

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 57: Evaluierung der konstruktionsspezifischen CO₂-Emissionen und der grauen Energie

A. Passer, H. Kreiner
M. Röck, et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

13/2018

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 57: Evaluierung der konstruktions- spezifischen CO₂-Emissionen und der grauen Energie

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander Passer, MSc.,
Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmuth Kreiner, Dipl.-Ing. Martin Röck,
Dipl.-Ing. Marco Scherz, Dipl.-Ing. Gernot Fischer
Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen, Institut für Materialprüfung
und Baustofftechnologie an der Technischen Universität Graz

Dipl.-Ing. (FH) Beate Lubitz Prohaska
Österreichisches Ökologie-Institut

Graz, Juli 2017

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	6
1. Einleitung.....	7
1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik	7
1.2. Ausgangssituation/Motivation des Projektes	9
1.3. Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet.....	11
1.3.1. Stand der Bewertungsmethoden.....	14
1.3.2. Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) - Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse...	16
1.4. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema	18
1.5. Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts	20
2. Hintergrundinformation zum Projektinhalt.....	21
2.1. Darstellung des gesamten Kooperationsprojektes und der Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes	21
2.2. Beschreibung der österreichischen Kooperation	24
2.3. Beschreibung der Projektziele.....	25
2.4. Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise.....	27
3. Ergebnisse des Projektes	28
3.1. Bedeutung von Grauen Umweltwirkungen.....	29
3.2. Stand der Technik von Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen und ihre Anwendung (Ergebnisse ST2).....	32
3.3. Begriffe und Definitionen (Ergebnisse ST1 und ST3).....	36
3.4. Modellierung des Produktlebenszyklus von Bauprodukten.....	40
3.5. Schrittweise Quantifizierung der Bewertungsprozess Grauer Umweltwirkungen.....	45
3.6. Case Studies (Ergebnisse ST4)	48
4. Vernetzung und Ergebnistransfer.....	58
4.1. Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für welche die Projektergebnisse relevant sind	58
4.2. Wie wurden die relevanten Stakeholder in das Projekt eingebunden?.....	61
4.3. Beschreibung der Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse	64
5. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	65
5.1. Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam?.....	65
5.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?	66
5.3. Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?	66
5.4. Darstellung, ob weiterführende nationale Forschungsprojekte bzw. IEA-Kooperationsprojekte im Themenbereich geplant sind bzw. schon durchgeführt werden	67
5.5. Internationale Projektergebnisse.....	69
6. Verzeichnisse	70

6.1.	Literaturverzeichnis.....	70
6.2.	Abbildungsverzeichnis.....	77
6.3.	Tabellenverzeichnis.....	78
6.4.	Abkürzungsverzeichnis.....	79
6.5.	Glossar.....	82

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Die Frage der Verfügbarkeit von stofflichen und energetischen Ressourcen beschäftigt die Menschheit seit jeher. Deren Verbrauch war aber lange Zeit fast ausschließlich auf erneuerbare, nicht fossile Ressourcen, beschränkt. Aktuelle Entwicklungen - beispielsweise die Überschreitung der 400ppm Grenze der CO₂-Äq. in der Atmosphäre im Jahr 2015 - verdeutlichen die Dringlichkeit Maßnahmen in Richtung einer dekarbonisierten, kreislauffähigen Wirtschaft zu verstärken, um den Temperaturanstieg auf unter 1,5°C zu begrenzen. Dem Bausektor kommt hier aufgrund seiner Bedeutung eine Schlüsselrolle zu. Die aktuelle Entwicklung zur Verbesserung der Gesamtnachhaltigkeit von Gebäuden erfordert aber auch die explizite Einbindung der Aspekte der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen in die Beurteilung der Umweltleistung von Gebäuden, da Fragestellungen zur Energieeinsparung in der Nutzungsphase bereits als weitgehend gelöst und reglementiert erscheinen. Die steigende Nachfrage an transparenten und nachvollziehbaren Berichten und Umweltinformationen zu Bauprodukten verstärkt den Handlungsbedarf. Mit besseren Bewertungsmethoden soll es Kunden, öffentlichen Beschaffern und Planern möglich gemacht werden die Nachhaltigkeit von Gebäuden zu verbessern.

Inhalte und Zielsetzungen

Deshalb hat die Internationale Energie Agentur (IEA) im Jahr 2012 den IEA EBC Annex 57 ins Leben gerufen, der das Ziel verfolgt internationale Standards und Methoden zur Bewertung Grauer (konstruktionsspezifischer) Treibhausgasemissionen (Emissionen an CO₂-Äq.) und Grauer Energie (Primärenergie) zu evaluieren. Ziel war, das Zusammenfassen existierender Forschungsergebnisse, das Entwickeln von Richtlinien zu Methoden der Evaluierung und von Richtlinien für Maßnahmen zur Planung und Konstruktion von Bauwerken mit weniger Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen.

Methodische Vorgehensweise

Zur Erreichung der Ziele wurde das Projekt in fünf Teile gliedert: Grundlagen, Akteure und Konzepten; einer umfassenden Literaturstudie; Evaluierungsmethoden Grauer Energie und Treibhausgasemissionen; Planungs- und Konstruktionsmethoden für Gebäude mit verringerter Grauer Energie und Treibhausgasemissionen sowie Vernetzungs- und Verbreitungsmaßnahmen.

Ergebnisse

Durch die internationalen Experten wurden die doch sehr unterschiedlichen internationalen Methoden und Herangehensweisen analysiert, sowie Grundlagen für die Harmonisierung der Bewertungsmethodik festgehalten.

Es wurden umgesetzte, beispielhafte Bauprojekte in Hinblick auf besonders zielführende Ansätze zur Reduktion der bauprodukt- und konstruktionsspezifischen Umweltwirkungen sowie der Grauen Energie analysiert und deren Übertragbarkeit für andere Länder diskutiert und Vorschläge für auf Graue Energie bzw. Treibhausgasemissionen optimierte Bauweisen in Form von Leitfäden für die verschiedenen Akteursgruppen (Bauprodukte-Hersteller, Entwurfs- und Planungsbeteiligte, Pädagogen und Politik) erarbeitet.

Speziell für die Hersteller von Bauprodukten wurde auch ein Leitfaden entwickelt, der eine Hilfestellung und Arbeitserleichterung für die Erstellung von Umweltproduktinformationen und -deklarationen darstellen soll. Denn gerade für KMU's ist es aufgrund eingeschränkter Ressourcen und eingeschränktem Informationszugriff meist schwieriger, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder zu steigern, obwohl diese zumeist eine hohe Motivation und Arbeitsbereitschaft zeigen und die gesteigerte Verantwortung für Umwelt und Gesellschaft zu übernehmen bereit sind.

Abstract

Initial situation/motivation

The question of the availability of material and energetic resources has always been concerned with human mankind. However, their consumption was for a long time almost exclusively limited to renewable, non-fossil resources. Current developments - for example exceeding the 400ppm limit of the CO₂-eq. in the atmosphere in 2015 - clarify the urgency of measures towards a decarbonised, circular economy to limit the temperature rise to below 1.5°C. The construction sector plays a key role here because of its major importance. However, the current development to improve the overall sustainability of buildings also requires the explicit inclusion of the aspects of embodied energy and the embodied greenhouse gas emissions in the assessment of the environmental performance of buildings, since questions regarding energy saving in the utilization phase already appear to be largely solved and regulated. The increasing demand for transparent and comprehensible reports and environmental information on construction products intensifies the need for action. Better assessment methods are intended to enable customers, public purchasers and planners to improve the sustainability of buildings.

Content and objectives

This is why the International Energy Agency (IEA) has launched the IEA EBC Annex 57 in 2012, which is aimed at the Evaluation of Embodied Energy and CO₂-eq for Building Construction. The aim was to summarize existing research results, develop guidelines on evaluation methods and guidelines for design and construction of buildings with less embodied energy and embodied greenhouse gas emissions.

Methodological approach

In order to achieve the objectives, the project was divided into five parts: basic principles, actors and concepts; A comprehensive literature study; Evaluation methods embodied energy and greenhouse gas emissions; Planning and construction methods for buildings with reduced embodied energy and greenhouse gas emissions as well as networking and dissemination activities.

Results

The international experts analysed the very different international methods and approaches, as well as the foundations for the harmonization of the assessment methodology.

In the course of the project, the project was carried out with a view to the implementation of the project Stakeholders (construction product manufacturers, design and planning stakeholders, educators and policy makers).

A guide has also been developed specifically for the manufacturers of construction products, which is intended to provide assistance and make work easier for the production of environmental product information and declarations. For SMEs in particular, it is usually more difficult to maintain or increase their competitiveness because of restricted resources and restricted information access, although they are generally highly motivated and willing to work, and are willing to take on increased responsibility for the environment and society.

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Einführung in die Thematik

Die Frage der Verfügbarkeit von stofflichen und energetischen Ressourcen beschäftigt die Menschheit seit jeher, da diese zur Errichtung und zum Betrieb von Bauwerken meist in großer Menge benötigt werden. Bis zur industriellen Revolution, welche in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts begann, war dabei der Verbrauch fast ausschließlich auf erneuerbare, nicht fossile Ressourcen, beschränkt. Seit dieser tiefgreifenden, dauerhaften Umgestaltung unseres Wirtschaftssystems lässt sich ein drastischer Anstieg des Ressourcenverbrauchs und damit verbunden eine deutliche Veränderung des Weltklimas beobachten, welche dem anthropogenen, d.h. dem von Menschen verursachten, Klimawandel zugeschrieben wird. Mit Umweltkandalen, wie beispielsweise der ersten Ölkrise 1973, dem sauren Regen und dem damit verbundenen Waldsterben in den 1980er Jahren oder dem Atomunfall von Tschernobyl 1986, rückte die Diskussion über die Umweltverschmutzung in eine breitere Öffentlichkeit und führte in weiterer Folge zu einem verstärkten Umweltbewusstsein. Parallel zu diesen Entwicklungen lässt sich in weiterer Folge die Entwicklung des Nachhaltigkeitsverständnisses ableiten. Ausgehend von den ersten Ansätzen hinsichtlich Nachhaltigkeit in der europäischen Forstwirtschaft (Beispielsweise dem *Code forestier* von Jean-Baptiste Colbert oder der *Sylvi-cultura oeconomica* von Carl von Carlowitz) hat sich das Leitbild einer Nachhaltigen Entwicklung zunehmend etabliert¹ (vgl. [70]).

Die Entwicklungen zur Quantifizierung der Nachhaltigkeit, d.h. deren Messbarkeit, fußen nach Anfängen zu Beginn der 1970er Jahre (Gründung *United Nations Environmental Programme* (UNEP) 1972, Einführung *Kumulierter Energieaufwand* (KEA) 1974 und Gründung der *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) 1979, auf der Entwicklung verschiedener Methoden, welche 1993 erstmals in den *Guidelines for Life Cycle Assessment: A „Code of Practice“*, zusammengeführt wurden. Die weitere Harmonisierung auf internationaler Ebene begann durch die Normungstätigkeit der *International Standard Organization* (ISO) noch im selben Jahr und wurde 1996/2006 mit der ISO 14040 Serie [15] zum Abschluss gebracht. Ein weiterer, bedeutender Meilenstein für das Bauwesen war die Entwicklung von internationalen Normen (z.B. ISO 15392 [40] oder EN 15643-1 [17]) sowie die Entwicklung von Gebäudebewertungs-/zertifizierungssystemen (z.B. BREEAM, LEED oder DGNB)² (vgl. [70]).

Im vorliegenden Dokument bezieht sich der Begriff „Graue Umweltwirkungen“ ausschließlich auf die Primärenergie (Graue Energie - *Embodied Energy* [MJ] - EE) und negative Auswirkungen auf das Klima durch THG-Emissionen (Graue Treibhausgasemissionen - *Embodied GHG Emissions* [CO_2 -eq.] - EG) – hier gemeinsam auch als *Embodied Energy and Embodied GHG Emissions* (EEG) bezeichnet. Diese entstehen im Lebenszyklus der Bauprodukte infolge ihrer Herstellung, ihres Einbaus im Gebäude, bei Bauarbeiten und im Zuge der Instandhaltung sowie der Prozesse am EoL – siehe Abbildung 5 [73].

Derzeit sind zahlreiche – kaum mehr überschaubare – Aktivitäten in den letzten Jahren festzustellen, wobei die aktuelle Diskussion über Vor- und Nachteile verschiedener Bauweisen unter dem Einfluss der subjektiven Standpunktvertretung einzelner Interessensgruppen in Mitleidenschaft gezogen wird.

¹ Eine nachhaltige Entwicklung dient den Bedürfnissen der heutigen Generation, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen (verkürzte Definition - vgl. [11])

² Gesammelte Akronyme siehe Verzeichnis – Seite 69

Die einzelnen Interessensgruppen greifen meist jene Aspekte der Nachhaltigkeit auf, die ihren eigenen Zwecken dienlich erscheinen. Vielfach werden quantitative Vergleiche mit verschiedenen ökologischen Kenngrößen angestellt, ohne jedoch die Zuverlässigkeit der Basisdaten oder einheitliche Bilanzgrenzen zu berücksichtigen (vgl. [78]).

Die Methoden zur Berechnung der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen in der Baubranche sind für viele unklar, wenn nicht verwirrend, und die Interpretation der Ergebnisse stimmt in der Regel nicht mit der Berechnungsmethode oder ihrer entsprechenden Anwendung überein [103]. Einige der erwähnten Herausforderungen sind:

- Ungenauigkeit und Unvollständigkeit des Quantifizierungsansatzes
- Verschiedene Quantifizierungsmethoden
- Unterschiedliche Systemgrenzen
- Datenqualität

Die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Daten und Informationen über Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen von Baustoffen und Produkten, sind daher die wichtigsten Voraussetzungen für die Bewertung eines Gebäudes. Diese Informationen sollten jedoch zuverlässig sein, um nützliche Vergleiche zwischen Bauprodukten zu ermöglichen. Beide Anteile haben großen Einfluss auf die gesamten Grauen Umweltwirkungen in Zusammenhang mit der Ressourcennutzung (in diesem Fall Energieressourcen) und die negativen Auswirkungen auf die Umwelt (hier GWP) [73].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das derzeitige Problem in der Bewertung der Grauen Energie bzw. Grauen Treibhausgasemissionen von Gebäuden derzeit keine gezielten Aussagen ermöglichen, da die Grundlagen nicht harmonisiert sind - unterschiedliche Systemgrenze, Datenbanken, Betrachtungszeiträume, berücksichtigte Gebäudeteile, Abschneidekriterien, etc. Zurzeit werden nicht alle Bauprodukt Daten mit konsequenten Einschätzungsgrenzen erfasst und produktspezifische Daten von Herstellern sind nicht immer mit den allgemeinen Produktdaten vergleichbar. Systemgrenzen, Modellierungsansätze und Hintergrunddaten können variieren und damit einen wesentlichen Einfluss auf die daraus resultierenden Umweltauswirkungen ausüben. Abhängig von verschiedenen Randbedingungen, Datenquellen und Methodik können die Ergebnisse variieren (manchmal sehr deutlich) und damit Einfluss auf die entscheidenden Entscheidungen der Stakeholder nehmen. Für Planer und Berater haben beispielsweise Lützkendorf et al. [58] praktische Leitlinien (z.B. Systemgrenzen, klare Definitionen, Datenquellendokumentation etc.) zur Einbeziehung Grauer Umweltauswirkungen in den Bauplanungs- und Beschaffungsprozess vorgestellt. Viele haben bereits die Notwendigkeit kundgetan, klare Leitlinien für die Berechnungsmethoden und Anwendungen der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen für verschiedene Stakeholder im Baugewerbe zu entwickeln (Balouktsi et al. [4], Lützkendorf et al. [58]).

In Österreich wird aktuell die Betrachtung der Grauen Energie bzw. Grauen Treibhausgasemissionen von Gebäuden durch die ins Landesrecht umgesetzten Forderungen der „Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie“ sehr stark berührt. Die Grenzen und Schnittstellen bei dieser Betrachtung werden durch die funktionale Anforderung der Energieeffizienzsteigerung bei Gebäuden stark determiniert. Dabei steht das energetische Optimieren des Gebäudes – der thermisch wirksamen Gebäudehülle in Verbindung mit der Haustechnik unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen des Standortes, der Orientierung und der Nutzung – im Vordergrund. Eine ausschließlich auf Energieeffizienzsteigerung ausgerichtete Optimierung von Baukonstruktionen birgt prinzipiell das Risiko „suboptimaler“ Lösungen – aus Sicht der Lebenszyklusperspektive - in sich. Denn bei einer

ausgewogenen Bewertung aller relevanten funktionalen und technischen Anforderungen an das Gebäude, könnten sich andere Lösungen zweckdienlicher erweisen [77], [79].

1.2. Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Der Bausektor spielt eine zentrale wirtschaftliche Rolle und weist großes Potenzial auf, um die menschlichen Auswirkungen auf unsere Umwelt reduzieren zu können. Ca. 10% des Bruttoinlandsprodukts (BIP), ca. 7% der Beschäftigten, ca. 50% des Ressourcenverbrauchs und ca. 40% des weltweiten Energieverbrauchs werden dem gesamten Bausektor (Hoch- und Tiefbau) zugerechnet, dargestellt in der Abbildung 1 [70].

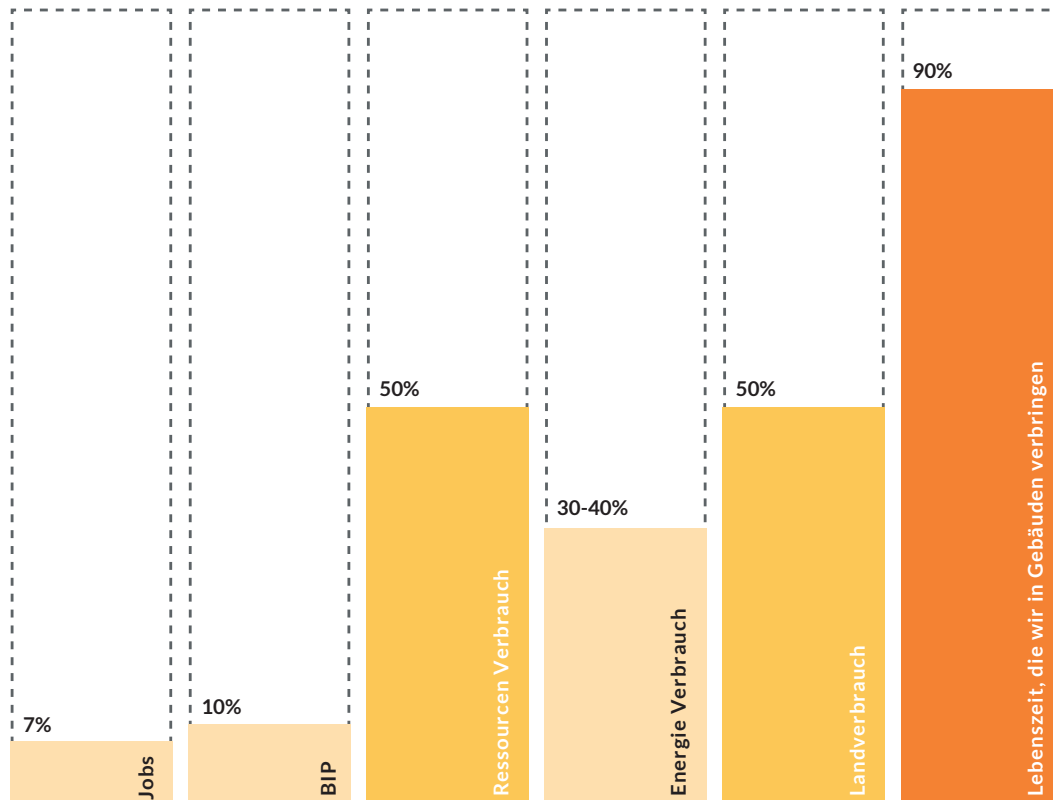


Abbildung 1: Die Bedeutung des Bausektors ([82] in Anlehnung an [25], [99])

Die höchsten betriebsbedingten Treibhausgas-Emissionen in Österreich entstehen in der Gruppe der Einfamilienhäuser aufgrund des geringen Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnisses und i.d.R. spezifisch größeren Wohnungsflächen. Allgemein stellt die stetige Zunahme der Anzahl der Gebäude und Wohnungen sowie der Nutzfläche (wachsende Bevölkerung und größere Nutzfläche pro Person) eine besondere technische und gesellschaftliche Herausforderung dar. Als positiver Trend kann insbesondere der sinkende Endenergiebedarf pro Wohnfläche, bedingt durch strengere Standards³ im Neubau sowie in der thermischen Sanierung angeführt werden. Für Österreich sind jedoch gemäß dem *Austrian Assessment Report (AAR14)* ca. 70% der Wohnfläche mit energetisch schlechtem Baustandard errichtet und damit potenziell für eine energetische Sanierung geeignet, wobei die Sanierungsrate derzeit bei ca. 1 bis 2% liegt, wie [88] belegt. Bei diesen Sanierungen gilt es daher insbesondere auch die umweltspezifische Amortisation zu berücksichtigen (vgl.[82])- z.B. die Einsparung der

³ EU-Richtlinie 2010/31/EU, 2010 [27]: Alle neuen öffentlichen Gebäude müssen ab 2018, alle privaten Gebäude ab 2020, sogenannte „Nearly Zero Energy“, („Nahe Null-Energie“) Gebäude sein.

Primärenergie im Betrieb (engl. *Operational Energy*) vs. zusätzlich aufgewendeter Primärenergie für die Herstellung der zusätzlichen Bauprodukte (sog. Grauer Umweltwirkungen) [70].

Die aktuelle Entwicklung von Lebenszyklusansätzen und Designmethoden zur Verbesserung der Gesamtnachhaltigkeit von Gebäuden erfordert die explizite Einbindung der Aspekte der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen in die Beurteilung der Umweltleistung von Gebäuden. Allerdings wurde bislang wenig auf die Grauen Umweltauswirkungen im Vergleich zu den fokussierten Bemühungen der Baubranche auf die Verringerung des operativen Teils der Lebenszyklusenergie von Gebäuden geachtet. Der Einfluss dieser Aspekte wird für energieeffiziente Niedrig-Energie oder Net-Zero Energy Building - Konzepte noch kritischer, da diese in der Regel mit der Integration von energie- und kohlenstoffintensiven Werkstoffen und Produkten verbunden sind. Allerdings ist die Messung der Betriebsenergie einfacher und weniger kompliziert, als die Bestimmung der Grauen Energie. [51]

Nach dem AAR14 betragen Treibhausgas-Emissionen Österreichs im Jahr 2010 in Summe etwa 81 Mio. t CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq.) oder 9,7 t CO₂-Äq. pro Kopf. Ergänzend zu diesen territorial-basierten Emissionen, kommen die konsumbasierten, sogenannten Grauen Treibhausgas-Emissionen (d.h. Treibhausgas-Emissionen außerhalb Österreichs in Vorprozessketten), hinzu. Abbildung 2 zeigt die den Import-Güterströmen zuordenbaren „hereinkommenden“, Emissionen als orange Pfeile – bzw. die der Export-Ströme als schwarze Pfeile. Wie ersichtlich, tragen diese Treibhausgas-Emissionen zu einer wesentlichen Erhöhung bei. Für eine ganzheitliche (globale) Betrachtung sind diese Grauen Treibhausgas-Emissionen jedenfalls mit zu berücksichtigen.

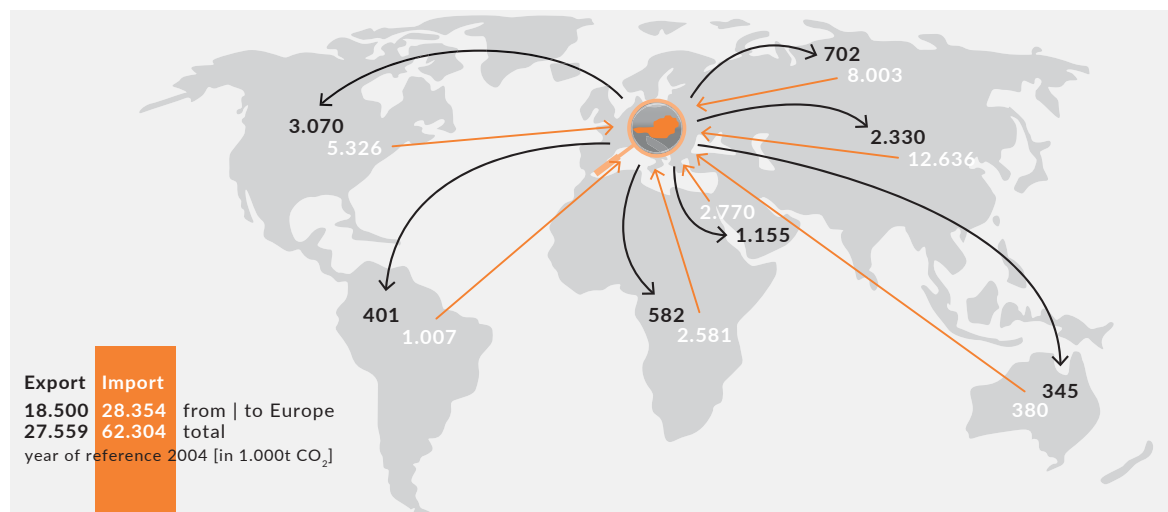


Abbildung 2: CO₂-Ströme im Güterhandel aus bzw. nach Österreich, adaptiert aus [1]

Der Großteil der produktionsbedingten industriellen Treibhausgas-Emissionen kommt aus dem Bereich der Herstellung von Grundmaterialien, wie z.B. Eisen/Stahl, Zement, etc. und ist damit insbesondere auch für das Bauwesen von besonderer Bedeutung. Neben diesen produktionsbedingten Treibhausgas-Emissionen sind noch die Treibhausgas-Emissionen aus Transport und Verkehr (gebäudeinduzierte Mobilität) sowie die Betriebsenergie von Gebäuden ein wesentlicher Teil der gesamten Treibhausgas-Emissionen.

Bei der Ermittlung der aktuellen Situation und der Bedingungen ist die Bewertung von Grauen Umweltwirkungen auf Gebäudeebene nun möglich, da [36]:

- die wissenschaftliche Erkenntnis und Basis (Life Cycle Assessment-Methode (LCA-Methode)) seit Jahrzehnten existiert
- die derzeit verfügbaren lebenszyklusorientierten internationalen und europäischen Normen die Grundlage für eine quantitative Bewertung von Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen bilden
- die zunehmende Integration von LCA-Ansätzen in weithin bekannte Nachhaltigkeitsbewertungs- und Zertifizierungssysteme für Gebäude die Verbreitung des Lebenszyklus-Denkens im Bauwesen erleichtert
- die derzeitige Verfügbarkeit und der Zugang zu LCA-Daten, Umweltproduktdeklaration (EPDs) und Tools weltweit ausreichen, um eine Bewertung von Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen auch in frühen Entwurfsphasen der Bauprojekte zu unterstützen

Aufgrund des zuvor beschriebenen Sachverhalts ist die Entwicklung von Standards und Methoden zur Bewertung der bauprodukt- und konstruktionsspezifischen Umweltwirkungen sowie der sogenannten Grauen Energie von großer Wichtigkeit. Um Standards und Methoden zu entwickeln und anhand von Projekten praxisnah evaluieren zu können, wurde das internationale Kooperationsprojekt - IEA EBC Annex 57 - initiiert. Das internationale Kooperationsprojekt wurde auch speziell für kleine und mittlere Unternehmen der bauproduktherstellenden Industrie erarbeitet, um das Problembewusstsein für Graue Umweltwirkungen von Bauprodukten zu steigern. Ebenso sollen Ansatzpunkte für die Integration der Bewertung Grauer Umweltwirkungen in die kontinuierliche Verbesserung der produktionsbezogenen Prozesse, Eigenschaften und Informationen einbezogen werden. Ein weiteres Ziel ist es, Informationen zu Informationsquellen, Leitfäden, Daten, und Bewertungstools im Themengebiet allen betroffenen Akteuren zur Verfügung zu stellen.

1.3. Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet

Die bis dato erfolgten Bestrebungen hinsichtlich eines nachhaltigen Energiesystems in Forschung und Industrie haben sich größtenteils auf Energieeinsparungen in der Nutzungsphase von Gebäuden beschränkt. Betrachtet man jedoch den Lebenszyklus eines Gebäudes, so besteht in der Herstellungsphase noch großes Potential zur Optimierung. Dies betrifft vor allem die Baustoffe selbst. Neben der CO₂-Reduktion ergeben sich umfangreiche Möglichkeiten zur Energieeinsparung bzw. zur energieeffizienten praktischen Anwendung. Als Beispiel lassen sich die Bestrebungen zur Zementklinkerreduktion (hoher Energieverbrauch und CO₂-Output in der Herstellung zufolge des Brennvorganges) nennen.

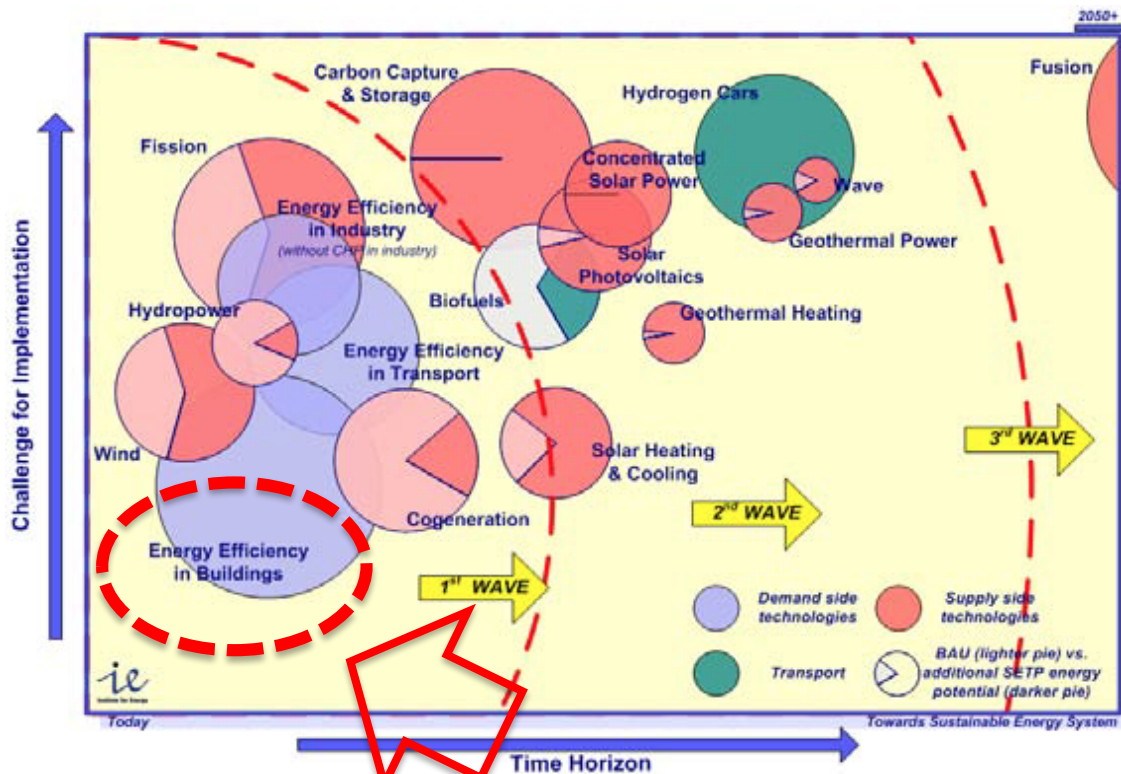


Abbildung 3: Quantitative Zusammenfassung der Technologien⁴

Die Energieforschungsstrategie für Österreich [85] benennt künftige Schlüsseltechnologien und -felder. Als eigens genannter Schlüsselbereich wird die Energieeffizienz in Gebäuden angeführt (vgl. Abbildung 3). Diese Technologie stellt nach dem Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) vom Potential, der zeitlichen Betrachtung als auch der Schwierigkeit der Realisierung einen wesentlichen Beitrag zu Ausbau und Verbreitung kohlenstoffemissionsarmer Technologien dar.

Die Europäische Union zielt auf eine Bündelung, Verstärkung und Abstimmung der Forschungsanstrengungen ab, um eine größere Effizienz in der Praxis, eine Aufstockung der Ressourcen sowie ein verbessertes Konzept der internationalen Zusammenarbeit zu erbringen. [49] Mit dem Vorhaben soll ein Beitrag zum Ziel der Europäischen Union, nämlich der Reduktion von 80% bis 2050⁵ an Treibhausgasen, geleistet werden. Diese Reduktion um 80% lässt sich nur dann erreichen, wenn die Energieeffizienz und -suffizienz drastisch erhöht werden und der verbleibende Energieverbrauch auf Basis erneuerbarer Energieträger bereitgestellt wird. Für die verschiedenen Sektoren wurden einzelne Fahrpläne vorgegeben, wodurch insgesamt eine 80%-ige Treibhausgasminderung erreicht werden soll.

Die Abbildung 4 stellt Emissionspfade der einzelnen Sektoren dar, wie bis 2050 ein vorgegebenes THG-Einsparziel von 80% erreicht werden kann. Eine Prognose zeigt auch, dass ohne weitere Maßnahmen die Emissionen der Mitgliedsländer um rund 40% sinken können, aber das 80% Ziel deutlich verfehlt wird.

⁴ Joint Research Centre - Institute for Energy/European Commission 2007

⁵ Roadmap 2050, http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm, Zugriff am 15.7.2017

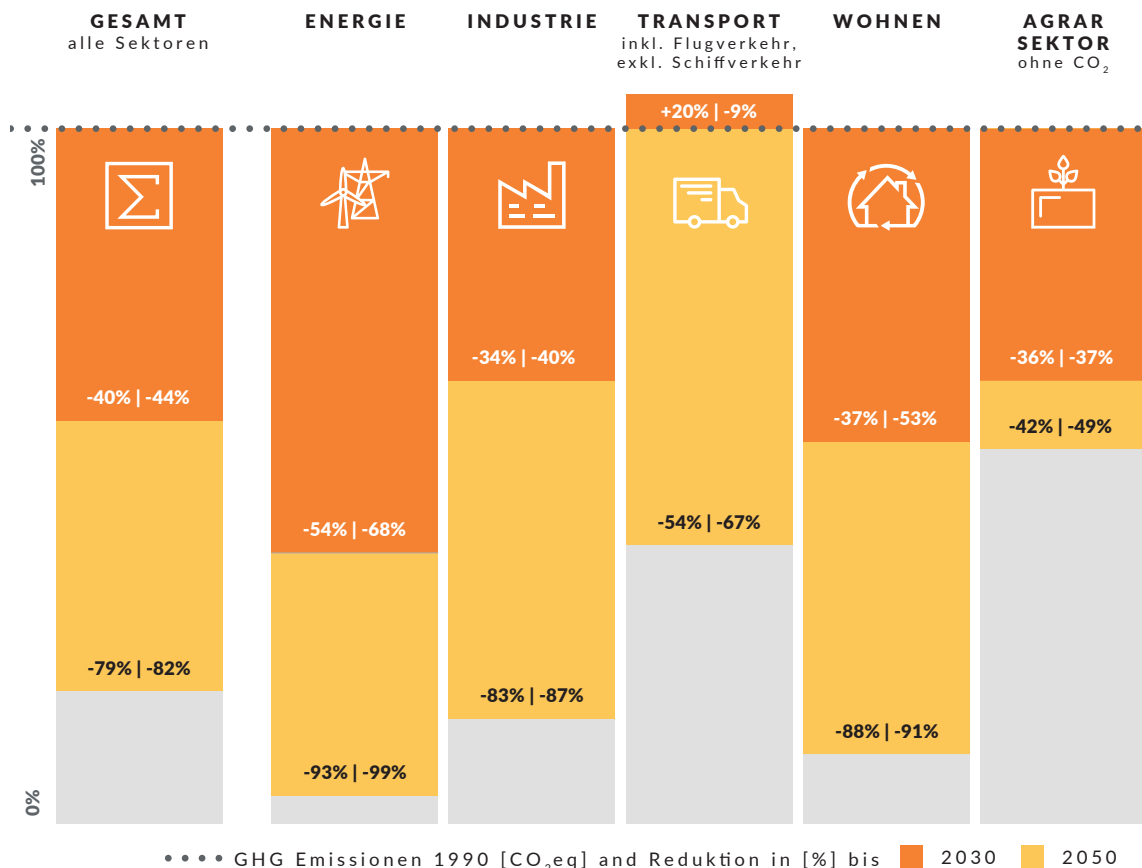


Abbildung 4 Verringerung der THG-Emissionen um 80 % innerhalb der EU aus [70] nach [28]

Weiters kann nicht jeder Sektor im gleichen Maße für die CO₂-Einsparung sorgen. Es zeigt sich jedoch, dass die Sektoren „Wohnen und Dienstleistung“ sowie „Industrie“ (über die herstellungsbedingten Emissionen von Bauprodukten) ein signifikantes Potential aufweisen.

Im „Energie- und Klimapolitik-Paket“ der Europäischen Union werden die „20-20-20-Ziele“ festgelegt. Darin sollen bis zum Jahr 2020 20% an Treibhausgasemissionen eingespart, die Energieeffizienz um 20% gesteigert und der Gesamtanteil an erneuerbaren Energien auf 20% erhöht werden. Es wird laufend darüber diskutiert, ob die 20-20-20 Ziele auch ausreichend sind und ob diese nicht verschärft werden sollen. Im Zuge der Wirtschaftskrise (2008) konnten schon deutliche Reduktionen kurzfristig erzielt werden, die aber mit anlaufendem Wirtschaftswachstum wieder kompensiert wurden.

Die IEA hatte bereits in den Jahren 1996 - 1999 einen Annex 31 zum Thema "Energie relevante Umweltwirkungen von Gebäuden" laufen, welche auf der Grundlage der Ökobilanz (LCA) [15] aufbauen. Nachdem sich der Stand der Dinge weiterentwickelt hat, aber noch viele Fragen nicht hinreichend wissenschaftlich geklärt sind, besteht hier noch (immer) dringender Handlungsbedarf.

So sagt etwa der derzeitige Strategieplan der IEA ECBCS aus, dass LCA-Methoden nach wie vor umfangreicher Forschungstätigkeiten und internationaler Zusammenarbeit bedürfen („**LCA methods still need a great amount of research and international collaboration**“).

Auf europäischer Ebene sind generelle Zielvorgaben an die Mitgliedsländer hinreichend definiert worden (EU 2020/2050 Ziele, neue Bauprodukteverordnung [26], Arbeiten des CEN/TC 350⁶, Strategie

⁶ Technical Committee: CEN/TC 350,

<http://www.cen.eu/cen/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/Pages/default.aspx?param=481830&title=Sustainability%20of%20construction%20works>, Zugriff am 15.7.2017

der Europäischen Kommission, etc.), die nationale Umsetzung bedarf jedoch noch der Klärung von zahlreichen Fragestellungen im Detail. So hat sich aufgrund der komplexen Fragestellungen gezeigt, dass die Normen des CEN/TC [18] sehr allgemein sein werden und viele Fragen in der weiteren Folge national festgelegt werden müssen. Parallel wird derzeit vielerorts an Bewertungen zu der "Umweltverträglichkeit" von Bauprodukten, etwa EPDs [19], gearbeitet. Eine nationale Regelung, etwa im Rahmen eines nationalen Anwendungsdokuments, ist derzeit noch nicht in Sicht, wird aber in den nächsten 1 bis 2 Jahren zu erarbeiten sein. Andere Länder sind hier deutlich weiter und haben bereits Erfahrungen, die hier sicher für die Umsetzung in Österreich zweckdienlich wären.

Grundsätzlich gilt festzuhalten, dass Nachhaltigkeitsbewertungen nur auf Bauwerksebene sinnvoll sind, um alle ihre Aspekte (ökologische, soziale, ökonomische) zu berücksichtigen. Derzeit werden diese Bewertungen nach einem der etablierten Bewertungssysteme (TQB, ÖGNI bzw. DGNB, klima:aktiv, LEED, BREEAM u.a.) durchgeführt. Grundlage sind sog. ökologische Bewertungen der verwendeten Bauprodukte und des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase. Die Regelungen und Bewertungsmethoden sind derzeit aber weit von einer Harmonisierung entfernt. Zahlreiche Forschungsprojekte (auch auf Europäischer Ebene) haben neue Bewertungsmethoden entwickelt (OpenHouse⁷, Superbuildings⁸, CESBA⁹, etc.). All diese Bewertungen greifen, derzeit noch auf freiwilliger Basis, auf EPDs oder auf generische Daten zurück. Sind produktspezifische Herstellerangaben nicht vorhanden (was derzeit größtenteils der Fall ist), müssen Daten selbst erhoben werden bzw. aus entsprechenden Datenbanken übernommen werden (z.B.: Datenbank Ökobau.dat¹⁰, „ecoinvent“¹¹, baubook¹² oder GaBi¹³).

Für die Vorgehensweise zur Durchführung existieren, neben der nationalen Normung Empfehlungen, auf Europäischer Ebene wie z.B. im „ILCD Handbook“¹⁴ [44].

1.3.1. Stand der Bewertungsmethoden

Auf internationaler und nationaler Ebene existierten eine Reihe von harmonisierten Normen und Methoden zur Bewertung Grauer Umweltwirkungen sowie anderen Umweltindikatoren in unterschiedlichen Anwendungsbereichen hinsichtlich Rahmenbedingungen, Gebäude und Produkt. Für diesen Bericht werden die Grundlagen der Normen ISO 21930 [39] oder EN 15804 [19] zur Bewertung Grauer Umweltwirkungen als Teil der gesamten Umweltwirkungen eines Bauprodukts empfohlen.

Die Informationen über das Bauprodukt dienen in weiterer Folge als Grundlage für die Gesamtbewertung, die sich ausschließlich auf die Gebäudeebene (ISO 21931 [41], ISO 21932 [43] und

7 <http://www.openhouse-fp7.eu/>; Zugriff am 17.07.2017

8 <http://cic.vtt.fi/superbuildings/>; Zugriff am 17.07.2017

9 http://wiki.cesba.eu/wiki/Main_Page; Zugriff am 17.07.2017

10 Dt. Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung: Informationsportal Nachhaltiges Bauen – Baustoffdatenbank Ökobau.dat. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr- Bau und Stadtentwicklung.

<http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>; Zugriff am 17.04.2017

11 Ecoinvent Centre: life cycle inventory (LCI) data, database ecoinvent data.

<http://www.ecoinvent.org/database/>; Zugriff am 17.04.2017

12 Plattform baubook, www.baubook.info; Zugriff am 17.04.2017

13 Nachhaltigkeitssoftware GaBi, www.gabi-software.com; Zugriff am 17.04.2017

14 European Commission Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/publications>

EN 15978) [18]) oder Bauwerke bezieht. Dabei ist die funktionale und technische Leistung mit einzubeziehen.

Es gibt bereits verschiedene Normen, die für die Bewertung von Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen angewandt werden. Zum Beispiel werden in Europa die freiwilligen Standards für die Umweltprüfung von Bauprodukten und Gebäuden durch das CEN/TC 350-Komitee entwickelt. Die europäische Norm für die Berechnung der Grauen Energie und Grauen Treibhausgasemissionen in Gebäuden ist die EN 15978:2011 [18], während die EN 15804:2012 [39] die Norm für die Berechnung der Indikatoren auf Bauproduktebene darstellt. Die unter diesem Rahmenwerk entwickelten Normen legen nicht die Rahmenbedingungen fest, noch schreiben sie Stufen, Klassen oder Benchmarks zur Leistungsmessung fest.

Neben der CEN/TC 350 Reihe von freiwilligen Normen legt die Europäische Union die Empfehlung des Product Environmental Footprint (PEF)[81] fest, welche Berichterstattung und Benchmarking beinhaltet. CEN/TC 350-Normen und die PEF-Anforderungen stellen andere Anforderungen in mehreren wichtigen Bereichen wie z.B. den Methoden zur Bewertung, Wirkungsindikatoren sowie Allokation und Recycling.

In der Schweiz wurde im Jahr 2010 die SIA 2032 über Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen des Gebäudes [93] sowie die SIA 2040 Effizienzpfad Energie zu Energie- und Treibhausgasemission-Benchmarks für verschiedene Gebäudearten [94] veröffentlicht.

Es gibt sowohl internationale als auch europäische Normen für die Berechnung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Gebäuden [60]. Gleiches gilt für die Bereitstellung von Daten und Informationen für Bauprodukte [59], [71]. Die Normen können auch als Grundlage angewandt werden, um Graue Energie als Teil des kumulativen Primärenergieverbrauchs zur Beschreibung der Ressourcennutzung zu nutzen und um Graue Treibhausgasemissionen als Teil des gesamten Treibhausgaspotenzials (oder in einigen Normen alternativ als „Carbon Footprint“ bezeichnet) zu ermitteln. Abhängig von der Systemgrenze werden die Produktions-, Herstellungs-, Betriebs-, Wartungs-, Sanierungs- und End of Life - Phase (EOL) in die Bewertung einbezogen. Insbesondere hat die Entwicklung und Veröffentlichung von EPDs wesentlich zur Verbesserung der Datenverfügbarkeit für Bauprodukte im Zusammenhang mit Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen beigetragen. Allerdings erfolgt die Dokumentation der meisten EPDs nicht ausreichend transparent über die zugrundeliegenden Lebenszyklusinventurdaten, noch verwenden EPDs dieselben Modellierungsannahmen und -regeln[68]. Deshalb können EPDs verschiedener Produkte derzeit nicht ohne weiteres bis hin zu Bauelementen oder zu ganzen Gebäuden kombiniert bzw. verarbeitet werden. Einige Länder haben eigene nationale Normen und Vorschriften entwickelt. Beispiele sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Abbildung zeigt bestehende internationale und nationale Normen in Bezug auf Rahmenbedingungen, Gebäude und Produkte sowie Normen, die sich auf die Grauen Umweltwirkungen konzentrieren. Dazu zählen beispielsweise ISO/TS 14067 [42], das Treibhausgasprotokoll, BSI PAS 2050 [12] und 2060 [13] im Vereinigten Königreich, SIA 2032 [93] in der Schweiz oder VDI 4600 [101] in Deutschland. Weitere Informationen sind im Bericht des IEA EBC Annex 57 - Subtask 3 [92] zu finden.

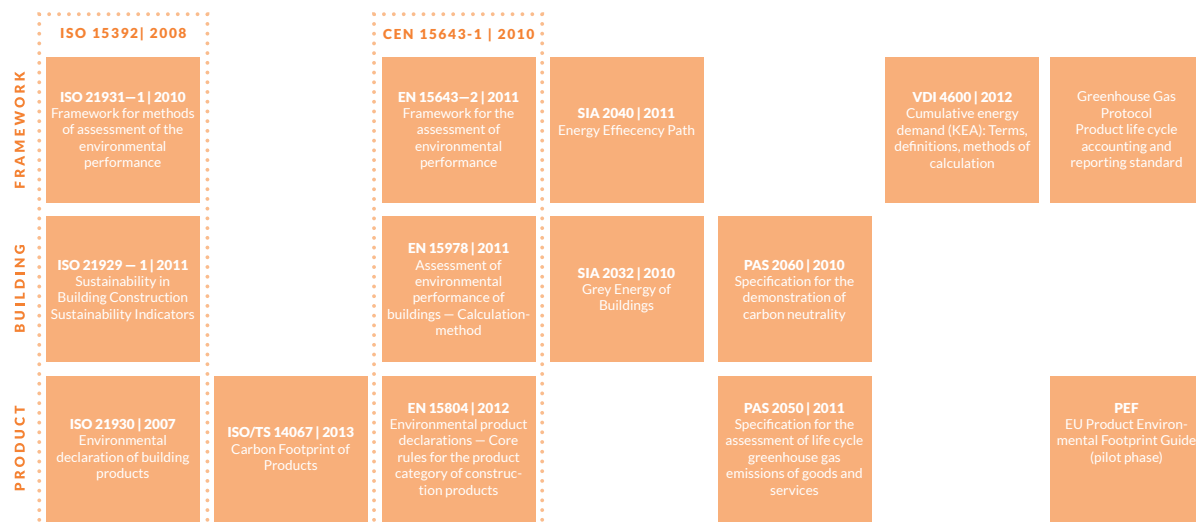


Abbildung 5: Standards und Rahmenbedingungen hinsichtlich Berechnung und Bilanzierung von Grauen Umweltwirkungen und THG Emissionen (Auswahl) in Anlehnung an [91]

Alle Normen basieren auf ISO 14040 [15] und ISO 14044 [16] hinsichtlich der methodischen Prinzipien und Definitionen, wobei Produktlebenszyklen und deren potenzielle Umweltwirkungen anhand von Ökobilanzierungen bewertet werden.

1.3.2. Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) - Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse

Die systematische Analyse der Stoff- und Energieflüsse sowie zugehöriger Emissionen und darauf aufbauend die Ermittlung von Umweltaspekten sowie potentieller Umweltwirkungen von Produkten und Dienstleistungen über deren gesamten Lebenszyklus (von der Wiege bis zur Bahre) erfolgt auf Basis der Ökobilanzierung (LCA).[70]

Die Methode der LCA ist die international renommierteste und ermöglicht eine systematische Quantifizierung und damit eine Operationalisierung der Nachhaltigkeitsziele mittels sogenannter Umweltaspekte und potentieller Umweltwirkungen. Seit 1996 widmete sich auch die internationale Fachzeitschrift *The International Journal of Life Cycle Assessment*¹⁵ vollständig der LCA und eng verwandten Methoden (vgl. [70], [82], [84]).

Die LCA-Methode ist heute durch die internationale Normenreihe der ISO14040 [15], standardisiert und stellt die Grundlage für Umweltdeklarationen nach Typ III (vgl. ISO 14025 [20]), auch als EPD bezeichnet, dar.

Sie beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- Zusammenstellung und Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz (LCI)
- Wirkungsabschätzung (LCIA)
- Auswertung
- Bericht und kritische Prüfung

¹⁵ <http://www.springer.com/environment/journal/11367>

Die Qualität der LCA-Ergebnisse ist aufgrund der Datenintensivität der Methode aber stark von den verwendeten Daten (vgl. [97]) und methodischen Annahmen, beispielsweise Allokationsmethoden (vgl. [30],[87]) abhängig. Zunehmend wird daher die Verwendung von spezifischen Daten anstatt von generischen diskutiert [31],[80]. Für den Bausektor kann hier auf Harmonisierungsfortschritte und erfolgreiche Umsetzungsbeispiele in den letzten Jahren verwiesen werden (vgl. [19], [39], [45], [70], [73], [80]). In der Abbildung 6 ist vereinfacht der modulare Aufbau einer LCA mit der Erstellung der LCI und der Ermittlung von Umweltaspekten und den potentiellen Umweltwirkungen (LCIA), ergänzt um die modulare Möglichkeit der Deklaration im Rahmen einer EPD - im Sinne des Informationsflusses, dargestellt [70].

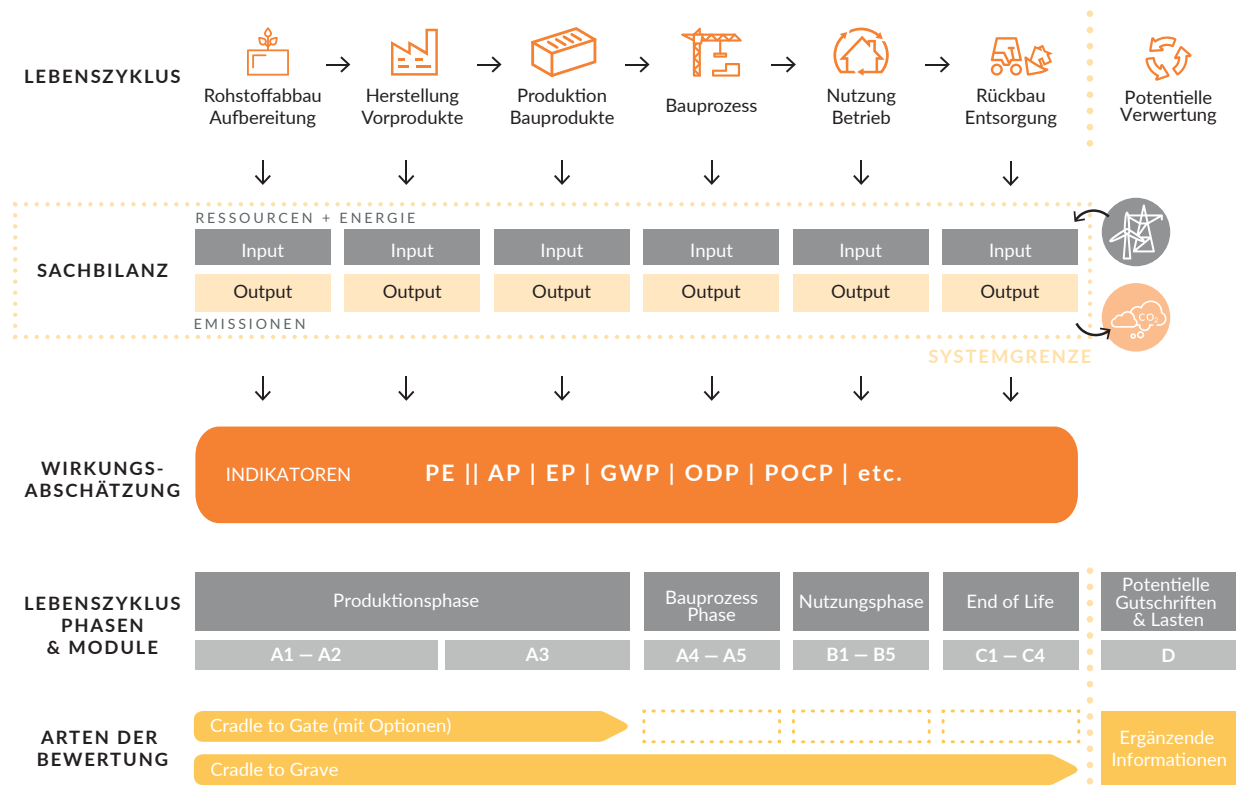


Abbildung 6 Modularer Aufbau und Bestandteile einer LCA [70].

Die methodische Weiterentwicklung - von der LCA zur LCSA - beinhaltet alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (vgl. [46], [48], [47]):

LCSA = LCA + LCC + SLCA

Die LCSA behandelt dabei spezifische Fragestellungen des Bauwesens auf Basis der zuvor genannten methodischen Grundlagen (LCA bzw. B-LCA). Die harmonisierte Grundlage bilden hier die ISO 15392 [40] oder die EN 15643-1 [17].

Durch die wesentliche Eigenschaft der Bewertungsgegenstände unterscheidet sich diese aber grundlegend von „Produktsystemen“ anderer Anwendungsbereiche (vgl. [35]).

Nachfolgend sind jene Umweltindikatoren aufgelistet, welche mittels der LCA ermittelt werden und für den IEA EBC Annex 57 als wesentlich erachtet wurden: (siehe auch Tabelle 3, Tabelle 4, Tabelle 5)

a) Globales Erwärmungspotential (Global Warming Potential (GWP), [CO₂-Äq.])

Mit dem globalen Erwärmungspotential wird beschrieben, wie stark eine bestimmte oder gegebene Menge eines Treibhausgases (THG) zum Treibhauseffekt beiträgt. Der Klimateffekt einer bestimmten Menge eines Treibhausgases wird in der Regel über einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet (GWP 100). Kohlendioxid (CO₂) wird für eine Beurteilung des GWP als Referenzgas herangezogen. Zu den Treibhausgasen zählen auch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

b) Primärenergie (PE, [J bzw. MJ])

Als Primärenergie wird jene Menge an Energie bezeichnet, die erforderlich ist, um eine bestimmte Menge von einem Produkt herzustellen. Die Maßeinheit wird in Joule pro kg oder m³ angegeben. Bei der Erfassung der Primärenergie hat eine Differenzierung zwischen erneuerbaren und nichterneuerbaren Energien zu erfolgen.

1.4. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Mit dem Kooperationsprojekt IEA EBC Annex 31 [37] zum Thema "Energie-relevante Umweltwirkungen von Gebäuden" der in den Jahren 1996 - 1999 gab es bereits ein Projekt, welches auf der Grundlage der LCA [15] aufbaut. Nachdem sich der „*Stand der Dinge weiterentwickelt*“ hat, aber „*noch viele Fragen nicht hinreichend wissenschaftlich geklärt sind*“, bildete der IEA EBC Annex 31 die Grundlage für die zu entwickelnde Methode im IEA EBC Annex 57.

Neben dieser methodischen Entwicklung (ST1, ST2 und ST3) umfasste das österreichische Teilvorhaben die Auswertung einzelner Projekte (Case Studies) mittels der Methode der LCA. Folgende Projekte wurden dabei ausgewertet:

- AT1: Aspern IQ, new office building
- AT2: LCT ONE, new office building
- AT3: TU Vienna, new office building
- AT4: Plus energy residential building, renovation
- AT5: Energy City Graz, new residential building
- AT6: Karmeliterhof, new office building
- AT7: Ökovergleiche, new residential building

Die Projekte AT1 – AT3 wurden vom Österreichischen Ökologie-Institut (ÖÖI) als Werkvertragspartner für den IEA EBC Annex 57 ausgewertet und aufbereitet. Die Projektdaten und Ergebnisse stammen aus dem Projekt *monitorPlus*, mit dem die Demonstrationsbauten aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Haus der Zukunft Plus“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) begleitet und einem gemeinsamen Monitoring unterzogen wurden. Dabei kam es zur Gebäudebewertung mit den Bewertungssystemen der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB), zur Erfassung und Auswertung der Energieverbrauchsdaten, und zur Erhebung der Akzeptanz bei den NutzerInnen [96][53][52].

Die Projekte AT4 – AT7 wurden seitens der TU Graz ausgewertet und für den IEA EBC Annex 57 aufbereitet. Die Projektdaten und Ergebnisse kommen dabei aus folgenden Projekten:

- AT4: Plus energy residential building, renovation - „e80^3-Gebäude“ - Sanierungskonzepte zum Plus-Energiehaus mit vorgefertigten aktiven Dach- und Fassadenelementen, integrierter Haustechnik und Netzintegration (in Kooperation mit AEE-INTEC).
Das Sanierungsprojekt beruht auf Effizienzmaßnahmen, auf einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien sowie einer intelligenten Integration der Energieversorgung in Wärme und Stromnetze. Die Weiterentwicklung vorgefertigter Fassaden- und Dachmodule verspricht zukünftig eine hochwertige und gleichzeitig wirtschaftliche Sanierung von Nachkriegsbauten. Die Case Study wurde gemeinsam mit der AEE INTEC für den IEA EBC Annex 56 [34] und IEA EBC Annex 57 ausgewertet und aufbereitet (siehe [34]).
- AT5: Energy City Graz, new residential building - „ECR Energy City Graz – Reininghaus“ - Urbane Strategien für die Neukonzeption, den Bau, Betrieb und die Umstrukturierung des energieautarken Stadtteils. Aus dem HdZ Leitprojekt [67], [86] wurden die Daten zur Verfügung gestellt und aufbereitet.
- AT6: Karmeliterhof, new office building - „Open House“ (in Kooperation mit der TU München, EU - 7th Framework Programme). Die „Open House“ - Plattform fördert ein europaweites Bestreben einer gemeinsamen Sicht auf die Nachhaltigkeit von Gebäuden und ergänzt bestehende Gebäudebewertungssysteme für Konzeption, Planung und Bau nachhaltiger Gebäude. Datenquellen bilden [33] und [50].
- AT7: Ökovergleiche, new residential building - „Ökovergleiche“ – Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus. Die Daten aus dem HdZ Leitprojekt [63], [75], [95] wurden zur Verfügung gestellt und aufbereitet.

1.5. Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts

Der publizierbare Ergebnisbericht beinhaltet alle wesentlichen Informationen über die Ziele, Inhalte, Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieses, als IEA Forschungskoooperation durchgeführten, Projekts.

Beginnend bei einer allgemeinen Einführung in die Thematik, der Ausgangssituation und in das Forschungsgebiet schließt die Einleitung mit der Kurzbeschreibung des Aufbaus des Ergebnisberichts ab.

Im zweiten Kapitel werden die Hintergrundinformationen zum Projekt erläutert.

Der Hauptteil des Berichts stellt die Ergebnisse des Projektes dar. Abschließend werden die Vernetzung und der Ergebnistransfer beschrieben sowie Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen dargestellt.

Aufbau:

- Einleitung: Seite 8 bis Seite 21
 - Hintergrundinformationen zum Projekt: Seite 22 bis Seite 28
 - Ergebnisse des Projektes: Seite 29 bis Seite 58
 - Vernetzung und Ergebnistransfer: Seite 59 bis Seite 65
 - Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen: Seite 66 bis Seite 70
 - Verzeichnisse: Seite 71 bis Seite 81
-
- Anhang 1: Bericht ST1, ST2, ST3 und ST4 – Liste: siehe Kapitel 5.5
 - Anhang 2: Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten – Liste: siehe Kapitel 5.5
 - Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten:
ISBN (e-book English): 978-3-85125-519-5
<http://dx.doi.org/10.3217/978-3-85125-519-5>
ISBN (e-book German): 978-3-85125-520-1
<http://dx.doi.org/10.3217/978-3-85125-520-1>
 - Flyer (Leaflet) [76]
 - Anhang 3: Bericht zu den “Case Studies” – Liste: siehe Kapitel 5.5
 - Anhang 4: andere Guidelines – Liste: siehe Kapitel 5.5
 - Anhang 5: Fact sheet

2. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

2.1. Darstellung des gesamten Kooperationsprojektes und der Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes

Die IEA hat im Jahr 2012 den IEA EBC Annex 57 ins Leben gerufen, der das Ziel verfolgt internationale Standards und Methoden zur Bewertung der bauprodukt- und konstruktionsspezifischen Umweltwirkungen (am Beispiel der Grauen Treibhausgase sowie der Grauen Energie im Zusammenhang mit der Herstellung von Bauprodukten sowie der Errichtung und Instandhaltung von Bauwerken zu evaluieren.

Das Projekt wurde in fünf Arbeitspakete (Subtasks) gegliedert (siehe Abbildung 7):

- Subtask 1: Basics, Actors and Concepts
- Subtask 2: A Literature Review
- Subtask 3: Scope of the assessment of energy and carbon emissions related building renovation measures
- Subtask 4: Recommendations for the reduction of embodied greenhouse gases and embodied energy from buildings
- Subtask 5: Overall research plan, publication and dissemination

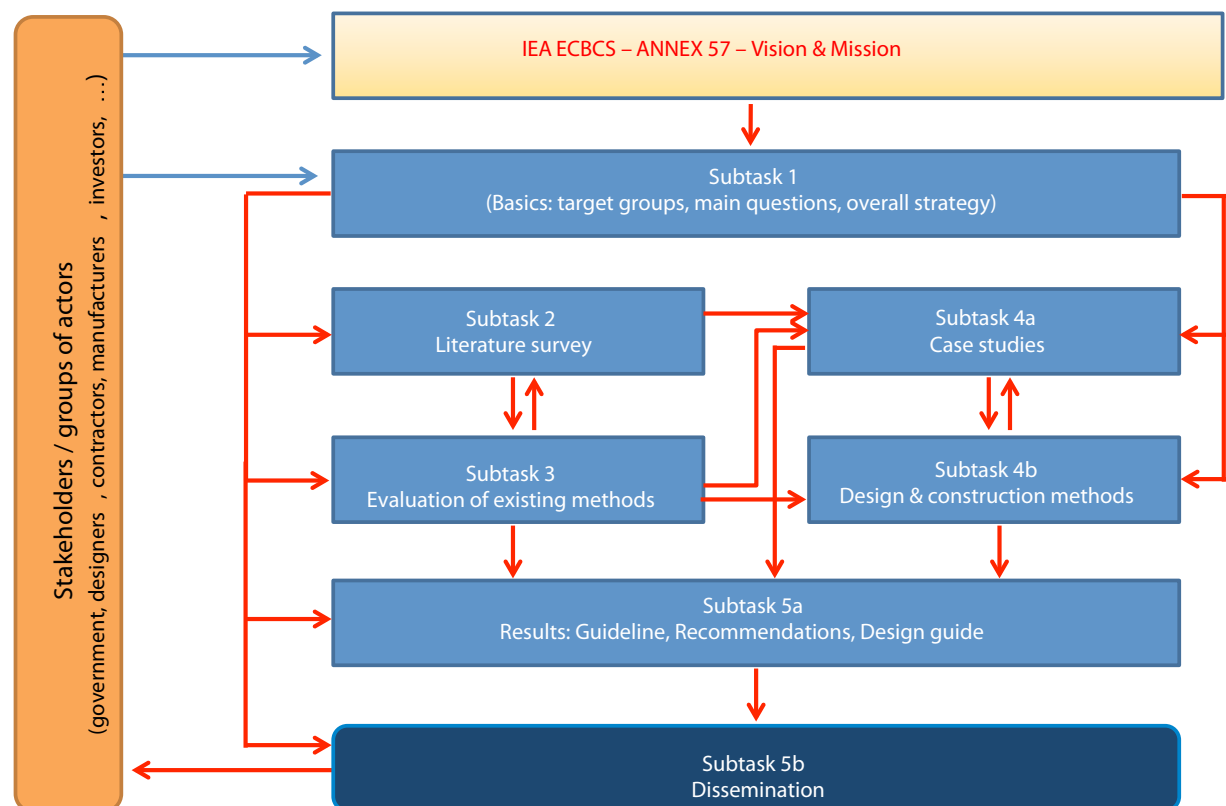


Abbildung 7 Überblick über die Subtasks und deren Zusammenhänge [57]

Im Rahmen dieses Projekts haben ExpertInnen aus 19 Ländern kooperiert (siehe Tabelle 1). Die Leitung und Rolle des Operating Agent zur Koordination des IEA EBC Annex 57 hatte Tatsuo Oka, (Utsunomiya University, Japan) übernommen.

Tabelle 1: Teilnehmende Nationen (engl.) nach [103]

Nation	Organisation
Australia	CSIRO Land and Water
Austria	Graz University of Technology
China	Tsinghua University
	IKE Environmental Technology
Czech Republic	Czech Technical University in Prague
Denmark	SBi – Danish Building Research Institute
Finland	VTT Technical Research Centre of Finland
Germany	Karlsruhe Institute of Technology
Italy	IUAV University of Venice
	Universita degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria
	University of Palermo
Japan	Kogakuin University
	Utsunomiya University
Korea	Korea Institute of Construction Technology
The Netherlands	Zuyd University
Norway	University of Science and Technology
Portugal	University of Minho
Spain	Spanish National Research Council CSIC
Sweden	KTH (Royal Institute of Technology)
	Luleå University
Switzerland	treeze Ltd.
	University of Applied Sciences of Western Switzerland
	ETH Zurich
United Kingdom	University of Cambridge
USA	Texas A&M University
Brazil (Observer)	Federal University of Esprito Santo
	University of Campinas

Der Operating Agent wurde in dem Projekt von den fünf Subtask-LeiterInnen und Co-LeiterInnen unterstützt:

- Subtask 1: Thomas Lützkendorf, Karlsruhe Institute of Technology, Germany
- Subtask 2: Chang-U Chae, Korea Institute of Construction Technology, Korea
- Subtask 3: Seongwon Seo, CSIRO Land and Water, Australia
- Subtask 4: Harpa Birgisdottir, Danish Building Research Institute, Denmark;
Aoife Houlihan Wiberg, University of Science and Technology, Norway;
Tove Malmqvist, KTH, Sweden;
Alice Moncaster, University of Cambridge, UK
- Subtask 5: Nori Yokoo, Japan

Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes

Die österreichische Mitarbeit im IEA EBC Annex 57 konzentrierte sich, neben der Teilnahme an den internationalen und nationalen Meetings, auf die inhaltlichen Arbeiten der Arbeitspakete 2 bis 5 (siehe Abbildung 8):

- Inhaltliche Mitarbeit:
 - Literaturlauswertung/Stand der Forschung - Subtask 2
 - Evaluierungsmethoden - Subtask 3
 - Case Studies - Subtask 4
 - Berichte und Verbreitung - Subtask 5
- Vernetzung- und Verbreitungsmaßnahmen

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden nationale Bewertungsmethoden, Case-Studies und Know-how in das internationale Kooperationsprojekt eingebracht. Wesentlicher Teil war dabei die internationale Verbreitung nationaler Demonstrationsbauvorhaben aus dem Haus der Zukunft Plus Technologieprogramm (z.B. Plus-Energie-Sanierung Kapfenberg, Energy City Graz Reininghaus, u.v.a.m.), Weiters wurden diese Demonstrationsbauvorhaben im Rahmen der Verbreitungsmaßnahmen dem internationalen Fachpublikum präsentiert.

Aufgrund der Erweiterung der inhaltlichen Arbeiten des internationalen Kooperationsprojekts übernahm Österreich aufgrund der vorhandenen Expertise die Erstellung eines Leitfadens für Hersteller von Bauprodukten (dt. Übersetzung - Guideline for Construction Products Manufacturers: Guidance to including Embodied Energy & Embodied GHG Emissions in the decision-making process for SME's [73]).

Alle österreichischen Ergebnisse wurden im Rahmen der Beteiligung an der gemeinsamen, internationalen Annex-Dissemination und Erstellung der internationalen Publikation entsprechend verbreitet. Das gewonnene Know-how und die Erkenntnisse aus dem aktuellen internationalen Kooperationsprojekt wurde zielgruppengerecht in Österreich verbreitet.

Überblick Annex 57

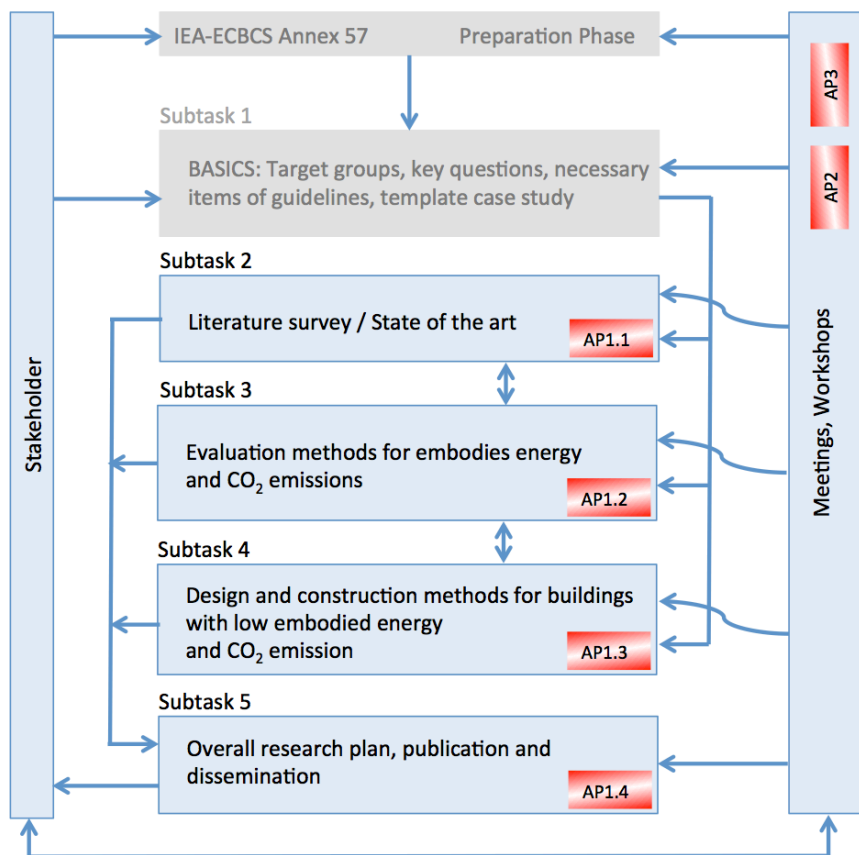


Abbildung 8 Überblick über das österreichische Teilprojekt und die Verbindung zu den Subtasks des IEA EBC Annex 57

2.2. Beschreibung der österreichischen Kooperation

Im Rahmen des internationalen Kooperationsprojekts hat die Technische Universität Graz Österreich offiziell vertreten. An einzelnen Sitzungen nahmen aber auch andere interessierte Personen aus Österreich als Observer teil (z.B. Wibke Tritthart (IFZ) und Julia Maydl (AEE INTEC)).

Das nationale Projekt wurde durch das Österreichische Ökologie-Institut (Frau Beate Lubitz-Prohaska) als Subauftragnehmer bei der Aufbereitung bzw. durch das zur Verfügung stellen der im Rahmen des FFG-Projekts monitorPlus ausgewerteten HdZ- Demoprojekte für den Subtask 4 - Case Studies unterstützt.

Im Rahmen der Verbreitungsaktivitäten wurde mit folgenden österreichischen Partnern kooperiert:

- AEE INTEC & TU GRAZ: International conference on Sustainable Buildings – Construction Products & Technologies (SB13 Graz): Session B2 (26.09.2013) Evaluation of embodied energy and carbon dioxide emissions for building Construction (IEA EBC Annex 57)
- AEE INTEC, TU GRAZ und TU WIEN: Workshop: IEA EBC Annex 56/57 & AIDA - (25.09.2013); die Arbeiten des Annex 56/57 wurden dabei einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt und intensiv diskutiert.
- Österreichisches Ökologie-Institut und Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie: Organisation eines Workshops / Session auf der bau2015 (Wien); Mehr als nur graue Energie? (Zwischenergebnisse IEA EBC Annex 57); 12. Februar 2015;
- Bau EPD GmbH: Workshop mit dem PKR-Gremium; 8.Februar 2016, Wien

Ergänzend erfolgten im Laufe des Projekts mehrere Abstimmungsgespräche mit Frau Beate Lubitz-Prohaska sowie mit Karl Höfler, Julia Maydl und David Venus von der AEE INTEC, die im IEA EBC Annex 56 „Energie-, Emissions- und Kostenoptimierte Gebäudesanierung“ an Best-practice Beispielen „Shining Example“ gearbeitet haben und von dort die Plus-Energie-Sanierung Kapfenberg als gemeinsame Case Study in den IEA EBC Annex57 eingebracht und verbreitet haben.

Die Erstellung des Leitfadens für Hersteller von Bauprodukten [73] (Guideline for Construction Products Manufacturers: Guidance to including Embodied Energy & Embodied GHG Emissions in the decision-making process for SME's) erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Thomas Lützkendorf und Maria Balouktsi.

2.3. Beschreibung der Projektziele

Basierend auf dem IEA Implementing Agreement IEA EBC Annex 57¹⁶ folgt ein Überblick über dessen Inhalt, die Ziele sowie über die Gliederung: (Eigene Übersetzung aus dem Englischen)

[...] Die folgenden Punkte sind **Ziele des Kooperationsprojekts IEA EBC Annex 57**:

- **Zusammenfassen existierender Forschungsergebnisse** betreffend Grauer (konstruktionsspezifischer) Energie und Grauer Treibhausgasemissionen aufgrund der Gebäudeerrichtung, die Analyse und die Zusammenfassung als Stand der Technik.
- Entwickeln von Richtlinien **zu Methoden der Evaluierung** von Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen aufgrund der Gebäudeerrichtung.
- Entwickeln von Richtlinien für **Maßnahmen zur Planung und Konstruktion** von Bauwerken mit weniger Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen.
- Erarbeiten einer Projektübersicht über die **technischen Ergebnisse des Kooperationsprojekts IEA EBC Annex 57**.

[...] Die **Zielgruppe** der Ergebnisse des Kooperationsprojekts IEA EBC Annex 57 sind Fachleute wie Planer und Konstrukteure von Bauwerken sowie Entscheidungsträger und Eigentümer wie in folgender Liste angeführt:

- Hersteller von Baumaterialien
- Gebäude- und Gebäudetechnikplaner
- Ausführende Ingenieure
- Ingenieure der Energiesparte
- Entscheidungsträger aus Politik und Baugewerbe

[...] Das Kooperationsprojekts IEA EBC Annex 57 bezieht sich auf **Methoden zur Evaluierung grauer (konstruktionsspezifischer) Energie und Grauer Treibhausgasemissionen** um Richtlinien zu entwickeln, welche zum erweiterten Verständnis der Methodik seitens der Fachleute beitragen. Weiters soll ihnen eine Unterstützung zur Findung von besseren Planungen und Ausführungslösungen bei Gebäuden mit verringerter grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen gegeben werden. [...]

¹⁶ IEA ECBCS – Implementing Agreement Annex 57 [69], Sixth Draft as of 30 July 2012

Die „official deliverables“ des IEA EBC Annex 57 waren:

- Subtask 1: Basics, Actors and Concepts (Lützkendorf and Balouktsi) Subtask 2: A Literature Review (Chae and Kim)
- Subtask 3: Evaluation Methods of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in Building and Construction (Seo and Foliente)
- Subtask 4: Case studies and recommendations for the reduction of embodied energy and embodied greenhouse gas emissions from buildings (Birgisdóttir, Houlihan Wiberg, Malmqvist, Moncaster, Nehasilova, Nygaard Rasmussen and Soulti)
- Subtask 4: Case studies demonstrating Embodied Energy and Embodied Greenhouse gas Emissions in buildings (Birgisdóttir)
- *Project Summary Report* (Seo, Zelezna, Hajek, Birgisdóttir, Nygaard Rasmussen, Passer, Lützkendorf, Balouktsi, Frischknecht, Yokoyama, Chae, Malmqvist, Houlihan Wiberg, Mistretta, Moncaster, Yokoo and Oka)
- *Overview of Annex 57 Results* (Seo, Zelezna, Hajek, Birgisdóttir, Nygaard Rasmussen, Passer, Lützkendorf, Balouktsi, Frischknecht, Yokoyama, Chae, Malmqvist, Houlihan Wiberg, Mistretta, Moncaster, Yokoo and Oka)
- *Guideline for Designers and Consultants – Part 1: Basics for the Assessment of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions* (Lützkendorf and Balouktsi)
- *Guideline for Designers and Consultants – Part 2: Strategies for Reducing Embodied Energy and Embodied GHG Emissions* (Birgisdóttir and Wiberg)
- *Guideline for Construction Products Manufacturers*: Guidance to including Embodied Energy & Embodied GHG Emissions in the decision-making process for SME's (Passer, Balouktsi, Lützkendorf and Kreiner)
- *Guideline for Policy Makers* (Mistretta and Guarino) *Guidance to Support Educators* (Hajek and Zelezna)

Im österreichischen Teilprojekt (siehe dazu auch Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes) wurde die österreichische Mitarbeit am „IEA EBC Annex 57: Methoden zur Evaluierung Grauer Energien und CO₂- Emissionen von Gebäuden (Bauprodukten)“ abgedeckt. Es wurden aus bereits vorliegenden Forschungsprojekten Methoden und Ergebnisse zusammengefasst und ausgewertet sowie mit anderen internationalen Projekten und Herangehensweisen verglichen. Auf den Erkenntnissen aufbauend wurden Richtlinien zur Evaluierung der konstruktionsbezogenen Umweltwirkungen von Gebäuden entwickelt, sowie Maßnahmen zu deren Anwendung auf internationaler Ebene sowie zur Planung von Gebäuden - mit geringerer Grauer Energie und CO₂- Emission - abgeleitet.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Berichte und akteurspezifische Leitfäden (Bauprodukte-Hersteller, Entwurfs- und Planungsbeteiligte, Educators, Policy Makers) erarbeitet.

Im Rahmen des österreichischen Teilprojekts wurden die internationale Verbreitung nationaler Demonstrationsbauvorhaben aus dem Haus der Zukunft Plus Technologieprogramm eingebracht und im Rahmen der Verbreitungsmaßnahmen dem internationalen Fachpublikum präsentiert.

Ergänzend übernahm Österreich die Erstellung eines Leitfadens für Hersteller von Bauprodukten - *Guideline for Construction Products Manufacturers: Guidance to including Embodied Energy & Embodied GHG Emissions in the decision-making process for SME's* [73], [74].

Durch die Mitarbeit und die Verbreitungsstrategie im Zuge des IEA EBC Annex 57 entstand sowohl in Österreich als auch auf internationaler Ebene eine gute Vernetzung mit Stakeholdern und der Wissenschafts-Community.

2.4. Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise

Im Rahmen des IEA EBC Annex 57 wurde das Ziel verfolgt internationale Standards und Methoden zur Bewertung der Grauen Treibhausgase sowie der Grauen Energie – hier gemeinsam auch als Graue Umweltwirkungen bezeichnet - im Zusammenhang mit der Herstellung von Bauprodukten zu evaluieren. Im internationalen Kooperationsprojekt wurde folgender Handlungsbedarf identifiziert:

- klare Indikatoren mit richtigen Begriffen und Systemgrenzen
- eine Grundlage für die Ermittlung und Bewertung von EEG auf Gebäudeebene
- eine Grundlage für die Sicherung der Transparenz bei der Bereitstellung und Nutzung von EEG-Daten
- eine Grundlage für die Ermittlung von Daten und die Einrichtung und Klassifizierung von Datenbanken
- Empfehlungen für den Entwurfsprozess, um Gebäude mit niedrigen Grauen Umweltwirkungen zu erreichen
- Empfehlungen für einzelne Gruppen von Akteuren, die eine wichtige Rolle bei der Minimierung von Grauen Umweltwirkungen spielen

Für die Vorgangsweise wurde daher der IEA EBC Annex 57 in fünf Teile gliedert:

- Subtask 1: Grundlagen
- Subtask 2: Literaturstudie
- Subtask 3: Evaluierungsmethoden Grauer Energie und CO₂-Emissionen
- Subtask 4: Planungs- und Konstruktionsmethoden für Gebäude mit verringerter Grauer Energie und Treibhausgasemissionen
- Subtask 5: Gesamter Forschungsplan, Publikation und Dissemination

Der **Subtask 2** umfasste eine Literaturrecherche betreffend Grauer Energie und Grauer Treibhausgasemissionen. Dies erfolgte nach einem vorgegebenen Raster, nach der die Auswertung seitens der einzelnen Experten erfolgte.

Im **Subtask 3** werteten die einzelnen Experten eine vordefinierte Matrix zu bestehenden Methoden sowie deren Hintergründe (Systemgrenzen, verwendete Datenbanken, Betrachtungszeitraum, berücksichtigte Gebäudeteile, Abschneidekriterien, etc.) aus. Das österreichische Teilvorhaben umfasste die Aufbereitung nationaler Forschungsergebnisse.

Aufgabe des **Subtasks 4** war Besonderheiten der einzelnen ausgewerteten Projekte zu bestimmen (design & construction methods), sowie besonders zielführende Ansätze zur Reduktion der Grauen Energie und der Grauen Treibhausgasemissionen getrennt herauszuarbeiten und deren Übertragbarkeit für andere Länder zu diskutieren. Das österreichische Teilvorhaben umfasste zusätzlich die Auswertung und Aufbereitung einzelner Projekte (Case Studies) mittels der Methode der LCA.

3. Ergebnisse des Projektes

Im Rahmen des IEA EBC Annex 57 wurden folgende Berichte veröffentlicht und stehen auf der IEA Web-Site zum Download bereit (siehe „Internationale Projektergebnisse“, Seite 69). Die wesentlichen Inhalte sind im Folgenden beschrieben:

- Evaluation of Embodied Energy and CO₂ equivalent for Building Construction: Overview of Annex 57 Results [103]
- Basics for the Assessment of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions for Building Construction: Guideline for Designers and Consultants – Part 1 [56]
- Strategies for Reducing Embodied Energy and Embodied GHG Emissions: Guideline for Designers and Consultants – Part 2 [89]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂ equivalent for Building Construction: Guidance to Support Educators [32]
- Guidance to Including Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in the Decision-making Process for SMEs: Guideline for Construction Product Manufacturers [73]
- Deutsche Version: Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten [74]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂ equivalent for Building Construction: Guideline for Policy Makers [61]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction: Subtask 1 - Basics, Actors and Concepts [57]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction: Subtask 2 - A Literature Review [21]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction: Subtask 3 - Evaluation Methods of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in Building and Construction [91]
- Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction: Subtask 4 - Case Studies and Recommendations for the Reduction of Embodied Energy and Embodied Greenhouse Gas Emissions from Buildings [9]

3.1. Bedeutung von Grauen Umweltwirkungen

Im Allgemeinen ist der Bausektor für 30 bis 40 % des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich und trägt mehr als 30 % zu den weltweiten Treibhausgasemissionen [38], [100] bei. Zu dem Bestreben den Ressourcenabbau und die globale Erwärmung zu verringern, könnte die Reduktion des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen in diesem Sektor einen bedeutenden Beitrag leisten [100]. Angesichts der hohen Bauraten in schnell wachsenden Nationen und Schwellenländern, die mit den Ineffizienzen bestehender Gebäudebestände weltweit gekoppelt sind, wird, falls keine weiteren Ansätze entwickelt werden, der Anteil dieser Beiträge in Zukunft weiter steigen. Unter diesen Umständen wird die Intensivierung der Bemühungen um die Erhaltung der Ressourcen und die Verringerung der nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt im Bausektor immer wichtiger.

Alle Entscheidungsträger sind daher aufgerufen, viel wirkungsvollere Maßnahmen in diese Richtung zu ergreifen als bisher.

Das internationale Kooperationsvorhaben IEA EBC Annex 57 hat daher die tatsächliche Situation der Grauen Umweltwirkungen erhoben und erläutert Berechnungsmethoden sowie deren theoretischen Hintergrund. Möglichkeiten zur Reduktion von Grauen Umweltwirkungen werden durch Fallstudien (Case Studies) gezeigt.

In Abbildung 9 ist das Verhältnis von Grauen Umweltwirkungen von der Errichtung bis zum EoL und jenen, die aus dem Betrieb des Gebäudes entstehen, schematisch dargestellt. Dabei kann festgestellt werden, dass Graue Umweltwirkungen der Bauprodukte zunehmend an Bedeutung gewinnen, was auf einen vermehrten Einsatz von zusätzlichen Bauprodukten (z.B. für Wärmedämmung, Haustechnik etc.) zurückzuführen ist. Während die Ermittlung und Bewertung der Betriebsenergie und der damit verbundenen Umweltwirkungen verhältnismäßig einfach ist, sind Bewertungen der Grauen Umweltwirkungen komplexer und zeitaufwendiger.

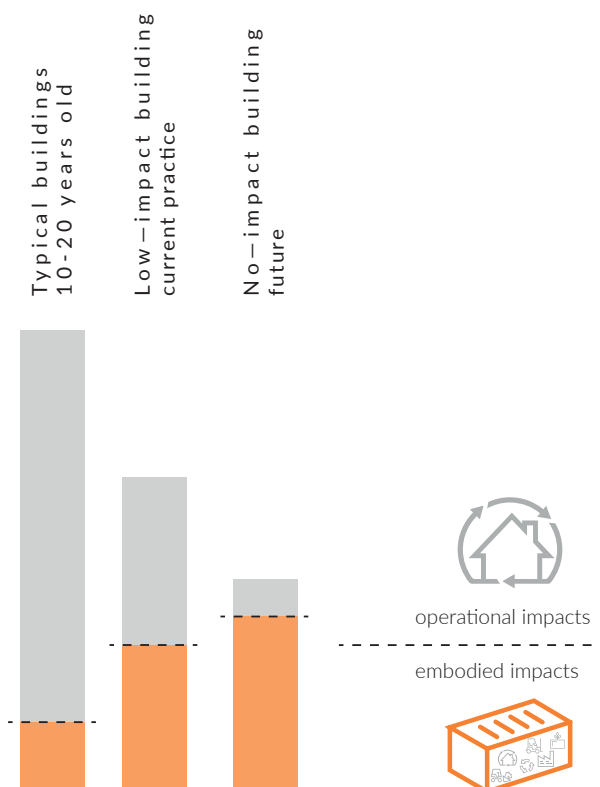


Abbildung 9: Das Verhältnis von betrieblichen & Grauen Umweltwirkungen im Wandel der Zeit [73]

Die Unterschiede von Grauen Umweltwirkungen aus der Betriebsphase sind weltweit signifikant. Es können jedoch keine Vergleiche durchgeführt werden, wenn keine Angaben über den Gebäudetyp, die Nutzungsart, die Bauart, die Hauptbaustoffe und den Energiestandard gegeben werden sowie wenn die Systemgrenzen nicht in jeder Studie eindeutig abgesteckt werden.

Dies hebt das derzeitige Problem hervor, dass es keine allgemein anerkannte Methode gibt, um Graue Umweltwirkungen genau und konsequent zu berechnen [14] und daher sind große Variationen in den Ergebnissen unvermeidlich [66], [51].

Allerdings gibt es einen globalen Trend zur Verschärfung der Bauvorschriften im Hinblick auf den betrieblichen Energieverbrauch, vor allem in Klimazonen mit hohem Heiz- und Kühlenergiebedarf. Dies führt dazu, dass die Bedeutung von Grauer Energie und der damit verbundenen Grauen Treibhausgasemissionen immer größer wird [90], [3].

So kann Graue Energie in neuen, gut isolierten energieeffizienten Gebäuden bis zu 40% des gesamten Energieverbrauchs im Lebenszyklus ausmachen und sogar die Betriebsenergie übertreffen [23].

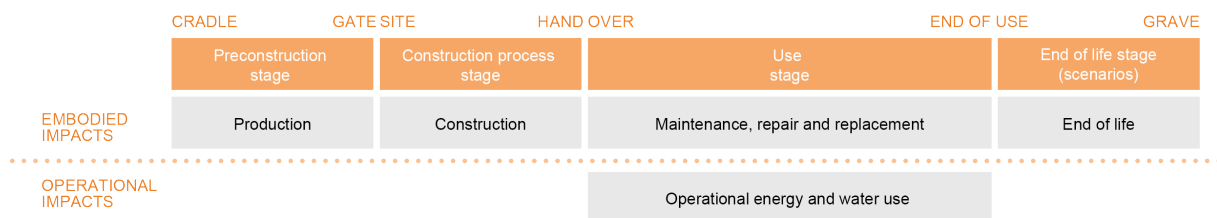


Abbildung 10: Phasen im Lebenszyklus von Gebäuden aus [73] nach ÖN EN 15978 [18]

Die Bedeutung von Grauen Umweltwirkungen wird zunehmend wahrgenommen; allerdings ist die aktuelle Situation, dass die Berechnungsbedingungen (Voraussetzung, Randbedingung, etc.) und Berechnungsmethoden sowie die Ergebnisse je nach Land stark variieren. Darüber hinaus gibt es nur wenige Dokumente oder Richtlinien, die Methoden zur Reduzierung von Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen abdecken. Zur Reduktion von EE und EG prüft der IEA EBC Annex 57 in Zusammenarbeit mit einzelnen Ländern verschiedene Berechnungsmethoden und erstellt einen Leitfaden für die praktische Anwendung der Berechnungsmethoden.[36]

Der unterschiedliche Umsetzungsstand auf nationaler Ebene ist in Tabelle 2 (in englischer Originalsprache) dargestellt, basierend auf einer Umfrage des ST4 [6] durchgeführten Untersuchungen. Die Umfrage konzentrierte sich dabei auf folgende Bereiche:

- die obligatorische Einbeziehung von EEG in die nationalen Bauvorschriften,
- die nicht obligatorischen Anreize für EEG durch Zertifizierungssysteme und -gremien,
- die Erstellung von EPDs für Bauprodukte,
- die Entwicklung nationaler Datenbanken,
- die Entwicklung von Werkzeugen zur Berechnung von EEG auf Gebäudeebene
- andere Brancheninitiativen

Tabelle 2: Responses to the IEA EBC Annex 57 'Venice questionnaire' (ST4-Report)

Questions: These have been slightly reworded for compactness.		Australia	Austria	Brazil	Czech Republic	Denmark	Finland	Germany	Italy	Japan	Republic of Korea	Netherlands	Norway	Spain	Sweden	Switzerland	UK
Do building regulations include embodied emissions?		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	~	x	x	x	~	x
Are there different requirements for domestic and non-domestic buildings?		✓	✓	x		x	✓	~	✓	✓	x	x	✓	✓	x	~	✓
Are there sustainability certifications specific to your country?		✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	~	✓	✓	✓	✓	✓
Do they include embodied emissions?		~	~	x	✓	✓		✓	x	✓	✓	✓	✓		x	✓	✓
Do other voluntary initiatives exist to measure embodied emissions?		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		~	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Is there a construction LCA database for your country?		✓	✓	x	✓	x	~	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
Are there (LCA) tools to calculate embodied emissions in your country?		✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Are there any on-going initiatives to develop LCA tools?		✓	✓	x	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Is it common for construction products to have EPDs?		~	~	x	~	~	✓	✓	~	x	x	x	~	x	x	~	~
Is there an EPD database for your country?		~	✓	x	✓	✓	x	✓	x	✓	✓	~	✓	✓	✓	~	✓
Are there any on-going initiatives to develop national databases?		✓	~	✓	✓	x	✓	✓	~	x	✓	✓	✓	✓	~	✓	✓
KEY:	Positive answer	✓															
	Negative answer	x															
	Ambiguous/complex answer	~															
	Question not answered	(blank)															

Es musste festgestellt werden, dass die existierenden Standards, Daten und Werkzeuge nicht immer eindeutig die Systemgrenzen, Methoden zur Ermittlung der Indikatoren, usw. definieren, was Unsicherheiten aufgrund breiter Interpretationsmöglichkeiten zur Folge hat. Die Bandbreite der Definitionen reicht von der Bewertung ausschließlich der Grauen Umweltwirkungen von Bauprodukten (Produktionsphase) über Bewertungen des gesamten Lebenszyklus (Produktion, Konstruktion, Betrieb und Instandhaltung und EoL Szenarien) bis hin zur Berücksichtigung von Effekten durch Wiederverwertungs- und Recycling-Szenarien.

Es ist offensichtlich, dass keine Definition alleine in der Lage ist, alle Anwendungsfälle abzudecken und Systemgrenzen für jede Studie definiert um den gewählten Zweck zu erfüllen. Auf die Notwendigkeit von standardisierten Bewertungs- und Dokumentationsmethoden für die Graue Energie von Gebäuden wurde bereits [22] hingewiesen. Darüber hinaus besteht Bedarf an allgemein verfügbaren, öffentlich zugänglichen und regionsspezifischen Daten, die geeignet sind Bewertungsinstrumente, Benchmarks und Zielwerte sowie die angewandten Methoden in Entwurfs-, Planungs- und Entscheidungsprozesse zu integrieren [2].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Bedeutung der Grauen Umweltwirkungen schrittweise erkannt wird. Aufgrund variierender Rahmenbedingungen (unterschiedlicher Systemgrenzen, Datenbanken, Betrachtungszeiträume, berücksichtigter Gebäudeteile, Abschneidekriterien, etc.) und

Berechnungsmethoden je nach Land und/oder Forscher sind die teils sehr unterschiedlichen Ergebnisse kaum vergleichbar. Darüber hinaus gibt es nur wenige Dokumente oder Richtlinien, die Maßnahmen zur Reduktion von Grauen Umweltwirkungen im Bausektor behandeln. Es ist festzustellen, dass auf Grundlage von Bewertungen der Grauen Umweltwirkungen von Gebäuden daher derzeit keine gezielten Aussagen möglich sind und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse bisher nicht gegeben ist. Es ist somit an der Zeit, die wissenschaftliche Basis zu einer konsistenten Beschreibung, Bewertung und Reduktion der Grauen Umweltwirkungen im Hochbau zu erarbeiten und zu verbreiten.

3.2. Stand der Technik von Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen und ihre Anwendung (Ergebnisse ST2)

2.1 Literaturrecherche zur Grauen Energie und Grauen Treibhausgasemissionen [21]

Bestehende Forschungsergebnisse über Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen in Bezug auf die Baubranche wurden gesammelt, analysiert und zusammengefasst. Etwa 250 Literaturquellen wurden für diesen Zweck recherchiert und analysiert.

2.1.1 Forschungstrends nach Jahr

(1) Vor dem Jahr 2000

In den 1990er Jahren wurden nur wenige Veröffentlichungen gefunden, die sich auf die Graue Energie der Gebäude konzentrierten. Einige Veröffentlichungen haben versucht, methodische Vergleiche zwischen der Analyse Grauer Energie und der Analyse von Energie zu untersuchen, die eine quantitative Analysetechnik zur Bestimmung der Werte von Ressourcen, Dienstleistungen und Rohstoffen ist [10]. Primäre Energie und Treibhausgasemissionen aus Gütern und Dienstleistungen in Österreich wurden nach I-O LCA Methode [54] analysiert. Weiters gab es mehrere Versuche, Energie und Treibhausgase zu analysieren, die mit Baustoffen oder Bautätigkeiten verbunden sind.

(2) 2000 bis 2006

Bis zum Jahr 2006 wurden Studien über Graue Energie und Treibhausgasemissionen mit einer leichten, aber allmählich steigenden Rate veröffentlicht. Forschungsthemen wurden jedoch nach den 2000er Jahren erhöht, obwohl sich die Themen noch auf den Energieverbrauch konzentrierten. Auf Gebäudeebene waren die Fachgebiete Baustoffkunde, Gebäudehüllen und energiebezogene Anlagen wie BIPV¹⁷ oder Niedrigenergie-Gebäudetechnik. Auf nationaler oder industrieller Ebene untersuchten mehrere Arbeiten den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen aus der sozioökonomischen Sicht, um für politische Entscheidungen genutzt werden zu können. Die dominierenden Methoden waren I-O LCA und Hybrid-LCA, um die Auswirkungen nicht nur auf der Ebene des Gebäudes, sondern auch in der nationalen Ebene zu analysieren. In einigen Studien und ausgewählten Ländern wurde prozessbasierte LCA zur Bewertung der Grauen Energie- und Treibhausgasemissionen auf Gebäudeebene angewandt. Interessanterweise wurde ein Berechnungsrahmen zur Abschätzung von Energieabdrücken durch Primärenergien vorgeschlagen, welche sich auf die verbrauchte Waren und Dienstleistungen einer definierten menschlichen Bevölkerung bezogen [29].

¹⁷ Building Integrated Photo Voltaics

(3) Nach dem Jahr 2007

Es gab einen explosionsartigen Anstieg der Forschung auf dem Gebiet der Grauen Energie und der Treibhausgasemissionen ab dem Jahr 2007. Mehrere Studien als zuvor haben eine prozessbasierte LCA-Methodik beforcht. Es wurden weitere spezielle Methoden vorgeschlagen, wie z.B. Multi-Region IO LCA [102], Environmental IO LCA, quasi multimediales Input-Output (QMRIO) -Modell [24] und WRI/WBCSD-GHG-Protokoll [65]. In letzter Zeit wurde eine multinationale IO-Datenbank veröffentlicht und wird kontinuierlich aktualisiert [98].

2.1.2 Forschungstendenz nach Region

In Anbetracht der publizierten Literatur nach Regionen wurden in den europäischen und asiatischen Ländern die meisten Studien über die Grauen Umweltwirkungen in der Baubranche in Arbeit genommen. Wie in Abbildung 11 dargestellt, machen Europa und Asien jeweils rund 43% aus, sowie Amerika 14%. Unter den asiatischen Ländern ist in China mehr als die Hälfte der Literatur erschienen. Die anderen führenden Länder im Bereich der Grauen Umweltwirkungen sind das Vereinigte Königreich (UK) und die USA.

	Veröffentliche Arbeiten
Amerika	23
Europa	72
China	38
Andere Asiatische Länder	33
International	42
Gesamt	208

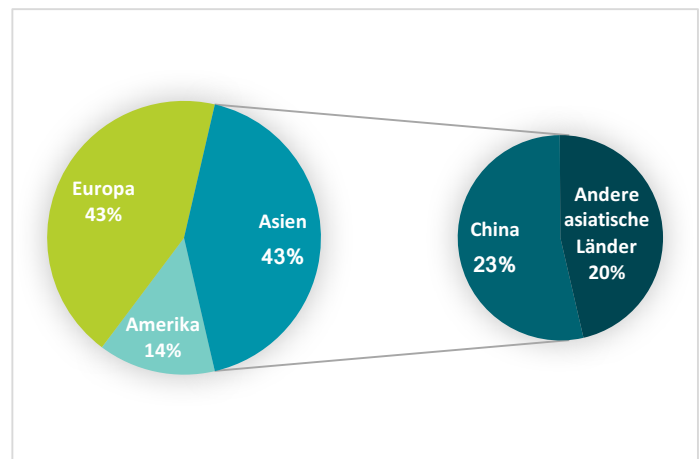


Abbildung 11: Publierte Literatur nach Region (in Anlehnung an [21])

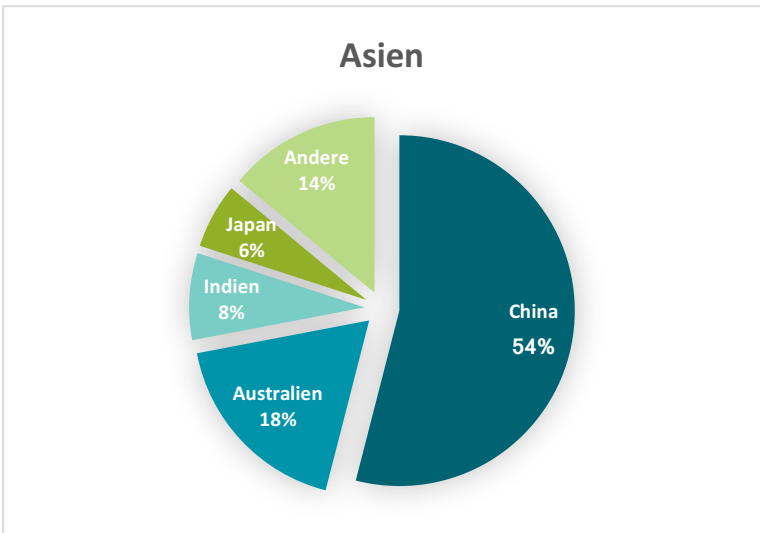
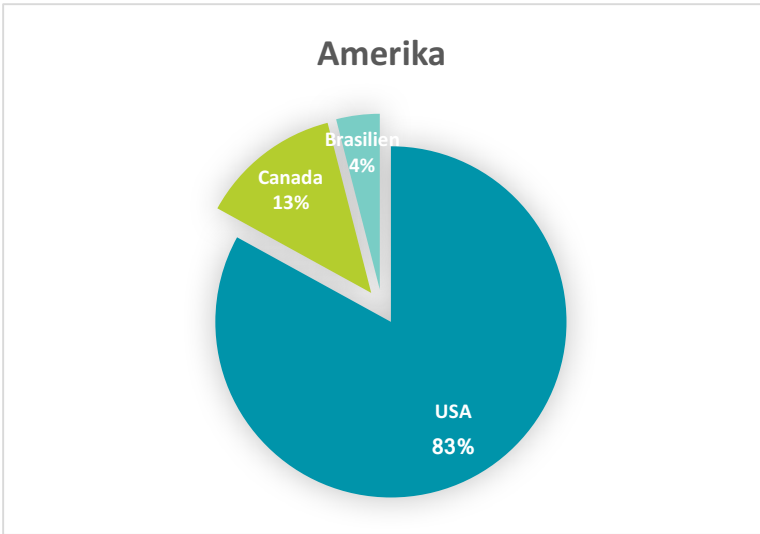
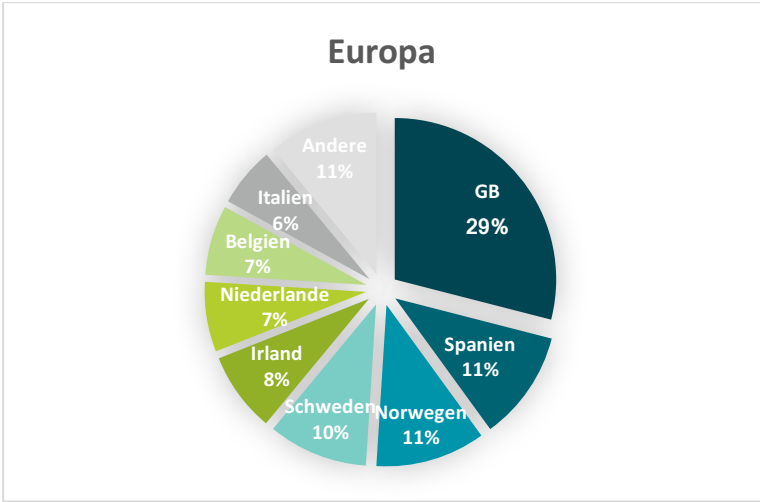


Abbildung 12: Publierte Literatur nach Ländern (in Anlehnung an [21])

2.1.3 Graue Umweltwirkungen - Gebäudeebene

In Bezug auf die Analyse von Grauen Umweltwirkungen auf der Gebäudeebene wurden 42 Veröffentlichungen überprüft. Die Forschungsthemen auf Gebäudeebene betreffen meist Wohngebäude, die mehr als 80% der Gebäude repräsentieren. In Abbildung 13 wird die Verteilung wie folgt dargestellt: Niedrigenergie-Gebäude (31%), Wohn-Einfamilienhäuser (27%), mehrstöckige Gebäude (15%), Wohnungen (11%), Büros (8%) und Hotels (8%). Die veröffentlichten Arbeiten zeigen die Tendenz, nur Umweltfaktoren in die Analyse der Grauen Umweltwirkungen einzubeziehen, während mehrere Forscher ökonomische Faktoren zusammenfassen, wie z.B. jährliche laufende Kosten [102] oder Lebenszykluskosten (LCC) [62]. Die Bewertungszeiten variieren von 1-100 Jahren. Der bevorzugte Bewertungszeitraum für die Analyse Grauer Umweltwirkungen aus dem Lebenszyklus eines Gebäudes beträgt 50 Jahre (47%)

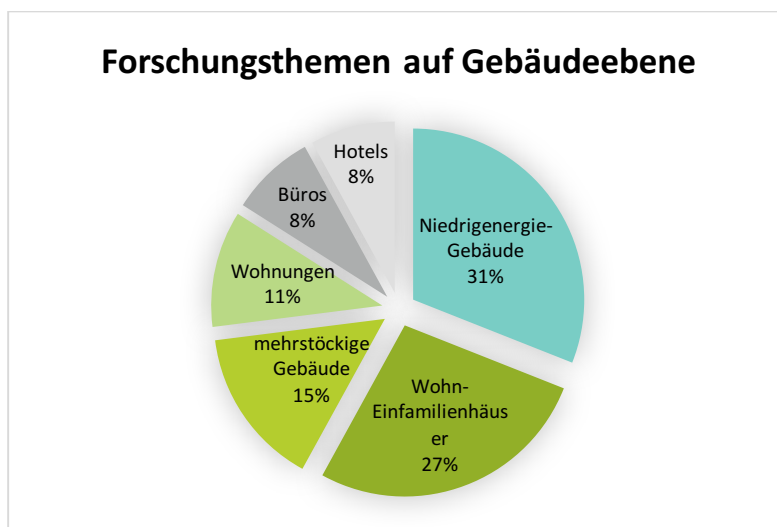


Abbildung 13: Forschungsthemen auf Gebäudeebene (in Anlehnung an [21])

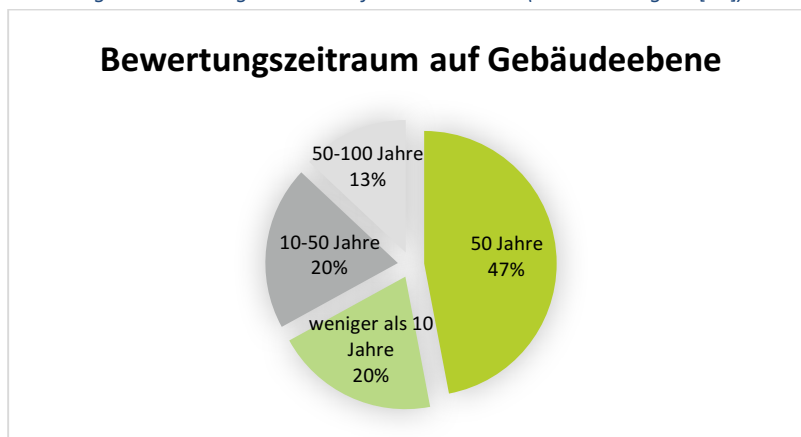


Abbildung 14: Bewertungszeitraum auf Gebäudeebene (in Anlehnung an [21])

Lebenszyklusphasen

Sowohl prozessbasierte LCA- als auch I-O-LCA-Methoden werden weitgehend für die Bewertung auf Gebäudeebene angewendet.

Um die Zusammenhänge zwischen Forschungszielen und Systemgrenzen zu analysieren, werden Umweltfaktoren in vier Kategorien eingeteilt: Graue Energie, Graue Treibhausgasemissionen, Betriebsenergie und CO₂ aus dem Betrieb. Auch die Systemgrenzen sind in fünf Phasen unterteilt: Materialproduktion, Materialtransport zur Baustelle, Bau, Baubetrieb und EoL. Die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigten, dass es keine direkte Korrelation zwischen der Wahl von Umweltindikatoren und der Systemgrenze gab (Abbildung 15). Aufgrund des Fehlens eines klaren Leitfadens zur Bewertung der Grauen Umweltwirkungen haben die Forscher die Umweltindikatoren ausgewählt und die Systemgrenzen nach ihren Zielen festgelegt, so dass es nicht möglich ist, zwischen verschiedenen Fallstudien zu vergleichen.

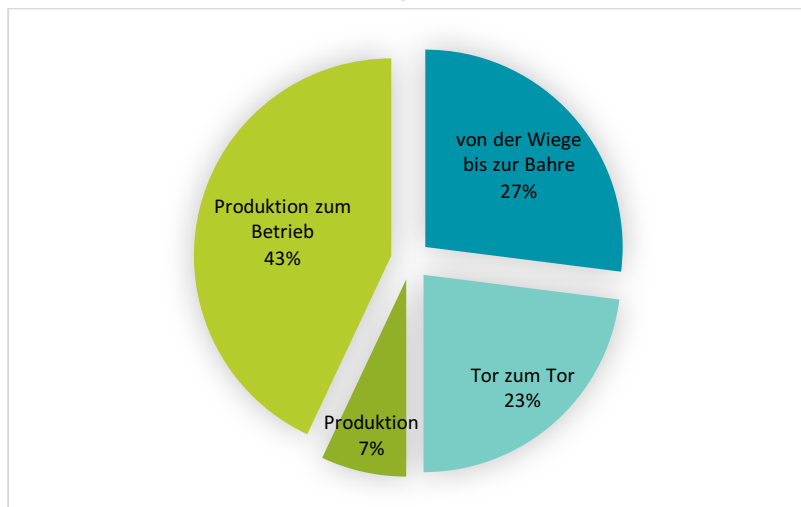


Abbildung 15: Systemgrenze auf Gebäudeebene (in Anlehnung an [21])

Die Hälfte der Fälle waren Wiege-zum-Tor-Zyklen und die meisten Beurteilungen verliefen von der Produktionsstufe bis zur Nutzungsphase. Der Referenzfluss wurde in m² oder m³ gemessen. Die Ergebnisse der Grauen Energie wurden in MJ- oder kWh-Einheiten ausgedrückt, während die Einheit von Grauen Treibhausgasemissionen üblicherweise in GWP gemessen wurde.

3.3. Begriffe und Definitionen (Ergebnisse ST1 und ST3)

Graue Umweltwirkungen beziehen sich in diesem Dokument nur auf den Primärenergieverbrauch und mögliche negative Auswirkungen auf das Klima, sogenannte Treibhausgasemissionen, die während des Bauprodukt-Lebenszyklus während der Herstellung, dem Einbau im Gebäude oder auf Baustellen und der Instandhaltungs- und EoL - Phase entstehen. Diese Grauen Umweltwirkungen können für die Graue Energie oder Graue Treibhausgasemissionen ermittelt werden. Sie haben großen Einfluss auf die Gesamt-Umweltwirkungen von Gebäuden im Zusammenhang mit Ressourcennutzung (in diesem Fall Energieressourcen) und negativen Auswirkungen auf das Klima (hier GWP). Im Allgemeinen stehen Graue Umweltwirkungen in Verbindung mit allen möglichen Grauen Emissionen (z.B. auch Säurebildungspotential (AP), usw.).

Der Fokus im gegenständlichen Projekt lag auf Graue Umweltwirkungen die folgendermaßen definiert werden:

Graue Energie (manchmal auch als kumulierter Energieaufwand oder Primärenergieinhalt bezeichnet) ist eine Methode, um Primärenergieressourcen jeglicher Art aufzusummieren, die in vorgelagerten Prozessen entstehen. Dabei geht es vor allem um jene Ressourcen, die in einer oder mehreren Lebenszyklusphasen eines bestimmten Produkts (eines bestimmten funktionalen Äquivalents) verbraucht/genutzt worden sind und nicht um solche, die der Produktnutzung oder dem Baustellenbetrieb direkt zugeordnet werden können (dies bezieht sich nur auf Gebäude und Produkte, die für die Energieversorgung eines Gebäudes relevant sind).

Graue Treibhausgasemissionen (manchmal auch als Grauer Kohlenstoff, CO₂-Fußabdruck, oder Graues Treibhauspotential bezeichnet) ist eine Methode, um die Menge an Treibhausgasen, ungeachtet ihrer Art und Herkunft, zu bestimmen. Im Fokus stehen dabei jene Treibhausgase, die während einer oder mehrere Lebenszyklusphasen eines bestimmten Produkts (einer bestimmten funktionalen Einheit) ausgestoßen werden und nicht solche, die direkt durch die Nutzung oder den Baustellenbetrieb entstehen (dies bezieht sich nur auf Gebäude und Produkte, die für die Energieversorgung eines Gebäudes relevant sind).

Graue Umweltwirkungen beschreiben in diesem Zusammenhang Graue Energie und Graue Treibhausgasemissionen.

Indikatoren

Die Quantifizierung und Bewertung der aus den Produktionsprozessen resultierenden Grauen Umweltwirkungen erfolgt mittels Indikatoren. Diese sollten gut kommunizierbar, transparent und unmissverständlich zu interpretieren sein. Gleichzeitig müssen sie aber auch innerhalb eines angemessenen Zeit- und Kostenaufwands bestimmt werden können. Im Rahmen dieser Guideline werden für die Darstellung der quantifizierten Grauen Umweltwirkungen von Bauprodukten folgende Indikatoren empfohlen (siehe Tabelle 3):

Tabelle 3: Empfohlene Indikatoren für die Quantifizierung Grauer Umweltwirkungen [73]

	core list of indicators	additional indicators
Embodied Energy [MJ]	EE1 - Consumption of primary energy fossil [PEf]	Consumption of fossil fuels as feedstock
	EE2 - Consumption of primary energy non renewable [PEnr]	
	EE3 - Consumption of primary energy total (renewable + non-renewable) [PEt]	Consumption of biomass as feedstock
Embodied GHG Emissions [kgCO ₂ -eq.]	EG1 - Global Warming Potential [GWP 100]	F-gasses as identified in Montreal Protocol Stored Carbon

In Tabelle 3 wird die Verwendung von drei unterschiedlichen Indikatoren für die Quantifizierung Grauer Energie (EE1–EE3) sowie die Verwendung eines Indikators für die Quantifizierung von Grauen Treibhausgasemissionen (EG1) vorgeschlagen. Unterschiedliche Energieträger sollten jedoch in die

empfohlenen Indikatoren zur Quantifizierung Grauer Energie mit einbezogen werden, wie auch unterschiedliche THG-Emissionen in die Grauen Treibhausgasemissionen (kg CO₂-Äq.) inkludiert werden sollten.

Dies zeigt, dass eine klare Aussage über die exakten Merkmale und den Umfang einzelner Indikatoren nötig ist, um sie klar zu definieren und Daten vergleichen zu können. Tabelle 4 verwendet die Indikatoren Primary Energy total (PEt) und Treibhauspotential als Beispiel und führt Parameter an, die für die transparente Beschreibung und deren Merkmale erfüllt werden müssen. Die gemäß IEA EBC Annex 57 empfohlenen Indikatoren werden im Detail auch im Bericht ST1 [55] beschrieben.

Tabelle 4: Beispiel für die Merkmaldefinition für die Quantifizierung Grauer Umweltwirkungen [73]

CHARACTER OF THE INDICATOR PEt	
Included non-renewable energy resources	Fossil fuels as energy Fossil fuels as feedstock (separately reported) Nuclear fuels
Included renewable energy resources	Biomass Biomass as feedstock (separately reported) Solar energy Geothermal energy Hydropower Wind power
Type of system boundary	Cradle to Grave (+ Module D if considered appropriate; to be reported separately)
Unit of measurement	MJ/functional unit (or declared unit)
CHARACTER OF THE INDICATOR GWP	
Type of GHG emissions	Fuel related
	Non fuel related – process related emissions Non fuel related – F-gasses (separately reported)
Type of system boundary	Cradle to Grave + Module D (only as information)
Unit of measurement	Kg CO ₂ -eq. /functional unit (or declared unit)
Included GHG emissions in CO ₂ -eq.	GHGs as identified in the 5th IPCC report Freon gases as defined in Montreal protocol

Die nachfolgende Tabelle 5 stellt die hier empfohlenen Indikatoren denen der EPD-bezogenen ISO- und EN Normen gegenüber. Die Tabelle dient vor allem all jenen Herstellern, die die Umweltwirkungen ihrer Produkte in Form einer EPD angeben wollen.

Tabelle 5: Vergleich der in Tabelle 3 empfohlenen Indikatoren mit ISO 21930 und EN 15804 [73]

Indicators	ISO 21930 2007	EN 15804
Consumption of primary energy fossil [PE _f]	Not included in this version (ADP_fossil to be included in the revised version)	Abiotic depletion potential (ADP_fossil fuels) for fossil resources
Consumption of primary energy non renewable [PE _{nr}]	Non-renewable primary energy used as an energy carrier (fuel) NRPE _E	Use of non renewable primary energy excluding non renewable primary energy resources used as raw materials
Consumption of primary energy total (renewable + non-renewable) [PE _t]	Two indicators are added up: Non-renewable primary energy used as an energy carrier (fuel) NRPE _E Renewable primary energy used as an energy carrier (fuel) RPE _E	Two indicators are added up: Use of non renewable primary energy excluding non renewable primary energy resources used as raw materials Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials
Global Warming Potential [GWP 100]	Global Warming Potential, GWP	Global Warming Potential, GWP
Consumption of fossil fuels as feedstock	Non-renewable primary energy used as material NRPE _M	Use of non renewable primary energy resources used as raw materials
Consumption of biomass as feedstock	Renewable primary energy used as material RPE _M	Use of renewable primary energy resources used as raw materials
F-gasses as identified in Montreal Protocol	It is not identified as a separate indicator	It is not identified as a separate indicator
Stored Carbon	It is not identified as a separate indicator in this version (but to be included in the revised version)	It is not identified as a separate indicator
Stored Carbon	It is not identified as a separate indicator in this version (but to be included in the revised version)	It is not identified as a separate indicator

3.4. Modellierung des Produktlebenszyklus von Bauprodukten

Dieser Abschnitt fasst ausgewählte Ergebnisse und Empfehlungen aus dem Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten [73] des IEA EBC Annex 57 zusammen. Die Ergebnisse des ST1 und ST3 wurden in Form von thematisch geordneten Teilberichten und spezifischen Leitfäden für die ausgewählten Interessensgruppen veröffentlicht, um deren unterschiedlichen Bedürfnissen und Anforderungen gerecht zu werden.

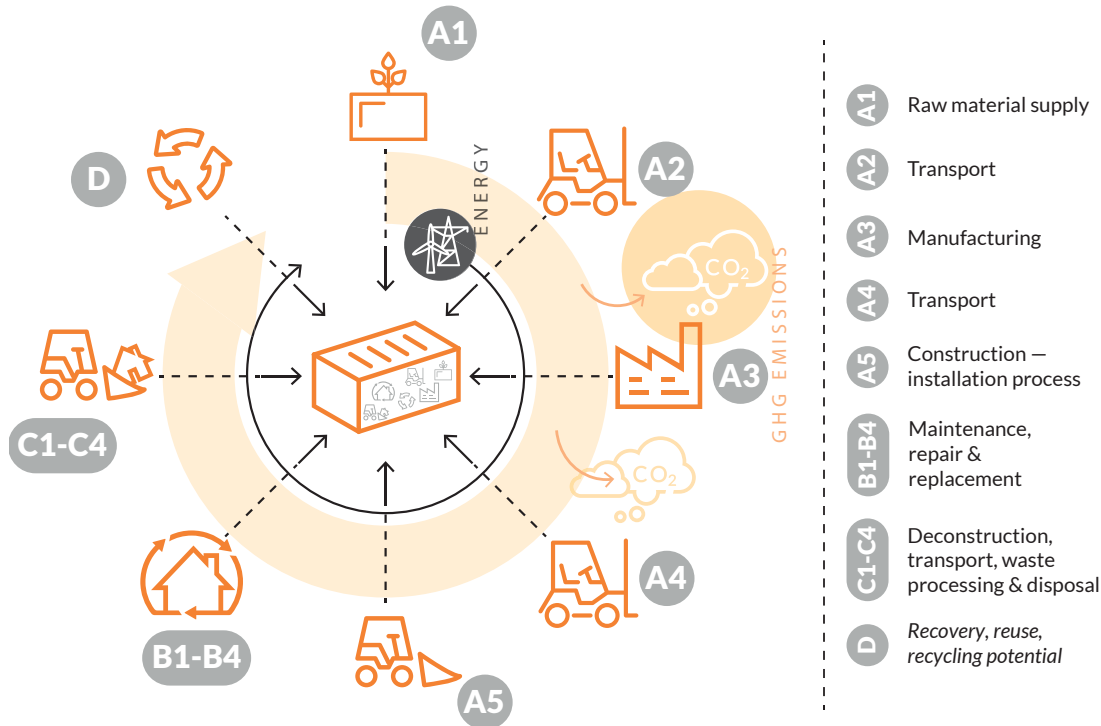


Abbildung 16: Graue Umweltwirkungen als Summe aus unterschiedlichen Lebenszyklusphasen [73]

Abbildung 16 zeigt, dass Graue Umweltwirkungen in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Bauprodukts auftreten können. Hersteller von Bauprodukten haben einen bedeutenden Einfluss von den Rohstoffen, über den Produktionsprozess, die Errichtungsphase, die Nutzungsphase, bis hin zum EoL und die damit verbundenen Wiederherstellungs-, Wiederverwendungs- und Recyclingpotentiale. Im Gegensatz zu anderen Aspekten sind Graue Umweltwirkungen immer unmittelbar mit einem bestimmten Bauprodukt verbunden. Da sie jedoch nicht explizit als einzelne Einflussfaktoren erkannt und gemessen werden können, müssen ihnen Hersteller von Bauprodukten besondere Aufmerksamkeit schenken.

Für Prozesse und die Erstellung von Sachbilanzen ist es wichtig, den Produktlebenszyklus in einem Modell abzubilden und in Lebenszyklusphasen zu unterteilen. Eine erste Harmonisierung bezüglich der Gliederung in Form eines modularen Konzepts wurden erstmals vom Ausschuss ISO/TC 59/SC 17 in der ISO 21930 festgelegt (die Veröffentlichung der zweiten Auflage soll demnächst erfolgen), welche in weiterer Folge vom CEN/TC 350 in der EN 15804 angepasst wurden (der Aufbau für Bauprodukte und Gebäude ist gleich). Das Modell gliedert den Produktlebenszyklus in vier Phasen, die wiederum in unterschiedliche Informationsmodule unterteilt werden (siehe Abbildung 17).

Modular setup for the description of the life cycle information																Additional info
PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				POTENTIAL BENEFITS & LOADS
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction – installation process	Use, installed products	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction	Transport	Waste processing	Disposal	Recovery, reuse, recycling potential
Embodied impacts		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	[✓]		✓	✓	✓	✓	[✓]
Operational impacts										✓	✓					

Abbildung 17: Modulares Konzept für die Beschreibung von Produkt bezogenen Lebenszyklusinformationen nach EN 15804:2012 & Unterscheidung zwischen betrieblichen und Grauen Umweltwirkungen [73]

Die folgenden vier Lebenszyklusphasen beschreiben den gesamten Lebenszyklus eines jeden Bauprodukts:

Die vier Lebenszyklusstufen sind wie folgt:

- Herstellungsphase (Module A1-A3) (Product stage)
- Errichtungsphase (Modul A4 und A5) (Construction stage)
- Nutzungsphase (Module B1-B7) (Use stage)
- Entsorgungsphase (Module C1-C4) (End-of-life stage)

Zusätzlich dazu kann das Informationsmodul D ergänzt werden, das potentielle Vorteile und Belastungen über die Entsorgungsphase hinaus angibt (über die Systemgrenze hinaus). Im Modul D kann außerdem das materialbezogene Potential bezüglich der „Zukunft“ eines Bauprodukts, beispielsweise das Wiederverwendungs-, Wiederherstellungs- und Recycling-Potential und dessen Einflüsse auf die Umwelt, beschrieben werden.

Abbildung 17 gibt einen Überblick über den modularen Ansatz zur Beschreibung der produktbezogenen Lebenszyklusinformationen. Darüber hinaus wird der Unterschied zwischen Grauen Umweltwirkungen und Umweltwirkungen im Betrieb hervorgehoben.

Der modulare Ansatz ermöglicht eine einfachere Organisation und Vermittlung der Informationspakete entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Es wird empfohlen, das in internationalen Normen beschriebene Modell zu übernehmen und bei Bedarf an die Anforderungen regionaler und nationaler Normen anzupassen.

Generell verlangt dieser Ansatz transparente, klar definierte und anwendbare Produktsystemgrenzen für die Lebenszyklusphasen und Informationsmodule. Detaillierte Informationen sind im Unterkapitel „Auswahl und Beschreibung der Systemgrenzen“ zu finden.

Die Hauptaufgabe eines Herstellers von Bauprodukten ist die Bewertung des Moduls A3, Herstellung (Manufacturing). Dem Hersteller obliegt die alleinige Verantwortung für dieses Modul, wohingegen Module A1, Rohstoff-Bereitstellung (Raw material supply), und A2, Transport zum Hersteller (Transport), die Grundlage jeder Wiege-bis-Werkstor- Bewertung darstellen und daher mit einzubeziehen sind.

Vor allem in der Nutzungsphase B1 können zusätzliche THG-Emissionen verursacht werden und sind daher in diesem Modul anzugeben.

Des Weiteren ist es wichtig, zwischen den unterschiedlichen Modulen in der Nutzungsphase – Instandhaltung (Maintenance), Reparatur (Repair), Ersatz (Replacement) und Umbau/Erneuerung (Refurbishment) (B2-5) – zu unterscheiden. Diese Module beschreiben die Umweltwirkungen während der Nutzungsdauer und erfassen die gesamte Bandbreite an möglichen Arbeiten, wie etwa von kleinen Wartungs- bis hin zu wichtigen Umbauarbeiten.

Manchmal ist es jedoch schwierig, Arbeiten einem spezifischen Modul zuzuordnen. Sollte unklar sein, ob eine Arbeit Instandhaltung, Reparatur, Ersatz oder Umbau/Erneuerung zugeordnet werden kann, wird dem Hersteller die Wahl eines passenden Moduls und Begründung dafür empfohlen.

Da keine eindeutigen Grenzen zwischen den Modulen B2 – B5 gezogen werden können, empfiehlt sich die Anwendung folgender Prinzipien:

Das Modul „Instandhaltung“ sollte sämtliche geplanten Arbeiten von Produkten und Baukomponenten umfassen, wie etwa präventive und reguläre Wartungsarbeiten sowie Reinigungsarbeiten. Instandhaltung sollte als eine Reihe von kontextbezogenen Handlungen unter üblichen Bedingungen gesehen werden (z.B. können Produkte in anderen Klimazonen unterschiedliche Wartungsanforderungen benötigen).

Das Modul „Reparatur“ beinhaltet Prozesse und Aktivitäten, die im Zusammenhang mit Gebrauch, unsachgemäßem Einbau oder Umgang, unvorhergesehenen Ereignissen usw. stehen. Zu den Reparaturarbeiten zählen beispielsweise Korrekturen, wie das Ersetzen beschädigter Komponenten oder Teile (z.B. ein Fenster mit zersprungenem Glas). Das Modul kann sich auch auf komplexe Produktsysteme beziehen, deren Komponente eine kürzere Lebensdauer haben als das Produktsystem selbst.

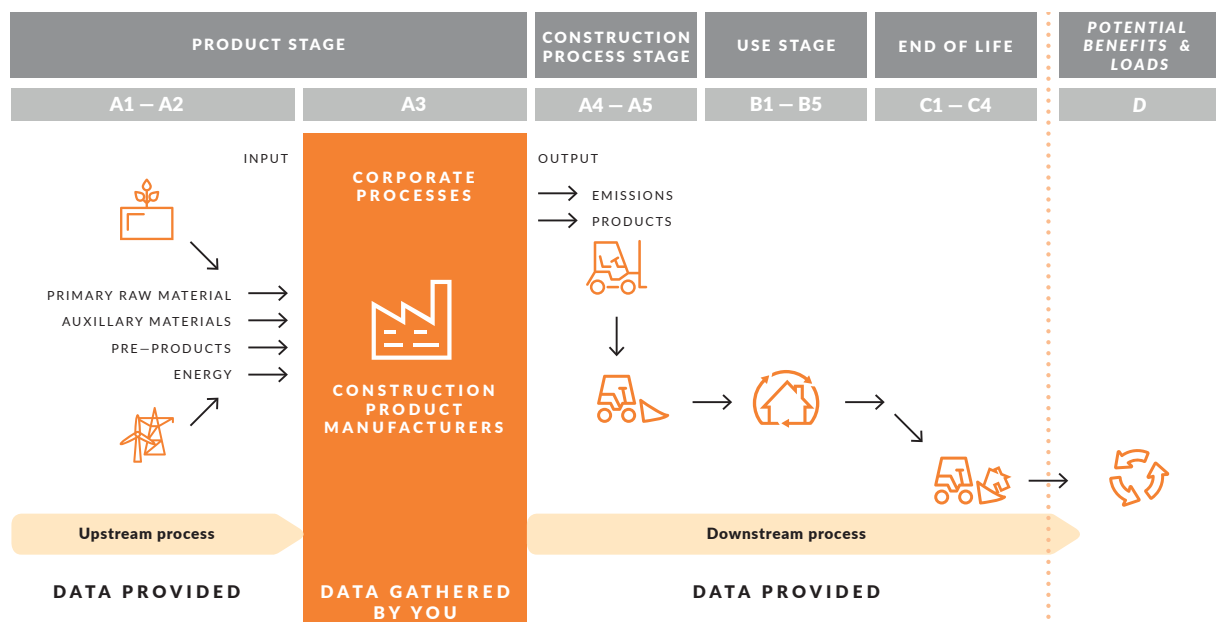


Abbildung 18: Datensammlung & Bereitstellung in der Lieferkette eines Bauprodukts. Die Lieferkette ist unterteilt in vorgelagerte, unternehmensinterne und nachgelagerte Prozesse [73]

Das Modul „Ersatz“ sollte Aktivitäten umfassen, die gesamte Produkte aufgrund von Beschädigungen zum EoL hin ersetzen (Ersatz der gesamten funktionalen Einheit durch eine neue gemäß der Referenz-Nutzungsdauer (RSL)).

Das Modul „Umbau/Erneuerung“ sollte Aktivitäten, die das Ersetzen von gesamten Bauelementen als Teil der Wartung, Reparatur und/oder des Austauschs des Gebäudes darstellen, umfassen. Es wird darauf hingewiesen, dass sich dieses Modul eher auf die Gebäude- als auf die Produktebene bezieht. Aus diesem Grund kann das Modul bei der Berechnung der Grauen Umweltwirkung auf Produktebene ausgelassen werden (siehe Abbildung 17 – Module in eckigen Klammern)

Module B6 und B7 sind nur für den Energie- und Wasserverbrauch technischer Systeme, die in Gebäuden integriert sind, relevant, dazu zählt beispielsweise die technische Ausrüstung. Die Eigenschaften und deren Einfluss auf den Energieverbrauch im Betrieb sowie den Wassereinsatz sind hier Teil der Produktinformation.

Auswahl und Beschreibung der Systemgrenzen

Informationen hinsichtlich Grauer Umweltwirkungen eines Produkts können unterschiedliche Modulkombinationen umfassen, d.h. unterschiedliche Lebenszyklusphasen oder Teile davon. Wenn möglich, sollten dafür die Grauen Umweltwirkungen aller Lebenszyklusphasen miteinbezogen werden (Wiege-bis-Lebensende-Ansatz – siehe Abbildung 19). Wenn dies nicht möglich ist, sollte zumindest die Systemgrenze Wiege-bis-Werkstor verwendet werden, da diese eine Voraussetzung für EPD darstellt. Im Detail bedeutet das, dass diese Systemgrenze die verpflichtende Produktionsphase, welche in Informationsmodule Rohstoffbereitstellung (A1) (Raw material supply), Transport (A2) (Transport) und Herstellung (A3) (Manufacturing) unterteilt ist, umfasst. Module, die sich auf Phasen nach dem Werkstor beziehen, basieren in der Regel auf Szenarien und sollten daher mehr als eine enthalten. Die Ergebnisse sollten im Allgemeinen auf Grundlage der deklarierten Einheit mitgeteilt werden, wenn die folgenden Systemgrenzen ausgewählt wurden: Wiege bis Werkstor, Wiege bis Baustelle oder Wiege bis Übergabe. Ergebnisse, die aus allen anderen Systemgrenztypen stammen, sollten auf Grundlage einer funktionalen Einheit kommuniziert werden.

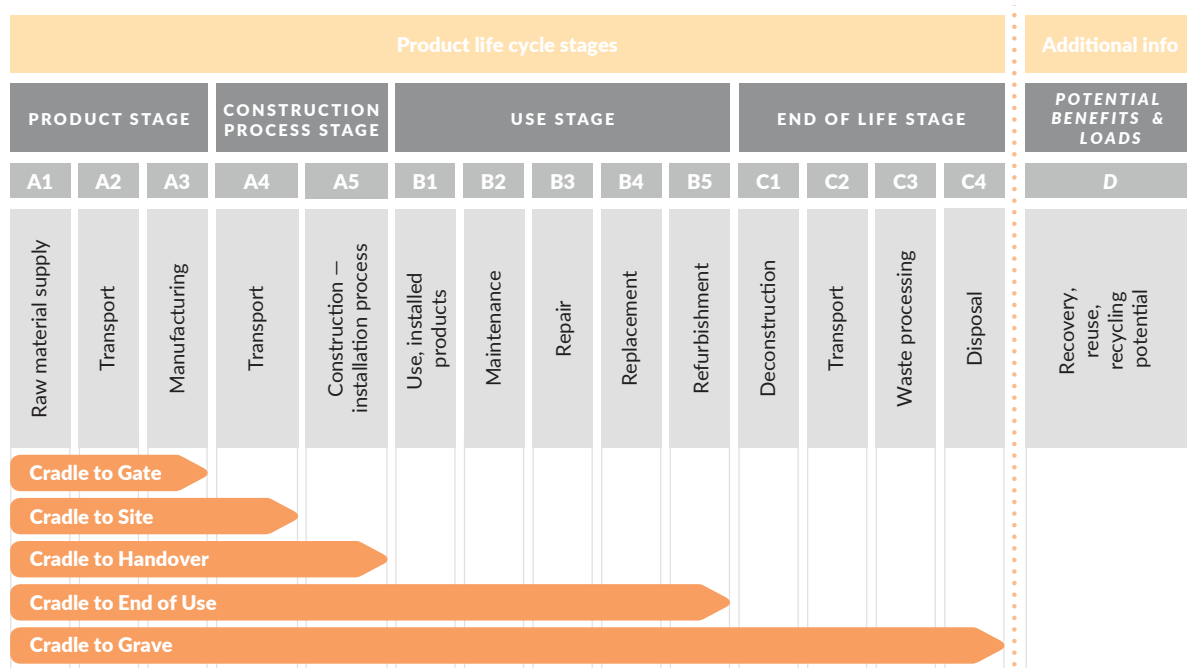


Abbildung 19: Systemgrenzen und Lebenszyklusphasen, die in der jeweiligen Systemgrenze eingeschlossen sind. Unter Verwendung der Module des Gebäudelebenszyklus entwickelt im Rahmen des CEN/TC 350 (EN 15804:2012), ([73] basierend auf Balouktsi & Lützkendorf, IEA EBC Annex 57 ST1)

Abbildung 19 gibt einen Überblick darüber, welche Prozesse/ Module in jedem Systemgrenztyp hinsichtlich der Grauen Umweltwirkungen enthalten sind. Weitere Informationen über unterschiedliche Systemgrenztypen sind detailliert im ST1- Bericht „Basics, Actors and Concepts“ unter dem Link www.iea-ebc.org zu finden.

Mögliche Materialgewinne und Umweltauswirkungen, die über die Systemgrenzen hinausgehen (z.B. können Zweitnutzer durch Verwendung wiederverwerteten Stahls Einsparungen erzielen), sind quantifizierbar und sollten als zusätzliche Informationen getrennt in Modul D angeführt werden.

Wiege-bis-Werkstor (Cradle to Gate):

Im Rahmen der Cradle-to-Gate Eingrenzung werden die Umwelteinwirkungen der Produktion von Baustoffen betrachtet. Diese beginnt beim Abbau der Rohstoffe, beinhaltet den Transport zum Werk wie den Herstellungsprozess und endet mit der Bereitstellung der fertigen Produkte am Werkstor des Herstellers. Das heißt, im Fall eines Gebäudes, wird der Energiebedarf dieser „Cradle to Gate“ Phase als Gesamtsumme der einzelnen Bestandteile des Produkts gewertet.

Wiege-bis-Baustelle (Cradle to Site):

Entspricht der Eingrenzung „Cradle to Gate“ zuzüglich der Anlieferung des Produkts auf die Baustelle.

Wiege-bis-Übergabe (Cradle to Handover):

Entspricht der Eingrenzung „Cradle to Site“. Hinzu kommen Bauprozess und Montage.

Wiege-bis-Nutzungsende (Cradle to End of Use):

Entspricht der Eingrenzung „Cradle to Handover“ zuzüglich Instandhaltung, Instandsetzung, Ersatz- und Sanierungsarbeiten. Diese Grenze markiert das Ende des ersten Nutzungszyklus des Gebäudes

Wiege-bis-Bahre (Grade to Grave):

Entspricht der Eingrenzung „Cradle to Handover“ inklusive der Nutzungsdauer des Gebäudes. Die Nutzungsphase beinhaltet Instandhaltung, Instandsetzung, Ersatz- und Sanierungsarbeiten (inkl. Herstellung der Ersatzprodukte und Entsorgung der ersetzten Produkte). Hinzu kommt die Lebensendphase des Gebäudes, welche Abbruch, Transport, Abfallverwertung und Entsorgung aller Bestandteile (grave) beinhaltet.

3.5. Schrittweise Quantifizierung der Bewertungsprozess Grauer Umweltwirkungen

Im nachfolgenden Abschnitt – siehe Abbildung 20 wird der systematische Ansatz für die Quantifizierung Grauer Umweltwirkungen von Bauprodukten präsentiert. Details sind im Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten für [73] beschrieben.



Abbildung 20: Schrittweise Quantifizierung[73]

1) Produktbeschreibung

Der erste Schritt in der Quantifizierung Grauer Umweltwirkungen ist die Beschreibung des Untersuchungsgegenstands – in diesem Kontext das Bauprodukt. Dabei sollten folgende spezifische Produktinformationen miteinbezogen werden:

- Genaue Produktbezeichnung
- Name des Herstellers
- Zugehörige Produktgruppe
- Typische Mengeneinheit
- Lieferscheinangabe
- Angaben zu relevanten transportbezogenen Merkmalen
- Relevante aufbewahrungsbezogene Merkmale
- Technische Merkmale und Eigenschaften
- Nutzungsdauer unter definierten Nutzungsbedingungen
- Verwendungszweck
- Ggf. Energieeffizienz oder -verbrauch in der Nutzungsphase
- Ggf. Wassereinsatz oder -verbrauch in der Nutzungsphase
- Emissionen von Schadstoffen in die Luft während der Nutzungsphase
- Emissionen von Schadstoffen in den Boden oder ins Wasser während der Nutzungsphase

2) Auswahl und Beschreibung der Systemgrenzen

Informationen hinsichtlich Grauer Umweltwirkungen eines Produkts können unterschiedliche Modulkombinationen umfassen, d.h. unterschiedliche Lebenszyklusphasen oder Teile davon. Wenn möglich, sollten dafür die Grauen Umweltwirkungen aller Lebenszyklusphasen miteinbezogen werden (Wiege-bis-Lebensende-Ansatz). Wenn dies nicht möglich ist, sollte zumindest die Systemgrenze Wiege-bis-Werkstor verwendet werden, da diese eine Voraussetzung für Umweltproduktdeklarationen (EPD) darstellt.

3) Sammlung, Verarbeitung und Präsentation der Informationen über die einzelnen Lebenszyklusphasen

Die Entwicklung, Vorbereitung und Veröffentlichung von Daten muss sich einerseits an den Informationsbedürfnissen der Akteure entlang der Wertschöpfungskette sowie an jenen des Unternehmens selbst orientieren, damit die Verbesserung der eigenen Produkte und Betriebsprozesse unterstützt werden kann. Andererseits muss sie den internationalen, und nationalen Normen entsprechen.

Um Graue Umweltwirkungen über ein Bauprodukt zusammenstellen zu können, werden Informationen zum gesamten Lebenszyklus benötigt. Es empfiehlt sich, diese Informationen in Lebenszyklusphasen zu unterteilen und die wiederum in Informationsmodule zu gliedern. Wie zuvor erwähnt, stellt die ISO 21930 ein international anerkanntes Verfahren zur Unterteilung des Lebenszyklus eines Bauprodukts in Module zur Verfügung.

4) Zusammenstellung und Analyse, Berichterstattung und Kommunikation

Eine effiziente Kommunikation von Grauen Umweltwirkungen eines Produkts sind essentiell, da eine entsprechende Kommunikation von Verbesserungen zu einer stärkeren Bindung zu Kunden und anderen Akteuren führen. Dies kann Unternehmen dabei helfen, ihre Ziele zu erreichen, ihre Reputation und Gewinne zu steigern und in weiterer Folge einen attraktiven ROI aus einer Umweltdeklaration zu erzielen. Ein hohes Maß an Transparenz in der Kommunikation kann das Vertrauen in die Ergebnisse stärken, ermöglicht fachgerechten Umgang mit den Informationen der Grauen Umweltwirkungen, sowohl im Bereich der B2B-als auch in der B2C-Werbung und -Vermarktung, und schützt KMU vor potentieller Kritik im Zuge der Veröffentlichung ihrer Ergebnisse.

Öffentliche Kommunikation bedeutet, Ergebnisse nicht nur dem Endverbrauchermarkt, sondern auch anderen Akteuren zu vermitteln. Durch diesen Informationsaustausch ist das Unternehmen in der Lage, sich von anderen in derselben Branche tätigen Unternehmen (die dieselben Produkttypen erzeugen) abzuheben. Dies kann mittels Point-of-Sale, Berichterstattung, Werbung und Kennzeichnung/Zertifizierung erfolgen. Um einen Vergleich zweier Produkte zu ermöglichen, ist bei der Veröffentlichung der Ergebnisse ein hohes Maß an Genauigkeit erforderlich. Zusätzlich wird Herstellern empfohlen, sich über den aktuellen Entwicklungsstand des Product Environmental Footprints (PEF) zu informieren.

3.6. Case Studies (Ergebnisse ST4)

Im Zuge des Kooperationsprojekts IEA EBC-Annex 57, Subtask 4 [9] wurden zahlreiche Case Studies aus den teilnehmenden Nationen analysiert. Die Sammlung der Case Studies umfasst rd. 80 Case Studies von 11 Nationen. Die Ergebnisse aller Case Studies wurden in standardisierten Vorlagen – Umfang ca. 6 – 10 Seiten für jede Case Study – implementiert. Der Gesamtumfang aller Case Study – Bericht umfasst rd. 600 Seiten. [7]

Dieses Kapitel enthält einen Überblick über die gesamten Case Studies sowie Kurzbeschreibungen ausgewählter Case Studies aus Österreich.

In Abbildung 21 wird die Anzahl der bearbeiteten Case Studies der einzelnen Nationen dargestellt.



Abbildung 21: Geographische Lage der Case Studies [9]

In Abbildung 22 werden die unterschiedlichen berücksichtigten Gebäudetypen der einzelnen Nationen dargestellt. Die Größe der Kreise symbolisiert dabei die Anzahl an betrachteten Case Studies der jeweiligen Gebäudetypen.



Abbildung 22: Anzahl an Case Studies in den teilnehmenden Nationen [9]

Case Studies aus Österreich

Im Rahmen der österreichischen Beteiligung wurden 7 Case Studies eingebracht und in die entsprechenden Vorlagen eingearbeitet. Die Details zu den einzelnen Case Studies sind in [9] dokumentiert und nachzulesen.

In Abbildung 23 wird eine Übersicht über die Case Studies aus Österreich dargestellt.

Austria

AT1: Aspern IQ, new office building



Reference period (years)	100
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	4.77
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	22.6

The study showed that the building materials contributed with 34% of Primary Energy

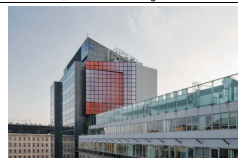
AT2: LCT ONE, new office building



Reference period (years)	100
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	3.29
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	21.03

The study showed that the LCT One building materials contributed with 20% of Primary Energy.

AT3: TU Vienna, new office building



Reference period (years)	100
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	2.97
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	8.97

The study showed that the TU Vienna building materials contributed with 10% of Primary Energy

AT4: Plus energy residential building, renovation



Reference period (years)	60
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	2.77
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	10.9

The aim of this research project is to develop a prefabricated construction for the refurbishment of houses, which were built in Austria between the 1950 and 1980's.

AT5: Energy City Graz, new residential building



Reference period (years)	100
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	0.91
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	11.84

The main objective of the research project Energy City Graz-Reininghaus (ECR) focuses on the development of an energy self-sufficient and CO₂-neutral city district in the City of Graz (Austria).

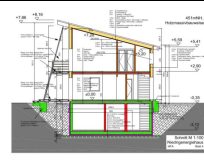
AT6: Karmeliterhof, new office building



Reference period (years)	50
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	7.99
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	26.72

In this research project an assessment based on the criteria from the DGNB and a critical examination of the ecological performance from the Office Building Karmeliterhof was done.

AT7:



Reference period (years)	100
EG ₁ (kg-CO ₂ /m ² year)	7.08 – 9.40
EE ₂ (kWh/m ² GFA/year)	27.37 – 33.57

The aim of this research project is to subject a number of building concept models to a comprehensive comparative analysis and evaluation in terms of ecological and economic keyfigures.

Abbildung 23: Übersicht Case Studies Österreich [9]

Kurbeschreibung ausgewählter Case Studies aus Österreich (Auszug aus [9]):

Case Study – Aspern IQ (AT 1)

Key issues related to Annex 57:

- 1.1 Selection of materials
- 2.1 Reduction of the EE and EG vs. OE and OG
- 3.5 Reduction of EG by the use of wood

Case study AT1 Aspern IQ - Austria



KEY OBSERVATIONS

The quality criteria for the eco-efficiency of the complete building within the life cycle (or the materials used in the building) are calculated by using the OI3 indicator (here: OI3_{BG3,BZF}). Within a life cycle analysis of 100 years it includes all superstructures available in a given building as well as all materials used.

The study showed that the aspern IQ building materials contributed with **34%** of (PE) Primary Energy.

Operational Energy (OE), Embodied Energy (EE), Operational Greenhouse gas (OG) and Embodied Greenhouse gas (EG), was evaluated.

	Value	[unit]
OE ₃	53,23	[kWh/m ² _{GFA} *year]
EE ₂	22,6	[kWh/m ² _{GFA} *year]
OG ₁	7,76	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]
EG ₁	4,77	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]

The study evaluates:

- The significance of the Embodied Energy (EE) compared to the Operational Energy (OE)
- The impacts related to different building materials
- The percentile contribution of each material
- The materials contribution to the impacts compared to the total impacts

OBJECTIVES OF CASE STUDY

To perform a Life Cycle Assessment (LCA) to evaluate the use of Primary Energy (PE), Global Warming Potential (GWP) and acidification (AP), related to the life cycle of a new office building in Austria.

BUILDING KEY FACTS

- Intended use: Office building
- Size: 12.682 m² GFA
- Location: Vienna, Austria
- Architect: ATP architects and engineers, Vienna
- Building year: Completed 2012



© Renate Schrattecker-Fischer

SYSTEM BOUNDARIES AND SCOPE



Building life cycle stages included in the study, according to EN15978

A 1-3 Product stage			A 4-5 Construction process stage		B 1-7 Use stage						C 1-4 End-of-Life				D Next product system	
Raw material supply	Transport to manufacturer	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport to EoL	Waste processing	Disposal	Reuse, recovery or recycling potential
X	X	X						X		X						

Production stage:

The production stage covers cradle-to-gate processes for construction products (materials/components) and services used for the construction for the building. The LCI matrix is based on the different construction and support components.

Operation stage:

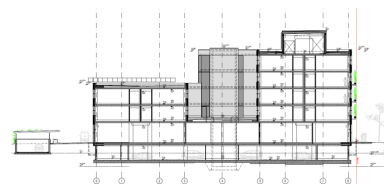
The operation stage spans the period from the completion of the construction works to the point when the building reaches its end of life. The system boundary in the use stage includes the use of construction products (replacement) and services for operating the building. For all construction products (components/materials) that may be replaced, the estimated service life (ESL) was defined in accordance with ISO 15686 parts 1 and 8. The number of replacement rates for all specific construction products used in the buildings were calculated according to EN 15978.

LCA BACKGROUND

- Reference study period: 100 years
- Calculation of Energy: Non-renewable Primary Energy and Renewable Primary Energy
- Calculation of GWP: GWP (100 years)
- Standards/guidelines: According to baubook eco2soft (LCA for buildings)

REFERENCES

- Project: MonitorPLUS
- Project Number: FFG Proj. Nr. 827 141
- Project management: Austrian Institute of Ecology
- Project partner: Austrian Institute for Healthy and Ecological Building
- Funding Program: Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology, Haus der Zukunft
- Website: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/d6385>
- Assessor: Austrian Institute of Ecology



Source: ATP architects and engineers

Case Study – e80^3 Gebäude (AT 4)

Key issues related to Annex 57:

- 1.1 Selection of materials
- 2.3 Impact of off-site manufacture versus in situ
- 3.5 Reduction of EG gas by the Use of Wood construction

Case study AT4 e80^3 a plus energy building concept



KEY OBSERVATIONS

For this project the LCA was calculated according to the IEA EBC Annex 56 methodology. The study was performed for a reference study period of 60 years.

Operational Energy (OE), Embodied Energy (EE), Operational Greenhouse gas (OG) and Embodied Greenhouse gas (EG), was evaluated.

	Value	[unit]
OE ₂	14,10	[kWh/m ² _{GFA} *year]
EE ₂	10,90	[kWh/m ² _{GFA} *year]
OG ₁	3,46	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]
EG ₁	2,77	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]

The study evaluates:

- Development of concepts and strategies for renovation to plus-energy standard
- Development of pre-fabricated facade elements with integrated HVAC systems (PV, solar thermal collectors, etc.)
- Realization of a demonstration project in Kapfenberg including monitoring and user satisfaction

OBJECTIVES OF CASE STUDY

The aim of this research project is to develop a prefabricated construction for the refurbishment of houses, which were built in Austria between the 1950 and 1980's. Furthermore there should be given the possibilities to integrate technical equipment into the building skin in the stage of production.

BUILDING KEY FACTS

Intended use: residential building
 Size: 2845 m² GFA (32 residential units, 4 floors)
 Location: Kapfenberg, Austria
 Architect: Nussmüller Architekten
 Building year: 1960 (renovation year: 2013)



Source: Nussmüller Architekten ZT GmbH

SYSTEM BOUNDARIES



Building life cycle stages included in the study, according to EN15978

	A 1-3 Product stage			A 4-5 Construction process stage		B 1-7 Use stage							C 1-4 End-of-Life			D Next product system	
	Raw material supply	Transport to manufacturer	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport to EoL	Waste processing	Disposal	Reuse, recovery or recycling potential
	X	X	X						X		X		X			X	

LCA BACKGROUND

Reference study period: 60 years
 Calculation of Energy: Total Primary Energy and Non-renewable Primary Energy
 Calculation of GWP: Greenhouse gases emissions (100 years)
 Standards/guidelines: IEA EBC Annex 56 methodology

Project Number:	FFG Proj. Nr. 831023
Project partners:	AEE – Institute for Sustainable Technologies Kulmer Bau GesmbH & CoKG und Kulmer Holz-Leimbau GesmbH Geberit Huter GmbH, p-solution gmbh Nussmüller Architekten ZT GmbH GREENoneTEC Solarindustrie GmbH Stadwerke Kapfenberg GmbH Wohn- u. Siedlungsgenossenschaft ennstal
Sustainability	Institute of Technology and Testing of Building Materials, Working Group Assessment, Graz University of Technology
Funding Program: Technology	Haus der Zukunft PLUS, funded by the Federal Ministry for Transport, Innovation and
Assessor:	AEE INTEC & TU Graz

Production stage:

The production stage covers cradle-to-gate processes for construction products (materials/components) and services used for the construction for the building. The LCI matrix is based on the different construction and support components.

Operation stage:

The operation stage spans the period from the completion of the construction works to the point when the building reaches its end of life. The system boundary in the use stage includes the use of construction products (replacement) and services for operating the building. For all construction products (components/materials) that may be replaced, the estimated service life (ESL) was defined in accordance with ISO 15686 parts 1 and 8. The number of replacement rates for all specific construction products used in the buildings was calculated according to the developed methodology in the IEA EBC Annex 56 project.

End of life stage:

The end-of-life stage of a building begins after the use stage, when the building is decommissioned and is not intended to have any further use. In this study, the building would be deconstructed at the end of its life stage and would provide a source of materials to be reused, recycled, recovered, or landfilled, depending on the type of construction product.

Case Study – KH - Karmeliterhof (AT 6)

Key issues related to Annex 57:

- 1.1 Selection of materials
- 2.1 Impact for the respective life cycle phases
- 3.4 Application of new technologies

Case study AT6 KH – Karmeliterhof Austria



KEY OBSERVATIONS

The LCA was calculated according to the standards EN 15978, EN 15804 for an reporting period of 50 years.

Operational Energy (OE), Embodied Energy (EE), Operational Greenhouse gas (OG) and Embodied Greenhouse gas (EG), was evaluated.

	Value	[unit]
OE ₂	74,78	[kWh/m ² _{GFA} *year]
EE ₂	26,72	[kWh/m ² _{GFA} *year]
OG ₁	23,00	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]
EG ₁	7,99	[kg CO ₂ -eq/m ² _{GFA} *year]

GOAL OF THE STUDY

- Modernization of whole building complex of building
- Restructuring and renovation of the existing facade
- Close the gap between existing buildings
- Enhancement of the attractiveness of the surrounding area
- Improvement of the local density
- Disabled accessibility

OBJECTIVES OF CASE STUDY

In this research project an critical examination of the ecological performance from the Office Building Karmeliterhof was done. Also an assessment based on the criteria from the DGNB – system have been done. All this investigations were done for the manufacturing of the construction materials, as also for the energy use during the life cycle.

BUILDING KEY FACTS

Intended use: Office Building

Building phase: in use

Building Owner: LIG – Landesimmobilien – Gesellschaft mbH

Architect: LOVE architecture and urbanism. zt gesmbh



Source: TU Graz

SYSTEM BOUNDARIES



Building life cycle stages included in the study, according to EN15978

	A 1-3 Product stage		A 4-5 Construction process stage		B 1-7 Use stage							C 1-4 End-of-Life			D Next product system			
	Raw material supply	Transport to manufacturer	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport to EoL	Waste processing	Disposal	Reuse, recovery or recycling potential	
	X	X	X						X		X				X	X		

LCA BACKGROUND

Reference study period: 50 years

Calculation of Energy: Non-renewable Primary Energy and Renewable Primary Energy

Calculation of GWP: GWP (100 years)

Standards/guidelines: EN 15978, EN 15804, EN 15686

Project partners: LOVE architecture and urbanism. zt gesmbh

Funding Program: LIG – Landesimmobilien – Gesellschaft mbH

Production stage:

The production stage covers cradle-to-gate processes for construction products (materials/components) and services used for the construction for the building. The LCI matrix is based on the different construction and support components.

Operation stage:

The operation stage spans the period from the completion of the construction works to the point when the building reaches its end of life. The system boundary in the use stage includes the use of construction products (replacement) and services for operating the building skin. For all construction products (components/materials) that may be replaced, the estimated service life (ESL) was defined in accordance with ISO 15686 parts 1 and 8. The number of replacement rates for all specific construction products used in the buildings was calculated according EN 15978. Their estimated service life was taken assuming the values by the ESL-Catalogue in Austria.

End of life stage:

The end-of-life stage of a building begins after the use stage, when the building is decommissioned and is not intended to have any further use. In this study, the building would be deconstructed at the end of its life stage and would provide a source of materials to be reused, recycled, recovered, or landfilled, depending on the type of construction product.

Die Unikatstellung der untersuchten Gebäude macht einen direkten Vergleich deren LCA-Ergebnisse schwierig und sollte immer nur auf Basis des gleichen funktionalen Äquivalents erfolgen. In Abbildung 24 sind die Streuungen der Ergebnisse ausgewählter Case Studies dargestellt.

Diese Unterschiede können bis zu einem gewissen Grad durch detailliertere Analysen der verschiedenen Case Studies erklärt werden. Zum Beispiel sind das Ziel, der Umfang und die Methodik der Case Studies unterschiedlich. Manche Case Studies verwenden vereinfachte Inventare für frühzeitige Entscheidungen (wie SE2a), während einige auf einer sehr detaillierten Inventarisierung durchgeführt werden, wenn das Gebäude bereits fertiggestellt wurde (wie z. B. NO4). Einige Studien (wie z. B. AT5) berücksichtigen die CO₂-Speicherung von Holz und „neutralisieren“ damit die Grauen Treibhausgasemissionen aus der Produktion anderer Bauteile. Andere wiederum (wie DE4) zeigen die relativ großen Umweltwirkungen, die mit der technischen Gebäudeausrüstung zusammenhängen, beschreiben aber dennoch die gesamten Ergebnisse der Umweltwirkungen von der Wiege bis zum Werkstor (cradle to gate) wie Case Studies, welche die technische Gebäudeausrüstung nur vereinfacht miteinbeziehen (wie DK3c). Input-Output-basierte LCA (wie in JP5) wird in einigen Case Studies verwendet, obwohl die meisten Case Studies des Annex 57 prozessbasiert sind. Eine Reihe von Case Studies zeigen Ergebnisse für sanierte Gebäude (wie CH1) und einige beinhalten verschiedene methodische Ansätze von Recyclingmaterialien, die bei der Errichtung eines Neubaus (wie KR3) verwendet werden. Auch innerhalb desselben Landes werden teilweise unterschiedliche Systemgrenzen verwendet (z. B. in AT5 und AT6 gesehen) und erzeugen dadurch schwierig zu vergleichende Ergebnisse.

Weiters ist zu beachten, dass einige Case Studies ihre Berechnungen auf der Bruttogeschoßfläche aufbauen, wohingegen andere die Berechnungen auf der Nettogeschoßfläche aufbauen, was einen Unterschied in den Ergebnissen von mindestens 10% erreichen kann.

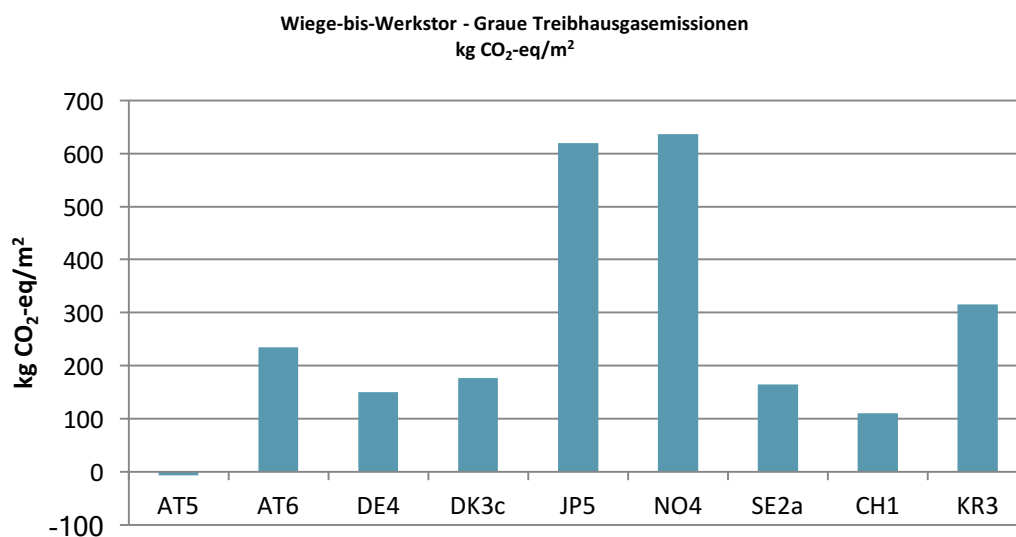


Abbildung 24: Graue Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor ausgewählter Case Studies (in Anlehnung an [9])

Im folgenden Abschnitt werden die aggregierten Ergebnisse der Grauen Umweltwirkungen dargestellt:

- Wiege bis Werkstor (A1-A3)
- Wiege bis Werkstor + Austausch (A1-A1 + B4)
- Wiege bis Werkstor + Austausch + End of Life (A1-A1 + B4 + C3-C4)

In Abbildung 25 werden die Grauen Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor dargestellt. Dabei stellen die hellgrünen Balken Primärkonstruktionen aus Holz und Beton dar. Die türkisen Balken stellen Primärkonstruktionen aus Beton, Stahl oder Ziegel dar.

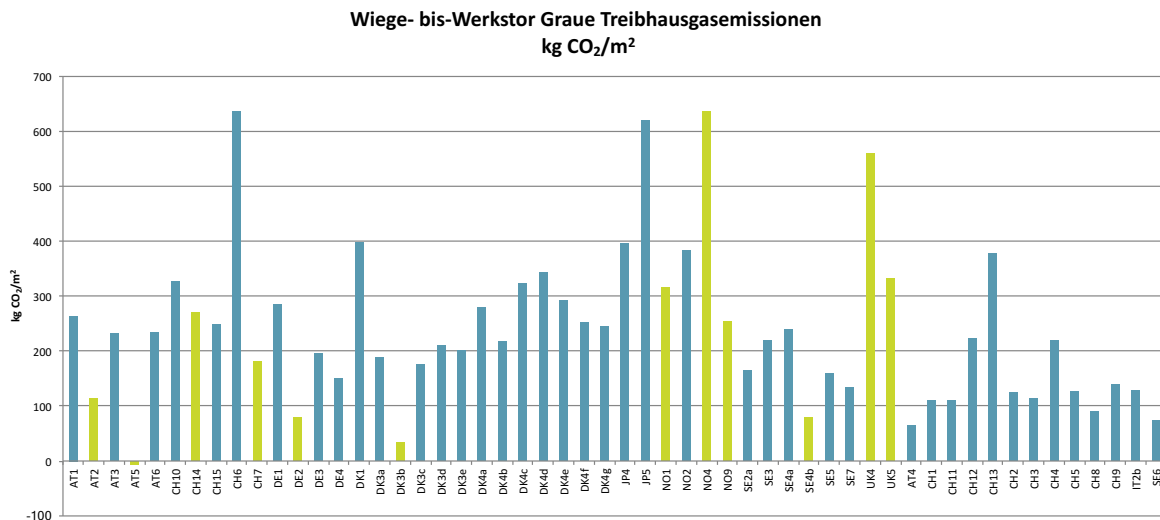


Abbildung 25: Graue Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor (in Anlehnung an [9])

In Abbildung 26 Hellblaue Balken zeigen die zusätzliche Menge an erneuerbarer Primärenergie. Hellgrüne Balken zeigen die Graue Energie in welchem die erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Primärenergie zu einem Gesamtergebnis aufsummiert wurden.

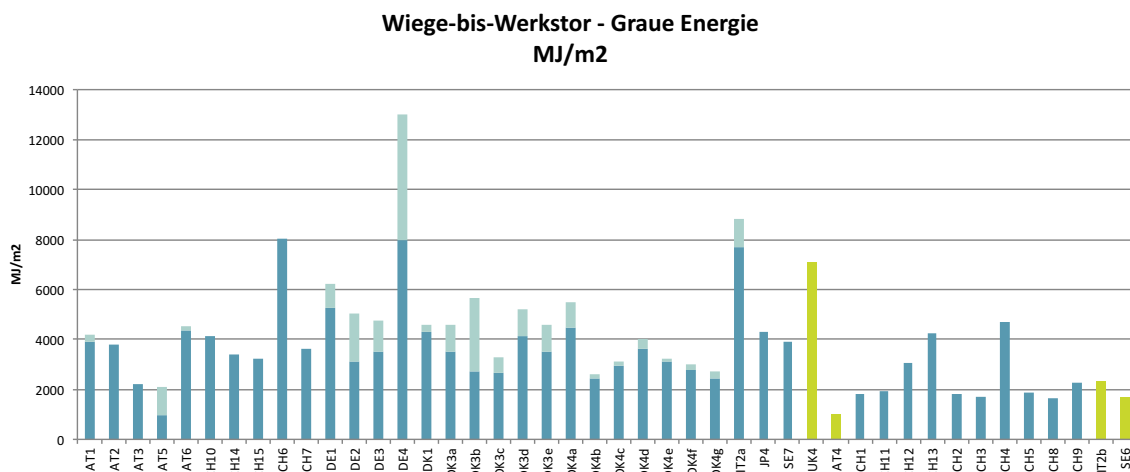


Abbildung 26: Graue Energie von der Wiege-bis-Werkstor (in Anlehnung an [9])

In Abbildung 27 werden die Grauen Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch dargestellt.

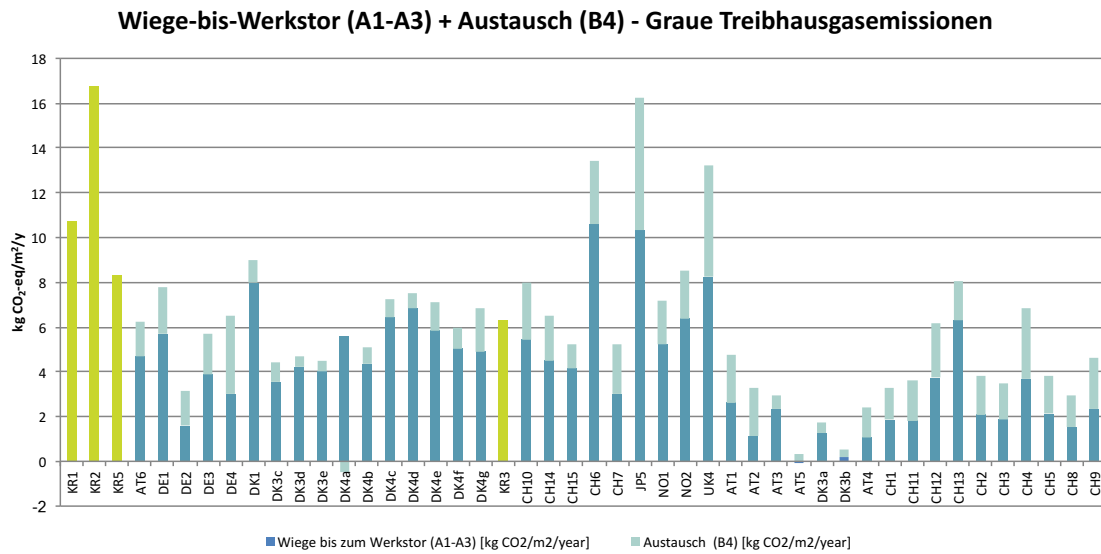


Abbildung 27: Graue Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch (in Anlehnung an [9])

In Abbildung 28 wird die Graue Energie von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch dargestellt.

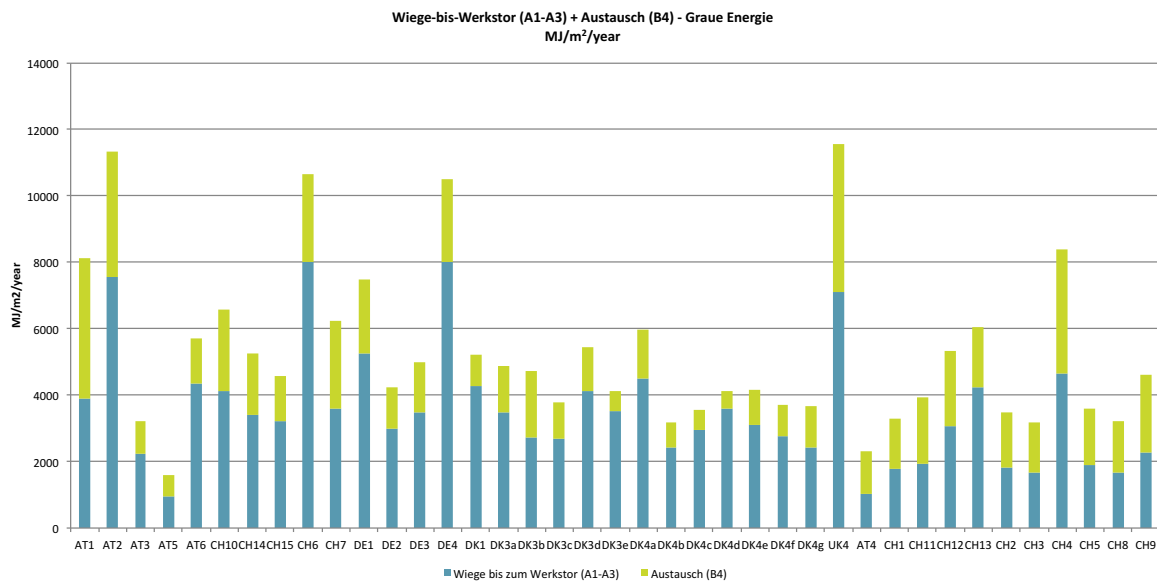


Abbildung 28: Graue Energie von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch (in Anlehnung an [9])

In Abbildung 29 werden die Grauen Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch plus EoL dargestellt.

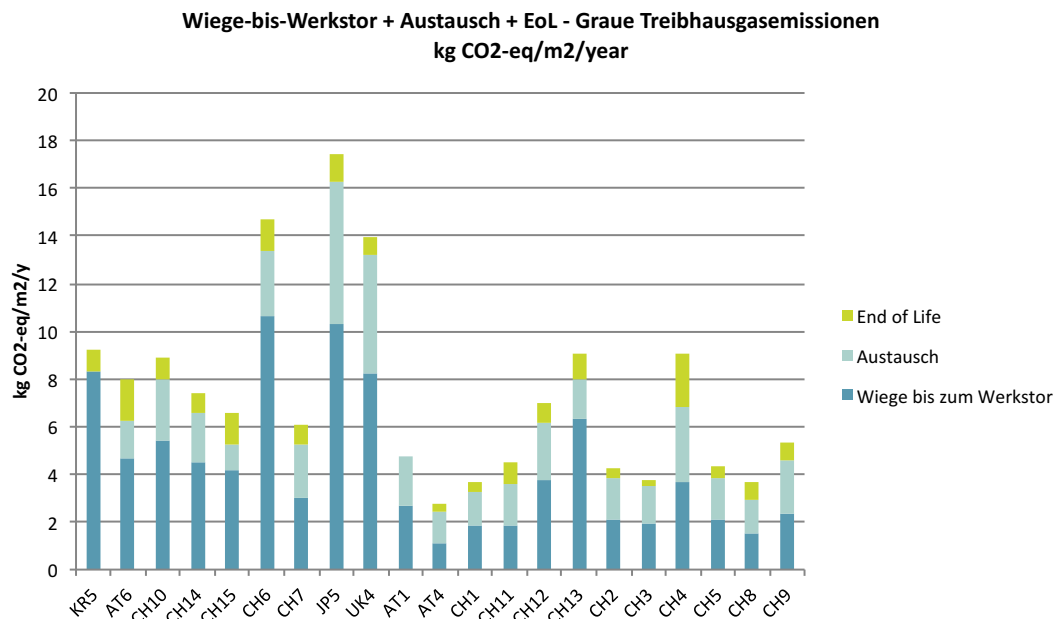


Abbildung 29: Graue Treibhausgasemissionen von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch plus EoL (in Anlehnung an [9])

In Abbildung 30 wird die Graue Energie von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch plus EoL dargestellt.

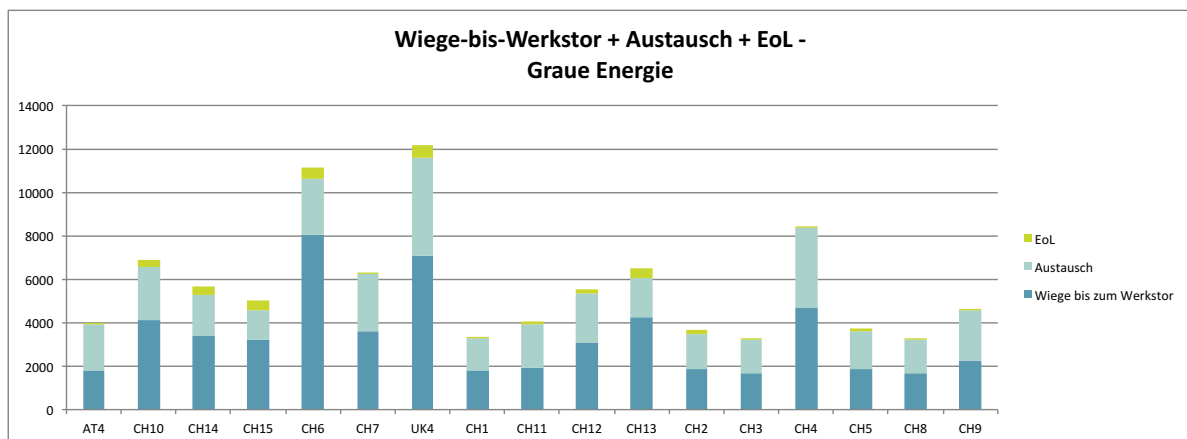


Abbildung 30: Graue Energie von der Wiege-bis-Werkstor plus Austausch plus EoL (in Anlehnung an [9])

Eine zentrale Herausforderung bei der Berechnungen der Grauen Umweltwirkungen ist, die Politik und andere Entscheidungsträger die Ergebnisse von den gesamten Umweltwirkungen fehlinterpretieren (können), da die Streuungen der Ergebnisse als zu groß erachtet wird. Der IEA EBC Annex 57 hat jedoch gezeigt, dass die LCA-Methodik immer häufiger angewandt und immer konsistenter verwendet wird, wodurch durchaus aussagekräftige Schlussfolgerungen und Empfehlungen getätigt werden können. Das Potenzial, Graue Umweltwirkungen aus Gebäuden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen zu reduzieren, wurde anhand der großen Anzahl an Beispielen (Case Studies) verdeutlicht.

4. Vernetzung und Ergebnistransfer

4.1. Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für welche die Projektergebnisse relevant sind

Verschiedene Akteure in der Bau- und Bauindustrie haben kürzlich die wachsende Bedeutung von Grauer Energie und Grauen Treibhausgasemissionen - gemeinsam als „Graue Umweltwirkungen“ bezeichnet - erkannt. Allerdings bleibt eine große, und noch erheblich unerschlossene Möglichkeit, die Auswirkungen dieser, zusammen mit den Auswirkungen aus dem Gebäudebetrieb, zu begrenzen. Allerdings sind diese Grauen Umweltwirkungen wichtige und unentbehrliche Aspekte der Gesamtleistung und Nachhaltigkeit der Bauarbeiten und damit sollte ihre Betrachtung und Berechnung weltweit zum Standard werden.

In dieser Richtung wurden die wichtigsten Akteure / Stakeholder-Gruppen identifiziert, welche die Grauen Umweltwirkungen entlang des Gebäudelebenszyklus und der Vorprozessketten beeinflussen können und weiter untersucht, ob und inwieweit hier spezifische Maßnahmen erforderlich sind. Die *Abbildung 31* gibt hier einen Überblick über diese Akteure / Stakeholder-Gruppen.

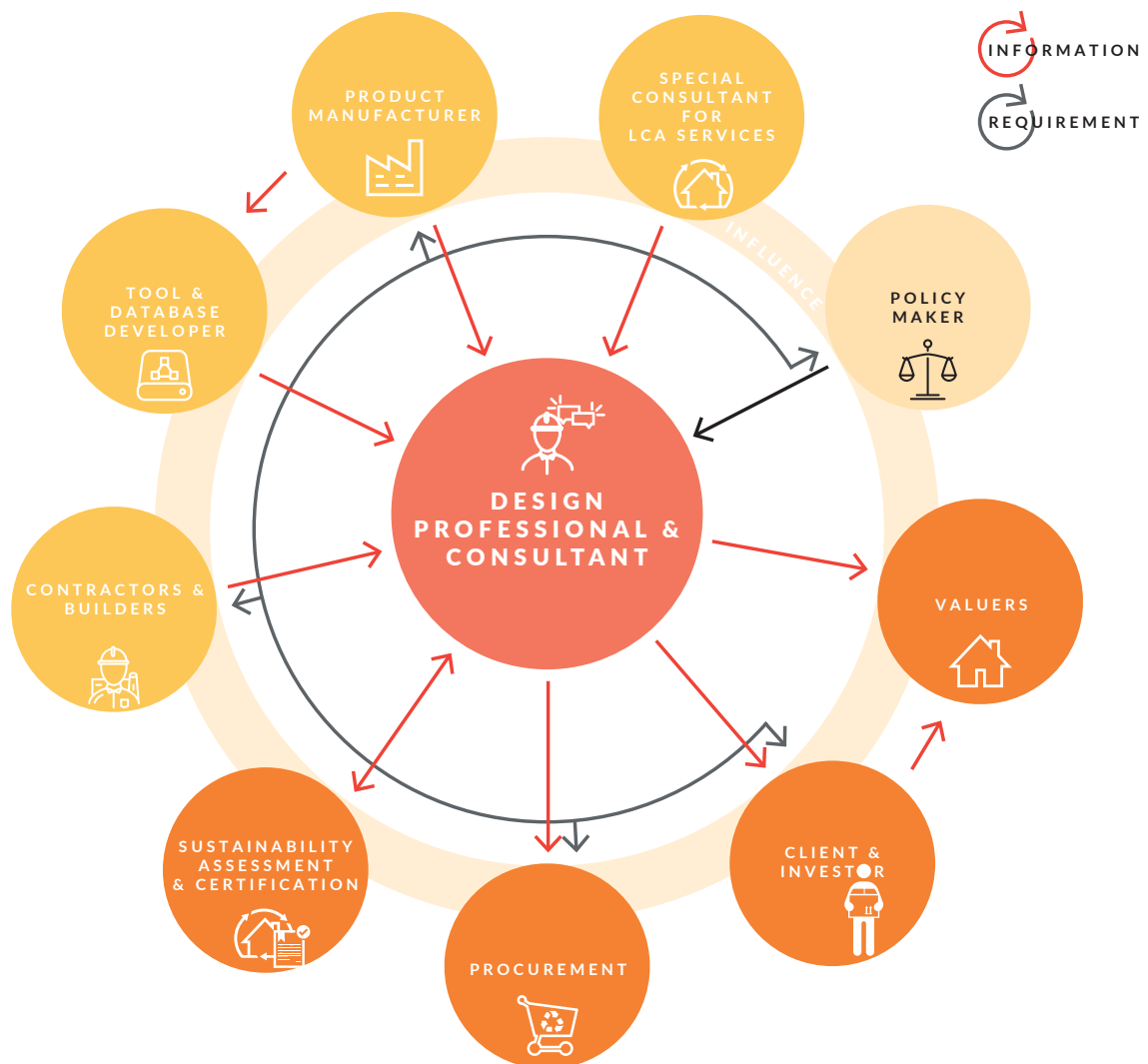


Abbildung 31: Informationsaustausch zwischen Herstellern von Bauprodukten und anderen Stakeholdern [73]

Darüber hinaus untersuchte der IEA EBC Annex 57, wie eine stärkere Integration der Grauen Umweltwirkungen in die vielfältigen Entscheidungsprozesse erreicht werden kann. Infolgedessen wurden Akteurs spezifische Empfehlungen (guidelines) entwickelt.

Eine wesentliche Zielgruppe stellen dabei die Hersteller von Bauprodukten dar, für welche eine eigene Handlungsempfehlung zur Bewertung der Grauen Umweltwirkungen – „**Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten**“ entwickelt wurde [73], [74]. In *Abbildung 32* ist der Wertschöpfungsprozess dargestellt, aus welchem sich weitere (indirekt) beteiligte Akteure ergeben.

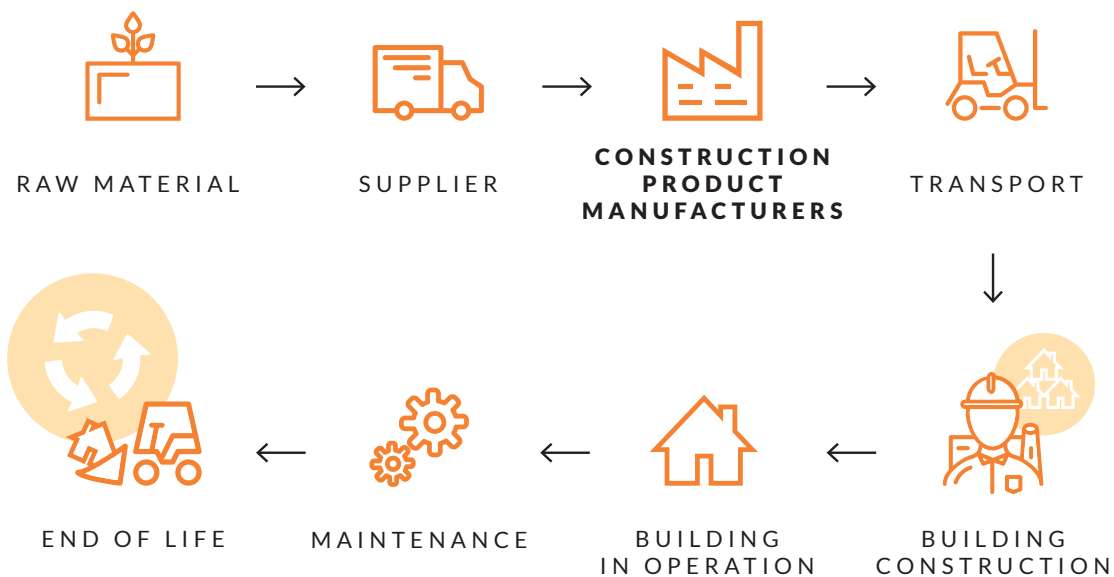


Abbildung 32: Die Wertschöpfungskette von Bauprodukten [73]

Dieser Leitfaden wurde explizit für kleine und mittlere Unternehmen der bauproduktherstellenden Industrie erarbeitet, um bei dieser Zielgruppe das Problembewusstsein für „Graue Umweltwirkungen“ von Bauprodukten zu steigern. Ebenso sollen Ansatzpunkte für die Integration der Bewertung Grauer Umweltwirkungen in die kontinuierliche Verbesserung der produktionsbezogenen Prozesse, Eigenschaften und Informationen einbezogen werden. Ein weiteres Ziel ist es, Informationen zu Informationsquellen, Leitfäden, Daten, und Bewertungstools im Themengebiet bereitzustellen. Dieser Leitfaden richtet sich speziell an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit dem Ziel, ihre Wettbewerbsfähigkeit am Markt zu stärken, die oftmals durch einen Mangel an Ressourcen und einen beschränkten Zugang zu Informationen eingeschränkt ist. Mit Hilfe des entwickelten Leitfadens soll daher sowohl das Verständnis zu und als auch der Umgang mit Grauen Umweltwirkungen von Bauprodukten.

Folgende Inhalte sind zur Unterstützung der KMU in dieser Branche enthalten:

- a. Methodische Unterstützung für eine vereinfachte Erfassung und Bewertung Grauer Umweltwirkungen
- b. Vorschläge für die Verbesserung der Produktions- und Beschaffungsprozesse sowie der damit verbundenen Umweltproduktinformationen
- c. Optionen für die Deklaration von Umweltproduktinformationen.

Tabelle 6 zeigt, wie Hersteller von Bauprodukten ihre Unternehmensziele durch die Einbeziehung Grauer Umweltwirkungen erreichen können. Dazu zählen Ziele innerhalb der folgenden Bereiche: Klimawandel-Management, Hot-Spot-Analyse, Leistungsmessung, Kunden- und Lieferantenmanagement sowie die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und der Unique Selling Proposition (USP) der Produkte.

Tabelle 6: Zeigt wie Hersteller von Bauprodukten Unternehmensziele durch Einbeziehung Grauer Umweltwirkungen erreichen können

BUSINESS GOAL	DESCRIPTION
Climate change management	Identify energy and environmental related risks in product's life cycle Hotspot and risk analysis from fluctuations in energy and material availability
Hotspot analysis and performance tracking	Assess and report of environmental product performance Strategic product-related reduction of embodied impacts Lift cost-saving opportunities through reduction of embodied energy and related impacts Lift cost-saving opportunities through reduction of embodied energy and related impacts
Customer and supplier management	Assess supplier performance for embodied impacts Reduce embodied impacts in the supply chain Marketing of environmental performance Provide additional products related information
Improvement of market competitiveness and product unique selling proposition	Identify new market opportunities Strengthen company image regarding environmental performance Redesign of products to better respond to customer and policy preferences Achieve competitive advantage by pursuing embodied impacts reduction opportunities

Für die Bewertung und Umweltdeklarationen in Österreich engagiert sich auch die Bau-EPD-GmbH, die gemeinsam mit der ECO-Plattform eine eigenes Umweltproduktdeklarationensschema (EPDs) nach ÖN EN ISO 14025 [20] und ÖNORM EN 15804 [19] entwickelt hat – siehe hierzu auch [71].

Neben der Bereitstellung dieser EPDs finden von den identifizierten Zielgruppen in Österreich bereits zahlreiche andere Aktivitäten statt, deren Ziel ebenfalls eine entsprechende Reduktion der Grauen Umweltwirkungen bzw. der Thematik der Energieeinsparung im Betrieb sind. Beispielhaft für die erfolgreichen Aktivitäten lassen sich hier die der ÖGNB, klima:aktiv und der ÖGNI (alle Gebäudezertifizierungsinstrumente) oder des ÖÖI, der ÖGUT bzw. des IBO nennen.

Im Rahmen der Verbreitungs- und Vernetzungs-aktivitäten wurde der gezielte Informationsaustausch mit diesen Zielgruppen gesucht.

4.2. Wie wurden die relevanten Stakeholder in das Projekt eingebunden?

Aus den vorangegangenen Erläuterungen geht hervor, dass rechtlichen Rahmenbedingungen, welche potenzielle Maßnahmen auf Gebäudeebene regeln bzw. unterstützen auf nationaler oder internationaler Ebene sehr unterschiedlich sind. Wie bereits erläutert wurde, sind unterschiedliche Stakeholder für Entscheidungen auf verschiedenen Ebenen verantwortlich. Ein Teil des Kooperationsprojekts IEA EBC Annex 57 war, eine Liste von Stakeholder zu identifizieren, welche folgende Sparten beinhaltet:

- Hersteller
- Bauunternehmer und Bauherren
- Planer und Berater
- Investoren und Eigentümer oder Kunden
- Regierung, wie politische Entscheidungsträger und Regulierungsbehörden
- Sonstige, einschließlich Bewertungstoolentwickler

Im Rahmen des sogenannten „Venedig“-Fragebogens [55] wurde versucht, die Verantwortlichkeiten der verschiedenen Stakeholder Gruppen zu identifizieren und die Teilnehmer aufgefordert, festzulegen, welche Stakeholder bei der Umsetzung der LCA im Hochbau in ihrem Land dominieren. Die Ergebnisse der Umfrage sind in Tabelle 7 dargestellt. Die Unterteilung erfolgte in sieben Stakeholder Gruppen:

- Berufsverbände / Verbände
- Zertifizierungssysteme / Organisationen
- Akademische Institutionen und Forscher
- Produkthersteller und Zulieferer
- Staatliche / öffentliche Organisationen
- Entwickler / Auftragnehmer
- Beratungsunternehmen

Alle Befragten waren sich einig, dass eine weite Bandbreite von Stakeholdern einen Einfluss auf die Umsetzung der LCA hat. Die am häufigsten identifizierten Stakeholder sind staatliche oder öffentliche Organisationen, die oft mit Prozessen wie der öffentlichen Beschaffung assoziiert werden. Die Antworten deuten darauf hin, dass eine Reihe von verschiedenen Akteuren bei der Entscheidungsfindung über Graue Umweltwirkungen beteiligt sind. Kein Befragter sah dies als alleinige Verantwortung der Regierung oder als nur durch die nationale Regulierung bewirkt.

Tabelle 7: Stakeholder, welche die Implementierung von EEG im Bauwesen forcieren können [9]

	Australia	Austria	Brazil	Czech Republic	Denmark	Finland	Germany	Italy	Japan	Republic of Korea	Netherlands	Norway	Spain	Sweden	Switzerland	UK
Professional organisations/associations		✓														
Certification schemes/organisations		✓		✓	✓	✓					✓	✓				
Academic institutions, researchers				✓			✓		✓	✓		✓	✓			✓
Product manufacturers/suppliers				✓					✓							✓
Governmental/public organisations and public procurement					✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Developers/contractors												✓		✓	✓	
Consultancies						✓					✓				✓	✓

Ein Überblick über die Länder des IEA EBC Annex 57 zeigt, dass es derzeit wenig spezifische Regulierungsmaßnahmen (siehe Tabelle 7) gibt, um die Grauen Umweltwirkungen (hier EEG) aus Gebäuden zu reduzieren. Allerdings sind eine Vielzahl von Zertifizierungssystemen, Datenbanken und Tools aufgeführt und auch die Verwendung von EPDs wird auch immer häufiger. Die diskutierten unbeeinflussbaren Faktoren umfassen Begrenzungen von Klima, Kultur und Wirtschaft über die verfügbaren Möglichkeiten, die beeinflussbaren, die Verfügbarkeit und die gemeinsame Nutzung unterschiedlicher Materialien, die Auswirkungen des Klimas auf die Baunormen und die Auswirkungen der politischen und wirtschaftlichen Entscheidungen auf die Gebäudeformen.

Während die Regulierung als Schlüsselfaktor betrachtet wird, wurde auch die wichtige Rolle von Bottom-up-Initiativen, die oft von einzelnen Organisationen oder Gruppen von Baufirmen begonnen wurden, wiederholt und über verschiedene Länder hinweg nachgewiesen. Werkzeuge und Datenbanken, die oftmals neue Materialien ausschließen oder veraltete oder nicht vergleichbare Daten enthalten, werden als nützlich, aber auch potenziell einschränkend dargestellt, ebenso wie Zertifizierungssysteme. Innovation muss auf hohem Niveau unterstützt werden, um für Standard-Bauprojekte zugänglich zu sein.

Während hier nicht alle Fragen diskutiert wurden, ist zu hoffen, dass die erarbeiteten Leitfäden den Praktikern helfen werden, ihr eigenes Potenzial zu verstehen, um einen Beitrag in der Reduktion Grauer Umweltwirkungen aus Gebäuden zu machen. Es sollten auch die Einschränkungen der Verfügbarkeit immer genauerer Berechnungsmethoden und Datensätze erklären, ohne den Kontext zu vergessen, innerhalb dessen die jeweiligen Entscheidungen getroffen werden.

Im Rahmen des IEA EBC Annex 57 hat deshalb ein reger Austausch mit weltweit führenden Experten und den österreichischen Stakeholdern stattgefunden (siehe Teilnehmerliste – Tabelle 8).

Die Einbindung der Stakeholder erfolgte darüber hinaus über die Verteilung vom IEA EBC Annex57 Newsletter sowie im Rahmen der durchgeführten Befragungen (siehe dazu [57]). Spezifisch wurden interessierte Kreise aus Österreich per E-Mail-Aussendungen über den Projektfortschritt und -ergebnisse informiert. Eine weitere wesentliche Einbindung der Stakeholder erfolgte durch Vortrags- und Publikationstätigkeiten, bei welchen Veröffentlichungen in den Tagungsbänden (conference proceedings) und Journals entstanden sind. Als zusätzliche Maßnahme erfolgte die spezifische Information über den Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten [73] mittels eines Flyers (Leaflet) [76], der auf diversen Veranstaltungen aufgelegt und verteilt wurde.

Tabelle 8: Teilnehmerinformation - Stakeholder Österreich

Stakeholder Informationen
Workshop: IEA EBC Annex 56/57 & AIDA - (25.09.2013), TU Graz, AT; die Arbeiten des Annex 56/57 wurden dabei einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt und intensiv diskutiert.
Special Session B2 der SB16 Graz zum Thema „Evaluation of Embodied Energy and Carbon Dioxide Emissions for Building Construction (Annex 57)“ Vorstellung der Zwischenergebnisse und Diskussion: TU Graz, AT (26.09.2013) – International conference on Sustainable Buildings – Construction Products & Technologies (SB13 Graz): ISBN (E-Book): ISBN 978-3-85125-301-6, http://dx.medra.org/10.3217/978-3-85125-301-6
Design strategies for low embodied energy and greenhouse gases in buildings: analyses of the IEA Annex 57 case studies", World Sustainable Building Conference (WSB14), Barcelona, 2014, Conference Proceedings
Mehr als nur graue Energie? [72], Bauz2015 (Wien); 2. Februar, 2015
Workshop mit Bau EPD GmbH (PKR-Gremium); 8.Februar 2016, Wien
Guideline for Construction Products Manufacturers - Workshop und Vortrag bei der CESB16 Prag; bei Central Europe towards Sustainable Building 2016. Prague: Czech Technical University in Prague, 2016.
Environmental assessment of buildings in Austria (Presentation). In 57th Discussion Forum on Life Cycle Assessment - Life Cycle Assessment in the building sector: analytical tools, environmental information and labels.
Generating and Providing Embodied Energy and Global Warming Potential related Information – Recommendations for Construction Product Manufacturers; Beitrag und Präsentation auf der World Sustainable Built Environment Conference 2017 Hong Kong; Transforming Our Built Environment through Innovation and Integration: Putting Ideas into Action, 5-7 June 2017
Verbreitung der Flyer [76] und Informationen des IEA EBC Annex 57 auf diversen Veranstaltungen; IEA Vernetzungstreffen, Wien 2016; 57th Discussion Forum on Life Cycle Assessment Forum ETH Zürich, SBE16-Konferenzreihe; World Sustainable Built Environment Conference 2017

4.3. Beschreibung der Relevanz und des Nutzens der Projektergebnisse

Eine besondere Relevanz des Vorhabens wurde durch die umfangreichen Evaluierung von Standards und Methoden zur Bewertung der bauprodukt- und konstruktionspezifischen (Grauen) Umweltwirkungen erreicht. Die gesammelten Erkenntnisse sind in die erarbeiteten Vorschläge in Form der Berichte und Leitfäden zusammengefasst und veröffentlicht.

Durch den aktiven Know-How-Transfer und Austausch der gängigen Bewertungs-Praxis mit anderen Ländern bzgl. der Bewertung der Grauen Energie bzw. CO₂-Emissionen von Gebäuden wurde eine Vernetzung österreichischer KompetenzträgerInnen sowie die Initiierung von weiteren Kooperationsprojekten zur verstärkten Nutzung von internationalem Know-How erreicht.

Im Rahmen des Subtask 4 wurde darüber hinaus mit den „Design and construction methods for buildings with low embodied energy/CO₂“ ein Leitfaden [6] erarbeitet, der bereits existierende Konstruktionsmethoden und neue innovative Ansätze vergleicht und daraus Handlungsempfehlungen ableitet.

Durch das Aufarbeiten und die Vorstellung der österreichischen Projekte (Präsentationen und Integration in den Leitfäden der Case Studies [6] wurde die Führungsrolle Österreichs im Themenbereich des Nachhaltigen Bauen sowie Ansätzen zur Reduzierung der Grauen Umweltwirkungen aufgezeigt. Gerade diese Positivbeispiele (Best-Practice) sollen der Motivation für zukünftige Meinungsbildung dienen und damit die Integration der LCA-Methode in die Entscheidungsprozesse unterstützen.

Speziell für die Hersteller von Bauprodukten wurde auch der Leitfaden [73] entwickelt, der gemeinsam mit dem Flyer (Leaflet) [76] eine Hilfestellung und Arbeitserleichterung für die Hersteller von Bauprodukten darstellen soll.

Aus Sicht der Verfasser stellte daher die Beteiligung Österreichs an dem IEA EBC Annex 57 einen bedeutenden Mehrwert und Nutzen für die Bewusstseinsbildung und in weiterer Folge der LCA-Integration in die Baupraxis dar.

5. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Aktuelle Entwicklungen — beispielsweise die Überschreitung der 400ppm Grenze der CO₂-Äq. in der Atmosphäre im Jahr 2015 — verdeutlichen die Dringlichkeit Maßnahmen zu verstärken, da nach dem AAR14 [1] nur Szenarien mit Konzentrationen unter 430 ppm CO₂-Äq., *wahrscheinlich geeigneter sind*, den Temperaturanstieg nach den jüngsten Zielen von COP21 auf unter 1,5°C zu begrenzen.

5.1. Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam?

Heutzutage streben Kunden, öffentliche Beschaffer und Planer als Teil ihrer nachhaltigen Gesamtstrategie für Planung und Konstruktion danach, Bauprodukte zu wählen, die nicht nur den funktionalen, technischen und wirtschaftlichen Anforderungen entsprechen, sondern auch die Sicherung von natürlichen Ressourcen und Reduzierung negativer Umweltauswirkungen gewährleisten. Zur gleichen Zeit steigt die Nachfrage an transparenten und nachvollziehbaren Berichten und Umweltinformationen, damit Konsumenten fundierte Entscheidungen über einen Produktkauf treffen können.

Der Bedarf an umweltproduktspezifischen Daten spiegelt sich auch im Rahmen von Gebäude-Nachhaltigkeitsbewertungen (z.B. LEED, BREEAM, DGNB, TQB, u.a.) wider. Diese Gebäudezertifizierungen verlangen immer häufiger eine vollständige Ökobilanz auf Basis von produktspezifischen Ökobilanzdaten.

Aufgrund eingeschränkter Ressourcen und eingeschränktem Informationszugriff ist es für KMUs meist schwieriger, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten oder zu steigern, obwohl diese zumeist eine hohe Motivation und Arbeitsbereitschaft zeigen und die gesteigerte Verantwortung für Umwelt und Gesellschaft zu übernehmen bereit sind.

Mithilfe des Leitfadens für Hersteller von Bauprodukten kann eine einfache Ermittlung und Bewertung in Hinblick auf Umweltwirkungen eines Bauprodukts während seines gesamten Lebenszyklus erstellt werden. Die Bewertung kann sowohl zur Identifizierung von Möglichkeiten hinsichtlich betriebsinterner Verbesserung (z.B. der Produktions- oder Beschaffungsprozesse) als auch für die externe Kommunikation mit anderen Akteuren (z.B. B2B- oder B2C-Kommunikation) herangezogen werden.

Nachfolgend wird gezeigt, wie Hersteller von Bauprodukten ihr Potential zur Reduktion der Grauen Energie und der Grauen Umweltwirkungen ihrer Produkte ausschöpfen können:

- Wahl spezifischer Primärrohstoffe, Energieträger und Herstellungstechnologien
- Weiterentwicklung der technischen Eigenschaften ihrer Produkte bezüglich Dauerhaftigkeit, Instandhaltbarkeit und Betriebsfähigkeit, sowie einfache Demontagefreundlichkeit, Wiederverwertbarkeit und Rezyklierbarkeit
- Verlängerung des Produktlebenszyklus durch Gewährleistung von Lebenszyklusunterstützungsdienstleistungen (z.B. Wartungsverträge) und Rücknahmeprogrammen am Ende der Produktleistung/Nutzungsdauer
- Technische Beratung und Unterstützung von Kunden und Architekten hinsichtlich einer verbesserten Montage und Verwendung ihrer Produkte (Wartungsanweisungen)

5.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Die erarbeiteten Ergebnisse werden kurzfristig in die Ausbildung im Rahmen der universitären Lehre an der Technischen Universität Graz und im Rahmen des postgradualen Masterlehrgangs „Nachhaltiges Bauen“ (gemeinsame Aktivität mit der Technischen Universität Wien) einfließen.

Durch das Engagement in diversen Fachgremien und –ausschüssen (CEN/TC 350, PKR-Gremium der österr. Bau-EPD-GmbH, Gebäudezertifizierungssysteme, etc.) sollen die Erkenntnisse auch dort eingebracht werden.

Im Rahmen der Forschungsaktivitäten werden die Ergebnisse in künftige Forschungsanträge und Projekte eingebracht und sollen gezielt weiterentwickelt werden. Insbesondere die Verknüpfung der entwickelten LCA-Methoden mit Methoden der computergestützten Planung (Building Information Modeling – BIM) in Kombination mit einer Reifegradbewertung und Komplexitätsforschung könnten hier zukunftssträchtige Themen sein.

5.3. Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Der IEA EBC Annex 57 hat untersucht, wie eine stärkere Integration der Grauen Umweltwirkungen in die vielfältigen Entscheidungsprozesse erreicht werden kann, weshalb die erarbeiteten Ergebnisse grundsätzlich für all diese Zielgruppen interessant sein können, wobei folgende Sparten speziell berücksichtigt wurden:

- Hersteller von Bauprodukten
- Bauunternehmer und Bauherren
- Planer und Berater
- Investoren und Eigentümer oder Kunden
- Regierung, wie politische Entscheidungsträger und Regulierungsbehörden
- Sonstige, einschließlich Bewertungstoolentwickler

Die entwickelten Akteurs-spezifische Empfehlungen (guidelines) sind für diese Zielgruppen von Interesse.

Eine wesentliche Zielgruppe im Rahmen der österreichischen Beteiligung stellten dabei die Hersteller von Bauprodukten dar, für welche eine eigene Handlungsempfehlung zur Bewertung der Grauen Umweltwirkungen – „**Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten**“ entwickelt wurde [73], [74].

Darüber hinaus sind die in diesem Forschungsprojekt erarbeiteten Empfehlungen sowohl für die Sammlung von Daten (intern und durch Dritte) als auch für Empfehlungen zur Informationsvermittlung (z.B. durch die Verwendung von Umweltinformationen oder EPDs) bestimmt. Durch die Möglichkeit „besserer“ Produkte in Kombination mit der Veröffentlichung und der aktiven Weitergabe glaubwürdiger Umweltinformationen, sowie Angaben hinsichtlich technischer und funktionaler Produkteigenschaften und dem Übergang zu Unterstützungsdienstleistungen für den Lebenszyklus

kann die Wettbewerbsfähigkeit der KMU deutlich erhöht werden. Folgende Berichte und Guidelines sind daher von besonderer Bedeutung:

- Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction (Annex 57) – Executive Summary, [64]
- Annex 57 Subtask 4 – Case study collection report, [9]
- Guideline for construction product manufacturer, [73]
- Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten (dt. Übersetzung), [74]
- Leaflet for construction product manufacturer, [76]

5.4. Darstellung, ob weiterführende nationale Forschungsprojekte bzw. IEA-Kooperationsprojekte im Themenbereich geplant sind bzw. schon durchgeführt werden

Seit Beginn des Annex 57 wurde durch internationale Entwicklungen und politische Entscheidungen die Wichtigkeit der umfassenden Reduktion der Umweltwirkungen unserer Gesellschaften deutlich (COP21 Paris, COP22 Marakesh, EU Roadmap 2030/50, u.a.). Der Bausektor ist dabei nach wie vor ein wesentlicher Faktor, weshalb die Bemühungen zur Ermittlung und Reduktion der Umweltwirkungen von Gebäuden über deren Lebenszyklus fortgesetzt werden sollten.

Die Arbeiten des IEA EBC Annex 57 zur harmonisierten Ermittlung der konstruktionsbezogenen Umweltwirkungen haben die Relevanz dieser frühen Phase des Lebenszyklus von Gebäuden klargemacht. Darauf aufbauend sollte in zukünftigen Forschungsprojekten eine Weiterentwicklung gemeinsamer, internationaler Rahmenbedingungen für die Ermittlung der gesamten Lebenszyklus-relevanten Umweltwirkungen von Gebäuden erarbeitet werden. Aufbauend auf den im Annex 57 erstellten Leitfäden für Bauprodukte-Hersteller und Planungsbeteiligte, sind zudem weitere Schritte notwendig um die Anwendbarkeit der Lebenszyklusanalyse in der Planung von Gebäuden zu verbessern.

Vor diesem Hintergrund wurde dem IEA ExCo ein neuer Annex „Assessing life cycle related environmental impacts caused by buildings“ (Bewertung der lebenszyklusbezogenen Umweltwirkungen von Gebäuden) unter maßgeblicher österreichischer Beteiligung des proposals vorgeschlagen und als IEA EBC Annex 72 akzeptiert. Die Vorbereitungsphase (preparatory phase) ist Ende 2016 mit österreichischer Beteiligung gestartet. Darüber hinaus ist eine weitere inhaltliche Mitarbeit Österreichs im Rahmen dieses neuen Annexes (ab Herbst 2017) geplant, um die begonnene Harmonisierung der Bewertungsmethoden fortzusetzen, sowie international und auch in Österreich die Anwendbarkeit der Lebenszyklusanalyse im Bausektor weiter zu entwickeln und somit die Reduktion von Umweltwirkungen maßgeblich zu unterstützen.

Schwerpunkt im neuen Annex72

Der IEA EBC Annex 72 konzentriert sich auf die Harmonisierung der Methoden zur Bewertung von bauprodukt-spezifischen und betriebsbedingten Umweltwirkungen (Primärenergiebedarf, Treibhausgasemissionen und anderen Indikatoren) während des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Um die Anwendbarkeit harmonisierter Methoden in der Planung zu unterstützen, wird zudem die Integration in digitale Entwurfs- und Planungsprozesse untersucht, sowie auf Grundlage einer Vielzahl internationaler Case Studies die Entwicklung von Richtwerten auf Gebäudeebene

vorangetrieben. Für teilnehmende Länder, in denen noch keine regionalen, bausektorspezifischen Datenbanken zur Verfügung stehen, soll die Entwicklung eben dieser unterstützt werden.

Angestrebte Ergebnisse und Erkenntnisse

Neben wissenschaftlichen Berichten zur harmonisierten Bewertungsmethode, den Erkenntnissen aus der Analyse der Case Studies sowie potentiellen, daraus abzuleitenden Benchmarks, werden konkrete Leitlinien für die Anwendung der Bewertungsmethode im Planungsprozess erarbeitet und in der Folge Architekten und Planern zur Verfügung gestellt werden.

5.5. Internationale Projektergebnisse

IEA EBC Annex 57 -Evaluation of Embodied Energy and CO₂ Equivalent Emissions for Building Construction



Overview of Annex Overview of Annex 57 Results

[http://www.iea-ebc.org/Annex/EBC_Annex_57_Results_Overview.pdf] [103]

Basics for the Assessment of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions for Building Construction: Guideline for Designers and Consultants – Part 1

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_Guideline_for_Designers_Part_1.pdf] [56]

Strategies for Reducing Embodied Energy and Embodied GHG Emissions: Guideline for Designers and Consultants – Part 2

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_Guideline_for_Designers_Part_2.pdf][5]

Evaluation of Embodied Energy and CO₂ equivalent for Building Construction: Guidance to Support Educators

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_Guideline_for_Education.pdf] [32]

Guidance to Including Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in the Decision-making Process for SMEs: Guideline for Construction Product Manufacturers

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_Guideline_for_Manufacturers.pdf] [73]

Evaluation of Embodied Energy and CO₂ equivalent for Building Construction: Guideline for Policy Makers

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_Guideline_for_Policy_Makers.pdf]

Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction: Subtask 1 - Basics, Actors and Concepts

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_ST1_Basics_Actors_Concepts.pdf] [61]

Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction: Subtask 2 - A Literature Review

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_ST2_Literature_Review.pdf] [21]

Evaluation of Embodied Energy and CO₂ Equivalent Emissions for Building Construction: Subtask 3: Evaluation Methods of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in Building and Construction

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_ST3_Evaluation_Methods.pdf] [92]

Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction: Subtask 4 - Case Studies and Recommendations for the Reduction of Embodied Energy and Embodied Greenhouse Gas Emissions from Buildings

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_ST4_Case_Studies_Recommendations.pdf] [6]

Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction: Subtask 4 - Case Studies Demonstrating Embodied Energy and Embodied Greenhouse Gas Emissions in Buildings

[http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/Annex/EBC_Annex_57_ST4_Case_Studies_Recommendations_Appendix.pdf] [8]

6. Verzeichnisse

6.1. Literaturverzeichnis

- [1] APCC ; KROMP-KOLB, H. ; NAKICENOVIC, N. ; STEININGER, K. ; GOBIET, A. ; FORMAYER, H. ; KÖPPL, A. ; PRETTENTHALER, F. ; STÖTTER, J. ; SCHNEIDER, J. (Hrsg.): *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014*. Wien : Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2014 — ISBN 978-3-7001-7699-2
- [2] BALOUKTSI, MARIA: Embodied impacts in stakeholder decision - making in the construction sector (2016)
- [3] BALOUKTSI, MARIA ; LÜTZKENDORF, THOMAS: Energy Efficiency of Buildings: The Aspect of Embodied Energy. In: *Energy Technology* Bd. 4 (2016), Nr. 1, S. 31–43 — ISBN 1136701508
- [4] BALOUKTSI, MARIA ; LÜTZKENDORF, THOMAS ; FOLIENTE, GREG: Making a Difference: incorporating embodied impacts into the decision-making processes of key actors in the construction and property industry. In: *The SETAC 25th Annual Meeting Barcelona*. Spain, 2015
- [5] BIRGISDÓTTIR, HARPA ; AOIFE, HOULIHAN-WIBERG ; MALMQVIST, TOVE ; MONCASTER, ALICE ; RASMUSSEN, FREJA NYGAARD: *IEA EBC ANNEX 57 - Guideline for Designers and Consultants – Part 2*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-01-5
- [6] BIRGISDÓTTIR, HARPA ; HOULIHAN-WIBERG, AOIFE ; MALMQVIST, TOVE ; MONCASTER, ALICE ; RASMUSSEN, FREJA NYGAARD: *IEA EBC ANNEX 57 - Subtask 4: Case studies and recommendations for the reduction of embodied energy and embodied greenhouse gas emissions from buildings*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-08-4
- [7] BIRGISDÓTTIR, HARPA ; HOULIHAN-WIBERG, AOIFE ; MALMQVIST, TOVE ; MONCASTER, ALICE ; RASMUSSEN, FREJA NYGAARD: *IEA EBC ANNEX 57 - Case studies demonstrating Embodied Energy and Embodied Greenhouse gas Energy in Buildings and Communities Programme Emissions in buildings Energy in Buildings and*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-09-1
- [8] BIRGISDOTTIR, HARPA ; MALMQVIST, TOVE ; MONCASTER, ALICE ; RASMUSSEN, FREJA NYGAARD ; WIBERG, AOIFE HOULIHAN ; POTTING, JOSÉ ; SOULTI, ELENI ; VACULÍKOVÁ, MARIE ; PASSER, ALEXANDER ; U. A.: *Annex 57 - Evaluation of Embodied Energy & Embodied GHG Emissions for Building Construction - Report of Subtask 4: Recommendations for the reduction of embodied carbon and energy from buildings*, 2015
- [9] BIRGISDÓTTIR, H ; WIBERG, AOIFE HOULIHAN ; MALMQVIST, TOVE ; MONCASTER, A ; NEHASILOVA, M ; RASSMUSSEN, N ; SOULTI, ELENI: *IEA EBC Annex 57 Subtask 4 Report: Recommendations for the reduction of embodied greenhouse gasses and embodied energy from buildings*, 2016
- [10] BROWN, M.T ; HERENDEEN, R.A: Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. In: *Ecological Economics* Bd. 19 (1996), Nr. 3, S. 219–235 — ISBN 0921-8009
- [11] BRUNDTLAND, GRO HARLEM: *Report of the World Commission on Environment and Development : Our Common Future*. New York, 1987
- [12] BSI: PAS 2050 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services (2011)
- [13] BSI: PAS 2060:2014 Specification for the demonstration of carbon neutrality, 2014
- [14] CABEZA, LUISA F. ; BARRENECHE, CAMILA ; MIRÓ, LAIA ; MORERA, JOSEP M. ; BARTOLÍ, ESTHER ; INÉS FERNÁNDEZ, A.: Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Bd. 23 (2013), S. 536–542

- [15] CEN: ÖNORM EN ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006
- [16] CEN: ÖNORM EN ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. Vienna, ASI (2006)
- [17] CEN: ÖNORM EN 15643-1: Sustainability of construction works - Assessment of buildings, Part 1: General Framework. Vienna, ASI (2010)
- [18] CEN: ÖNORM EN 15978:2012-10-01-Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. Vienna, 2012
- [19] CEN: ÖNORM EN 15804/A1: Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction, 2013
- [20] CEN: ÖNORM EN ISO 14025: Environmental labels and declarations- Type III environmental declarations- Principles and procedures, ASI (2014)
- [21] CHAE, CHANG-U ; KIM, SUNGHEE: *IEA EBC ANNEX 57 - Subtask 2: A Literature Review*. Hanyang, 2016 — ISBN 978-4-909107-06-0
- [22] DIXIT, MANISH K. ; FERNÁNDEZ-SOLÍS, JOSE L. ; LAVY, SAREL ; CULP, CHARLES H.: Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Bd. 16, Elsevier Ltd (2012), Nr. 6, S. 3730–3743
- [23] DIXIT, MANISH KUMAR ; FERNÁNDEZ-SOLÍS, JOSÉ L. ; LAVY, SAREL ; CULP, CHARLES H.: Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. In: *Energy and Buildings* Bd. 42 (2010), Nr. 8, S. 1238–1247
- [24] DRUCKMAN, ANGELA ; JACKSON, TIM: The carbon footprint of UK households 1990–2004: A socio-economically disaggregated, quasi-multi-regional input–output model. In: *Ecological Economics* Bd. 68, Elsevier B.V. (2009), Nr. 7, S. 2066–2077 — ISBN 0921-8009
- [25] DULAC, JOHN ; LAFRANCE, MARC ; TRUDEAU, NATHALIE ; YAMADA, HIROHISA ; TAM, C. (Hrsg.): *Transition to Sustainable Buildings - Strategies and Opportunities to 2050* : International Energy Agency, Directorate of Sustainable Energy Policy and Technology (SPT), 2013 — ISBN 9789264202412
- [26] EC: *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR*
- [27] EC: *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)*, 2010
- [28] EC: *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Energiefahrplan 2050*, 2011
- [29] FERNG, JIUN-JIUN: Toward a scenario analysis framework for energy footprints. In: *Ecological Economics* Bd. 40 (2002), Nr. 1, S. 53–69 — ISBN 0921-8009
- [30] FRISCHKNECHT, ROLF: LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 15 (2010), Nr. 7, S. 666–671
- [31] FRISCHKNECHT, ROLF ; WYSS, FRANZISKA ; KNÖPFEL, SYBILLE BÜSSER ; STOLZ, PHILIPPE: Life cycle assessment in the building sector: analytical tools, environmental information and labels. In: *The International Journal of*

- [32] HAJEK, PETR ; ZELEZNA, JULIE: *IEA EBC ANNEX 57 - Guidance to Support Educators*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-04-6
- [33] HALDER, THOMAS ; KREINER, HELMUTH ; PASSER, ALEXANDER: *Open House - Case study report*. Graz, 2010
- [34] HÖFLER, KARL ; VENUS, DAVID ; MAYDL, JULIA ; GEIER, SONJA: *IEA Energie in Gebäuden und Kommunen Annex 56: Energie-, Emissions- und Kostenoptimierte Gebäudesanierung*. Wien, 2017
- [35] HOOGMARTENS, ROB ; VAN PASSEL, STEVEN ; VAN ACKER, KAREL ; DUBOIS, MAARTEN: Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. In: *Environmental Impact Assessment Review* Bd. 48, Elsevier Inc. (2014), S. 27–33
- [36] IEA: *Evaluation of Embodied Energy and CO₂e for Building Construction (Annex 57) Overview of Annex 57 Results*, 2016 — ISBN 9784909107107
- [37] *IEA ECBCS Annex 31 - LCA Methodes for Buildings - Energy-Related Environmental Impact of Buildings*, 2001
- [38] IPCC: *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change, Annex II Metrics & Methodology* (2014)
- [39] ISO: *ISO 21930 - Sustainability in building construction — Environmental declaration of building products* Bd. 2007 (2007)
- [40] ISO: *15392: Sustainability in building construction — General principles*. Switzerland, ISO (2008) — ISBN 283189705X
- [41] ISO: *21931-1: Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works - Part 1: Buildings*, 2010
- [42] ISO: *14067: Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication* (2012)
- [43] ISO/TR: *21932: Sustainability in buildings and civil engineering works -- A review of terminology*, 2013
- [44] JRC EUROPEAN COMMISSION: *ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*, 2011 — ISBN 9789279174513
- [45] KLAMMER, GERFRIED ; FISCHER, GERNOT FRANZ ; PASSER, ALEXANDER: *EPD - Environmental Product Declaration Umwelt - Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804; Frischbeton für Betonfertigteile*. Graz, 2015
- [46] KLÖPFFER, WALTER: Life cycle sustainability assessment of products. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 13 (2008), Nr. 2, S. 89–95
- [47] KLÖPFFER, WALTER ; CIROTH, ANDREAS: Is LCC relevant in a sustainability assessment? In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 16 (2011), Nr. 2, S. 99–101 — ISBN 0948-3349
- [48] KLÖPFFER, WALTER ; GRAHL, BIRGIT: *Ökobilanz (LCA) - Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009 — ISBN 978-3-527-32043-1
- [49] KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT: *Der Weg zu einer kohlenstoffemissionsarmen Zukunft - KOM(2007) 723*. Brüssel, 2007
- [50] KREINER, HELMUTH: *Systemic improvement of building sustainability (Dissertation - TU Graz)*. Graz, 2013
- [51] LANGSTON, Y. L. ; LANGSTON, CRAIG: Reliability of building embodied energy modelling: an analysis of 30 Melbourne case studies. In: *Construction Management and Economics* Bd. 26 (2008), Nr. 2, S. 147–160

- [52] LECHNER, R ; LIPP, B ; LUBITZ ; STEINER, T: *Monitoring der Leitprojekte aus Haus der Zukunft PLUS*. Wien, 2015
- [53] LECHNER, ROBERT ; LIPP, BERNHARD ; LUBITZ-PROHASKA, BEATE ; STEINER, TOBIAS ; WEBER, ULRIKE: *Nachhaltiges Bauen in Österreich*, 2015
- [54] LENZEN, MANFRED: Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input–output analysis. In: *Energy Policy* Bd. 26 (1998), Nr. 6, S. 495–506 — ISBN 0301-4215
- [55] LÜTZKENDORF, THOMAS ; BALOUKTSI, MARIA: *IEA EBC ANNEX 57 - Subtask 1: Basics, Actors and Concepts*. Karlsruhe, 2000 — ISBN 978-4-909107-05-3
- [56] LÜTZKENDORF, THOMAS ; BALOUKTSI, MARIA: *IEA EBC ANNEX 57 - Guideline for Designers and Consultants – Part 1*. Karlsruhe, 2016 — ISBN 978-4-909107-00-8
- [57] LÜTZKENDORF, THOMAS ; BALOUKTSI, MARIA ; FRISCHKNECHT, ROLF: IEA EBC Annex 57 Subtask 1 Report: Basics. In: *Actors and Concepts*, 2016
- [58] LÜTZKENDORF, THOMAS ; FOLIENTE, GREG ; BALOUKTSI, MARIA ; WIBERG, AOIFE HOULIHAN: Net-zero buildings: incorporating embodied impacts. In: *Building Research & Information* Bd. 43 (2015), Nr. 1, S. 62–81. — DOI:10.1080/09613218.2014.935575 — ISBN 09613218 (ISSN)
- [59] MAYDL, PETER ; EUSTACCHIO, ENRICO ; PASSER, ALEXANDER: Zur Umsetzung der Basisanforderung Nr. 7 in der künftigen Bauprodukteverordnung. In: *OIB aktuell - Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 11/2010* Bd. 11, Österreichisches Institut für Bautechnik (2010), S. 16–23
- [60] MAYDL, PETER ; PASSER, ALEXANDER: Das europäische Regelwerk für Nachhaltiges Bauen. In: *OIB aktuell* Bd. 4 (2012), S. 16–21
- [61] MISTRETTA, MARINA ; GUARINO, FRANCESCO: *IEA EBC ANNEX 57 - Guideline for Policy Makers*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-02-2
- [62] MITHRARATNE, NALANIE ; VALE, BRENDA: Life cycle analysis model for New Zealand houses. In: *Building and Environment* Bd. 39 (2004), Nr. 4, S. 483–492 — ISBN 0360-1323
- [63] MÖTZL, HILDEGUND: *Ökovergleich von Gebäuden – Teilprojekt: Ökobilanzierung der Haustechniksysteme*, 2014
- [64] OKA, TATSUO ; YOKOYAMA, KEIZO ; YAMAMOTO, M: *Introduction of Annex 57- Evaluation of Embodied Energy/CO₂eq for Construction Worldwide and Measures to Reduce Them*, 2016
- [65] OZAWA-MEIDA, L.: Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: De Montfort University case study. In: *Journal of Cleaner Production* 56 (2011)
- [66] PACHECO-TORGAL, F. ; FARIAS, P ; JALALI, SAID: Embodied energy versus operational energy. Showing the shortcomings of the energy performance building directive (EPBD). In: *Materials Science Forum* Bd. 730 (2013), S. 587–591
- [67] PARTOLL, M. ; STALLER, HEIMO ; NUSSMÜLLER, W. ; HEIMRATH, RICHARD ; HALMDIENST, CHRISTIAN ; RAINER, ERNST ; PASSER, ALEXANDER ; KREINER, HELMUTH ; OBLAK, HANNES: *+ERS - Plusenergieverbund Reininghaus Süd*. Vienna, 2016
- [68] PASSER, ALEXANDER: Environmental Product Declarations (EPD) - Proficiency testing by interlaboratory comparisons. In: *Environmental Product Declarations (EPD)*, 2006, S. 34–37
- [69] PASSER, ALEXANDER: IEA Energy in Buildings and Communities programme - implementing agreement Annex 57 (2014). — IEA ECBCS Annex 57: Methods for Evaluation of Embodied Energy and CO₂-

Emissions for Building Construction

- [70] PASSER, ALEXANDER: Zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bauwesen: unter besonderer Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauprodukten und Gebäuden. Graz, Graz University of Technology, Austria (2016)
- [71] PASSER, ALEXANDER: Umweltprodukt-Informationen und -Deklarationen im Baubereich: Ein aktueller Überblick. In: *OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 2/2016* Bd. 2, Österreichisches Institut für Bautechnik (2016), S. 16–23
- [72] PASSER, ALEXANDER ; BALOUKTSI, MARIA ; LÜTZKENDORF, THOMAS ; KERZ, N. ; WYSS, FRANZISKA ; FRISCHKNECHT, ROLF ; LUBITZ-PROHASKA, BEATE: Workshop B: Mehr als nur graue Energie? In: *Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen- Aus der Praxis der Gebäudenutzung* (2015), S. 1–12
- [73] PASSER, ALEXANDER ; BALOUKTSI, MARIA ; LÜTZKENDORF, THOMAS ; KREINER, HELMUTH: *IEA EBC ANNEX 57 - Guideline for Construction Products Manufacturers*. Graz, 2017 — ISBN 978-4-909107-03-9
- [74] PASSER, ALEXANDER ; BALOUKTSI, MARIA ; LÜTZKENDORF, THOMAS ; KREINER, HELMUTH: *IEA EBC ANNEX 57 - Leitfaden für Hersteller von Bauprodukten*. Graz, 2017 — ISBN 978-4-909107-03-9
- [75] PASSER, ALEXANDER ; FISCHER, FRANZ, GERNOT ; SÖLKNER, PETRA JOHANNA ; SPAUN, SEBASTIAN: Innovative building technologies and technical equipment towards sustainable construction – a comparative LCA and LCC assessment Short Summary. In: KIT ; ZEBAU (Hrsg.): *Sustainable Built Environment Conference 2016 in Hamburg Strategies, Stakeholders, Success factors*. Hamburg : ZEBAU – Centre for Energy, Construction, Architecture and the Environment GmbH, Hamburg, Germany, 2016, S. 716–725
- [76] PASSER, ALEXANDER ; HINTERBRANDNER, ANGELIKA: *IEA EBC ANNEX 57 - Guideline for Construction Products Manufacturers - Leaflet*. Graz, Graz University of Technology (2017)
- [77] PASSER, ALEXANDER ; KREINER, HELMUTH ; CRESNIK, GUIDO ; MAYDL, PETER: Genormte Nachhaltigkeit ? In: *Enova 2010*. Pinkafeld, 2010, S. 10
- [78] PASSER, ALEXANDER ; KREINER, HELMUTH ; KAINZ, FRIEDRICH: Gebäudebewertung im Kontext zu funktionalen und technischen Qualitäten aus der Perspektive der Nachhaltigkeit – Ein Diskussionsbeitrag Fachbeiträge (Teil 1). In: *OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 3/2009* Bd. 10, Österreichisches Institut für Bautechnik (2009), S. 8–11
- [79] PASSER, ALEXANDER ; KREINER, HELMUTH ; MAYDL, PETER: Gebäudebewertung im Kontext zu funktionalen und technischen Qualitäten aus der Perspektive der Nachhaltigkeit – Ein Diskussionsbeitrag Fachbeiträge (Teil 2). In: *OIB aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 2/2009* Bd. 10, Österreichisches Institut für Bautechnik (2009), S. 26–32
- [80] PASSER, ALEXANDER ; LASVAUX, SÉBASTIEN ; ALLACKER, KAREN ; DE LATHAUWER, DIETER ; SPIRINCKX, CAROLIN ; WITTSTOCK, BASTIAN ; KELLENBERGER, DANIEL ; GSCHÖSSER, FLORIAN ; WALL, JOHANNES ; U. A.: Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 20 (2015), Nr. 9, S. 1199–1212
- [81] PASSER, ALEXANDER ; LASVAUX, SÉBASTIEN ; ALLACKER, KAREN ; DE LATHAUWER, DIETER ; SPIRINCKX, CAROLIN ; WITTSTOCK, BASTIAN ; KELLENBERGER, DANIEL ; GSCHÖSSER, FLORIAN ; WALL, JOHANNES ; U. A.: Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 20 (2015), Nr. 9, S. 1199–1212
- [82] PASSER, ALEXANDER ; OUELLET-PLAMONDON, CLAUDIANE ; KENNEALLY, PATRICK ; JOHN, VIOLA ; HABERT, GUILLAUME:

- The impact of future scenarios on building refurbishment strategies towards plus energy buildings. In: *Energy and Buildings* Bd. 124 (2016), S. 153–163
- [83] PASSER, ALEXANDER ; OUELLET-PLAMONDON, CLAUDIANE ; KENNEALLY, PATRICK ; JOHN, VIOLA ; HABERT, GUILLAUME: The impact of future scenarios on building refurbishment strategies towards plus energy buildings. In: *Energy and Buildings* Bd. 124 (2016), S. 153–163
- [84] PASSER, ALEXANDER ; OUELLET-PLAMONDON, CLAUDIANE ; KENNEALLY, PATRICK ; JOHN, VIOLA ; HABERT, GUILLAUME: The impact of future scenarios on building refurbishment strategies towards plus energy buildings. In: *Energy and Buildings* Bd. 124 (2016), S. 153–163
- [85] PAULA, MICHAEL ; CERVENY, MICHAEL ; GADNER, JOHANNES ; INDINGER, ANDREAS: *Energieforschungsstrategie für Österreich - Vorschläge für Maßnahmen im Bereich Forschung, Technologie und Innovation*. Wien, 2009
- [86] RAINER, ERNST ; HOFBAUER, KERSTEN ; SCHNITZER, HANS ; MACH, THOMAS ; MAIER, STEPHAN ; HOCHENAUER, CRISTOPH ; PASSER, ALEXANDER ; KREINER, HELMUTH ; MAYDL, PETER ; U. A.: ECR Energy City Graz-Reininghaus. In: PASSER, A. ; HÖFLER, K. ; MAYDL, P. (Hrsg.): *Sustainable Buildings, Construction Products & Technologies*. Graz, 2013, S. 617–628
- [87] SANDIN, GUSTAV ; PETERS, GREG M. ; SVANSTRÖM, MAGDALENA: Life cycle assessment of construction materials: the influence of assumptions in end-of-life modelling. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 19 (2014), Nr. 4, S. 723–731
- [88] SCHNITZER, HANS ; STREICHER, WOLFGANG ; STEININGER, KARL W. ; BERGER, TANIA ; BRUNNER, CHRISTOPH ; PASSER, ALEXANDER ; SCHNEIDER, JÜRGEN ; TITZ, MICHAELA ; TRIMMEL, HEIDI ; U. A.: Produktion und Gebäude. In: KROMPKOLB, H. ; NAKICENOVIC, N. ; STEININGER, K. ; GOBIET, A. ; FORMAYER, H. ; KOPPL, A. ; PRETTENTHALER, F. ; STOTTER, J. ; SCHNEIDER, J. (Hrsg.): *Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 - Austrian Assessment Report 2014 (AAR14)* : Austrian Academy of Sciences Press, Vienna, Austria, 2014 — ISBN 978-3-7001-7699-2, S. 979–1093
- [89] SELINCOURT, K. D.: Embodied energy - a ticking time bomb? Part 2. In: *Green Building Press* 44 (2012)
- [90] SELINCOURT, K. D.: Embodied energy - a ticking time bomb? Part 1. In: *Green Building Press* 44 (2012)
- [91] SEO, S ; FOLIENTE, GREG: *IEA EBC Annex 57 Subtask 3 Report: Methods and Guidelines*, 2016
- [92] SEO, SEONGWON ; FOLIENTE, GREG: *IEA EBC ANNEX 57 - Subtask 3: Evaluation Methods of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in Building and Construction*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-07-7
- [93] SIA: 2032: Graue Energie von Gebäuden. Zurich, 2010
- [94] SIA: 2040: Effizienzpfad Energie. Zurich, Schweiz, 2011
- [95] SÖLKNER, PETRA JOHANNA ; OBERHUBER, ANDREAS ; SPAUN, SEBASTIAN ; PREININGER, ROBERT ; DOLEZAL, FRANZ ; PASSER, ALEXANDER ; FISCHER, GERNOT FRANZ: *Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus - 51/2014*. Vienna, 2014
- [96] STEINER, TOBIAS ; HUEMER-KALS, VERONIKA ; BINTINGER, RUDOLF ; LIPP, BERNHARD: *Monitoring von Plusenergie - Gebäuden*, 2014
- [97] STEUBING, BERNHARD ; WERNET, GREGOR ; REINHARD, JÜRGEN ; BAUER, CHRISTIAN ; MORENO-RUIZ, EMILIA: Theecoinvent database version 3 (part II): analyzing LCA results and comparison to version 2. In: *International Journal of Life Cycle Assessment* Bd. 21, The International Journal of Life Cycle Assessment (2016), Nr. 9, S. 1269–1281
- [98] TUKKER, ARNOLD ; ET.AL.: *The Global Resource Footprint of Nations; Carbon, water, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2.1.*

Leiden/Delft/Vienna/Trondheim, 2014

- [99] UNEP: *UNEP Annual Report 2009 - Seizing the Green Opportunity* : Satinder Bindra, 2010 — ISBN 978-92-807-3071-5
- [100] UNEP DTIE: *Sustainable Consumption & Production Branch*, 2009
- [101] VDI: VDI 4600 Kumulierter Energieaufwand (KEA) - Begriffe, Berechnungsmethoden, 2012
- [102] WEIDEMA, B.P. ; THRANE, M ; CHRISTENSEN, P ; SCHMIDT, J. H. ; LØKKE, S.: Carbon footprint. In: *Journal of Industrial Ecology* Bd. 12 (2008), Nr. 1, S. 3–6
- [103] YOKOO, NORIYOSHI ; YOKOYAMA, KEIZO: *IEA EBC ANNEX 57 - Overview of Annex 57 Results*. Tokyo, 2016 — ISBN 978-4-909107-10-7

6.2. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: DIE BEDEUTUNG DES BAUSEKTORS ([82] IN ANLEHNUNG AN [25], [99]).....	9
ABBILDUNG 2: CO ₂ -STRÖME IM GÜTERHANDEL AUS BZW. NACH ÖSTERREICH, ADAPTIERT AUS [1].....	10
ABBILDUNG 3: QUANTITATIVE ZUSAMMENFASSUNG DER TECHNOLOGIEN	12
ABBILDUNG 4 VERRINGERUNG DER THG-EMISSIONEN UM 80 % INNERHALB DER EU AUS [70] NACH [28]).....	13
ABBILDUNG 5: STANDARDS UND RAHMENBEDINGUNGEN HINSICHTLICH BERECHNUNG UND BILANZIERUNG VON GRAUEN UMWELTWIRKUNGEN UND THG EMISSIONEN (AUSWAHL) IN ANLEHNUNG AN [91]	16
ABBILDUNG 6 MODULARER AUFBAU UND BESTANDTEILE EINER LCA [70].	17
ABBILDUNG 7 ÜBERBLICK ÜBER DIE SUBTASKS UND DEREN ZUSAMMENHÄNGE [57].....	21
ABBILDUNG 8 ÜBERBLICK ÜBER DAS ÖSTERREICHISCHE TEILPROJEKT UND DIE VERBINDUNG ZU DEN SUBTASKS DES IEA EBC ANNEX 57	24
ABBILDUNG 9: DAS VERHÄLTNISS VON BETRIEBLICHEN & GRAUEN UMWELTWIRKUNGEN IM WANDEL DER ZEIT [73]	29
ABBILDUNG 10: PHASEN IM LEBENSZYKLUS VON GEBÄUDEN AUS [73] NACH ÖN EN 15978 [18].....	30
ABBILDUNG 11: PUBLIZIERTE LITERATUR NACH REGION (IN ANLEHNUNG AN [21])	33
ABBILDUNG 12: PUBLIZIERTE LITERATUR NACH LÄNDERN (IN ANLEHNUNG AN [21]).....	34
ABBILDUNG 13: FORSCHUNGSTHEMEN AUF GEBÄUDEEBENE (IN ANLEHNUNG AN [21])	35
ABBILDUNG 14: BEWERTUNGSZEITRAUM AUF GEBÄUDEEBENE (IN ANLEHNUNG AN [21]).....	35
ABBILDUNG 15: SYSTEMGRENZE AUF GEBÄUDEEBENE (IN ANLEHNUNG AN [21])	36
ABBILDUNG 16: GRAUE UMWELTWIRKUNGEN ALS SUMME AUS UNTERSCHIEDLICHEN LEBENSZYKLUSPHASEN [73]	40
ABBILDUNG 17: MODULARES KONZEPT FÜR DIE BESCHREIBUNG VON PRODUKT BEZOGENEN LEBENSZYKLUSINFORMATIONEN NACH EN 15804:2012 & UNTERSCHIEDUNG ZWISCHEN BETRIEBLICHEN UND GRAUEN UMWELTWIRKUNGEN [73]	41
ABBILDUNG 18: DATENSAMMLUNG & BEREITSTELLUNG IN DER LIEFERKETTE EINES BAUPRODUKTS. DIE LIEFERKETTE IST UNTERTEILT IN VORGELAGERTE, UNTERNEHMENSINTERNE UND NACHGELAGERTE PROZESSE [73].....	42
ABBILDUNG 19: SYSTEMGRENZEN UND LEBENSZYKLUSPHASEN, DIE IN DER JEWELIGEN SYSTEMGRENZE EINGESCHLOSSEN SIND. UNTER VERWENDUNG DER MODULE DES GEBÄUDELEBENSZYKLUS ENTWICKELT IM RAHMEN DES CEN/TC 350 (EN 15804:2012), ([73] BASIEREND AUF BALOUKTSI & LÜTZKENDORF, IEA EBC ANNEX 57 ST1)	43
ABBILDUNG 20: SCHRITTWEISE QUANTIFIZIERUNG[73]	45
ABBILDUNG 21: GEOGRAPHISCHE LAGE DER CASE STUDIES [9]	48
ABBILDUNG 22: ANZAHL AN CASE STUDIES IN DEN TEILNEHMENDEN NATIONEN [9]	49
ABBILDUNG 23: ÜBERSICHT CASE STUDIES ÖSTERREICH [9]	50
ABBILDUNG 24: GRAUE TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR AUSGEWÄHLTER CASE STUDIES (IN ANLEHNUNG AN [9]).....	54
ABBILDUNG 25: GRAUE TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR (IN ANLEHNUNG AN [9])	55
ABBILDUNG 26: GRAUE ENERGIE VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR (IN ANLEHNUNG AN [9])	55
ABBILDUNG 27: GRAUE TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR PLUS AUSTAUSCH (IN ANLEHNUNG AN [9])... 56	56
ABBILDUNG 28: GRAUE ENERGIE VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR PLUS AUSTAUSCH (IN ANLEHNUNG AN [9]).....	56
ABBILDUNG 29: GRAUE TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR PLUS AUSTAUSCH PLUS EOL (IN ANLEHNUNG AN [9])	57
ABBILDUNG 30: GRAUE ENERGIE VON DER WIEGE-BIS-WERKSTOR PLUS AUSTAUSCH PLUS EOL (IN ANLEHNUNG AN [9])	57
ABBILDUNG 31:INFORMATIONSAUSTAUSCH ZWISCHEN HERSTELLERN VON BAUPRODUKTEN UND ANDEREN STAKEHOLDERN [73]	58
ABBILDUNG 32:DIE WERTSCHÖPFUNGSKETTE VON BAUPRODUKTEN [73].....	59

6.3. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: TEILNEHMENDE NATIONEN (ENGL.) NACH [103]	22
TABELLE 2: RESPONSES TO THE IEA EBC ANNEX 57 'VENICE QUESTIONNAIRE' (ST4-REPORT).....	31
TABELLE 3: EMPFOHLENE INDIKATOREN FÜR DIE QUANTIFIZIERUNG GRAUER UMWELTWIRKUNGEN [73]	37
TABELLE 4: BEISPIEL FÜR DIE MERKMALDEFINITION FÜR DIE QUANTIFIZIERUNG GRAUER UMWELTWIRKUNGEN [73]	38
TABELLE 5: VERGLEICH DER IN TABELLE 3 EMPFOHLENE INDIKATOREN MIT ISO 21930 UND EN 15804 [73].....	39
TABELLE 6: ZEIGT WIE HERSTELLER VON BAUPRODUKTEN UNTERNEHMENSZIELE DURCH EINBEZIEHUNG GRAUER UMWELTWIRKUNGEN ERREICHEN KÖNNEN	60
TABELLE 7: STAKEHOLDER, WELCHE DIE IMPLEMENTIERUNG VON EEG IM BAUWESEN FORCIEREN KÖNNEN [9]	62
TABELLE 8: TEILNEHMERINFORMATION - STAKEHOLDER ÖSTERREICH	63

6.4. Abkürzungsverzeichnis

AP	Versauerungspotenzial von Boden und Wasser
B2B	(Business-to-Business) Geschäftsbeziehungen zwischen mindestens zwei Unternehmen
B2C	(Business-to-Consumer) Kommunikations- und Geschäftsbeziehungen zwischen Unternehmen und Privatpersonen bzw. Konsumenten
BIPV	Gebäudeintegrierte Fotovoltaik (engl. Building Integrated Photo Voltaics)
B-LCA	Gebäude –Ökobilanz (engl. Building LCA)
BREEAM	(Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) Zertifizierungsmethode für Gebäudezertifizierung & Nachhaltigkeits-bewertung (UK), http://www.breeam.com
CEN	(Comité Européen de Normalisation) Europäisches Komitee für Normung, https://www.cen.eu/
CO₂-Äq.	oder CO ₂ -Äquivalent — ist eine Messeinheit basierend auf dem relativen Einfluss von Treibhausgasen (THG) auf die globale Erderwärmung (das so genannt (relative) Treibhauspotential)
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, mit Schwerpunkt auf Nachhaltigkeitszertifizierung, http://www.dgnb.de/
EBC	(Energy in Buildings and Communities Programme) Energie in Gebäuden und Kommunen Programm der IEA, http://www.iea-ebc.org/
EE	“Graue Energie” / zur Herstellung des Produkts etc. aufgewendete Energie (engl. Embodied Energy)
EEG	Graue Umwelteinwirkungen (engl. Embodied Energy and GHG Emissions)
EG	“Graue Treibhausgasemissionen” (engl. Embodied GHG Emissions)
EI	(Embodied Impacts) “Graue (konstruktionsspezifische) Umweltwirkungen”
EN	Europäische Norm
EoL	Ende des Lebenszyklus (engl. End of Life)
EPD	Umweltproduktdeklaration (engl. Environmental Product Declaration)
EU	Europäische Union
GHG THG	Treibhausgase (engl. Greenhouse gases); Die unterschiedlichen Gase sind in mehreren IPCC Berichten ausgewiesen.

GWP	Das Globale Erwärmungspotential (engl. Global Warming Potential) ist ein relatives Maß, welches angibt, wieviel Einfluss ein bestimmtes Gas auf die globale Erderwärmung hat. Es wird gemessen in CO ₂ -Äq., was einem GWP Wert von 1 entspricht.
IEA	Internationale Energieagentur, https://www.iea.org
IPCC	(Intergovernmental Panel on Climate Change) Weltklimarat, http://www.ipcc.ch
ISO	Internationale Organisation für Normung
KEA	Kumulativer Energieaufwand
kWh	Kilowattstunden
LCA	Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment)
LCC	Lebenszykluskosten (engl. Life Cycle Costing)
LCI	Sachbilanz (engl. Life Cycle Inventory)
LCIA	Wirkungsabschätzung (engl. Life Cycle Impact Assessment)
LCAS	Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse
LEED	(Leadership in Energy and Environmental Design) Nachhaltigkeitsbewertung und Zertifizierung von Gebäuden (US), http://www.usgbc.org/leed
MJ	Megajoule
ÖGNB	
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
ÖÖI	Österreichischen Ökologie-Institut
PAS	öffentlich verfügbare Spezifikation (engl. Publicly Available Specification)
PEt	Primär Energie gesamt (engl. Primary Energy total)
PEF	Product Environmental Footprint
RSL	Referenz Nutzungsdauer (engl. Reference Service Life)
SET-Plan	Strategieplan für Energietechnologie
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, http://www.sia.ch/en/the-sia/
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SLCA	Sociatal Life Cycle Assessment
ST1	Subtask 1

- ST2** Subtask 2
- ST3** Subtask 3
- ST4** Subtask 4
- TQB** (Total Quality Building Assessment) Gebäude Bewertungssystem in Österreich,
<https://www.oegnb.net/en/tqb.htm>
- UNEP** United Nations Environment Programme
- VDI** Verein Deutscher Ingenieure, <http://www.vdi.eu/>

6.5. Glossar

Allokation	Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen.
Cradle to Gate / Wiege bis Werkstor	Im Rahmen der Cradle-to-Gate Eingrenzung werden die Umwelteinwirkungen der Produktion von Baustoffen betrachtet. Diese beginnt beim Abbau der Rohstoffe, beinhaltet den Transport zum Werk wie den Herstellungsprozess und endet mit der Bereitstellung der fertigen Produkte am Werkstor des Herstellers. Das heißt, im Fall eines Gebäudes, wird der Energiebedarf dieser „Cradle to Gate“ Phase als Gesamtsumme der einzelnen Bestandteile des Produkts gewertet.
Cradle to Site/ Wiege bis Baustelle	Entspricht der Eingrenzung “Cradle to Gate” zuzüglich der Anlieferung des Produkts auf die Baustelle.
Cradle to Handover / Wiege bis Übergabe	Entspricht der Eingrenzung “Cradle to Site”. Hinzu kommen Bauprozess und Montage.
Cradle to End of Use / Wiege bis Nutzungsende	Entspricht der Eingrenzung “Cradle to Handover” zuzüglich Instandhaltung, Instandsetzung, Ersatz- und Sanierungsarbeiten. Diese Grenze markiert das Ende des ersten Nutzungszyklus des Gebäudes.
Cradle to Grave/ Wiege bis Lebensende	Entspricht der Eingrenzung “Cradle to Handover” inklusive der Nutzungsdauer des Gebäudes. Die Nutzungsphase beinhaltet Instandhaltung, Instandsetzung, Ersatz- und Sanierungsarbeiten (inkl. Herstellung der Ersatzprodukte und Entsorgung der ersetzten Produkte). Hinzu kommt die Lebensendphase des Gebäudes, welche Abbruch, Transport, Abfallverwertung und Entsorgung aller Bestandteile (grave) beinhaltet.
Embodied Energy/ Graue Energie	Als Graue Energie (oder auch kumulierten Energie-aufwand) wird die Energiemenge bezeichnet, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung eines Produktes benötigt wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert.
CO₂ Bilanz/ Enthaltene Treibhausgas Emissionen	Die CO ₂ -Bilanz, auch bekannt als CO ₂ -Fußabdruck oder globales Treibhauspotential, ist ein Maß für den Gesamtbetrag von Kohlenstoffdioxid-Emissionen (gemessen in CO ₂ , unabhängig der Art und Quelle), der, direkt und indirekt, durch eine Aktivität verursacht wird oder über die Lebensstadien eines Produkts entsteht.

**Embodied Impacts/
Graue Umweltwirkungen**

Graue Umweltwirkungen (Embodied Impacts) beziehen sich in diesem Dokument nur auf den Verbrauch von Primärenergie und die negativen, damit verbundenen Auswirkungen auf das Klima, die durch Treibhausgasemissionen entstehen. Diese resultieren im Laufe des Bauproduktlebenszyklus aus Herstellung, Montage, Baumaßnahmen und die „End-of-Life-Phase“ von Gebäuden. Die Grauen Umweltwirkungen setzen sich zusammen aus Grauer Energie und „Grauen Treibhausgasemissionen“.

Energierohstoff

Verbrennungswärme von Rohmaterialien, die nicht als Energiequelle für ein Produktsystem genutzt wird, ausgedrückt in „höherem“ oder „niedrigerem“ Heizwert. Der Wert repräsentiert den nicht energieverbrauchsrelevanten Gebrauch von Energie= Ressourcen. Dies können nicht erneuerbare (fossile) Energiequellen, genauso wie erneuerbare Energiequellen (Biomasse etc.) sein.

**Gate to Gate/
Werkstor bis Werkstor**

Diese Eingrenzung betrachtet ausschließlich die unternehmensinternen Prozesse (werksintern) in der gesamten Produktionskette.

**Prozessbezogene
Emissionen**

Nicht brennstoffbedingte CO₂-Emissionen, die während des Herstellungsprozesses von Bauprodukten auf Grund von spezifischen chemische Effekten entstehen. (bsp. CO₂ Ausstoß auf chemischen Reaktionen in der Zementherstellung).

Biogener Kohlenstoff

Biogener Kohlenstoff, welcher über einen spezifischen Zeitraum gespeichert wurde.

**Upstream /
Vorgeschalteter Prozess**

Prozess, der im Lauf aller relevanten Prozesse vor dem designierten Prozess (in diesem Fall: dem Herstellungsprozess) ausgeführt wird.

**Downstream/
Nachgelagerter Prozess**

Prozess, der im Lauf aller relevanten Prozesse nach dem designierten Prozess (in diesem Fall: dem Herstellungsprozess) ausgeführt wird.