird in einem kontinuierlichen Extrusionsprozess hergestellt: Treibmittelfreies Polystyrol-Granulat wird in einem Extruder aufgeschmolzen und unter Zugabe von Treibmittel über eine Breitschlitzdüse kontinuierlich ausgetragen. Der entstehende Schaumstoff ist homogen und geschlossenzellig und wird in Form von Platten angeboten.
--	--

Modellierung und Validierung

Administrative Information

Umweltindikatoren

Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen

12 Die Daten wurden abgerufen unter <http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/2.3.01/D%C3%A4mmstoffe/Extrudiertes%20Polystyrol/XPS%20wei%C3%9F.html> am 6.3.2015

Daten wurden abgerufen unter <http://5.35.255.22:8080/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=919b396a-5d30-48f7-93a8-9b02cc990c71> am 6.3.2015

4. Ökobilanzierung von Dämmstoffen

Die Ökobilanz von Dämmstoffen soll die Rohstoff- und Energiegewinnung, die Rohstofftransporte, die eigentliche Herstellungsphase des EPS-Hartschaums inkl. Verpackung, Entsorgung und ein Szenario für das End-of-Life des Produkts umfassen.¹³

Je nach Ökobilanz und dem festzulegenden Untersuchungsrahmen sind die Einflussfaktoren unterschiedlich. Als Berechnungsbasis können die Parameter der Datenbank Ökobaudat verwendet werden.

Während der Messe "BAU 2015" hat das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung ein Online-Ökobilanzierungstool für Büro- und Verwaltungsgebäude freigeschaltet. Das webbasierte Berechnungstool „eLCA“ (elektronisches Life Cycle Assessment) ermöglicht die Ökobilanzierung von Gebäuden. „eLCA beruht auf der Berechnungsmethodik des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen für Bundesbauten (BNB). Das Online-Tool ist mit dem elektronischen Dokumentationssystem eBNB verknüpft, was den Datentransfer der Bilanzergebnisse zulässt.“¹⁴

Die webbasierten Onlinetools Ökobaudat, Wecobis und eLCA sind mit dem elektronischen Dokumentationssystem eBNB verknüpft. Damit verbunden sind auch ein Datentransfer der Bilanzergebnisse und die Schaffung einer national einheitlichen Basis für Ökobilanzen im Baubereich.¹⁵

Die folgenden Kapitel stellen zwei unterschiedliche Berechnungen im Rahmen von Ökobilanzen für Dämmmaterialien dar und sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

13 Industrierverband Hartschaum e.V. (IVH) (2010): „Das Neueste zum ökologischen Fußabdruck von Dämmstoffen“, abgerufen unter http://www.gph.at/images/gph/events/2010_04_21/FV/vortrag_schoenell_10.pdf am 3.3.2015

14 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015): „eLCA ermöglicht die Ökobilanzierung von Gebäuden“, abgerufen unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Service/Medieninfos/2015/online_tool.html?nn=1124686 am 10.3.2015

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015): „Bauteileditor“ im Beta-Stadium, abgerufen unter <http://www.bauteileditor.de/> am 10.3.2015

15 Kerz, N., BBSR, (2014): Folienvortrag „Bewertung von Dämmstoffen - Wie entsteht eine Produktdeklaration und wie kommt die Datengrundlage zustande“, Aktionskreis Energie e.V., Informationsveranstaltung Umweltproduktdeklaration EDP, Berlin, abgerufen unter <http://ake-ev.de/wp-content/uploads/2014/06/20140617-Kerz-Oekobilanz-von-Daemmstoffen.pdf> am 10.3.2015

4.1. Teilstudie zur Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich

Für den Antrag der Bundestagsfraktion der Grünen/Bündnis 90 17/11380 mit dem Titel „Ökologische Baustoffe – Klima schützen, Energie sparen und Ölabhängigkeit reduzieren wurde ein Gutachten¹⁶ in Auftrag gegeben. Für den Antragspunkt 2e „bei Energieausweisen für Gebäude eine Nachhaltigkeitsbewertung Betrachtung des Energieverbrauchs im mit Lebenszyklusbetrachtung der Gebäude, und damit auch bei Herstellung und Abbruch der Gebäude sowie durch die Herstellung und Entsorgung der Baustoffe, ergänzt wird;“ wurde eine Kurzstudie erstellt. Diese Studie mit dem Titel „Kurzgutachten zur energetischen Gebäudesanierung hat die Erstellung einer Gesamtstrategie zur energetischen Sanierung des Gebäudebestands zum Ziel“. Die Studie beinhaltet die Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich und stellt einen Bezug zu Konstruktionen mit ökologischen Bauprodukten her. Der Focus der Studie liegt auf den Aspekten: Kosten von Dämmstoffen, Primärenergieverbrauch von Dämmmaßnahmen, Vergleich von Dämmmaterialien in ihrem Lebenszyklus mit Hinblick auf den Energieeinsatz, die externen Kosten und die Entsorgungskosten, sowie mögliche Förderinstrumente.

Der Projektbericht enthält neben der Beschreibung der Vorgehensweise, basierend auf der Kurzstudie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) die Berechnung des Energiebedarfs für ein Referenzgebäude und zwei Modernisierungsvarianten. Als Datenbasis wurden für die Berechnungen vier Gebäudetypen und verschiedene Baukonstruktionen, wie z.B. Außenwand (AW), Dachdämmung (D) oder zwischen den Sparren gedämmt (zS), gewählt. Als Parameter wurden der erreichte U-Wert, die Dämmschichtdicke, die Vollkosten, die energetisch bedingten Kosten, die Primärenergie nicht erneuerbarer Energien und das Klimagaspotential berücksichtigt. Der Vergleich bezieht sich auf Standard - Dämmmaterialien und Dämmmaterialien aus **nachwachsenden Rohstoffen** („Nawaro“). Die Teilstudie umfasst auch eine Beschreibung der Methoden des verwendeten Softwareprogramms „LEGEP“, dessen Kosten in die Berechnung eingeflossen sind.¹⁷

Als zu vergleichende Dämmstoffe wurden Mineralwollematten, Polystyrolplatten, Zellulosedämmstoffplatten, Zellulosedämmstoffschüttung, Hanffasern, Holzfaserdämmstoffplatten und Holzfaserplatten gewählt. Für die bauphysikalische Berechnung und die Ökobilanz wurden die Rohdichte in kg/m^3 und die Wärmeleitzahl in W/mK als Basisdaten verwendet. Als Bezugsgröße

16 [REDACTED] „Kurzgutachten zur energetischen Gebäudesanierung KONZEPT Ökobaustoffe, Teilstudie: Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich“, Projektbericht und Ergebnisse, Ascona GbR, Auftraggeber BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN, abgerufen unter https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/bauen/PDF/LINK_KOENIG_fuer_BTF.pdf am 6.3.2015

17 [REDACTED] Gebäudetypologie Bayern, Entwicklung von 11 Hausdatenblättern zu typischen Gebäuden aus dem Wohngebäudebestand Bayerns, Studie im Auftrag des Bund Naturschutz Bayern e.V., 98 S., Darmstadt: IWU, Endbericht abgerufen unter http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Bericht_Hausdatenblaetter_Bayern.pdf am 11.3.2015

Aufstellung der verwendeten Daten in der Teilstudie im Anhang in Kapitel 6.

Nawaro-Produkte sind Produkte, die aus oder auch aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt wurden. Nawaro ist auch ein „Registered Trademark“.

als funktionelle Einheit wurde die Dämmwirkung als Dämmwert U mit der Einheit W/m^2K gewählt. Die Kosten des Materials berücksichtigen weder Transport, noch Verschnitt, Rabatte oder Maschinenleistungen.¹⁸

Die Berechnung der Ökobilanz der aufgeführten Dämmstoffe erfolgte nach den Vorgaben der DIN – Norm 15804. Eine ausführliche Beschreibung zur Planungs- und Berechnungsmethodik und der Datenherkunft liefert Kapitel 5 der Teilstudie.

Aus der Zusammenfassung der Ergebnisse der Materialvergleiche heißt es dazu in der Studie: Der Materialvergleich der Dämmstoffe bezogen auf den Wert U und die Phase der Herstellung zeigt weder bei den Kosten noch beim Indikator für nicht erneuerbare Primärenergie der Ökobilanz Vorteile der Dämmstoffe aus Nawaro. Ein klar erkennbarer Vorteil der Nawaro – Stoffe gegenüber den betrachteten Standarddämmstoffen zeigt das Treibhausgaspotential. Begründet wird dies mit der Kohlenstoffgutschrift in der Herstellungsphase.

In einem weiteren Schritt werden die Baukonstruktionen berücksichtigt, die mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen konstruiert und mit Standarddämmstoffen verglichen werden können. Es handelt sich um die Außenwanddämmung mit einem Wärmeverbundsystem, die Dämmung der Kellerdecke, Dämmung der obersten Geschosdecke in nicht begehbarer und begehbarer Ausführung und die Zwischensparrendämmung. Als Parameter wird das Erreichen einer bestimmten Wärmeleitfähigkeit verwendet. Als Bezugsgröße dient eine Baukonstruktionsfläche von jeweils $1 m^2$. Als Betrachtungszeitraum werden 50 Jahre angesetzt. In diesem Betrachtungszeitraum wird die Konstruktion einmal erneuert und die Entsorgung des Materials fällt an. Bei den Berechnungen zur Ökobilanz wurden nicht alle Aspekte der Phasen Herstellung, Nutzungsphase und End of Life (EOL) berücksichtigt. Die Punkte Transport, Baustelleneinbau, Reinigung, Wartung und Rückbau wurde nicht betrachtet. Es bleiben die berücksichtigten Punkte Bauprodukterstellung, Versorgung mit Energie, Instandsetzung und Entsorgung. Für die Berechnung der Entsorgungsszenarien wurden die Unterschiede der verschiedenen Werkstoffkategorien, wie z.B. Gutschriften für Recyclingpotenziale oder Reststoffe auf die Deponie, analog zur Datenbank Ökobaudat, hinzugezogen. Für nachwachsende Dämmstoffe wurden die CO_2 -Gutschriften aus der Wachstumsphase wegen der vorgesehen thermischen Verwertung auf null gesetzt und die bei der Kraft-Wärmekopplung erzeugte Stromproduktion gutgeschrieben.¹⁹

Nach der Berechnung mit der integralen Software LEGEP auf Basis der Elementmethode ergaben sich für die verschiedenen Baukonstruktionen folgende Ergebnisse:²⁰

-
- 18 U-Wert – Berechnung online unter <http://www.u-wert.net/informationen/> am 11.3.2015. Materialstärke für U-Wert $0,2 W/m^2K$. Je nach Wärmeleitfähigkeit werden unterschiedliche Materialstärken benötigt, um den Wert von $0,2$ zu erreichen.
- 19 Wärmeleitfähigkeit (WLZ) von $0,35 W/mK$ für Standard – Dämmstoffe bzw. $0,040 W/mK$ für Nawaro-Dämmstoffe. Das bedeutet, dass die Materialdicken der Nawaro-Dämmstoffe um 1 bis 3 cm erhöht werden müssen, um einen selben U-Wert zu erreichen.
- 20 LEGEP Bausoftware für integrale Planung nachhaltiger Gebäude abgerufen unter <http://legep.de/> am 12.3.2015

4.1.1. Außenwanddämmung mit Wärmeverbundsystem

Dämmungen der Außenwand im Wärmeverbundsystem werden häufig mit Polystyrolplatten ausgeführt. Im Vergleich dazu wird als Nawaro-Dämmstoff eine starre Holzweichfaserplatte gesetzt. Das Gewicht dieser Platte ist deutlich größer und benötigt keinen Flammenhemmer. Die Kosten der Nawaro-Konstruktion liegen nach den Berechnungen dieser Studie aufgrund der höheren Materialkosten um 15 % höher als die Standardkonstruktion. Nach der Ökobilanzierung liegt der Wert für nicht erneuerbare Primärenergie für die Nawaro-Konstruktionen um 250 – 300 % niedriger und das Treibhauspotential um das 6-fache günstiger als die Standardkonstruktion.²¹

4.1.2. Dämmung zwischen den Sparren

Soll das Dach für Wohnzwecke genutzt werden, gilt in diesem Beispiel als kostengünstigste Alternative die Zwischensparrendämmung. Im Vergleich wird als Standarddämmstoff Mineralwolle und für die Nawaro-Konstruktion Zellulosedämmstoffschüttung eingesetzt. Der benötigte zusätzliche Hohlraum wird durch eine oberseitige Abdeckung mit einer Holzfaserverplatte erhalten. Die Erhöhung der Dämmschichtdicke zum Erreichen des U-Werts beträgt in diesem Beispiel 2-3 cm.

Die Kosten für die Nawaro-Konstruktion liegen ca. 30 % höher als die der Standardkonstruktion. Der Mehrpreis entsteht durch den erhöhten Aufwand für die Hohlraumherstellung. In der Ökobilanz liegt die nicht erneuerbare Primärenergie für die Nawaro-Konstruktionen um 200 – 250 % niedriger als die Standardkonstruktion, weil der Zellulosedämmstoff als Recyclingbaustoff eine geringe Umweltbelastung aufweist und die Gutschrift bei der Verbrennung in Verbindung mit KWK-Stromproduktion in die Berechnung eingeht. Das Treibhauspotential liegt für Nawaro-Konstruktionen ebenfalls um 150 – 200 % niedriger und auch hier wirkt sich die Gutschrift bei der Verbrennung inklusive KWK-bedingter Stromproduktion aus.²²

Die Kosten für Nawaro-Konstruktionen sind bis auf zwei Beispielrechnungen höher als die Standardkonstruktionen. In diesen beiden Fällen weisen die Standardkonstruktionen höhere Brandwiderstandsdauern auf. Die Preisdifferenz der Konstruktionen liegt zwischen 7 – 30 %.

Die Umweltbelastung ist in jedem berechneten Konstruktionsfallbeispiel für die nicht erneuerbare Primärenergie und das Treibhauspotential für Nawaro-Konstruktionen günstiger. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Umwelteffekte bei Baukonstruktionen, die vermehrt Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen einsetzen, erheblich günstiger ausfallen als bei den Standardkonstruktionen. Nach Ansicht der Studie liefern nachwachsender Rohstoffe einen aktiven

21 [REDACTED] „Kurzgutachten zur energetischen Gebäudesanierung KONZEPT Ökobaustoffe, Teilstudie: Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich“, Projektbericht und Ergebnisse, Ascona GbR, Auftraggeber BÜNDBIS90/DIE GRÜNEN, abgerufen unter https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/bauen/PDF/LINK_KOENIG_fuer_BTF.pdf am 6.3.2015, Kapitel 3.3.1

22 [REDACTED] „Kurzgutachten zur energetischen Gebäudesanierung KONZEPT Ökobaustoffe, Teilstudie: Berechnung der Ökobilanz von Dämmstoffen und Baukonstruktionen im Vergleich“, Projektbericht und Ergebnisse, Ascona GbR, Auftraggeber BÜNDBIS90/DIE GRÜNEN, abgerufen unter https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/bauen/PDF/LINK_KOENIG_fuer_BTF.pdf am 6.3.2015, Kapitel 3.3.6

Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen durch die Reduktion des Einsatzes an nicht erneuerbaren Ressourcen in der Herstellungsphase, während des Gebäudeunterhalts und bei der Entsorgung des Lebenszyklus. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz nachwachsender Rohstoffe einen aktiven Beitrag zur Erreichung der globalen Klimaschutzziele erbringen kann.

4.2. Studie zur Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen

Als ein weiteres Beispiel dient das zweiteilige Schweizer Projekt „Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen“. In Phase I wird die Methodik auf Basis der Methode der ökologischen Knappheit beschrieben und auf eine Auswahl von Baustoffen, die mit Schadstoffen belastet sind, angewendet. Die zweite Projektphase untersucht die Emissionen von unterschiedlichen Baustoffen während der Nutzungsphase. Die Daten der Emissionsanalysen wurden aus der Literatur und aktuellen Forschung entnommen. Ziel der Studie war die Bewertung von Emissionen mit Hilfe der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit.²³

Die Einleitung zur Dokumentation der ökologischen Knappheit beschreibt diese wie folgt: „Die Methode der ökologischen Knappheit ermöglicht es seit 1990 im Rahmen einer Ökobilanz die Wirkung von Schadstoffemissionen und der Entnahme von Ressourcen auf die Umwelt zu bewerten. Zentrale Größe der Methode sind die Ökofaktoren, welche die Umweltbelastung einer Schadstoffemission respektive Ressourcenentnahme in der Einheit Umweltbelastungspunkte (UBP) pro Mengeneinheit angeben. Die Publikation [...] beschreibt [...] die Grundlagen der universell anwendbaren Methode sowie die Herleitung der Schweizer Ökofaktoren. Diese widerspiegeln die aktuelle Emissionssituation und die schweizerischen oder von der Schweiz mitgetragenen internationalen Emissionsziele.“

Bei der Ökobilanzierung von Baustoffen wird die Nutzungsphase, nach Aussage der Autoren, in der Regel vernachlässigt. Wenn Emissionen während der Nutzungsphase auftreten, sollten diese Daten in der Ökobilanzierung jedoch berücksichtigt werden. Die Phase I der Schweizer Studie untersuchte die Machbarkeit von Ökobilanzen in der Nutzungsphase für unterschiedliche Baustoffe. Die Autoren bilanzierten 18 Referenzsubstanzen für den Außen- und Innenbereich. Unter

23 Bundesamt für Umwelt BAFU, Öbu – Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften (2013): „Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit“ - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz, abgerufen unter <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de&download=NHzLpZig7t.lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpIChdnx9e2ym162dpYbUzd.Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ.s-.pdf> am 17.3.2015

„Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen - Methodik zur Bewertung umweltrelevanter Baustoffbestandteile. Phase I Entwicklung und Test der Methodik“, Büro für Umweltchemie, Zürich im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) Abteilung Ökonomie und Umweltbeobachtung, Fachbereich Ökobilanzen, Bern

Schlussbericht „Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen - Methodik zur Bewertung umweltrelevanter Baustoffbestandteile. Phase II Anwendung der Methodik auf eine breite Palette von Baustoffen“, Büro für Umweltchemie, Zürich im Auftrag des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich, Hochbauamt des Kantons Zürich

ihnen sind drei verschiedene Treibmittel in Kunststoffschäumen und ein Brandschutzadditiv in expandiertem Polystyrol (EPS), die im Folgenden näher betrachtet werden. Da nicht für alle Substanzen empirische Untersuchungen zur Emission vorlagen, diskutierten und bewerteten die Autoren ihre Annahmen. Empirische Daten aus zeitlich begrenzten Untersuchungen extrapolierten sie auf die gesamte Nutzungsdauer. Die Autoren weisen auch daraufhin, dass die bis Ende 2013 publizierten Schweizer Ökofaktoren für die Bewertung von Umweltbelastungen nach der Methode der ökologischen Knappheit für Baustoffe kein einheitliches Bild zeigen. Lediglich die Ökofaktoren für Treibhausgase und die Schwermetalle ließen sich auf die Baustoffe übertragen. Die erste Phase der Studie liefert einen neuen Ansatz für eine Gesamtbewertung, der auf den Gefahrstoffklassen (R- bzw. H-Sätze²⁴) basiert. Die H - Sätze werden gewichtet und zu einem Gesamtindex addiert. Zusammen mit den gewichteten Abstufungen der Gefährlichkeit ergeben sich neue berechnete Indizes. Zur Bewertung der Ökotoxizität werden diese Indizes mit dem Usetox – Modell²⁵ verglichen und diskutiert. Die Studie betrachtet nicht die Nutzungsdauer, sondern greift auf Berechnungen zur Nutzungsdauer im SIA Normenwerk zu. Nach SIA 2032 beträgt die Amortisationszeit für Kompaktfassaden über 30 Jahre. Da Biozide wasserlöslich sind, sind die Autoren davon ausgegangen, dass die gesamte Wirkstoffmenge über die Nutzungsdauer ausgetragen bzw. ausgewaschen wird. Zur weiteren Beschreibung der Studie dienen exemplarisch Dämmstoffe aus Kunststoffschäumen mit Treibmitteln und Flammschutz. Die Vergleiche beinhalten extrudiertes Polystyrol (XPS) mit HFKW 134a geschäumt, XPS mit CO₂ und Aceton geschäumt, mit Pentan als Treibmittel expandiertes Polystyrol (EPS) und XPS mit HBCD als Flammschutzmittel.²⁶

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil der Nutzungsphase bezogen auf die Gesamtheit von Herstellung und Nutzung, bei den meisten Versuchsvarianten über 25 % liegt. Die Betrachtung des XPS - Dämmstoffs in Verbindung mit dem Flammschutzmittel führt auf einen Anteil der Nutzungsphase von 95 %. Deshalb sollte beispielsweise die Nutzungsphase nicht aus der Life-Cycle-Bilanz ausgenommen werden.

Die Studie vergleicht zudem drei unterschiedliche Wirkstoffbewertungs- und Bilanzierungsmethoden. Das TRGS 600 - Wirkfaktorenmodell (nach den Schweizer Technischen Regeln für Gefahrstoffe) soll eine vergleichende Gefährdungsabschätzung hinsichtlich der gesundheitsschädlichen Eigenschaften von Stoffen und Zubereitungen ermöglichen. Der Bautox-Index (BTI) ist eine

24 Nach der Harmonisierung internationaler Kennzeichnungssysteme zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien der Vereinten Nationen (GHS-UN) gelten H – Sätze (= Gefahren, hazard statements) und P – Sätze (precautionary statements, Sicherheitshinweise). H – Sätze haben die früher geltenden R – Sätze (= Gefährlichkeitsmerkmale) und P – Sätze die S – Sätze (Sicherheitshinweise) ersetzt. Übergangszeit Ende: 1. Juni 2015

GHS = Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, weltweite Harmonisierung der Gefahrenkommunikation von chemischen Produkten, CLP Verordnung (1272/2008/EG)

25 USEtox™ - soll ein von Wissenschaftlern standardisiertes Modell werden. Es charakterisiert human- und ökotoxikologische Wirkungen von Chemikalien für Ökobilanzen und stellt Charakterisierungsfaktoren in einer Datenbank zur Verfügung. USEtox™ ist eine gemeinsame Initiative von United Nations Environmental Programme (UNEP) und Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), abgerufen unter <http://www.use-tox.org/> am 19.3.2015

26 HFKW = wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoff (Treibhausgas), HBCD = Hexabromcyclododecan, Flammschutzmittel, das in Polystyrolschaum verwendet wird

quantitative Bewertung von chemischen Stoffen auf der Basis des EU-Gefahrstoffkennzeichnungssystems mit H-Sätzen und als dritte Methode kommt Usetox zum Einsatz. Zur Beurteilung des Gefahrenpotentials sollte es zu vergleichbaren Ergebnissen kommen. Die Studie kommt aber zu dem Ergebnis, dass „die Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsgefährdung sehr stark von der Methode abhängig ist und potentiell zu divergierenden Beurteilungen führen kann“.

Phase II der Studie erweitert die 18 Referenzsubstanzen auf die Emittenten der Baustoffgruppen, die im Rahmen der Life-Cycle-Betrachtung relevant sind.

Die Auswahl der zu untersuchenden Baustoffe wurde auf Basis der KBOB-Liste „Ökobilanzen im Baubereich“ getroffen. Baustoffe, die keine Zusatzstoffe enthalten, Baustoffe die im Außenbereich keiner Exposition ausgesetzt sind oder Baustoffe, die aufgrund der Ergebnisse aus Phase sehr geringe Emissionen aufweisen, wurden ausgeschlossen.²⁷ Die Extrapolation aus Ergebnissen zeitlich begrenzter Untersuchungen (z.B. 30 Tage) auf die gesamte Nutzungsdauer (10 oder 30 Jahre) ist nach Aussage der Autoren nicht in allen Fällen zufriedenstellen gelungen.

Die Studie hat sich auf repräsentative Bestandteile in den Baustoffen beschränkt. Aus der Vielzahl der in der Studie untersuchten Baustoffe werden hier die Additive in Kunststoff – Dämmstoffen und XPS – Dämmstoffen näher betrachtet. Für den Außenbereich spielt die Auswaschung fester Additive, deren Löslichkeit und die Witterungsexposition des Baustoffs, die wichtigste Rolle. Die Autoren weisen darauf hin, dass bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren unterschiedliche Einbausituationen und Anwendungsbereiche berücksichtigt werden sollten.²⁸ Basierend auf dieser Ermittlung wurde für die untersuchten Treibgase und Brandschutzadditive die Umweltbelastung der Nutzungsphase berechnet.²⁹ Bei Abschätzungen sind die möglichen Bandbreiten der Umweltbelastung angegeben. Emissionen, die vom Treibmittel HFKW-134a ausgehen, ergeben, auf ein Gramm bezogen, eine deutlich höhere Umweltbelastung als das Treibmittel HFO-1234ze. Die Autoren bemerken auch, dass die Umweltbelastung der Nutzungsphase von XPS- und EPS-Dämmstoffen abhängig vom HBCD - Gehalt und vom Wasserkontakt ist. Ferner sind aufgrund des Verbots von HBCD³⁰ für XPS- und EPS-Dämmstoffe zukünftig nur die Emissionen von Treibgasen relevant.

27 Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB): Liste der Ökobilanzen (2014), abgerufen unter https://www.kbob.admin.ch/dam/kbob/de/dokumente/Publikationen/Empfehlungen%20Nachhaltiges%20Bauen/Liste_Oekobilanzdaten_Baubereich_2009_1_2014.xls.download.xls/Liste_Oekobilanzdaten_Baubereich_2009_1_2014.xls am 20.3.2015

Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäß der KBOB-Liste (2013), abgerufen unter https://www.kbob.admin.ch/dam/kbob/de/dokumente/Publikationen/Empfehlungen%20Nachhaltiges%20Bauen/Regeln_Oekobilanzdaten_Baubereich.pdf.download.pdf/Regeln%20f%C3%BCr%20%C3%96kobilanzdaten%20im%20Baubereich.pdf am 20.3.2015

28 s.a. Kapitel 3.2.6 und 4.1.6

29 s.a. Kapitel 5.1.6, Tabelle 78 und 79

30 HBCD wird in den Schweizer Produkten seit Anfang 2014 nicht mehr eingesetzt.

In ihrer Relevanz- und Sensitivitätsanalyse stellen die Autoren die momentane Belastungssituation durch Emissionen der Schweiz dar. Etwa zwei Drittel der Gesamtumweltbelastung wird danach durch Emissionen in die Luft verursacht.³¹ Insbesondere verursachen Emissionen von Dieselruß 42 % und Treibhausgasemissionen 16 % der gesamten nationalen Umweltbelastung. Nach Aussage der Autoren verursachen Baustoffe während der Nutzungsphase Emissionen in Oberflächengewässern, in den Boden oder in die Innenraumluft. Der Anteil dieser Emissionen beträgt gemessen am ganzen rund 10 % der Gesamtumweltbelastung der Schweiz. Der Anteil, der von Baustoffen verursacht wird, ist wiederum nur ein Bruchteil davon. Die Autoren kommen nach der Relevanz- und Sensitivitätsanalyse zu dem Schluss, dass die Nutzungsphase einen Anteil von 0 bis 90 % der Gesamtbelastung hat. Zu besonders hohen Belastungen während der Nutzungsphase führen die Verwendung von wärmedämmenden Treibgasen (z.B. HFKW-245fa oder HFKW-134a) und der Einsatz von HBCD bei EPS- und XPS- Dämmstoffen mit Wasserkontakt.³²

Die Autoren weisen auch darauf hin, dass die Ökobilanzdaten der Nutzungsphase ausschließlich von Emissionen geprägt werden, die sich nur näherungsweise abschätzen lassen. Dieser Umstand liegt auch darin begründet, dass sich Emissionsmessungen bei Baustoffen in der Regel auf eine zeitlich begrenzte Untersuchung beziehen. Zudem sind Extrapolationsmodelle, die sich auf die gesamte Nutzungsphase über eine Generation oder darüber hinaus beziehen, kaum entwickelt.³³ Auch unterscheidet sich der methodische Ansatz zur Bewertung von Emissionen aus Baustoffen mit Umweltbelastungspunkten grundsätzlich von der Methode der ökotoxikologischen Risikoanalysen. Die Autoren führen weiter aus, dass die Methode der ökologischen Knappheit keine kritischen Ausbreitungspfade, Immissionskonzentrationen, Qualitätsziele oder Schwellenwerte berücksichtigt. Sie kommen zu dem Schluss, dass auch deshalb unterschiedliche Ergebnisse und Einschätzungen aus den beiden Methoden nicht auszuschließen sind.

4.3. Fazit

Ein Vergleich von Ökobilanzen, die über eine längere Zeitspanne erstellt wurden, ist nicht immer möglich. Da die zur Verfügung stehenden Daten, insbesondere die Herstellungskosten, über längere Zeit meist nicht konstant sind. Auch haben die vorhandenen Daten zur Umweltbelastung verschiedene Bezugssysteme und sind deshalb oft nicht vergleichbar. Die Methoden, auf denen Studien oder Ökobilanzen basieren, lassen auch wenn sie auf einheitlichen nationalen Regelungen basieren, ausreichend Handlungsspielraum bei ihrer Erstellung. Dieser Umstand lässt einen Vergleich nicht unbedingt zu. Die technisch bedingten Annahmen und Eingrenzungen, Ausklammerungen von Teilaspekten und unterschiedliche Berechnungsprogramme, schränken die Vergleichbarkeit von Ökobilanzen ebenso stark ein. Hinzu kommen die unterschiedlichen Regelungen und Bezugsräume im internationalen Vergleich. Die bisher in Deutschland entwickelten Methoden und Standardisierungen sind ein Entwicklungsschritt zur Vergleichbarkeit des ökologischen Fußabdrucks von Baustoffen.

31 s. Abbildung 1, Seite 78

32 s.a. Kapitel 6.2.5

33 s.a. Kapitel 7.1

5. Quellen und weiterführende Literatur

BINE Informationsdienst (2014): „Nutzerverhalten bei Sanierungen berücksichtigen“, abgerufen unter <http://www.bine.info/nc/publikationen/projektinfos/publikation/nutzerverhalten-bei-sanierungen-beruecksichtigen/?cHash=fa3bba4618bd7fbb960150b2090a8c05&type=333> am 11.3.2015

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), abgerufen unter <http://www.bbr.bund.de/BBSR/DE/Home/Topthemen/oeko-bau.html> am 6.3.2015

Bundesamt für Umwelt BAFU, Öbu – Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften (2013): „Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit“ - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz, abgerufen unter <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de&download=NHZLpZig7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHdnx9e2ym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ,s-.pdf> am 17.3.2015

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015): „eLCA ermöglicht die Ökobilanzierung von Gebäuden“, abgerufen unter http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Service/Medieninfos/2015/online_tool.html?nn=1124686 am 10.3.2015

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015): „Bauteileditor“ im Beta-Stadium, abgerufen unter <http://www.bauteileditor.de/> am 10.3.2015

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Kerz, N., (2014): Folienvortrag „Bewertung von Dämmstoffen - Wie entsteht eine Produktdeklaration und wie kommt die Datengrundlage zustande“, Aktionskreis Energie e.V., Informationsveranstaltung Umweltproduktdeklaration EDP, Berlin, abgerufen unter <http://ake-ev.de/wp-content/uploads/2014/06/20140617-Kerz-Oekobilanz-von-Daemmstoffen.pdf> am 10.3.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014), Ökologisches Baustoffinformationssystem: „Umweltdeklarationen“, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/umweltproduktdeklaration-lex.html> am 3.3.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Wecobis - Ökologisches Baustoffinformationssystem, abgerufen unter <http://www.wecobis.de/#&slider1=1> am 6.3.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Informationsportal Nachhaltiges Bauen, abgerufen unter <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html> am 3.3.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Informationsportal Nachhaltiges Bauen <http://www.nachhaltigesbauen.de/>

Datenbank „Ökobaudat“ des Informationsportals Nachhaltiges Bauen, abgerufen unter <http://www.oekobaudat.de/> am 3.3.2015

Deutscher Bundestag, BT – Drs [17/11380](#) (2012): „Ökologische Baustoffe – Klima schützen, Energie sparen und Ölabhängigkeit Reduzieren“

Deutscher Bundestag, [REDACTED], „[Der ökologische Fußabdruck – Ein Modell, um den Verbrauch von Rohstoffen und Ressourcen sichtbar zu machen](#)“, Wissenschaftliche Dienste, Deutscher Bundestag

Deutscher Bundesta [REDACTED], „Innenraumluftbelastungen durch Dämmstoffe – Schadstoffe in Dämmmaterialien und deren mikrobiologische Hygiene“

DIN 4140:2014-04: Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen in der Industrie und in der technischen Gebäudeausrüstung – Ausführung von Wärme- und Kälteedämmungen, abgerufen unter <http://www.beuth.de/de/norm/din-4140/199082294> am 5.3.2015

DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte, abgerufen unter <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-15804/195229515> am 11.3.2015

DIN EN ISO 14040: „Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen“

[REDACTED] Gebäudetypologie Bayern, Entwicklung von 11 Hausdatenblättern zu typischen Gebäuden aus dem Wohngebäudebestand Bayerns, Studie im Auftrag des Bund Naturschutz Bayern e.V., 98 S., Darmstadt: IWU, Endbericht abgerufen unter http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Bericht_Hausdatenblaetter_Bayern.pdf am 11.3.2015

IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie GmbH, Lipp, B., (2013): „Bauen und Sanieren“, abgerufen unter http://kek-bo.eu/wp-content/uploads/2013/04/Vortrag-Bernhard-Lipp_BauenSanieren.pdf am 11.3.2015

Industrieverband Hartschaum e.V. (IVH) (2010): „Das Neueste zum ökologischen Fußabdruck von Dämmstoffen“, abgerufen unter http://www.gph.at/images/gph/events/2010_04_21/FV/vortrag_schoenell_10.pdf am 3.3.2015

Industrieverband Hartschaum e.V., IVH, Heidelberg (2010): „Das Neueste zum ökologischen Fußabdruck von Dämmstoffen“ http://www.gph.at/images/gph/events/2010_04_21/FV/vortrag_schoenell_10.pdf am 3.3.2015

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) [REDACTED], „Ökologische Bauprodukte“, TATuP - Zeitschrift des ITAS zur Technikfolgenabschätzung, abgerufen unter http://www.tatup-journal.de/tatup092_klje09a.php am 6.3.2015

[REDACTED], „Ökobilanzierung der Nutzungsphase von Baustoffen - Methodik zur Bewertung umweltrelevanter Baustoffbestandteile. Phase I Entwicklung und Test der Methodik“, Büro für Umweltchemie, Zürich im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) Abteilung Ökonomie und Umweltbeobachtung, Fachbereich Ökobilanzen, Bern

Umweltbundesamt (UBA) (2010): Folienvortrag „Gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten nach dem AgBB-Schema“ abgerufen unter http://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitliche_bewertung_von_bauprodukten_nach_dem_agb_b_schema.pdf am 3.3.2015

6. Teil 2 - Einleitung

Graue Energie ist der kumulierte Aufwand an Primärenergie, der erforderlich ist, um ein Produkt oder eine Leistung an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Die Bezeichnung „grau“ soll dabei auf einen nicht unmittelbar sichtbaren energetischen Reboundeffekt³⁴ hinweisen, der über den gesamten Lebenszyklus, von der Herstellung über Bereitstellung, Nutzung und der Entsorgung, auftritt.

Der Begriff Graue Energie wird seit den 70er Jahren im Rahmen von Energiebilanzierungen verwendet. In den 80er Jahren basierte die Theorie der Energiebilanzierung auf der Annahme, dass ein umweltbedingter Minderverbrauch fossiler Brennstoffe allein durch Verwendung von Kernenergie kompensiert werden könnte. Die 90er Jahre brachten den Wechsel zur Annahme, dass Energiesparmaßnahmen zukünftige Energieprobleme lösen könnten. Die Theorie wurde in den letzten Jahrzehnten weiterentwickelt. Eine einheitliche Regelung zur Vergleichbarkeit von Energiebilanzierungen gibt es derzeit nicht.³⁵

Die folgenden Kapitel beschreiben die allgemeine Darstellung der Grauen Energie und ihrer Weiterentwicklung.

7. Graue Energie und KEA

Als Graue Energie wird die Energie bezeichnet, die notwendig ist, um zum Beispiel ein Gebäude zu errichten oder einen Baustoff herzustellen und zu verarbeiten. Der Begriff Graue Energie umfasst die Energie, die zum Gewinnen von Materialien, zum Herstellen und Verarbeiten von Bauteilen, zum Transport von Menschen, Maschinen, Bauteilen und Materialien zur Baustelle, zum Einbau von Bauteilen im Gebäude sowie zur Entsorgung aufgewendet werden muss. Bei der Bestimmung der Grauen Energie wird der gesamte Energieaufwand des Produktionsprozesses für Herstellung und Transport über den ganzen Lebenszyklus einschließlich der Entsorgung bewertet.

Die Energie, die hierbei betrachtet wird, ist die sogenannte Primärenergie. Primärenergie ist, die in einer natürlichen Quelle gespeicherte Energie, wie sie beispielsweise in Rohöl, Erdgas, Steinkohle Uran, Wasserkraft, Brennholz und anderer Biomasse, Sonneneinstrahlung, Wind, Umgebungswärme oder auch Erdwärme vorkommt. Sie stellt den Energieinhalt von Energieträgern dar, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden. Die Graue Energie berechnet sich aus der Summe aller nichterneuerbaren Primärenergieträger und energetisch nutzbaren Rohstoffe eines bestimmten Systems.

Als Einheit wird der Primärenergieinhalt (PEI, auch Primärenergieaufwand oder Primärenergiebedarf) verwendet. PEI ist die Energie, die zur Gewinnung der Rohstoffe und Herstellung eines

³⁴ Der Rebound-Effekt beschreibt den Umstand, dass eine Energieeinsparung durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz aufgrund von Verhaltensänderungen hinter den betriebswirtschaftlichen Berechnungen zurückfallen kann. Dies wäre der Fall, wenn zum Beispiel nach einer Wärmeisolierung eines Gebäudes mehr Räume beheizt werden als zuvor.

³⁵ [REDACTED], „Graue Energie – Energiebilanzen von Energiesystemen“, vdf Hochschulverlag, B.G. Teubner, Stuttgart

Produktes einschließlich des Wärmewertes (Heiz- bzw. Brennwertes) der Rohstoffe benötigt wird. Die Systemgrenzen sind nicht einheitlich definiert. Oft wird bei der Erfassung eines Gebäudes der Energieaufwand für die Herstellung der Baustoffe nicht erfasst. Durch die Verwendung heimischer Materialien und durch ressourcenschonendes Bauen lässt sich die im Gebäude verbaute Graue Energie beispielsweise minimieren.

Die Graue Energie eines Gebäudes kann zum Beispiel dem Betriebsenergieverbrauch von 20 Jahren und mehr entsprechen. Wird bei der Planung eines Neubaus oder Sanierung eine 10-prozentige Reduzierung des Bedarfs an Grauer Energie erreicht, so soll dies die Abschaltung eines Kraftwerkblocks mit einer Leistung von 2.000 MW ermöglichen, was einer jährlichen CO₂-Einsparung von bis zu 7 Mio. Tonnen entsprechen soll. Einsparpotential wird im Einsatz von Baustoffen mit vergleichsweise geringer Grauer Energie, in der Wiederverwendung von Baustoffen oder der Reduzierung des Anteils an Grauer Energie für Baustoffe des Herstellungsprozesses gesehen.³⁶

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Energieträger, die in der Grauen Energie enthalten und nicht enthalten sind:³⁷

In Grauer Energie enthalten	In Grauer Energie nicht enthalten
Erdöl, Erdgas, Kohle und alle daraus gewonnenen Energieträger und Rohstoffe mit dem Energiewert aus der Verbrennung	Holz, Kork und andere pflanzliche und tierische Rohstoffe, sowie daraus gewonnene Energieträger, soweit sie aus nachhaltiger Bewirtschaftung stammen
Natururan mit der in Leichtwasserreaktoren nutzbaren Wärme	Sonnenenergie, Erdwärme, Windenergie, Umgebungswärme und alle daraus gewonnenen Sekundärenergieformen
Wasserkraft mit der auf der Turbinenschaufel nutzbaren mechanischen Energie	Altkunststoff, Altpapier, Altreifen, Klärschlamm, und andere Abfälle, die stofflich oder energetisch wiederverwertet werden

³⁶ Projekt GENET (Innovationsnetzwerk graue Energie im Baubereich) durch die Deutsche Stiftung Umwelt, Abschlussbericht 2012, abgerufen unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-27052.pdf> am 4.3.2015, Projektseite unter <http://gutebaustoffe.de/>

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014): „Graue Energie“ in WECOBIS abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/graue-energie-lex.html> am 3.3.2015

Primärenergiebedarf von Dämmstoffen abgerufen unter <http://www.ecoquent-positions.com/primaerenergie-von-baustoffen-und-baukonstruktionen/> am 4.3.2015

³⁷ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014): „Graue Energie“ in WECOBIS abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/graue-energie-lex.html> am 3.3.2015

Im ökologischen Baustoffinformationssystem des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) heißt es dazu weiter:

„Es gibt noch keine Normierung, die einen zuverlässigen Vergleich der Werte erlauben würde. Die Systemgrenzen spielen eine maßgebende Rolle bei der Berechnung der Grauen Energie. Die Stoff- und Energieflüsse sind grundsätzlich offen. Die Festlegung von Systemgrenzen ist für die Berechnung von Grauenenergiewerten notwendig. Das System beschreibt die in die Bilanz miteinbezogenen Prozesse, sowie alle in das System ein- und ausgetragenen Energie- und Materialflüsse. Systemeinschränkungen werden hauptsächlich durch Vernachlässigung der Prozessketten von Hilfsstoffen praktiziert. Systemerweiterungen betreffen heute häufig die Berücksichtigung der Herstellung von Produktionsmitteln (z. B. Drehrohren) oder Infrastrukturelemente (Gebäude, Verkehrswege). Für den Vergleich von Grauenenergiewerten verschiedener Baustoffe ist auf jeden Fall sicherzustellen, dass die Systemgrenzen derselben Logik folgen.“

Daneben finden weitere Faktoren keine Berücksichtigung:“

„Speziell der Stand der Technik ist ein maßgeblicher Faktor für die Graue Energie. Ältere Anlagen brauchen für dasselbe Produkt häufig mehr Energie als neuere Anlagen. Neben der Rohstoffintensität ist die Graue Energie auch ein Indikator für alle mit dem Energieverbrauch verbundenen Umweltbelastungen wie Kohlendioxid- (siehe CO₂), Stickoxid- und andere energieträgerbedingten Luftbelastungen. Diese mit den Energieträgern verbundenen Umweltbelastungen werden pauschal mit dem Heizwert, bzw. der potentiell nutzbaren Energie der Primärenergieträger berechnet. Mit der Grauen Energie werden keine speziellen Schadstoffemissionen erfasst. Auch Lösemittelmissionen werden mit dem Primärenergieaufwand kaum berücksichtigt.“

Mit Hilfe des kumulierten Energieaufwands lässt sich die Graue Energie quantitativ erheben. Die Summe bezieht sich auf die Herstellung und Entsorgung eines Kilogramms des entsprechenden Baustoffs. Die Basis hierzu bildet der Bedarf an fossilen Ressourcen und nuklearen Energieträgern.

Bei der Ökobilanzierung wird zunehmend streng zwischen nicht erneuerbaren und erneuerbaren, bzw. nicht regenerierbaren und regenerierbaren Energieträgern unterschieden. Es wird deshalb kaum mehr der Begriff Graue Energie sondern KEA verwendet. KEA steht für kumulierter Energieaufwand. Darunter wird die „Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann“, verstanden. „Dieser Energieaufwand ist die Summe der Kumulierten Energieaufwendungen für die Herstellung (KEAH), die Nutzung (KEAN) und die Entsorgung (KEAE) des ökonomischen Gutes, wobei für diese Teilsumme anzugeben ist, welche Vor- und Nebenstufen mit einbezogen sind. Bei der Aufstellung soll zwischen KEASumme (gesamter KEA) und den Komponenten: KEANichter-erneuerbar (fossile + nukleare Primärenergien), KEAerneuerbar (regenerative Primärenergien) und KEAandere (energetisch genutzte Reststoffe) unterschieden werden. Die KEA – Betrachtung klammert den Energieinhalt von Brennstoffen die stofflich genutzt werden (z. B. Bauholz) aus, und setzt den Nutzungsgrad jeder Primärenergiegewinnung auf 100 % (z. B. Bergbau, Solarzelle, Wasserkraftwerk).

Die nicht regenerierbaren Anteile des KEA sind gegenüber der hier definierten Grauen Energie um den Wasserkraftanteil vermindert. Allerdings sind die neueren Werte in der Regel Systemgrenzen bedingt höher, weil sie mehr Infrastrukturelemente berücksichtigen und konsequent mit oberen Heizwerten rechnen.³⁸

Beispielsweise ist je nach Dämmstoffart und –dicke der Entsorgungsaufwand an Grauer Energie unterschiedlich. Die energetischen Amortisationszeiten, d.h. der Zeitraum, in dem der Energieaufwand für die Herstellung der Dämmstoffe durch Energiekostensparnisse wieder erwirtschaftet wird, liegen je nach Gebäude, verwendeten Dämmstoff und dessen Dicke zwischen wenigen Monaten und mehreren Jahren.³⁹

Die Bilanzierung des kumulierten Energieaufwands (KEA) ist ein Teilaspekt der unter anderen bei der Ökobilanz oder Lebenszyklusanalyse (LCA) ein wichtiger Kennwert für eine energetische Ressourceneffizienz und eine ökologische Bewertung des jeweiligen betrachteten Systems sein kann⁴⁰.

8. Graue Energie von Energiesparmaßnahmen am Beispiel Wärmedämmung⁴¹

Ein Beispiel für die Anwendung der Betrachtung der Grauen Energie ist die Wärmedämmung an Gebäuden bzw. flachen Oberflächen. Es gibt Fälle, für die eine dickere Wärmedämmung die Energieverluste nicht verringern würde. Im folgenden vorgestellten Beispiel beschreibt der Autor den Energiebedarf für Heizen und Dämmen als Funktion der Dämmstärke. Die ausgezogene Linie zeigt den jährlichen Verlust durch Polystyrolplatten von 1m². Als Berechnungsbasis wurde eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/m; eine Dichte 18 kg/m³, gemäßigtes Klima ohne Klimatisierung

³⁸ Online-Lexikon vom Architekturmagazin [BauNetz](http://www.baunetzwissen.de/glossarbegriffe/Nachhaltig-Bauen-Graue-Energie_664290.html), Baunetz Wissen - Glossar (): "Graue Energie" abgerufen unter http://www.baunetzwissen.de/glossarbegriffe/Nachhaltig-Bauen-Graue-Energie_664290.html am 21.2.2015

Video: „Graue Energie was ist das“ abgerufen unter <http://graue-energie.ch/> am 4.3.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014): „Graue Energie“ in WECOBIS abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/graue-energie-lex.html> am 3.3.2015

³⁹ Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage „Dämmstoffe für die energetische Gebäudesanierung“ (2015), BT - Drs [18/4129](#), S.3

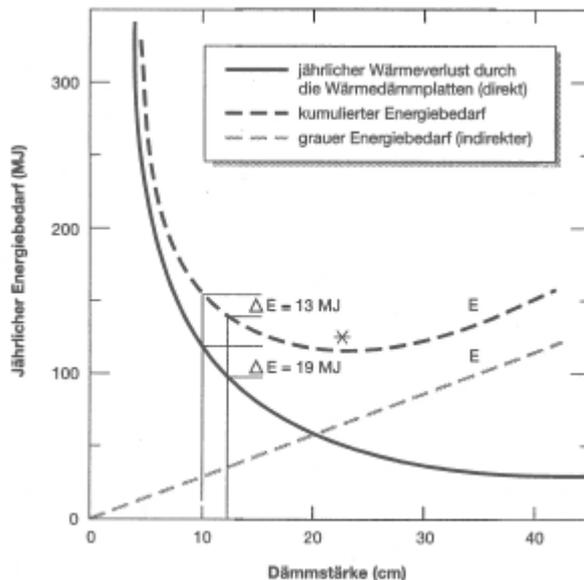
⁴⁰ Zitiert aus: Richtlinie VDI 4600: abgerufen unter <http://www.beuth.de/cmd%3Bjsessionid=VLJMH3CO51I4HYVDK-PLILNNU.4?workflowname=infoInstantdownload&docname=1807038&contextid=beuth&serviceref-name=beuth&ixos=toc> am 5.3.2015

DIN EN ISO 14004:2010-08 „Umweltmanagementsysteme“, abgerufen unter <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14004/128764961> am 5.3.2015

⁴¹ [REDACTED] „Graue Energie – Energiebilanzen von Energiesystemen“, S. 107 – 104, vdf Hochschulverlag, B.G. Teubner, Stuttgart

[REDACTED] „Graue Energie - ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden“, Fachhochschule Burgenland, Österreich, abgerufen unter <http://www.bauberufe.eu/images/doks/GraueEnergie081121.pdf> am 5.3.2015

und 3500 Heizgradtage⁴² für das Land Schweiz gewählt. Der Autor setzte 3,18 t Erdöläquivalent pro Tonne Polystyrol-Hartschaum und 10 % (0,3 t) für Schäumung und Handhabung an. Weitere Informationen, z.B. zum verwendeten Treibmittel wurden nicht angegeben. Die Grafik zeigt, dass der Energiebedarf linear mit der Dicke der Polystyrolplatten zunimmt.



Der Amortisationszeitraum wurde auf 10 Jahre geschätzt. Der kumulierte Energiebedarf besteht aus der Summe des geschätzten Heizenergiebedarfs und des angesetzten Energieverbrauchs für die Dämmung. In diesem Beispiel liegt der Idealwert bei einer Plattendicke von 24 cm. Amortisationszeiten von 2 und 50 Jahren liefern Stärken von 10 und 38 cm. In diesem Beispiel sinkt auch der Energieverbrauch von 19 MJ auf 13 MJ bei einer Plattendicke von 12 bzw. 10 cm.

Die Berechnung der Grauen Energie bzw. des kumulierten Energieaufwands ist *ein* wichtiger Kennwert für die ökologische Bewertung von Produkten und Dienstleistungen und lässt aufgrund der möglichen Bemessungs- und Bewertungsspielräume nicht zwingend eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu.

⁴² Heizgradtage werden als heiztechnische Kenngrößen verwendet: Gradtagzahlen und Gradtage stellen den Zusammenhang her zwischen der Außenlufttemperatur und der gewünschten Raumtemperatur. Ist es draußen kalt, innen aber warm, dann erreichen sie hohe Werte. Wenn es draußen fast so warm ist wie drinnen, dann ist die Gradtagzahl niedrig. Gradtagzahlen werden nach der VDI-Richtlinie VDI 2067 berechnet, Gradtage nach VDI 3807 oder nach VDI 4710. Deutscher Wetterdienst, abgerufen unter http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T17400910631149670782053gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima_Umwelt%2FKlimadaten%2Fspezialdaten%2FGTZ_start_node.html_nnn%3Dtrue&state=maximized&window-Label=T17400910631149670782053 am 5.3.2015

9. Quellen und weiterführende Literatur

Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage „Dämmstoffe für die energetische Gebäudesanierung“ (2015), BT - Drs [18/4129](#), S.3

Berechnung der Grauen Energie in Österreich bei MINERGIE-A®, MINERGIE-ECO®, MINERGIE-P-ECO® UND MINERGIE-A-ECO® BAUTEN: http://www.minergie.ch/tl_files/download/Nachweistools/Minergie-ECO/Berechnung_Graue_Energie_online_2014.pdf, 18.2.2015

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014): „Graue Energie“ in WECOBIS abgerufen unter <http://www.wecobis.de/service/lexikon/graue-energie-lex.html> am 3.3.2015

Deutscher Wetterdienst: „Gradtagzahlen und Gradtage“, abgerufen unter http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T17400910631149670782053gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima_Umwelt%2FKlimadaten%2Fspezialdaten%2FGTZ_start_node.html_nnn%3Dtrue&state=maximized&windowLabel=T17400910631149670782053 am 5.3.2015

DIN EN ISO 14004:2010-08 „Umweltmanagementsysteme“, abgerufen unter <http://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14004/128764961> am 5.3.2015

Online-Lexikon des Architekturmagazins BauNetz, Baunetz Wissen - Glossar: "Graue Energie" abgerufen unter http://www.baunetzwissen.de/glossarbegriffe/Nachhaltig-Bauen-Graue-Energie_664290.html am 21.2.2015

Primärenergiebedarf von Dämmstoffen, abgerufen unter <http://www.ecoquent-positions.com/pri-maerenergie-von-baustoffen-und-baukonstruktionen/> am 4.3.2015

Projekt GENET (Innovationsnetzwerk graue Energie im Baubereich) durch die Deutsche Stiftung Umwelt, Abschlussbericht 2012, abgerufen unter <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-27052.pdf> am 4.3.2015, Projektseite unter <http://gutebaustoffe.de/>, Video: „Graue Energie was ist das“ abgerufen unter <http://graue-energie.ch/> am 4.3.2015

Richtlinie VDI 4600: abgerufen unter <http://www.beuth.de/cmd%3Bjsessionid=VLJMH3CO51I4HYVDKPLILNNU.4?workflowname=infoInstantdownload&docname=1807038&contextid=beuth&servicerefname=beuth&ixos=toc>, am 5.3.2015

Schweizer Energieagentur Folienvortrag „Graue Energie“ abgerufen unter <http://www.energieagentur-sg.ch/Portals/0/Dateien/Wissen/Schulungen/Inhouse%20Schulung/Graue%20Energie.pdf> am 18.2.2015

SIA = Schweizer Ingenieur und Architekturverein „Softwaretool“ http://www.energytools.ch/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=9&view=viewdownload&catid=3&cid=4&lang=de

SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2010): Merkblatt SIA 2032 "Graue Energie von Gebäuden", Fraunhofer IRB, Zürich abgerufen unter <https://www.baufachinformation.de/merkblatt/SIA-Merkblatt-2032-Ausgabe-2010/237909>

██████████, „Wärmedämmungs-Strategien im Haushaltssektor und ihr Beitrag zu Materialeffizienz und Emissionsminderung – eine Langfristanalyse bis zum Jahr 2050“, Z Energiewirtschaft (2012) 36:37–50 DOI 10.1007/s12398-011-0072-y Vieweg+Teubner 2011 abgerufen unter http://download.springer.com/static/pdf/703/art%253A10.1007%252Fs12398-011-0072-y.pdf?auth66=1424691081_8ccddac04c06bef7bd81cf29367a6b69&ext=.pdf am 23.2.2015

██████████, „Graue Energie – Energiebilanzen von Energiesystemen“, vdf Hochschulverlag, B.G. Teubner, Stuttgart

VDI 4600 Blatt 1:2013-04:Kumulierter Energieaufwand – Beispiele, abgerufen unter <http://www.beuth.de/de/technische-regel-entwurf/vdi-4600-blatt-1/167996782;jsessionid=VLJMH3CO51I4HYVDKPLILNNU.4> am 5.3.2015

VDI 4600:2012-01: Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden, abgerufen unter <http://www.beuth.de/cmd%3Bjsessionid=VLJMH3CO51I4HYVDKPLILNNU.4?workflowname=infoInstantdownload&docname=1807038&contextid=beuth&serviceref-name=beuth&ixos=toc> am 5.3.2015

██████████, „Graue Energie - ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden“, Fachhochschule Burgenland, Österreich, abgerufen unter <http://www.bauberufe.eu/images/doks/GraueEnergie081121.pdf> am 5.3.2015