

LVS³

Untersuchung zur Nachhaltigkeit
von Stahlkonstruktionen

HINTERGRUNDBERICHT

Februar 2014

Ergebnis eines mit finanzieller Unterstützung des Forschungsfonds für Kohle und Stahl (Research Fund for Coal and Steel - RFCS) der Europäischen Gemeinschaft durchgeführten Projektes.



Hintergrundbericht

Obwohl alle Anstrengungen unternommen wurden, um die Integrität und Qualität dieser Veröffentlichung und die darin enthaltenen Informationen zu gewährleisten, wird keine Haftung von den Projektpartnern und dem Verlag für Schäden an Sachen oder Personen als Folge der Verwendung dieser Veröffentlichung und der hierin enthaltenen Informationen übernommen.

Die Vervielfältigung für nicht-kommerzielle Zwecke ist unter Angabe der Quelle und einer Mitteilung an den Projektkoordinator gestattet. Die öffentlich zugängliche Verbreitung dieser Publikation durch andere Quellen als die unten angegebenen Webseiten bedarf der vorherigen Zustimmung der Projektpartner. Anfragen sind zu richten an den Projektkoordinator: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGE SA, Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxemburg. Der vorliegende Bericht ist Teil des Projektes RFS2-CT-2013-00016 (Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures - LVS³), das von dem Forschungsfond für Kohle und Stahl der Europäischen Gemeinschaft (RFCS) unterstützt wurde.

Helena Gervásio, Paulo Santos, Luís Simões da Silva, Olivier Vassart, Anne-Laure Hettinger und Valérie Huet

Februar 2014

Inhalt

1	Einführung	5
2	Ökobilanzierung von Gebäuden	6
2.1	Der Lebenszyklusgedanke	6
2.2	Methoden und Werkzeuge Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden	7
2.3	Normativer Rahmen für Ökobilanzen	9
2.3.1	Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen	9
2.3.2	Sachbilanz	11
2.3.3	Wirkungsabschätzung	11
2.3.4	Interpretation	20
2.3.5	Veranschaulichendes Beispiel.....	21
2.4	Europäische Normen für die Ökobilanzierung von Gebäuden.....	22
2.4.1	CEN/TC 350	22
2.4.2	Gebäudeebene (EN 15978).....	23
2.4.3	Produktebene (EN 15804).....	28
2.5	Andere Normen und Vorschriften (vorwiegend für die Nutzungsphase)	29
3	Vereinfachte Methoden zur Gebäudebewertung	31
3.1	Einführung	31
3.2	Algorithmus für die Ökobilanz auf Grundlage von Makro-Komponenten	31
3.2.1	Grundlegende Schritte.....	32
3.2.2	Allokation von Recyclingmaterialien	35
3.2.3	Charakterisierung der Makro-Komponenten.....	39
3.2.4	Veranschaulichendes Beispiel.....	40
3.3	Algorithmus für die Energieberechnung (Nutzungsphase)	45
3.3.1	Einführung	45
3.3.2	Gebäudestandort und Klima	45
3.3.3	Methode zur Berechnung des Energiebedarfs	49
3.3.4	Kalibrierung des Algorithmus.....	73
4	Validierung der Methoden.....	80
4.1	Validierung des Makro-Komponenten-Ansatzes	80
4.1.1	Beschreibung der Fallstudie	80
4.1.2	Auswahl der Makro-Komponenten.....	81
4.1.3	Anwendung des Makro-Komponenten-Ansatzes.....	83
4.1.4	Vergleich mit einer umfassenden Ökobilanz.....	84
4.2	Validierung des Ansatzes zur Berechnung des Energiebedarfs.....	85
4.2.1	Klimadaten und thermische Eigenschaften des Erdreichs.....	85
4.2.2	Nutzungsbezogene Daten	86
4.2.3	Gebäudetechnik	86

4.2.4 Verglaste Gebäudehülle und Verschattungseinrichtungen.....	87
4.2.5 Opake Gebäudehülle.....	87
4.2.6 Ergebnisse Energiebedarf des Gebäudes.....	87
4.2.7 Vergleich mit der erweiterten Simulation	88
4.3 Schlussbemerkungen.....	91
Literatur	92
Anhang 1 – Datenbank der Makro-Komponenten	95

1 Einführung

Das Ziel dieses Berichtes ist es, detaillierte Informationen über die Entwicklung und Bewertung von Methoden zur Lebenszyklusanalyse zu liefern. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse von Stahlkonstruktionen. Dieses Dokument wurde im Rahmen des Projektes **LVS3: Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures** (Untersuchung zur Nachhaltigkeit von Stahlkonstruktionen - RFS2-CT-2013-00016) erstellt.

Dieses Dokument konzentriert sich auf zwei sich ergänzende Ansätze:

- (i) den Makro-Komponenten-Ansatz, der sich auf die Analyse von Gebäuden und/oder Bauteilen ohne die Einbeziehung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase bezieht;
- (ii) den die Nutzungsphase des Gebäudes fokussierenden Ansatz, der die Bemessung der notwendigen Betriebsenergie von Gebäuden ermöglicht.

Beide Ansätze wurden im Rahmen des RFCS-Projektes „Nachhaltigkeit von Stahlbauwerken“ (SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings - SB_Steel, 2014) entwickelt und validiert. Die übernommenen Ansätze wurden im Rahmen des aktuellen Projektes LVS³ in vorhandene Software-Werkzeuge implementiert: Die erste Methode wurde im „LCA-Calculator“, einem von der Universität Coimbra (Portugal) und ECCS für iPad- und iPhone-Anwendungen entwickelten Werkzeug, und in „AMECO“, einem von ArcelorMittal und CTICM entwickelten Programm, umgesetzt. Der zweite Ansatz wurde von CTICM in AMECO implementiert.

Dieses Dokument ist in drei Hauptteile gegliedert. Im ersten Teil (Kapitel 2) erfolgt eine kurze Einführung in die Lebenszyklusbetrachtung, gefolgt von einer Darstellung verschiedener Ansätze für die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden und einer Beschreibung des allgemeinen Rahmens von Nachhaltigkeitsbewertungen nach internationalen Normen.

Der zweite Teil (Kapitel 3) beinhaltet eine detaillierte Beschreibung der Ansätze für die Berechnung der Umweltwirkungen im Lebenszyklus eines Gebäudes und zur Bewertung des Energiebedarfs während seiner Nutzungsdauer.

Schließlich wird im letzten Teil dieses Dokumentes (Kapitel 4) eine Fallstudie vorgestellt, die für die Validierung der getroffenen Ansätze verwendet wurde.

2 Ökobilanzierung von Gebäuden

2.1 Der Lebenszyklusgedanke

Eine Ökobilanz (engl. Life Cycle Analysis - LCA) ist ein objektiver Prozess, um die mit einem Produkt oder einer Prozessaktivität verbundenen Umweltbelastungen abzuschätzen sowie Möglichkeiten zur Umweltverbesserung zu ermitteln und umzusetzen. Sie identifiziert und quantifiziert, wie in Abb. 2.1 veranschaulicht, Materialeinsatz, Energiebedarf, entstehende Abfälle und Emissionen in Luft und Wasser über den gesamten Lebenszyklus (d. h. von der Rohstoffgewinnung bis zum Lebensende).

Mögliche Umweltwirkungen treten in allen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes oder anderer Bauwerke auf. Der Hauptvorteil des Lebenszyklus-Ansatzes ist die Vermeidung der Verschiebung der Belastungen von einer Lebenszyklusphase zur nächsten, von einem geografischen Gebiet zu einem anderen oder von einem Umweltmedium (z. B. Luft) in ein weiteres (z. B. Wasser oder Boden) (UNEP, 2004).

Lebenszyklus-Ansätze werden von der Integrierten Produktpolitik (KOM (2003) 302) für die Beurteilung der potentiellen Auswirkungen von Produkten empfohlen.

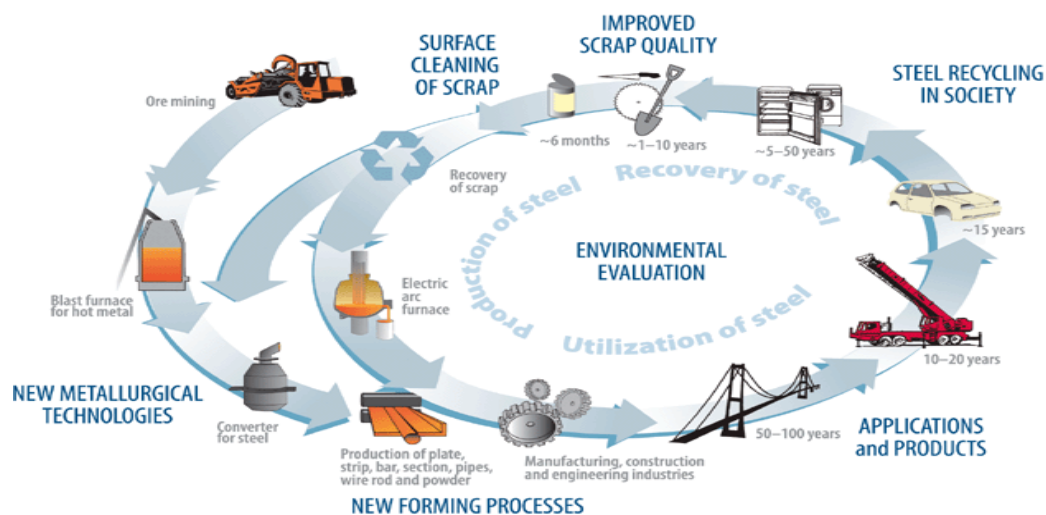


Abb. 2.1: Lebenszyklusansatz (Dank an stalkretslopp.se)

Außerdem ermöglichen Lebenszyklusansätze auf lange Sicht bessere Entscheidungen. Sie implizieren, dass jeder Teilnehmer in der gesamten Kette des Produktlebenszyklus, von der Wiege bis zur Bahre, Verantwortung übernimmt. Dabei werden alle relevanten Umweltwirkungen berücksichtigt (UNEP, 2004). Durch die Berechnung aller Emissionen in Luft, Wasser und Boden, die in jeder

Phase des Lebenszyklus stattfinden können, ermöglicht der Lebenszyklusansatz die Identifikation der relevanten Prozesse über die Lebensdauer eines Produktes oder Systems und die Verbesserung der Umwelteigenschaften.

Diese Art der Analyse hat jedoch einige Nachteile:

- ✓ LCAs sind in der Regel zeitaufwändig, teuer und erfordern häufig Expertenwissen.
- ✓ Es gibt keine allgemein akzeptierte LCA-Methode.
- ✓ Einige der Annahmen für eine LCA können subjektiv sein (zum Beispiel die Bestimmung der Systemgrenzen, die Datenquellen und die Wahl der untersuchten Umweltwirkungen).
- ✓ Die Ergebnisse der Ökobilanz können sich auf die nationale oder regionale Ebene beziehen und daher nicht für lokale Anwendungen geeignet sein.
- ✓ Die Genauigkeit einer Ökobilanz-Studie hängt von der Qualität und der Verfügbarkeit der relevanten Daten ab.

Die in diesem Projekt übernommenen Ansätze zielen darauf ab, einige der oben genannten Nachteile zu überwinden.

Im nächsten Unterkapitel werden die verschiedenen Methoden und Werkzeuge für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden vorgestellt.

2.2 Methoden und Werkzeuge Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden

Das Bauen ist für einen Großteil der Umweltwirkungen im industriellen Bereich verantwortlich. In den vergangenen Jahren gab es daher ein steigendes Interesse an der ökologischen Bewertung der gebauten Umwelt. Derzeit gibt es zwei Hauptklassen von Bewertungsinstrumenten (Reijnders and Roekel, 1999):

- (i) Qualitative, auf Punktesystemen und Kriterien basierende Werkzeuge;
- (ii) Auf dem Lebenszyklusansatz basierende Werkzeuge, die eine quantitative Analyse der In- und Outputs nutzen.

Innerhalb der ersten Werkzeuggruppe befinden sich Bewertungssysteme wie LEED (USA), BREEAM (Großbritannien), GBTool (International Initiative for a Sustainable Built Environment - iiSBE) etc. Diese Methoden, auch als Rating-systeme bekannt, basieren üblicherweise auf Gebäude-Audits und der Vergabe von Punkten für vordefinierte Kriterien. Obwohl es sich vorwiegend um qualitative Aussagen handelt, können einige Kriterien auch quantitativ sein und sogar Ökobilanzen nutzen. Dies geschieht vorwiegend bei der Baustoffbewertung. Normalerweise werden diese Systeme für die Vergabe von Zertifikaten für ökologisches Bauen und Öko-Label genutzt. Allerdings liegt diese Art der Werkzeuge außerhalb des Betrachtungsraums dieses Berichtes, weshalb der

Fokus im Folgenden auf der zweiten Gruppe von Werkzeugen, also auf der Basis von Lebenszyklusansätzen, liegen wird.

Die oben beschriebene Ökobilanzierung kann direkt auf den Gebäudesektor übertragen werden. Dennoch gibt es hierbei zusätzliche Hindernisse bei der Anwendung. Die Hauptgründe sind (IEA, 2001):

- (i) Die Nutzungsdauer von Gebäuden ist sehr hoch und oft unbekannt, weshalb die Bewertung großen Unsicherheiten unterliegt.
- (ii) Gebäude sind grundstücksabhängig und viele Auswirkungen sind lokal;
- (iii) Bauprodukte sind normalerweise aus Verbundmaterialien hergestellt, was zu großen Datenmengen führt.
- (iv) Der Energieverbrauch in der Nutzungsphase eines Gebäudes hängt stark von dem Nutzerverhalten und dem Betrieb ab.
- (v) Ein Gebäude ist hochgradig multi-funktional, wodurch die Wahl einer geeigneten funktionalen Einheit erschwert wird.
- (vi) Gebäude sind eng mit anderen Elementen der gebauten Umwelt verbunden, insbesondere mit der städtischen Infrastruktur (Straßen, Leitungen, Grünflächen und Aufbereitungsanlagen). Eine isolierte Ökobilanz auf Gebäudeebene kann daher irreführend sein.

Hinsichtlich der Ökobilanzierung von Gebäuden und ihren Komponenten wird unterschieden zwischen Ökobilanz-Werkzeugen zur Untersuchung von Baustoffen und Bauteilen, z. B. BEES (Lippiatt, 2002), und Ökobilanz-Werkzeugen zur Bewertung des gesamten Gebäudes, wie zum Beispiel Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard et al., 1999) oder EcoQuantum (Kortman et al., 1998). Letztere sind meistens komplexer, da die Gesamtperformance eines Gebäudes von Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Komponenten und Sub-Systemen sowie zwischen den Bewohnern und der natürlichen Umwelt abhängt. Die Wahl eines geeigneten Werkzeuges hängt von den spezifischen Umweltzielen eines Projektes ab.

Genauigkeit und Relevanz von LCA-Werkzeugen als Planungshilfe wurden unter anderem im Rahmen des europäischen Netzwerks PRESCO (Practical Recommendations for Sustainable Construction (Kellenberger, 2005)) analysiert. In diesem Projekt wurden verschiedene LCA-Werkzeuge anhand von Fallstudien verglichen. Gesamtziel war die Harmonisierung von LCA-basierten Bewertungssystemen für Gebäude. Andere vergleichende Analysen von Werkzeugen zur Bewertung der ökologischen Qualität der gebauten Umwelt können in Jönsson (2000) und Forsberg & von Malmborg (2004) gefunden werden.

Wie beschrieben, konzentriert sich dieser Bericht auf Ökobilanzen und insbesondere ihre Anwendung auf Stahlkonstruktionen. In den nachfolgenden Unterkapiteln wird der normative Rahmen für Ökobilanzen dargestellt. Zunächst

werden die internationalen Normen ISO 14040 (2006) und ISO 14044 (2006), die den allgemeinen Rahmen für Ökobilanzen vorgeben, erläutert. Darauf folgen einige europäische Normen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken.

2.3 Normativer Rahmen für Ökobilanzen

Die internationalen Normen ISO 14040 (2006) und 14044 (2006) geben den allgemeinen Rahmen, Grundsätze und Anforderungen für die Ausführung und Darstellung von Ökobilanz-Studien an. Bezugnehmend auf diese Normen soll eine Ökobilanz die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, eine Sachbilanz, eine Wirkungsabschätzung und die Auswertung der Ergebnisse umfassen. Wie in Abb. 2.2 dargestellt, hängen die verschiedenen Phasen zusammen und manchmal ist ein iterativer Prozess erforderlich, um dem Ziel der Studie gerecht zu werden. Die einzelnen Etappen werden in den nachfolgenden Unterkapiteln erläutert.

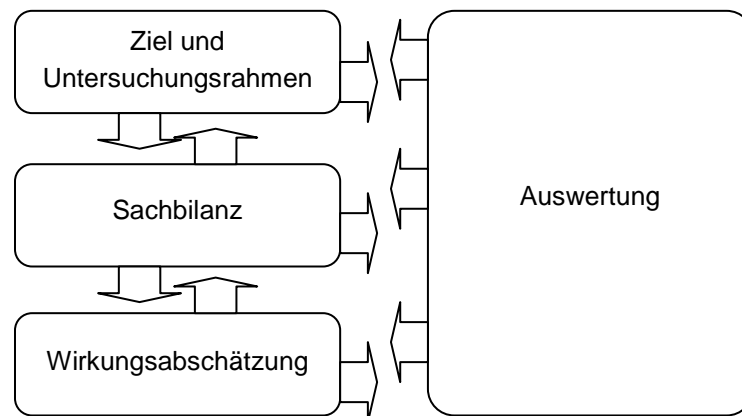


Abb. 2.2: Allgemeiner Rahmen von Ökobilanzen (ISO 14044:2006)

2.3.1 Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen

Bei der Festlegung des Ziels einer Ökobilanz-Studie müssen die vorgesehene Anwendung, die Gründe für die Ausführung der Studie und die angesprochene Zielgruppe klar definiert werden.

Der Untersuchungsrahmen muss vor allem eine deutliche Beschreibung der funktionalen Einheit und der Systemgrenzen beinhalten.

2.3.1.1 Funktion und funktionale Einheit

Der Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz-Studie muss die Funktionen des untersuchten Systems deutlich angeben. Eine funktionale Einheit ist ein Maß der Leistung des funktionalen Outputs des Produktsystems. Der primäre Zweck der funktionalen Einheit ist die Bereitstellung einer Bezugsgröße für die In- und

Outputs. Diese Referenz ist erforderlich, um die Vergleichbarkeit von Ökobilanz-Ergebnissen zu gewährleisten. Dies ist besonders wichtig, wenn verschiedene Systeme oder Baustoffe untersucht werden, denn Vergleiche müssen stets auf einer gemeinsamen Basis beruhen.

2.3.1.2 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen legen fest, welche Prozessmodule in der Ökobilanz enthalten sein müssen. Bei einer vollständigen Ökobilanz werden, wie in Abb. 2.3 dargestellt, alle Phasen von der Rohstoffherstellung bis zum Lebensende analysiert.



Abb. 2.3: Betrachtete Prozesse bei einer vollständigen Ökobilanz

Wenn die Ökobilanz nur die Anfangsphasen der Rohstoffgewinnung und Materialherstellung berücksichtigt, wird sie als Analyse „von der Wiege bis zum Werkstor“ (engl. „cradle-to-gate“) bezeichnet. Wird der vollständige Lebenszyklus (von der Rohstoffgewinnung bis zum Lebensende) berücksichtigt, handelt es sich um eine Analyse „von der Wiege bis zur Bahre“ (engl. „cradle-to-grave“). Wenn am Lebensende Recyclingprozesse berücksichtigt werden, und die Sekundärrohstoffe die Herstellung aus neuen Materialien vermeiden, wird oft auch von einer Analyse „von der Wiege bis zur Wiege“ (engl. „cradle-to-cradle“) gesprochen.

Mehrere Faktoren bestimmen die Systemgrenzen. Hierzu gehören unter anderem der Anwendungsbereich der Studie, die getroffenen Annahmen, mögliche Abschneidekriterien, die Datenverfügbarkeit, der Kostenrahmen und die Zielgruppe.

Die Wahl der In- und Outputs und das System sollten so modelliert werden, dass In- und Outputs an den Systemgrenzen Elementarflüsse sind.

2.3.1.3 Anforderungen an die Datenqualität

Um Ziel und Untersuchungsrahmen gerecht zu werden, sollten die Anforderungen an die Datenqualität gemäß ISO 14044 Folgendes vorgeben:

- Den zeitbezogenen Erfassungsbereich: das Alter der Daten und das kleinste Zeitintervall, über das die Daten gesammelt werden sollten;
- Den geografischen Erfassungsbereich: geografischer Bereich, aus dem Daten für Prozessmodule gesammelt werden sollten, um das Ziel der Studie zu erfüllen;

- Den technologischen Erfassungsbereich: spezifische Technologie oder Technologiemix;
- Die Präzision: Maß für die Schwankungsbreite der Werte für alle Daten (z. B. Varianz);
- Die Vollständigkeit: prozentualer Anteil eines Flusses, der gemessen oder abgeschätzt wird;
- Die Repräsentativität: qualitative Einschätzung für den Grad, in dem die Datenmenge die reale interessierende Grundgesamtheit widerspiegelt (d. h. geografischer und zeitlicher Bezug sowie technologischer Erfassungsbereich);
- Die Konsistenz: qualitative Einschätzung, ob die Methode der Studie auf die verschiedenen Komponenten der Analyse einheitlich angewendet wird;
- Die Reproduzierbarkeit: qualitative Einschätzung für den Umfang, in dem ein unabhängiger Ersteller mit den Informationen über die Methode und die Datenwerte die in der Studie angegebenen Ergebnisse reproduzieren kann;
- Die Unsicherheit der Information, z. B. Daten, Modelle und Annahmen.

2.3.2 Sachbilanz

Die Sachbilanz umfasst die Datensammlung und Berechnungsprozesse, um relevante In- und Outputs eines Produktsystems zu quantifizieren. Diese In- und Outputs können beispielsweise den Rohstoffverbrauch sowie mit dem System verbundene Emissionen in Luft, Wasser und Boden beinhalten.

Die qualitativen und quantitativen Daten, die in die Sachbilanz einbezogen werden, müssen für jedes Prozessmodul, das innerhalb der Systemgrenzen liegt, erfasst werden.

Die Datensammlung kann ein ressourcenintensiver Prozess sein. Praktische Grenzen der Datenerfassung müssen beim Untersuchungsrahmen berücksichtigt und im Studienbericht dokumentiert werden.

2.3.3 Wirkungsabschätzung

2.3.3.1 Allgemeine Berechnungsmethode

Die Wirkungsabschätzung als Phase einer Ökobilanz zielt darauf ab, die Signifikanz potenzieller Umweltwirkungen auf Basis der Sachbilanz zu ermitteln.

Üblicherweise geht mit diesem Prozess eine Verbindung der erfassten Daten mit ihren spezifischen Umweltwirkungen einher. Die Wirkungsabschätzung besteht aus zwei Teilen:

- (i) verbindliche Bestandteile, z. B. Klassifizierung und Charakterisierung;
- (ii) optionale Bestandteile, z. B. Normierung, Ordnung und Gewichtung.

Die Klassifizierung setzt eine vorherige Auswahl von dem Ziel der Studie entsprechenden Wirkungskategorien und eine Zuordnung der Sachbilanz-Ergebnisse zu den Wirkungskategorien voraus.

Die Charakterisierungsfaktoren werden dann verwendet, um den relativen Beitrag eines Sachbilanz-Ergebnisses auf die Wirkungskategorie zu untersuchen.

Entsprechend dieser Methode sind Wirkungskategorien lineare Funktionen. Sie sind daher, wie in Formel 2.1 dargestellt, unabhängig von der Größenordnung der Umwelteinflüsse:

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i}$$

Formel (2.1)

Dabei ist m_i die Masse des Inventarflusses i und $charact_factor_{cat,i}$ ist der Charakterisierungsfaktor für den Inventarfluss i für die Wirkungskategorie.

Nachfolgend werden die optionalen Bestandteile einer Ökobilanz erläutert:

- Eine „Normierung“ wird normalerweise genutzt, um zu zeigen, wie groß der Beitrag einer Wirkungskategorie zum gesamten Umwelteinfluss ist.
- Bei der „Gewichtung“ werden den für jede Wirkungskategorie normalisierten Indikatoren numerische Zahlen entsprechend ihrem relativen Einfluss zugeordnet. Die Festlegung der Zahlenwerte basiert nur bedingt auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, weshalb ISO 14044 zwischen internen und externen Anwendungsbereichen für Ökobilanzen unterscheidet. Wenn es sich um vergleichende oder veröffentlichte Studien handelt, darf keine Gewichtung vorgenommen werden.
- Bei der Ordnung (Ranking) werden die Wirkungskategorien eingeteilt. Dies kann auf nominaler Basis oder anhand einer Ordinalskala erfolgen.

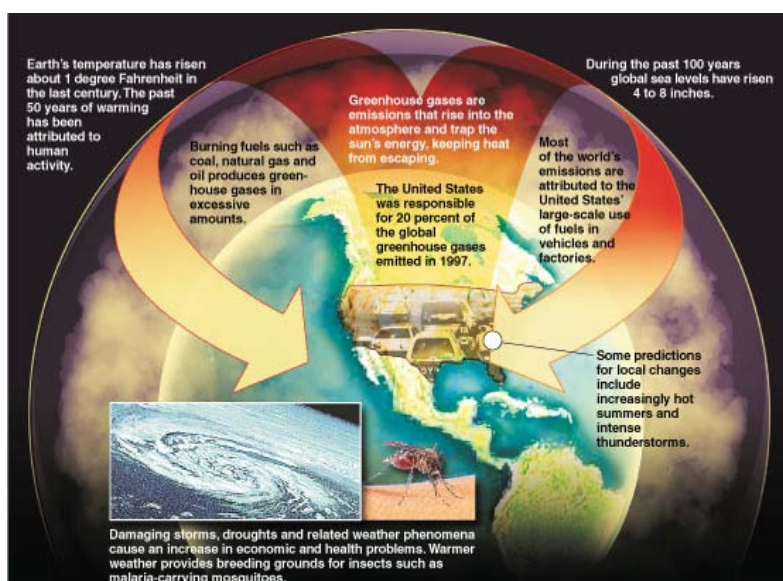
Dieser Bericht bezieht sich auf die verbindlichen Bestandteile einer Ökobilanz. Daher werden die optionalen Teile im Folgenden nicht weiter behandelt.

2.3.3.2 Berechnung der potenziellen Umweltwirkungen

Ziel einer Ökobilanz ist es, die mit den identifizierten In- und Outputs verbundenen Umweltwirkungen zu ermitteln. Die nachfolgenden Absätze enthalten eine kurze Erläuterung der bei Ökobilanzen am häufigsten betrachteten Umweltwirkungen inklusive den Berechnungsmethoden, die bei dem in diesem Dokument beschriebenen vereinfachten Ansatz angewendet werden.

2.3.3.2.1 Treibhauspotenzial (Global Warming Potential - GWP)

Der in Abb. 2.4 dargestellte „Treibhauseffekt“ wird durch infrarotaktive Gase verursacht, die sich in der Erdatmosphäre befinden (z. B. H₂O, CO₂ und O₃). Sie absorbieren die (infrarote) Strahlung, die die Erde verlässt, und reflektieren einen Teil der Wärme. Dies führt zur Erwärmung von Erdoberfläche und unterer Atmosphäre. Die Konzentration dieser Gase, auch als Treibhausgase bekannt, hat sich seit der Industriezeit erhöht und steigert den natürlichen Treibhauseffekt der Erde. Hierdurch steigt die Temperatur der Erdoberfläche, was Besorgnis über potenziell eintretende Klimaänderungen auslöst.



Treibhausgase (THG) sind verschieden: CO₂ ist das häufigste THG. Daneben gibt es viele andere Gase, die zum Klimawandel beitragen. Die Wirkung der THG wird bezeichnet als „Treibhauspotenzial“ (engl. Global Warming Potential - GWP).

Abb. 2.4: Globale Erwärmung (EPS, 2009)

Das GWP ist ein relatives Maß für die äquivalente Menge an CO₂, das erforderlich wäre, um die gleichen Wirkungen von 1 kg eines Treibhausgases (z. B. Methan) über einen bestimmten Zeitraum zu haben. Die GWPs wurden von der Zwischenstaatlichen Gruppe für Klimaveränderungen (IPCC, 2007) für drei Zeithorizonte (20, 100 und 500 Jahre) berechnet. Tabelle 2.1 gibt die entsprechenden Werte für die drei wichtigsten Treibhausgase an. Im gewählten Ansatz wird nur der Zeithorizont von 100 Jahren berücksichtigt.

Tabelle 2.1 – GWPs für bestimmte Zeithorizonte (in kg CO₂-Äqv./kg) (IPCC, 2007)

	20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre
Kohlendioxid (CO ₂)	1	1	1
Methan (CH ₄)	62	25	7
Stickstoffdioxid (N ₂ O)	275	298	156

Die Berechnung des Indikators “globale Erwärmung” erfolgt über:

$$Global\ Warming = \sum_i GWP_i \times m_i$$

Formel (2.2)

Dabei ist m_i die Masse des freigegebenen Stoffes i (in kg). Dieser Indikator wird ausgedrückt in *kg CO₂-Äquivalenten*.

2.3.3.2 Ozonabbaupotenzial (Ozone Depletion Potential - ODP)

Ozonabbauende Gase schädigen die Ozonschicht durch freie radikale Moleküle, die das Ozon zersetzen (O₃).

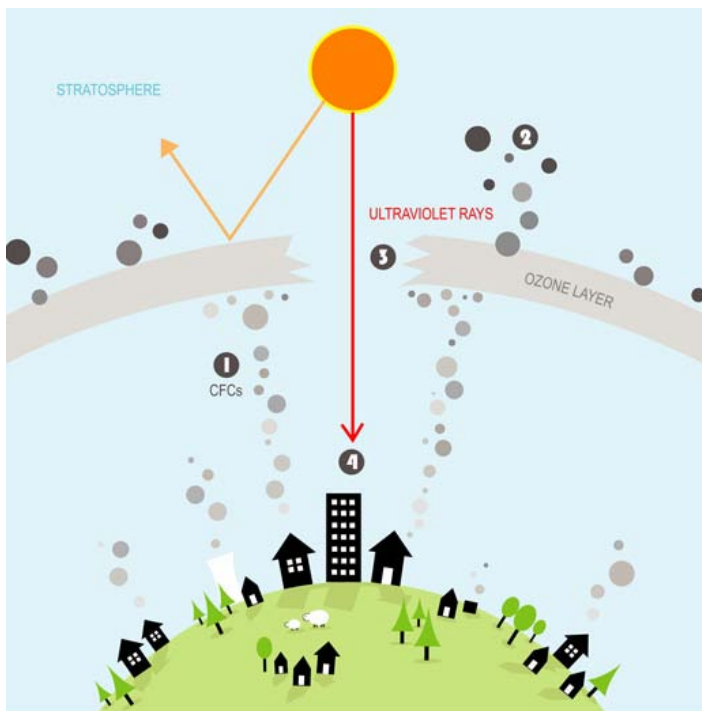


Abb. 2.5: Ozonabbau (Blendspace, 2013)

Die Schädigung der Ozonschicht reduziert ihre Fähigkeit, ultraviolettes Licht (UV) vom Eintritt in die Erdatmosphäre abzuhalten. Hierdurch erhöht sich die Menge von krebserregendem UVB-Licht, das die Erde erreicht.

Dies führt bei Menschen zu gesundheitlichen Problemen (z. B. Hautkrebs oder grauem Star) und Schäden an Tieren und Pflanzen.

Wichtige ozonschädigende Gase sind FCKW, H-FCKW und halogenierte Kohlenwasserstoffe (Halone).

Wachsende Besorgnis in den 1980er Jahren führte zu weltweiten Anstrengungen, um der Zerstörung der Ozonschicht Einhalt zu gebieten. Ihren Höhepunkt erreichten die Anstrengungen im Montreal-Protokoll, in dem viele der stärksten ozonschädigende Gase verboten wurden.

Das Ozonabbaupotenzial eines Stoffes wird auf Basis des Referenzstoffes Trichlorfluormethan (CFC-11) ausgedrückt. Das Charakterisierungsmodell wurde von der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization - WMO) entwickelt und definiert die Ozonabbaupotenziale verschiedener Gase. Die ODPs für ausgewählte Stoffe werden unter der Annahme eines stationären Zustandes in Tabelle 2.2 angegeben (Heijungs et al., 1999).

Tabelle 2.2 – OPD für ausgewählte Stoffe (in kg CFC-11-Äqv./kg) (Heijungs et al., 1999)

	stationärer Zustand (t ≈:)
CFC-11	1
CFC-10	1,2
Halon 1211	6,0
Halon 1301	12,0

Somit wird die Bestimmung des Indikators „Ozonabbau“ gegeben durch:

$$\text{Ozonabbau} = \sum_i \text{ODP}_i \times m_i$$

Formel (2.3)

Dabei ist m_i die Masse des freigesetzten Stoffes i (in kg). Das Ozonabbaupotenzial wird ausgedrückt in *kg CFC-11-Äquivalenten*.

2.3.3.2.3 Versauerungspotenzial (Acidification Potential - AP)

Versauerung ist der Prozess, bei dem luftverschmutzende Stoffe (vor allem Ammoniak (NH_3), Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxide (NO_x)) in sauren Regen umgewandelt werden. Abb. 2.6 veranschaulicht diesen Prozess. Die versauernden Stoffe werden in die Atmosphäre emittiert und vom Wind transportiert, bis sie als saure Partikel oder saurer Regen/Schnee wieder auf die Erdoberfläche gelangen. Die - oft weit von ihrer originären Entstehung entfernt - auf der Erde auftreffenden Partikel können das dort vorhandene Ökosystem massiv schädigen.

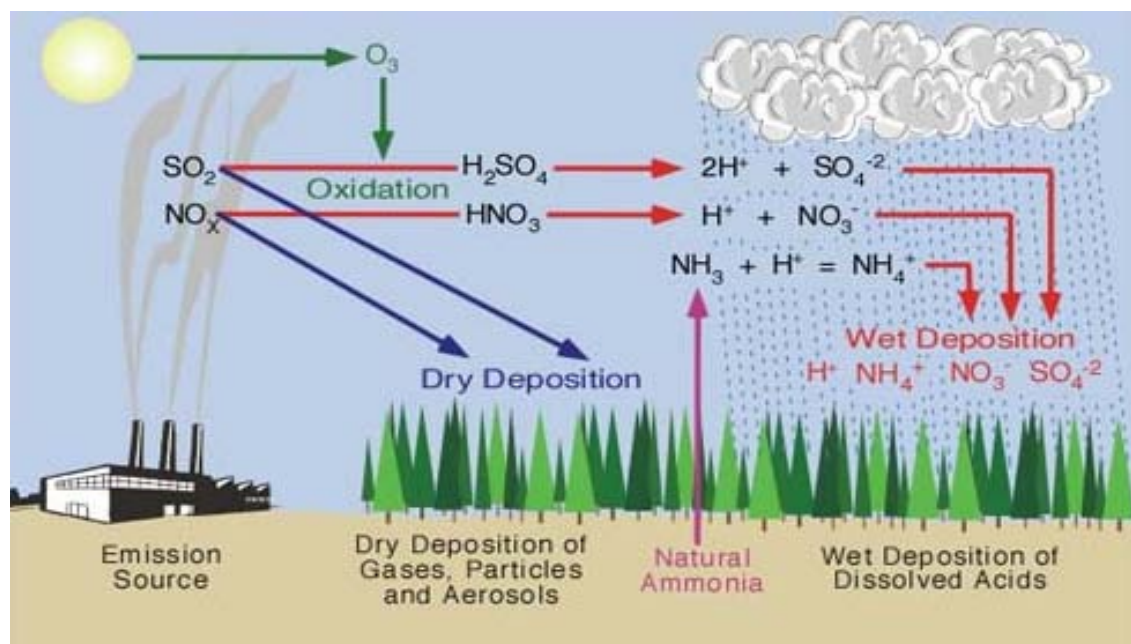


Abb. 2.6: Versauerung (The energy library, 2013)

Das Versauerungspotenzial wird unter anderem daran gemessen, wie gut ein Stoff die den Versauerungseffekt auslösenden H^+ -Ionen freisetzen kann. Alternativ kann die Summe aller Gase aus dem Herstellungsprozess auch als SO_2 -Äquivalent angegeben werden.

Der verwendete Charakterisierungsfaktor basiert auf dem Modell RAINS-LCA, das auch Hintergrundablagerungen und -effekte berücksichtigt (Huijbregts, 2001). Die durchschnittlichen europäischen Charakterisierungsfaktoren für die Versauerung werden in der nachstehenden Tabelle angegeben.

Tabelle 2.3 – Versauerungspotenziale (in $kg\ SO_2$ -Äqv.) (Huijbregts, 2001)

	Ammoniak (NH_3)	Stickoxide (NO_x)	Schwefeldioxid (SO_2)
AP_i	1,60	0,50	1,20

Der Indikator „Versauerung“ wird demnach berechnet mit:

$$Versauerung = \sum_i AP_i \times m_i$$

Formel (2.4)

Dabei ist m_i die Masse des freigesetzten Stoffes i (in kg). Dieser Indikator wird ausgedrückt in $kg\ SO_2$ -Äquivalenten.

2.3.3.2.4 Eutrophierungspotenzial (Eutrophication Potential - EP)

Nährstoffe, z. B. Nitrate und Phosphate, werden dem Boden in der Regel durch Düngung zugegeben, um das Wachstum von Pflanzen zu stimulieren. Diese Nährstoffe sind lebenswichtig, aber wenn sie in empfindliche Regionen gelangen, kann diese ungewollte Düngung zu übermäßigem Wachstum von Pflanzen oder Algen führen. Diese können wiederum andere Organismen ersticken, wenn sie absterben und zerfallen. Daher kann die Eutrophierung als Überdüngung von Gewässern definiert werden (vgl. Abb. 2.7). Sie schädigt Flora und Fauna und führt zum Absterben von Arten, die nährstoffarme Umgebungen benötigen. Dies gefährdet die Biodiversität dieser Umgebungen und bringt auch Folgewirkungen für nicht im Wasser lebende Tiere und Menschen, die auf diese Ökosysteme angewiesen sind, mit sich. Das Eutrophierungspotenzial wird in den Referenzeinheiten kg Stickstoff- oder Phosphat-Äquivalenten gemessen. Die Hauptursachen für die Überdüngung sind stickstoffhaltige Verbindungen, z. B. Nitrate, Ammoniak, Salpetersäure oder Phosphorsäure-Verbindungen.

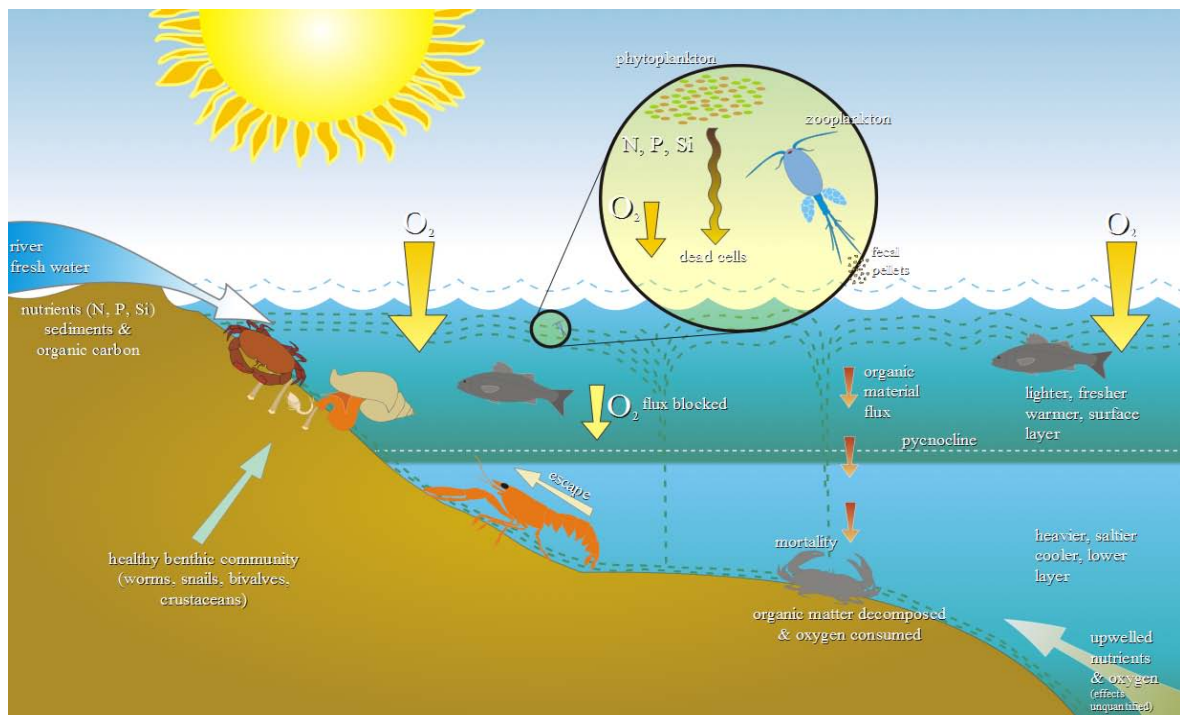


Abb. 2.7: Eutrophierung (Wikipedia, 2013a)

In Tabelle 2.4 werden die Charakterisierungsfaktoren für ausgewählte Substanzen unter Phosphat als Referenzsubstanz angegeben (Heijungs et al., 1999).

Tabelle 2.4 – Eutrophierungspotenziale (in kgPO_4^{3-} -Äqv.) (Heijungs et al., 1999)

	Ammoniak (NH_3)	Stickoxide (NO_x)	Nitrat (N)	Phosphat (P)
EPI	0,35	0,13	0,10	1,00

Der Indikator „Eutrophierung“ wird berechnet mit:

$$\text{Eutrophierung} = \sum_i EP_i \times m_i$$

Formel (2.5)

Dabei ist m_i (in kg) die Masse der freigesetzten Substanz i . Dieser Indikator wird ausgedrückt in kg PO_4^{3-} -Äquivalenten.

2.3.3.2.5 Photochemisches Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential - POCP)

In stickoxidhaltigen (NO_x) Atmosphären können Schadstoffe und flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds - VOCs) in Gegenwart von Sonnenlicht Ozon und andere Luftschadstoffe erzeugen. Obwohl Ozon in der hohen Atmosphäre entscheidend ist, um vor ultravioletter (UV) Strahlung zu

schützen, verursacht bodennahes Ozon vielfältige Auswirkungen (z. B. Ernteschäden) und wird mit erhöhtem Auftreten von Asthma und anderen Atemwegserkrankungen in Verbindung gebracht.

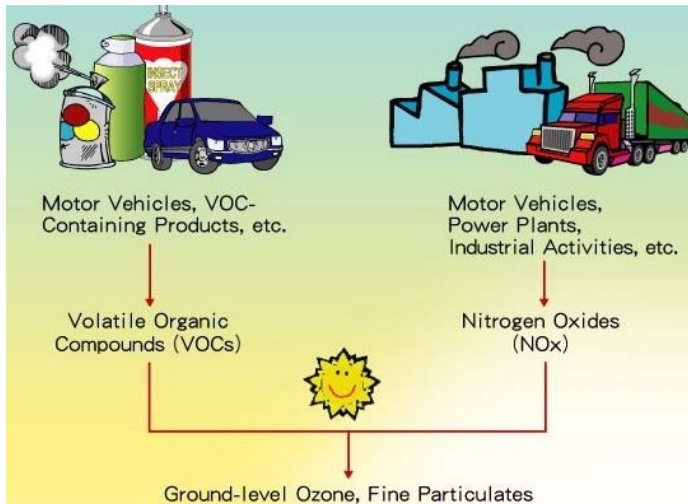


Abb. 2.8: Photochemische Ozonbildung (EPD, 2013)

Die häufigste Erscheinungsform der Auswirkungen von zum POCP beitragenden Gasen ist der Smog, der im Sommer über großen Städten wie Los Angeles und Peking beobachtet wird. Die Hauptquelle der NO_x-Emissionen ist die Kraftstoffverbrennung.

VOCs werden meist von Lösungsmitteln, die u. a. in Farben und Lacken eingesetzt werden, abgegeben.

Die POCP-Wirkungskategorie ist ein Maß für die relative Fähigkeit einer Substanz, Ozon in Gegenwart von NO_x und Sonnenlicht zu erzeugen. Das POCP wird mit der Referenzsubstanz Ethen ausgedrückt. Die Charakterisierungsfaktoren für POCP für Europa wurden von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (UNECE) entwickelt.

POCPs wurden für zwei Szenarien berechnet (Heijungs et al., 1999):

- (i) ein Szenario mit einer relativ hohen Grundkonzentration von NO_x;
- (ii) ein Szenario mit einer relativ niedrigen Grundkonzentration von NO_x.

Diese beiden Charakterisierungsfaktoren werden in Tabelle 2.5 für einige ausgewählte Stoffe angegeben.

Tabelle 2.5 – POCP für verschiedene Konzentrationen von NO_x und für einige Stoffe (in kg C₂H₄-Äqv./kg) (Heijungs et al., 1999)

	hohe-NO _x POCPs	niedrige-NO _x POCPs
Acetaldehyd (CH ₃ CHO)	0,641	0,200
Butan (C ₄ H ₁₀)	0,352	0,500
Kohlenmonoxid (CO)	0,027	0,040
Ethin (C ₂ H ₂)	0,085	0,400
Methan (CH ₄)	0,006	0,007
Stickoxid (NO _x)	0,028	keine Daten
Propan (C ₃ H ₆)	1,123	0,600
Schwefeloxid (SO _x)	0,048	keine Daten
Toluol (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,637	0,500

Somit ist die Bestimmung des Indikators „Ozonbildung“ gegeben durch:

$$\text{Photo-oxidant formation} = \sum_i \text{POCP}_i \times m_i$$

Formel (2.6)

Dabei ist m_i die Masse der freigesetzten Substanz i (in kg). Dieser Indikator wird ausgedrückt in *kg Ethen-Äquivalenten (C₂H₄)*. Im übernommenen Modell werden nur die Charakterisierungsfaktoren für das Szenario mit der hohen Grundkonzentration von NO_x berücksichtigt.

2.3.3.2.6 Abiotischer Ressourcenverbrauch

Die Indikatoren zum abiotischen Ressourcenverbrauch zielen darauf ab, die abnehmende Verfügbarkeit von nicht-erneuerbaren Ressourcen als Ergebnis ihrer Gewinnung und der zugrunde liegenden Knappheit zu erfassen. Zwei Arten von Indikatoren werden dabei berücksichtigt:

- abiotische Abbaukomponenten, die sich mit der Gewinnung knapper Stoffe (und deren Erze) befassen;
- abiotischer Abbau von Energie/fossilen Brennstoffen, der sich mit der Nutzung fossiler Brennstoffe als Brennstoff oder Rohstoff befasst.



Abb. 2.9: Abiotischer Ressourcenverbrauch (Wikipedia, 2013b)

Der abiotische Ressourcenverbrauch für Stoffe ($\text{ADP}_{\text{Stoffe}}$) wird für jeden Ressourcenabbau auf der Basis der verbleibenden Reserven und der Abbaurate bestimmt. Das ADP basiert auf der Gleichung $\text{Produktion}/\text{Gesamtreserven}$, die dem Referenzstoff Antimon (Sb) gegenübergestellt wird (Guinée et al., 2002).

Verschiedene Maßnahmen schöpfen die Reserven der Erdkruste aus. Daher wird der abiotische Ressourcenverbrauch (Stoffe) der Ressource i (ADP $_i$) durch das Verhältnis zwischen der Menge der extrahierten Ressource und den abbaubaren/wiederherstellbaren Reserven dieser Ressource angegeben, ausgedrückt in kg der Referenzressource Antimon. Die Charakterisierungsfaktoren für einige ausgewählte Ressourcen werden in Tabelle 2.6 angegeben.

Tabelle 2.6 – Beispiele abiotischer Ressourcenverbrauch (in kg Sb-Äqv./kg) (Guinée et al., 2002)

Ressource	ADP Stoffe
Aluminium	1,09E-09
Cadmium	1,57E-01
Kupfer	1,37E-03
Eisen	5,24E-08
Blei	6,34E-03

Somit wird der Indikator „abiotischer Ressourcenverbrauch (Stoffe)“ berechnet mit:

$$Abiotic\ Depletion = \sum_i ADP_i \times m_i$$

Formel (2.7)

Dabei ist m_i die Menge des abgebauten Stoffes i (in kg). Dieser Indikator wird ausgedrückt in *kg Antimon* (Referenzressource).

Fossile Brennstoffe wurden ursprünglich in der gleichen Weise bewertet, seit 2010 werden sie aber etwas anders berechnet. In diesem Fall wird eine absolute Messgröße betrachtet, die auf dem Energiegehalt des fossilen Brennstoffs basiert (Guinée et al., 2002). Dies berücksichtigt nicht die relative Knappheit der verschiedenen fossilen Energieträger, da fossile Brennstoffe weitgehend veränderbar sind. In Wirklichkeit aber variieren diese nur zwischen 17% Kohle (am Häufigsten) und Gas (am Knappsten). Der Indikator “ADP - fossile Energieträger” wird in MJ ausgedrückt.

2.3.4 Interpretation

Die Interpretation ist der letzte Schritt einer Ökobilanz (LCA). Bei ihr werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zusammengefügt. Das Hauptziel ist die Formulierung von Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der LCA. Zusätzlich sollten die Ergebnisse vorheriger Ökobilanz-Stufen und die während der Berechnung getroffenen bzw. verwendeten Annahmen, Modelle, Parameter und Daten analysiert werden.

2.3.5 Veranschaulichendes Beispiel

Um die oben beschriebenen verschiedenen Schritte einer Ökobilanz zu zeigen, wird nachfolgend ein kleines Beispiel dargestellt. Es wird angenommen, dass bei der Herstellung von 1 kg Dämmstoff die nachfolgenden Emissionen in der Sachbilanz aufgenommen werden:

Tabelle 2.7 – Angenommene Emissionen bei der Herstellung von 1 kg Dämmstoff

Emissionen	Wert (in kg)
Kohlenmonoxid (CO)	0,12
Kohlendioxid (CO ₂)	0,60
Ammoniak (NH ₃)	0,01
Methan (CH ₄)	0,05
Stickoxide (NO _x)	1,02
Phosphor (P)	0,35
Schwefeldioxid (SO ₂)	0,10

In der Wirkungsanalyse, werden die folgenden Umweltwirkungen betrachtet:

- (i) Treibhauspotenzial (Global Warming Potential - GWP),
- (ii) Versauerungspotenzial (Acidification Potential - AP),
- (iii) Eutrophierungspotenzial (Eutrophication Potential - EP).

Die Charakterisierungsfaktoren der Emissionen sind:

Tabelle 2.8 – Charakterisierungsfaktoren für ausgewählte Umweltwirkungen

	GWP (kg CO₂-Äqv.)	AP (kg SO₂-Äqv.)	EP (kg PO₄-Äqv.)
Kohlenmonoxid (CO)	1,53	-	-
Kohlendioxid (CO ₂)	1,00	-	-
Ammoniak (NH ₃)	-	1,60	0,35
Methan (CH ₄)	25,00	-	-
Stickoxide (NO _x)	-	0,50	0,13
Phosphor (P)	-	-	3,06
Schwefeldioxid (SO ₂)	-	1,20	-

Die Ergebnisse jeder Umweltwirkung werden als Produkt jeder Emission mit ihrem jeweiligen Charakterisierungsfaktor errechnet (z. B. für GWP: $0,12 \times 1,53 + 0,60 \times 1,00 + 0,05 \times 25 = 1,93$ kg CO₂-Äqv.). Die entsprechenden Ergebnisse sind:

Tabelle 2.9 – Endergebnisse der ausgewählten Umweltindikatoren

GWP (kg CO₂-Äqv.)	AP (kg SO₂-Äqv.)	EP (kg PO₄-Äqv.)
1,93	0,65	1,21

2.4 Europäische Normen für die Ökobilanzierung von Gebäuden

2.4.1 CEN/TC 350

Das europäische Normungskomitee (CEN) wurde 2004 beauftragt, standardisierte Methoden für die Bewertung der integrierten Umwelteffizienz von Gebäuden zu entwickeln. CEN/TC 350 erweiterte dieses Mandat auf das Thema Nachhaltigkeit und entschied sich für einen Lebenszyklusansatz als Bewertungsbasis. Daher entwickelte das Technische Komitee Normen, technische Berichte und Spezifikationen, die die Methodik und Indikatoren für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden enthalten.

Der vom CEN/TC 350 erstellte normative Rahmen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden (EN 15643-1, 2010) deckt ökologische, ökonomische und soziale Aspekte ab, wie in Abb. 2.10 dargestellt.

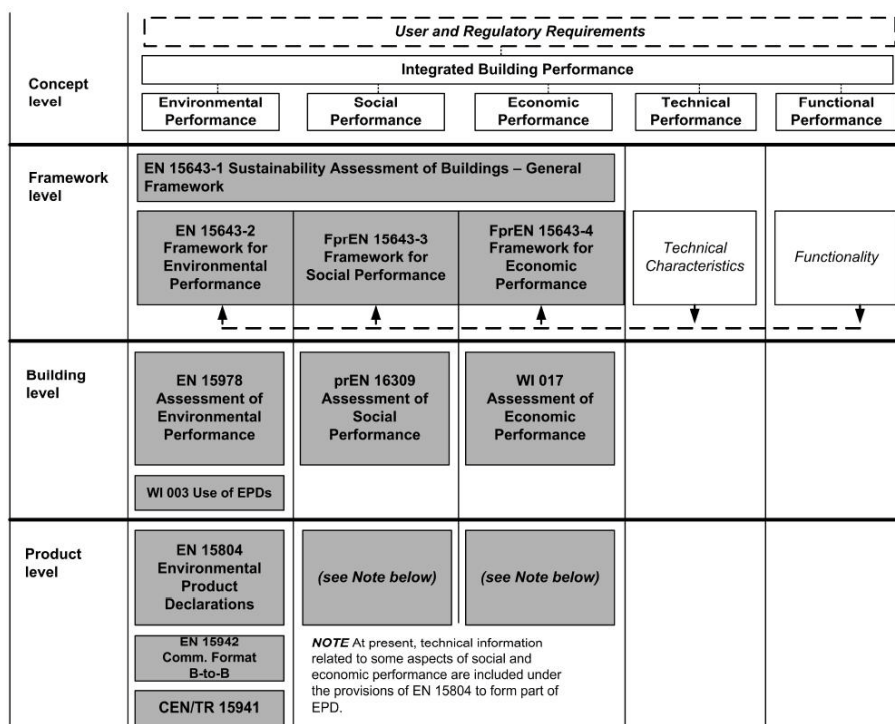


Abb. 2.10: Arbeitsprogramm des CEN/TC 350 (EN 15643-1, 2010)

Wie aus Abb. 2.10 hervorgeht, arbeitet das TC auf vier Ebenen (Konzept, Rahmen, Gebäude, Produkt) und in fünf Leistungsbereichen (Umwelt, Soziales, Ökonomie, Technik, Funktion). Der ökologische Aspekt wurde bisher am weitesten entwickelt. Hier wurden bereits Normen auf Gebäude- und Produktebene veröffentlicht.

Der in diesem Projekt übernommene Lebenszyklusansatz folgt den beiden für die ökologische Bewertung entwickelten Normen EN 15978:2011 (Gebäudeebene) und EN 15804:2012 (Produktebene).

2.4.2 Gebäudeebene (EN 15978)

EN 15978 (2011) beinhaltet Berechnungsregeln für die ökologische Leistung von Neu- und Bestandsbauten auf Grundlage eines Lebenszyklusansatzes. Sie soll bei Entscheidungsprozessen und der Dokumentation der ökologischen Bewertung auf Gebäudeebene unterstützen. Für einen vollständigen Überblick über die Methodik sollte die Norm herangezogen werden. Dieser Bericht konzentriert sich nur auf das funktionelle Äquivalent, die Lebenszyklusphasen und die Umweltindikatoren.

2.4.2.1 Funktionelles Äquivalent

Das funktionelle Äquivalent wird gemäß Norm definiert mit „als Bezugsgröße dienende quantifizierte funktionelle und/oder technische Anforderungen an ein Gebäude oder ein zusammengesetztes Bauteil“. Vergleiche von Gebäuden oder Systemen sind nur erlaubt, wenn ihre Funktionen identisch sind. Ein funktionelles Äquivalent eines Gebäudes sollte mindestens die folgenden Aspekte beinhalten:

- (i) Gebäudeart (z. B. Wohnen, Büro etc.);
- (ii) Verwendung des Gebäudes;
- (iii) relevante technische und funktionale Anforderungen;
- (iv) erforderliche Nutzungsdauer.

2.4.2.2 Lebenszyklusphasen

Die Systemgrenzen stellen den Rahmen der Ökobilanz dar, z. B. die in der Analyse berücksichtigten Prozesse. Entsprechend der Norm schließt dies „alle vor- und nachgeschalteten Prozesse mit ein, die zur Einrichtung und Aufrechterhaltung der Funktion(en) des Gebäudes von der Ressourcengewinnung bis hin zur endgültigen Entsorgung erforderlich sind“.

Natürlich sind zur Bewertung der Umweltleistung auf Gebäudeebene Informationen zu den im Gebäude integrierten Produkten erforderlich. Diese Informationen sollten konsistent sein, weshalb sie den Kategorieregeln der EN 15804 folgen müssen (siehe nächstes Unterkapitel).

Der Lebenszyklus eines Gebäudes wird nach EN 15978 modular eingeteilt:

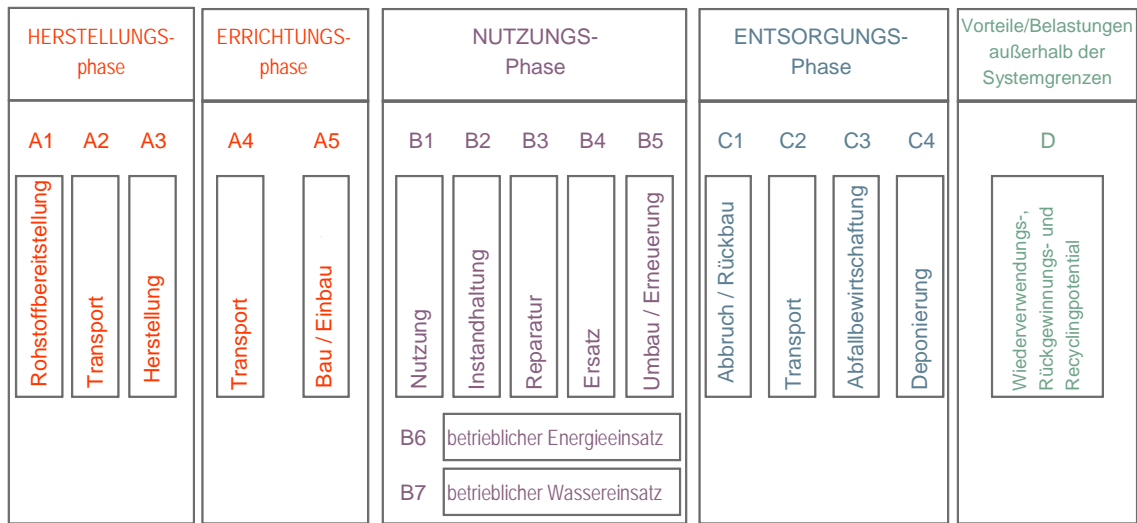


Abb. 2.11: Module im Gebäudelebenszyklus (EN 15978, 2011)

Die Herstellungsphase beinhaltet die Module A1-A3, die Errichtungsphase die Module A4+A5, die Nutzungsphase die Module B1-B7, die Entsorgungsphase die Module C1-C4 und Modul D beinhaltet Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen. Die einzelnen Module werden nachfolgend kurz beschrieben.

2.4.2.2.1 Herstellungsphase

Die Herstellungsphase beinhaltet die Module A1 bis A3. Die Systemgrenze zur Umwelt wird so gewählt, dass Prozesse, die Material und Energie liefern, einbezogen werden. Weiterhin werden Herstellung, Transporte zum Werkstor sowie die Behandlung der aus diesen Prozessen entstehenden Abfälle einbezogen. Die Phase beinhaltet:

- ✓ A1 - Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen; Wiederverwendung von Produkten oder Materialien aus einem früheren Produktsystem; Verarbeitung von Sekundärmaterialien als Input für die Herstellung des Produktes;
- ✓ A2 - Transport bis zu den Werkstoren und interne Transporte;
- ✓ A3 - Produktion von Hilfsstoffen, Herstellung von Produkten und Nebenprodukten und die Herstellung der Verpackung.

2.4.2.2.2 Errichtungsphase

Die Errichtungsphase (Bauphase) beinhaltet die Informationsmodule für:

- ✓ A4 - Transporte vom Werkstor zur Baustelle;

- ✓ A5 - Einbau des Produktes in das Gebäude inklusive Herstellung und Transport von Hilfsmaterialien sowie Energie- und Wasserbedarf für die Installation oder den Baustellenbetrieb. Dies beinhaltet auch die Bearbeitung des Produktes vor Ort.

2.4.2.2.3 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase beinhaltet zwei Arten von Informationsmodulen. Auf die Bausubstanz bezogene Module (B1-B5) und auf den Betrieb des Gebäudes bezogene Module (B6+B7):

- ✓ B1 - Nutzung der eingebauten Produkte im Hinblick auf etwaige Emissionen in die Umwelt, die sich aus Gebäudekomponenten und den Bauarbeiten während ihrer normalen (d.h. erwarteten) Verwendung ergeben;
- ✓ B2 - Die Wartung umfasst alle geplanten technischen und damit verbundenen administrativen Maßnahmen während der Nutzungsdauer des Produktes, um seine funktionale und technische Leistungsfähigkeit beizubehalten und seine optische Qualität sicherzustellen;
- ✓ B3 - Die Reparatur umfasst alle technischen und damit verbundenen administrativen Maßnahmen während der Nutzungsdauer eines Bauproduktes oder seiner Teile, um es in einen einwandfreien Zustand zurückzusetzen und seine geforderte funktionale und technische Qualität wieder herzustellen;
- ✓ B4 - Der Ersatz deckt alle technischen und damit verbundenen administrativen Maßnahmen über die Nutzungsdauer eines Gebäudes ab, mit denen ein Bauprodukt durch Ersatz wieder seine funktionale oder technische Leistungsfähigkeit zurückerhält;
- ✓ B5 - Umbau und Erneuerung decken alle technischen und administrativen Maßnahmen während der Nutzungsdauer eines Gebäudes ab, die dazu dienen, das Gebäude wieder in einen Zustand zu versetzen, in dem es seine geforderte Funktion erfüllen kann;
- ✓ B6 - Der betriebliche Energieeinsatz umfasst den Energiebedarf aller im Gebäude eingebauten technischen Geräte inklusive aller verbundenen Umweltaspekte und -einflüsse (inkl. Abfälle), die sich aus der Herstellung und dem Transport der Energie ergeben;
- ✓ B7 - Der betriebliche Wassereinsatz für die im Gebäude eingebauten Geräte umfasst auch die Umweltaspekte und -einflüsse aus dem Lebenszyklus von Wasser inkl. Produktion, Transport und Abwasserbehandlung.

2.4.2.2.4 Entsorgungsphase

Die Entsorgungsphase eines Gebäudes beinhaltet alle Outputs aus Demontage, Rückbau und Abriss. Sie beinhaltet vier optionale Informationsmodule:

- ✓ C1 - Rückbau inklusive Demontage oder Abriss der Produkte aus einem Gebäude inklusive Vorsortierung der Materialien auf der Baustelle;
- ✓ C2 - Transport der entsorgten Produkte als Teil der Abfallbehandlung, z. B. zu einer Recyclinganlage oder Transport der Abfälle zur Deponie;
- ✓ C3 - Abfallbehandlung, z. B. die Sammlung der Abfallfraktionen vom Rückbau und die Abfallbehandlung von Materialflüssen für die Wiederverwendung, das Recycling oder die Energierückgewinnung.
- ✓ C4 - Entsorgung einschließlich der physikalischen Vorbehandlung und der Verwaltung der Deponie.

2.4.2.2.5 Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen

Das Informationsmodul D beinhaltet alle Netto-Gutschriften und Netto-Lasten, die sich aus der Wiederverwendung von Produkten, dem Recycling von Materialien und der sinnvollen Nutzung von Energieträgern ergeben, die das Produktsystem beispielsweise als Sekundärmaterialien oder -brennstoffe verlassen.

2.4.2.3 Wirkungsabschätzung

Bei der Wirkungsabschätzung werden gem. EN 15978 zwei Arten von Umweltkategorien beachtet: Parameter, die Umweltwirkungen beschreiben, und Parameter, die In- und Output-Stoffflüsse beschreiben.

2.4.2.3.1 Indikatoren zur Beschreibung der Umweltwirkungen

Wie aus Tabelle 2.10 hervorgeht, werden zur Beschreibung der Wirkungen auf die natürliche Umwelt die bereits oben genannten sechs Parameter angegeben:

Tabelle 2.10 – Parameter zur Beschreibung der Umweltwirkungen (EN15978)

Parameter	Einheit
Treibhauspotenzial, GWP	kg CO ₂ -Äqv.
Ozonabbaupotenzial, ODP	kg CFC 11-Äqv.
Versauerungspotenzial, AP	kg SO ²⁻ -Äqv.
Eutrophierungspotenzial, EP	kg (PO ₄) ³⁻ -Äqv.
Photochemisches Ozonbildungspotenzial, POCP	kg Ethen-Äqv.
abiotischer Ressourcenverbrauch für Stoffe, ADP_Stoffe	kg Sb-Äqv.
abiotischer Ressourcenverbrauch von fossilen Energieträgern, ADP_fossile Energieträger	MJ

2.4.2.3.2 In- und Output-Stoffflüsse beschreibende Parameter

Einige zusätzliche Parameter beschreiben In- und Output-Stoffflüsse. Hierzu gehören unter anderem die in Tabelle 2.11 dargestellten Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes. Sie machen Angaben zur Nutzung von erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie und dem Wassereinsatz. Ihre Berechnung erfolgt direkt aus den Input-Flüssen der Sachbilanz.

Tabelle 2.11 – Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes (EN15978)

Parameter	Einheit
Einsatz erneuerbarer Primärenergie ohne die erneuerbaren Primärenergieträger, die als Rohstoffe verwendet werden	MJ, unterer Heizwert
Einsatz der als Rohstoff verwendeten, erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
Einsatz nicht ern. Primärenergie ohne die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
Einsatz der als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger	MJ, unterer Heizwert
Einsatz von Sekundärstoffen	kg
Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ
Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen	m ³

Auch die in Tabelle 2.12 bzw. Tabelle 2.13 dargestellten Parameter zur Beschreibung von Abfallkategorien und Output-Flüssen basieren direkt auf den Input-Stoffflüssen der Sachbilanz.

Tabelle 2.12 – Parameter zur Beschreibung von Abfallkategorien (EN15978)

Parameter	Einheit
gefährliche Abfälle zur Deponierung	kg
entsorgte nicht gefährliche Abfälle	kg
entsorgter radioaktiver Abfall	kg

Tabelle 2.13 – Sonstige Umweltinformationen, die Output-Stoffflüsse beschreiben (EN15978)

Parameter	Einheit
Komponenten für die Wiederverwendung	kg
Stoffe zum Recycling	kg
Stoffe für die Energierückgewinnung	kg
exportierte Energie	MJ für jeden Energieträger

2.4.3 Produktebene (EN 15804)

Auf Produktebene definiert die Norm EN 15804 die Produktkategorieregeln für die Erstellung von Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declarations - EPDs) für Bauprodukte. EPDs sind Typ-III-Umweltdeklarationen nach ISO 14025:2006 und oftmals gute Quellen für Umweltdaten für Lebenszyklusanalysen. Eine EPD beinhaltet unter anderem eine bestimmte Art einer Ökobilanz, die auf Grundlage der Produktkategorieregeln (Product Category Rules - PCR) entwickelt wurde (vgl. Abb. 2.12). Für Bauprodukte können viele PCRs verwendet werden (CPA, 2012), Vergleiche von EPDs sind aber nur möglich, wenn diese auf derselben PCR basieren.



Abb. 2.12: EPD-Prozess, wie in CPA (2012) beschrieben

Das Ziel der gemeinsamen Regeln in EN 15804 ist es, dem Gutachter konsistente, vergleichbare und zuverlässige Informationen zu liefern, die eine Aggregation auf Gebäudeebene zulassen. Die Rechenregeln für Ökobilanzen auf der Materialebene ähneln denen oben auf Gebäudeebene beschriebenen. Der Rahmen der Ökobilanz auf Materialebene kann der gleiche wie auf Gebäudeebene sein (vgl. Abb. 2.11). Allerdings ist nach EN 15804 nur die Deklaration der Herstellungsphase (Module A1-A3) verpflichtend, alle anderen Module können optional deklariert werden.

Auch in dieser Norm wird eine funktionale Einheit als Referenzgrundlage für die Normierung der Ökobilanzen von Bauprodukten verwendet. Zusätzlich wird eine weitere Einheit definiert: die deklarierte Einheit. Diese kann als Ersatz der funktionalen Einheit verwendet werden, wenn die Funktion eines Produktes auf Gebäudeebene nicht angegeben oder unbekannt ist.

2.5 Andere Normen und Vorschriften (vorwiegend für die Nutzungsphase)

Wie erwähnt, ordnet EN15978 (2011) alle potenziellen Umweltwirkungen, die mit dem Gebäude im Zusammenhang stehen, in einem modularen System an. Modul B6 entspricht dem betrieblichen Energieeinsatz, also der Energie für den Betrieb der Gebäudetechnik. Darin enthalten ist der Energiebedarf für die Raumheizung und -kühlung, Warmwasser, Lüftung und Beleuchtung inklusive Energie für Pumpen, Kontrolle und Automatisierung. Allerdings beinhaltet EN 15978 selbst keine Regeln für die Energieberechnung. Diese muss jedoch mit der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und mit nationalen Vorschriften übereinstimmen.

Die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist das Hauptrechtsinstrument auf EU-Ebene, um energieeffiziente Gebäude zu erzielen.

Die vier Schlüsselemente sind:

- ✓ Gemeinsame Methode zur Berechnung der integrierten Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden;
- ✓ Mindeststandards für die Energieeffizienz von Neubauten und umfangreich renovierten Bestandsgebäuden;
- ✓ Systeme für Energieausweise von Gebäuden und, bei öffentlichen Bauten, öffentliche Darstellung der Ausweise und anderer relevanter Informationen;
- ✓ Regelmäßige Inspektion von Heizkesseln und zentralen Klimaanlage in Gebäuden und eine Überprüfung der Heizungsanlagen, deren Kessel älter als 15 Jahre sind.

Die in 2010 überarbeitete Richtlinie bietet den Rechtsrahmen für die Verschärfung nationaler Vorschriften und legt fest, dass alle Neubauten ab 2020 im Niedrigstenergie-Standard errichtet werden müssen. Beispielhafte Schlüsselfunktionen dieser Gebäude werden in Abb. 2.13 dargestellt.

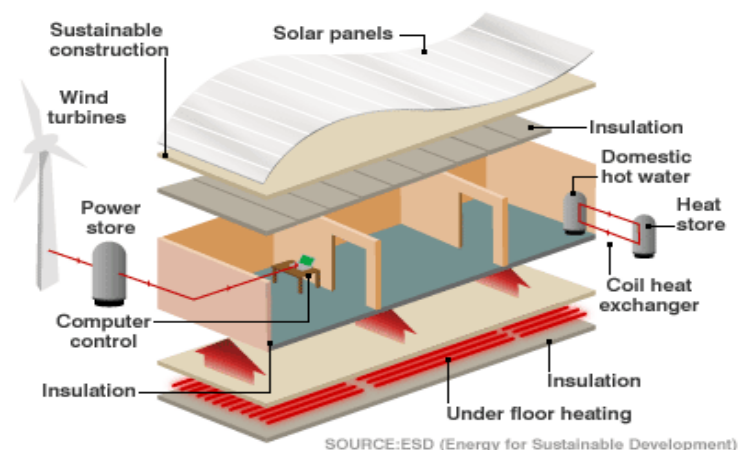


Abb. 2.13: Schlüsselfunktionen Niedrigstenergie-Gebäude

Abgesehen von den allgemeinen Rahmenbedingungen gibt auch diese Richtlinie keine Berechnungsmethode vor, und jedes Mitgliedsland der EU kann diese selbst wählen. Die meisten Länder übernehmen hierbei bis zu einem gewissen Grad CEN- oder ISO-Normen. In diesem Zusammenhang sind daher zwei weitere Normen von Bedeutung:

- (i) ISO 13790 (2008), die alle Aspekte der in thermischen Berechnungen beteiligten Komponenten abdeckt und Korrelationsfaktoren bietet, um dynamische thermische Effekte zu berücksichtigen,
- (ii) EN 15316-3-1 (2007), die sich mit dem Energiebedarf für die Warmwasserbereitung befasst.

3 VEREINFACHTE METHODEN ZUR GEBÄUDEBEWERTUNG

3.1 Einführung

An den Bausektor werden zunehmend Nachhaltigkeitsanforderungen gestellt. Allerdings sind die Beteiligten nicht immer ausreichend geschult, um die Umweltleistung von Gebäuden und Bauprodukten zu analysieren.

Der Rechtsrahmen für die thermische Leistung von Gebäuden besteht bereits seit einigen Jahren, und viele Architekten haben ein umfangreiches Wissen in diesem Bereich. Andererseits sind Themen wie die graue Energie und der CO₂-Fußabdruck von Baustoffen bislang weniger bekannt, werden aber zunehmend in Ausschreibungen integriert. Wenige Baubeteiligte haben Erfahrung in beiden Bereichen.

Um die Umsetzung der Lebenszyklusanalyse im Gebäudebereich zu fördern, werden in diesem Kapitel zwei vereinfachte Ansätze vorgestellt:

- (i) ein auf Makro-Komponenten basierender Ökobilanzierungs-Ansatz;
- (ii) ein Ansatz für die Berechnung des Gebäudeenergiebedarfs für die Raumheizung und -kühlung sowie die Warmwasserproduktion.

Beide Ansätze wurden im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes *SB_Steel* (2014) entwickelt und basieren auf den Grundsätzen der europäischen Normen EN 15978 und EN 15804. Nachstehend wird als erstes der Ansatz für die Ökobilanzierung beschrieben, anschließend folgt der vereinfachte Ansatz für die Energieberechnung.

3.2 Algorithmus für die Ökobilanz auf Grundlage von Makro-Komponenten

Die interne und externe Bausubstanz spielt eine wichtige Rolle bei dem Verhalten eines Gebäudes hinsichtlich seines Energieverbrauchs und seiner Umweltbelastungen. Dies führte zur Schaffung von vorkonfektionierten Lösungen für die Hauptbauteile eines Gebäudes: die Makro-Komponenten. Makro-Komponenten sind vordefinierte Zusammenstellungen von verschiedenen Materialien, die zusammen immer die gleiche Gebäudeeinheit bilden (Gervásio et al., 2014).

Für jedes Bauteil wurden verschiedene Lösungen definiert. Das Modell für auf Makro-Komponenten basierende Ökobilanzen eines Gebäudes wird in den nachstehenden Absätzen erläutert.

3.2.1 Grundlegende Schritte

3.2.1.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel dieses Werkzeugs ist es, die Umweltwirkungen eines einfachen Gebäudes oder eines Bauteils durch die Nutzung von Makro-Komponenten zu ermitteln. Daher erlaubt der Ansatz die Bewertung auf zwei Ebenen: (i) der Produktebene und (ii) der Gebäudeebene.

3.2.1.1.1 Funktionale Einheit

Auf Gebäudeebene ist die funktionale Einheit „ein den Standardanforderungen entsprechendes, für eine bestimmte Nutzungsdauer (z. B. 50 Jahre) geplantes Gebäude mit einer bestimmten Nutzung (z. B. Wohnen, Büro etc.)“.

Auf Produktebene ist die funktionale Einheit (in m²) „ein über eine festgelegte Nutzungsdauer (z. B. 50 Jahre) genutztes Bauteil mit einer bestimmten Anwendung (z. B. Außenwand, Zwischendecke etc.)“. In diesem Fall kann die Funktion der Komponente im Gebäude wahlweise definiert oder nicht definiert werden. (Im Fall von vergleichenden Studien muss sie berücksichtigt werden.)

3.2.1.1.2 Systemgrenzen

Die Ökobilanz umfasst, wie in Tabelle 3.1 dargestellt, die Herstellungsphase (Module A1-A3), die Bauphase (Modul A4), die Nutzungsphase (Module B1-B5), die Entsorgungsphase (Module C1-C4) und die Gutschriften und Belastungen aus Recyclingprozessen (Modul D). Modul B6 (betrieblicher Energieeinsatz) wird bei diesem Ansatz nicht berücksichtigt. Allerdings umfasst die im nächsten Abschnitt behandelte Methodik auch die in diesem Modul enthaltenen Aspekte.

Auch die Module A5, B1 und B7 werden nicht abgedeckt: Die Einflüsse der Errichtung (Modul A5), inklusive Hilfsmaterialien, Baustellenbetrieb und Abfällen, sind auf Gebäudeebene vernachlässigbar (Gervásio et al., 2014). Modul B1 behandelt die nicht in den übrigen Modulen der Nutzungsphase berücksichtigten Emissionen durch die Verwendung von Materialien. Bedenkt man, dass Baustoffe heute wegen der strengen Gesetzgebung emissionsarm sind, hat dieses Modul nur eine geringe Bedeutung. Schließlich wird die Quantifizierung des Wasserverbrauchs (Modul B7) nicht berücksichtigt, da dieser nicht von der Konstruktion abhängt.

Tabelle 3.1: Module im Gebäudelebenszyklus (nach EN 15643-2:2011)

Herstellungsphase			Bauphase		Nutzungsphase							Lebensende				
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau / Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch / Rückbau	Transport	Abfallbewirtschaftung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x

3.2.1.2 Sachbilanz

Wie oben beschrieben, ist die Prüfung der Datenqualität eine Anforderung aus Ökobilanzierungs-Normen. EN 15804 legt folgende Kriterien hierfür fest:

- Datensätze müssen mindestens während der letzten 10 Jahre (generisch) bzw. der letzten 5 Jahre (herstellerspezifisch) aktualisiert worden sein;
- Datensätze sollten auf dem Durchschnitt eines Jahres beruhen;
- Datensätze sollten das geografische Gebiet für das deklarierte Produkt bzw. die deklarierte Produktgruppe abdecken;
- der technologische Hintergrund der erfassten Daten muss die physikalische Realität für das deklarierte Produkt oder die deklarierte Produktgruppe wiedergeben;
- Datensätze müssen vollständig sein und den Systemgrenzen und Kriterien für eine Nichtbetrachtung von In- und Outputs entsprechen.

Bis auf die Stahldaten wurden die Umweltdatensätze aus der Datenbank von PE International (2006) genutzt. Die Stahldatensätze wurden von der Worldsteel Association (2002) in Zusammenarbeit mit PE International beigesteuert. Daher ist die Methodik sehr ähnlich, wodurch die Konsistenz hinsichtlich Datenaufnahme und -verarbeitung, Allokationen sowie Abschneidekriterien sichergestellt werden konnte. Tabelle 3.2 beinhaltet Informationen zu den in den Makro-Komponenten eingesetzten Hauptmaterialien.

Tabelle 3.2: Qualitätscheck für die Hauptmaterialien der Makro-Komponenten

	zeitliche Abdeckung	geografische Abdeckung	Technologie-abdeckung	Vollständigkeit
Stahlprofil	2007, jährl. Durchschnitt	Europa	europäische Hersteller	> 99% der Masse und Energie
Stahlbewehrung	2007, jährl. Durchschnitt	Welt	globale Hersteller	> 99% der Masse und Energie
Bandstahl	2007, jährl. Durchschnitt	Europa	europäische Hersteller	> 99% der Masse und Energie
Beton C20/25	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie
OSB	2008, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 99% der Masse und Energie
Gipskartonplatte	2008, jährl. Durchschnitt	Europa	europäische Hersteller	> 95% der Masse und Energie
Ziegel	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie
Steinwolle	2011, jährl. Durchschnitt	Europa	europäische Hersteller	> 95% der Masse und Energie
EPS	2011, keine Daten	Europa	keine Daten	keine Daten
XPS	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie
PUR-Schaum	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie
expandierter Kork	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie
Glaswolle	2011, jährl. Durchschnitt	Europa	europäische Hersteller	> 95% der Masse und Energie
PE-Schaum	2011, jährl. Durchschnitt	Deutschland	deutsche Hersteller	> 95% der Masse und Energie

3.2.1.3 Wirkungsabschätzung

Die ausgewählten Kategorien zur Beschreibung der Umweltwirkungen des Gebäudes werden in

Tabelle 2.10 angegeben und entsprechen den in den europäischen Normen EN 15643-2 und EN 15978 empfohlenen Kategorien. Das modulare Konzept der oben beschriebenen Normen wurde übernommen. Daher werden die Ergebnisse der Ökobilanz für jede Makro-Komponente pro Modul oder als zusammenfassender Wert für jede Phase angegeben. Die Ökobilanzen für die Makro-Komponenten wurde mit der Software GaBi 6 (2012) durchgeführt.

3.2.2 Allokation von Recyclingmaterialien

Stahl ist zu 100% recyclingfähig und der Schrott kann die gleiche oder sogar eine höhere Qualität als das Ausgangsmaterial erreichen. Daher wird ein Stahltragwerk nach der Nutzung in der Regel zurückgebaut und der Stahl wird (ganz oder teilweise) wiederverwendet oder recycelt. Nach Angabe des Steel Recycling Institute (2009) liegt die Recyclingrate von Baustahl in Nordamerika bei etwa 97,5%. Die nachstehenden Diagramme zeigen, wie sich die Recyclingraten von Bau- und Betonstahl in Nordamerika entwickelt haben.

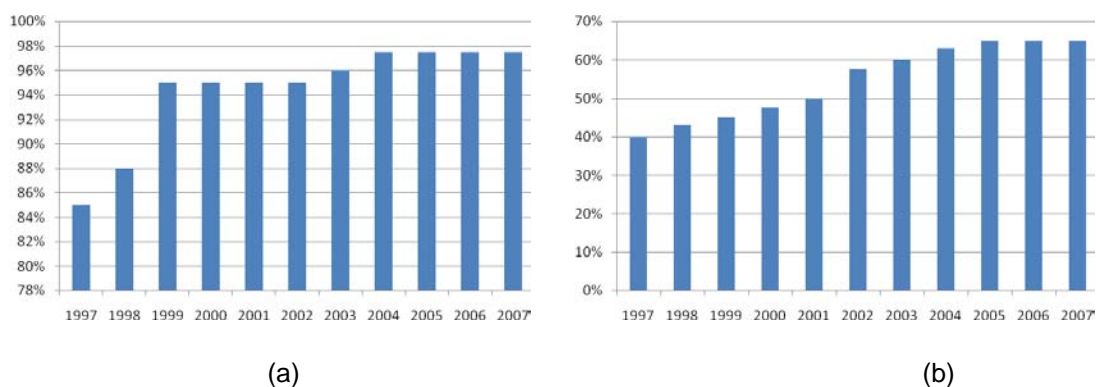


Abb. 3.1: Recyclingraten von (a) Baustahl und (b) Betonstahl in Nordamerika (Steel Recycling Institute, 2009)

Die Wiederverwendung und das Recycling von Stahl sind multifunktionale Prozesse, die die Verwendung eines Allokationsprozesses erfordern, wie im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

3.2.2.1 Einführung

Die meisten Industrieprozesse sind multifunktional, d.h. sie führen zu mehr als einem Output und die Inputs für die Herstellung beinhalten oft Zwischenprodukte oder Abfälle aus anderen Produktionsprozessen. Ein Allokationsproblem tritt dann auf, wenn eine geeignete Entscheidung für die Zuordnung der In- und Outputflüsse erforderlich ist.

Allokation wird nach ISO 14040 (2006) definiert als „Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen“. Also befasst sich ein Allokationsprozess mit der Einteilung von Flüssen zwischen Einheitsprozessen und Produktsystemen.

Gemäß ISO 14044 (2006) sollten Allokationen vermieden werden. Dies kann entweder durch Teilung des Einheitsprozesses in zwei oder mehr Subsysteme und die Zusammenstellung der In- und Outputdaten für diese Subsysteme geschehen,

oder durch die Erweiterung des Produktsystems um zusätzliche mit den Koppelprodukten verbundene Funktionen (Systemerweiterung).

Die Systemerweiterung beinhaltet den Ansatz über vermiedene Belastungen, der Zusatzfunktionen aus multifunktionalen Prozessen durch Subtrahieren von äquivalenten mono-funktionalen Prozessen eliminiert.

Wenn weder eine Teilung der Prozesse noch eine Systemerweiterung möglich ist, sind Allokationen unvermeidbar. In diesem Fall empfiehlt ISO 14044 (2006) zwei Alternativen: (i) die Aufteilung der In- und Outputs des Systems anhand physikalischer (oder chemischer oder biologischer) Beziehungen; oder (ii) die Allokation auf Grundlage anderer Beziehungen (z. B. ökonomischer Wert der Produkte).

Die Berücksichtigung von Wiederverwendung und Recycling von Materialien ist ein multifunktionales Thema, das die Anwendung von Allokationen erfordert. Die oben genannten Grundsätze und Prozesse gelten somit auch für diese Anwendungsbereiche, obwohl in diesen Fällen auch eventuelle Änderungen der inhärenten Eigenschaften der Materialien bei der Wahl des Allokationsverfahrens berücksichtigt werden müssen (ISO 14044, 2006). In diesem Fall können drei Situationen auftreten (Werner, 2005):

- i) Die Materialeigenschaften werden nicht geändert und das Material wird für den gleichen Anwendungsfall wiederverwendet;
- ii) Die Materialeigenschaften ändern sich und das Material wird für den gleichen Anwendungsfall wiederverwendet;
- iii) Die Materialeigenschaften ändern sich und das Material wird für andere Anwendungsbereiche verwendet.

Der erste Fall stellt einen geschlossenen Kreislauf dar, bei dem die vollständige Substitution von Primärmaterial angenommen wird und daher keine Umweltlasten aus der Primärproduktion oder Deponierung berücksichtigt werden müssen.

Der zweite Fall stellt einen offenen Kreislauf dar, der einem geschlossenen Kreislauf entspricht. Die Änderungen der Materialeigenschaften können als irrelevant betrachtet werden.

Im letzten Fall gibt es einen offenen Kreislauf, bei dem die Primärproduktion nur teilweise ersetzt wird. Hier müssen Umweltbelastungen aufgrund erneuter Primärproduktion oder Deponierungen anteilig berücksichtigt werden.

Gemäß ISO 14044 (2006) werden bei geschlossenen Kreisläufen Allokationen vermieden, da die Nutzung der Sekundärmaterialien die Nutzung von Rohstoffen ersetzt.

3.2.2.2 Vermeidung von Schrott-Allokationen

Im Lebenszyklus von Stahl entsteht Schrott bei der Herstellung, der Fertigstellung und am Lebensende (vgl. Abb. 3.2). Also muss für alle Schrottausgaben ein Allokationsprozess berücksichtigt werden. Zudem wird Stahl, wie weiter unten beschrieben, über verschiedene Routen hergestellt. Die Allokation der Schrotteinsätze bei der Herstellung muss ebenfalls betrachtet werden.

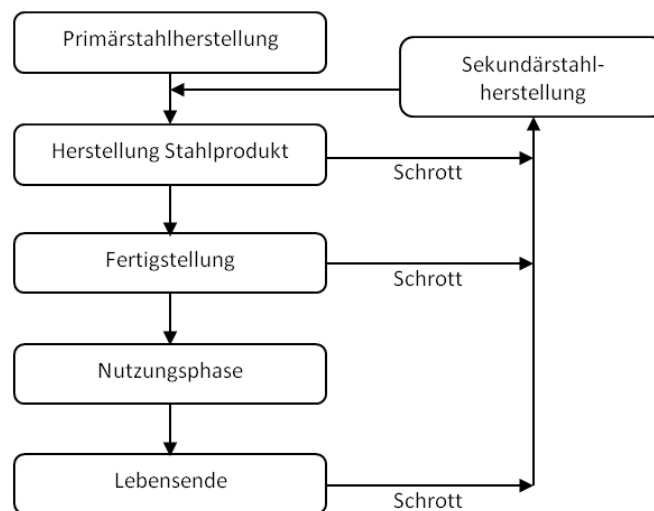


Abb. 3.2: Systemgrenzen unter Berücksichtigung der Schrottentstehung (LCI, 2002)

Zudem kann Stahl oft recycelt oder wiederverwendet werden und ein entsprechendes Allokationsverfahren ist erforderlich, um mehrere Recycling- und Wiederverwendungsschritte zu erfassen. Daher wurde bei der verwendeten Methodik ein von der Worldsteel Association entwickelter Ansatz gewählt, der den geschlossenen Kreislauf von Stahl berücksichtigt (LCI, 2002). Diese Methode berücksichtigt das Recycling am Lebensende. Die Annahme eines geschlossenen Kreislaufs ist gerechtfertigt, weil Stahlschrott wieder eingeschmolzen wird und dabei keine oder nur geringe Veränderungen der Materialeigenschaften auftreten. Entsprechend der ISO 14044 muss in diesem Fall keine Allokation vorgenommen werden, da die Nutzung der Sekundärmaterialien (primäre) Rohstoffe ersetzt.

Stahl kann über zwei Hauptrouten erstellt werden: Über die Hochofenroute (Blast Furnace - BF) oder im Elektrolichtbogenofen (Electric Arc Furnace - EAF). Der Hauptunterschied zwischen den Verfahren ist der Einsatz von Schrott beim Produktionsprozess: Im Hochofen wird Stahl vorwiegend aus primären Rohstoffen hergestellt, während im EAF fast nur Stahlschrott eingesetzt wird.

Wenn man nun die beiden Hauptrouten für die Stahlherstellung betrachtet, und annimmt, dass die BF-Route (100% primäre Rohstoffe) X_{pr} ist, und die EAF-Route (100% Sekundärstahl) X_{re} , dann ergibt sich für die Sachbilanz (LCI) von Schrott:

$$LCI_{scrap} = Y(X_{pr} - X_{re})$$

Formel (3.1)

Dabei ist Y die Metallausbeute, die die Effizienz des sekundären Herstellungsprozesses angibt, mit dem Schrott in Stahl umgewandelt wird. Entsprechend den Angaben der Worldsteel Association (LCI, 2002) werden etwa 1,05 kg Schrott benötigt, um 1 kg Sekundärstahl zu erzeugen.

Bei Betrachtung der BF-Route, bei der in diesem Beispiel 100% primäre Rohstoffe und eine Sammelrate (Anteil des Stahlschrotts, der über den Lebenszyklus eines Stahlproduktes gesammelt wird) von RR angenommen werden, entspricht die am Lebensende zur Verfügung stehende Netto-Schrottrate RR . Wenn die Sachbilanz für die primäre Herstellung von 1 kg Stahl das Lebensende berücksichtigt, wird, wie in Formel 3.2 gezeigt, eine Gutschrift für den erstellten Schrott vergeben:

$$LCI = X_{pr} - RR[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Formel (3.2)

Unter der Annahme, dass in der EAF-Route 1 kg Schrott verwendet wird, um neuen Stahl zu erstellen, und am Lebensende die Menge RR recycelt wird, ergibt sich die Menge an netto verbrauchtem Schrott aus $(1/Y - RR)$. In diesem Fall enthält die den Lebenszyklus umfassende LCI von 1 kg über die Sekundärroute produzierten Stahl eine Belastung für den (nicht wiedergewonnenen) Schrottanteil:

$$LCI = X_{re} + (1/Y - RR)[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Formel (3.3)

Die Umstellung von Formel 3.3 führt zu Formel 3.2. Dies zeigt, dass die LCI des Systems nicht von der Quelle des Materials, sondern von der Recyclingrate und dem verbundenen Recyclingprozess abhängt. Also erlaubt Formel 3.3 die Allokation von Stahlschrott unabhängig von der Herstellungsrouten.

Die obigen Formeln resultieren aus der Annahme einer 100-prozentigen Primär- oder Sekundärherstellung. In der Praxis enthält Stahl der Primärroute auch Schrott und in der EAF-Route kann ebenfalls ein kleiner Anteil primärer Rohstoffe eingesetzt werden. In diesem Fall können die Gutschriften oder Lasten aus Formel 3.3 umgeschrieben werden mit:

$$LCI_{scrap} = (RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})$$

Formel (3.4)

Dabei repräsentiert $(RR - S)$ den Nettoschrott am Lebensende. Unter Berücksichtigung der LCI-Daten für ein fertiges Stahlprodukt, ausgedrückt durch X' , ergibt die LCI des Produktes, inklusive Recycling am Lebensende:

$$LCI = X' - [(RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Formel (3.5)

Formel (3.5) wurde in der im nachstehenden Kapitel beschriebenen Ökobilanz-Methode angewendet, um die LCI-Daten für Stahlprodukte inkl. Recycling am Lebensende zu erstellen.

3.2.3 Charakterisierung der Makro-Komponenten

Die Makro-Komponenten für verschiedene Gebäudeteile wurden entsprechend dem UniFormat (2010) definiert. Die folgenden Kategorien wurden berücksichtigt: (A) Gründung, (B) Gebäudehülle und (C) Innenausbau. Jede Hauptkategorie wurde weiter unterteilt. Das detaillierte Klassifizierungssystem wird in Tabelle 3.3 dargestellt.

Tabelle 3.3: Klassifizierungssystem Gebäudekomponenten (UniFormat, 2010)

(A) Gründung	(A40) Bodenplatte auf Erdreich	(A4010) Standard Bodenplatte auf Erdreich	
(B) Gebäudehülle	(B10) aufgehende Konstruktion	(B1010) Boden-/Deckenkonstruktion	(B1010.10) Deckentragwerk (B1010.20) Bodenaufbau, -platten und -beläge
		(B1020) Dachkonstruktion	(B1020.10) Dachtragwerk
			(B1020.20) Dachabdeckung
		(B20) externe vertikale Abschlüsse	(B2010) Außenwände
	(B2010.20) Außenwandtragwerk		
	(B2020) Außenfenster		
	(B2050) Außentüren		
	(B30) externe horizontale Abschlüsse	(B3010) Dach	
		(B3060) horizontale Öffnungen	
	(C) Innenausbau	(C10) Innenausbau	(C1010) Trennwände
(C20) Innenausstattung		(C2010) Wandabschluss	
		(C2030) Bodenbelag	
		(C2050) Deckenabschluss	

Innerhalb jeder Gebäudekomponente (vgl. Tabelle 3.3) erfüllen die zugehörigen Makro-Komponenten dieselbe Funktion und haben vergleichbare Eigenschaften. Die funktionale Einheit jeder Komponente ist „1 m² einer Komponente mit vergleichbaren Eigenschaften und einer Nutzungsdauer von 50 Jahren“.

Dieser Ansatz wurde für die Gebäudebewertung im frühen Planungsstadium entwickelt (Gervásio et al., 2014). Um den Informationsmangel in frühen Planungsphasen zu bewältigen, ist die Tragkonstruktion (warmgewalzte Profile, Stahlleichtbau oder Betontragwerk) mit den Makro-Komponenten für die Deckenkonstruktion (B1010.10) oder dem Dachtragwerk (B1020.10) je m² verbunden.

Die Informationen zu jeder Makro-Komponente werden in Tabelle 3.4 anhand eines Beispiels dargestellt. Neben den Eigenschaften der einzelnen Materialebenen werden auch der U-Wert (unter Berücksichtigung eventueller Wärmebrücken) und die Wärmeträgheit (κ_m) angegeben, um den betrieblichen Energieeinsatz für das Gebäude zu berechnen.

Die Makro-Komponenten wurden in einer Datenbank, die Anhang 1 dieses Dokumentes entnommen werden kann, zusammengestellt.

3.2.4 Veranschaulichendes Beispiel

In einigen Fällen müssen zur Prüfung der Funktion eines Bauteils mehrere Makro-Komponenten gleichzeitig betrachtet werden. Das nachstehende Beispiel veranschaulicht dies für eine Innendecke eines Wohngebäudes.

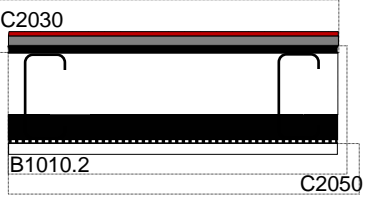
3.2.4.1 Zusammenstellung der Makro-Komponenten

Für die Innendecke des Gebäudes werden folgende Makro-Komponenten gewählt:

- (i) eine Makro-Komponente für den Bodenaufbau (C2030),
- (ii) eine Makro-Komponente für die Deckenkonstruktion (B1010.10),
- (iii) eine Makro-Komponente für Deckenoberfläche (C2050).

Die ausgewählte Zusammenstellung der Makro-Komponenten wird in Tabelle 3.4 dargestellt. In diesem Fall wird kein U-Wert angegeben, da es sich um eine Makro-Komponente für eine Innendecke handelt, und diese nicht den Energiebedarf beeinflusst.

Tabelle 3.4: Makro-Komponenten für eine Innendecke

Zusammenstellung der Makro-Komponenten	Makro-komponenten	Material	Dicke (mm)/ Dichte (kg/m ²)	U-Wert	κ_m (J/m ² ·K)
	C2030 Bodenaufbau	Keramik- fliesen	31 kg/m ²	-	61.0 62
		Beton- Estrich	13 mm		
	B1010.10 Decken- konstruktion	OSB	18 mm		
		Luftschiicht	160 mm		
		Steinwolle	40 mm		
		Leicht- baustahl	14 kg/m ²		
		Gipskarton- platte	15 mm		
	C2050 Decken- oberfläche	Anstrich	0,125 kg/m ²		

3.2.4.2 Funktionale Einheit und geschätzte Nutzungsdauer der Materialien

Die funktionale Einheit des Bauteils ist „1 m² einer Innendecke eines Wohnhauses mit einer angenommenen Nutzungsdauer von 50 Jahren“. Die ausgewählten Makro-Komponenten müssen dieselbe funktionale Einheit des Bauteils erfüllen. Daher muss die geschätzte Nutzungsdauer der Materialien berücksichtigt werden. Tabelle 3.5 enthält die angenommenen Nutzungsdauern der Baustoffe.

Tabelle 3.5: Angenommene Nutzungsdauern der Baustoffe

Makro-Komponente	Material	Einheit	angenommene Nutzungsdauer [Jahre]
Bodenbelag	Keramikfliesen	m ²	25
	Beton-Estrich	m ²	50
Deckentragwerk	kaltgeformter Stahl	kg/m ²	50
Deckenaufbau	Steinwolle	m ²	50
	OSB	m ²	50
	Gipskartonplatte	m ²	50
Decken-Oberfläche	Anstrich	m ²	10

Um die funktionale Einheit zu erfüllen, müssen einige Baustoffe entsprechend eines vordefinierten Szenarios ausgetauscht oder saniert werden.

3.2.4.3 Szenarien und Annahmen

Um die Umweltinformationen für alle Module zu erhalten, sind Szenarien und Annahmen erforderlich.

Die funktionale Einheit bezieht sich auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren. Dies bedeutet, dass jedes Material der Makro-Komponenten diese Anforderung erfüllen muss. Demnach müssen Baustoffe mit einer geringeren Nutzungsdauer in dieser Zeit instandgesetzt oder ausgetauscht werden. Daher werden verschiedene Szenarien für jedes Material angenommen. Ebenso sind am Lebensende der Materialien unterschiedliche Verwertungsverfahren entsprechend den jeweiligen inhärenten Materialeigenschaften zu berücksichtigen. Alle genannten Szenarien wurden so entwickelt, dass sie den Anforderungen der EN 15643-2 und EN 15978 entsprechen.

3.2.4.3.1 Szenarien für den Transport der Materialien (Module A4 und C2)

Die Transportentfernungen zwischen den Herstellwerken und der Baustelle (Modul A4) und die Entfernungen zu den Recyclinganlagen oder Deponien (Modul C2) werden standardmäßig mit 20 km angenommen. Die Transporte erfolgen über LKW mit einer Nutzlast von 22 Tonnen. Allerdings kann der Planer auch eigene Werte angeben, um Sensitivitätsanalysen in Bezug auf die Transporte durchzuführen.

3.2.4.3.2 Szenarien für die Nutzungsphase (Module B1-B7)

Um die Nutzungsdauer von 50 Jahren zu erfüllen, wurden für die verschiedenen Materialien Szenarien vordefiniert. Bezüglich der oben stehenden Makro-Komponenten werden die folgenden Szenarien angenommen:

- Ersatz der Keramikfliesen alle 25 Jahre;
- Anstrich der Decke alle 10 Jahre.

3.2.4.3.3 Szenarien für das Lebensende (Module C1-C4) und Recycling (Modul D)

Gemäß den inhärenten Materialeigenschaften werden verschiedene Szenarien für das Lebensende angenommen (vgl. Tabelle 3.6). OSB-Platten werden zu 80% in Biomasse-Anlagen verbrannt und es werden Gutschriften für die Energierückgewinnung vergeben. Für Stahl wird eine Recyclingrate von 90% angenommen und es werden Gutschriften für den Netto-Schrott am Lebensende vergeben. Auch für Steinwolle wird ein Recycling von 80% angenommen. Allerdings werden hier aufgrund von Datenlücken für die Recyclingprozesse, außer für die Reduzierung der deponierten Abfälle, keine Gutschriften vergeben.

Tabelle 3.6: Lebensende-Szenarien für Baustoffe

Material	Entsorgungs-/Recycling-Szenario	Gutschriften
Keramikfliesen	Deponie (100%)	-
Beton-Estrich	Deponie (100%)	-
Gipskartonplatten	Deponie (100%)	-
Steinwolle	Recycling (80%) + Deponie (20%)	-
OSB	Verbrennung (80%) + Deponie (20%)	Gutschrift für Energierückgewinnung
Leichtbaustahl	Recycling (90%) + Deponie (10%)	Gutschrift für Netto-Schrott

Alle anderen Baustoffe wurden als deponierte Materialien berücksichtigt.

3.2.4.4 Ökobilanz

Die Ergebnisse der in Tabelle 3.4 dargestellten Zusammenstellung der Makro-Komponenten je m² werden in Tabelle 3.7 angegeben.

Tabelle 3.7: Ökobilanzen der Makro-Komponenten (pro m²)

Wirkungs-kategorie	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	Summe
ADP Stoffe [kg Sb-Äqv.]	1,86E-03	6,59E-09	1,83E-03	5,76E-09	5,93E-07	-1,96E-04	3,49E-03
ADP fossile Brennstoffe [MJ]	1,31E+03	2,45E+00	8,12E+02	2,14E+00	2,31E+01	-3,35E+02	1,82E+03
AP [kg SO ₂ -Äqv.]	2,47E-01	7,91E-04	9,14E-02	6,85E-04	1,01E-02	-4,45E-02	3,05E-01
EP [kg PO ₄ -Äqv.]	2,61E-02	1,82E-04	1,40E-02	1,57E-04	1,54E-03	-1,01E-03	4,09E-02
GWP [kg CO ₂ -Äqv.]	8,38E+01	1,77E-01	6,48E+01	1,54E-01	6,80E+00	-1,45E+01	1,41E+02
ODP [kg R11-Äqv.]	2,80E-06	3,09E-12	2,04E-06	2,70E-12	1,27E-09	1,76E-07	5,01E-06
POCP [kg Ethen-Äqv.]	3,41E-02	-2,58E-04	1,43E-02	-2,23E-04	2,62E-03	-1,07E-02	3,98E-02

Die Ergebnisse je Modul werden in Abb. 3.3 dargestellt. Die Module A1-A3 dominieren bei allen Umweltwirkungen (meistens über 50%), gefolgt von Modul B4 mit einem Beitrag zwischen 10% bis 20%. Modul D hat ebenfalls bei den meisten Umweltwirkungen einen hohen Einfluss (etwa 10%). Weniger bedeutend ist der Beitrag von Modul C4 (in einigen Fällen immerhin fast 5%), gefolgt von den verbleibenden Modulen mit vernachlässigbarer Bedeutung.

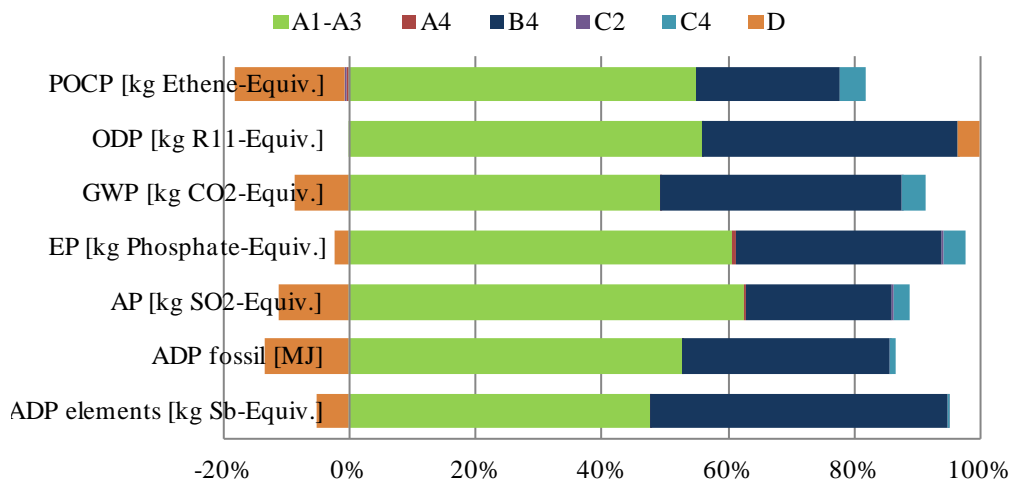


Abb. 3.4: Umweltwirkungen für eine Makro-Komponente (pro m²)

Alle Makro-Komponenten wurden nach einem ähnlichen Verfahren berechnet. Wie bereits beschrieben, erlauben diese Makro-Komponenten eine Ökobilanzierung auf Produkt- oder Gebäudeebene.

3.3 Algorithmus für die Energieberechnung (Nutzungsphase)

3.3.1 Einführung

Wie oben erwähnt, ordnet EN 15978 (2011) alle potenziellen Umweltwirkungen eines Gebäudes über dessen Lebensweg (Materialherstellung, Nutzung, Lebensende und Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling) in einem modularen System ein. In diesem System entspricht Modul B6 dem betrieblichen Energieeinsatz, also dem Energiebedarf des Gebäudes.

Die Grenzen von Modul B6 müssen mit der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden übereinstimmen und den Energiebedarf für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung, Beleuchtung und Zusatzsysteme beinhalten.

Der gewählte vereinfachte Ansatz basiert auf den Eigenschaften des Gebäudes und seiner Einbauten. Er befasst sich mit der Quantifizierung des Energiebedarfs für die Raumheizung und -kühlung und Warmwasserversorgung. Der Energiebedarf für die mechanische Lüftung und die Beleuchtung wird nicht berücksichtigt, da diese beiden Komponenten nicht direkt mit der Gebäudekonstruktion zusammenhängen. Die Berechnung des Heiz- und Kühlbedarfs folgt dem quasi-stationären Monats-Berechnungsverfahren aus ISO 13790 (2008). Diese Norm umfasst alle Aspekte der an den thermischen Berechnungen beteiligten Wärme-Komponenten, und beinhaltet Korrelationsfaktoren für die Berücksichtigung der dynamischen thermischen Effekte. Der Energiebedarf für die Warmwasserherstellung wird nach EN 15316-3-1 (2007) berechnet.

3.3.2 Gebäudestandort und Klima

Um den betrieblichen Energiebedarf eines Gebäudes während seiner Nutzungsphase zu berechnen, müssen wesentliche (das thermische Verhalten und die Energieeffizienz des Gebäudes beeinflussende) Variablen berücksichtigt werden.

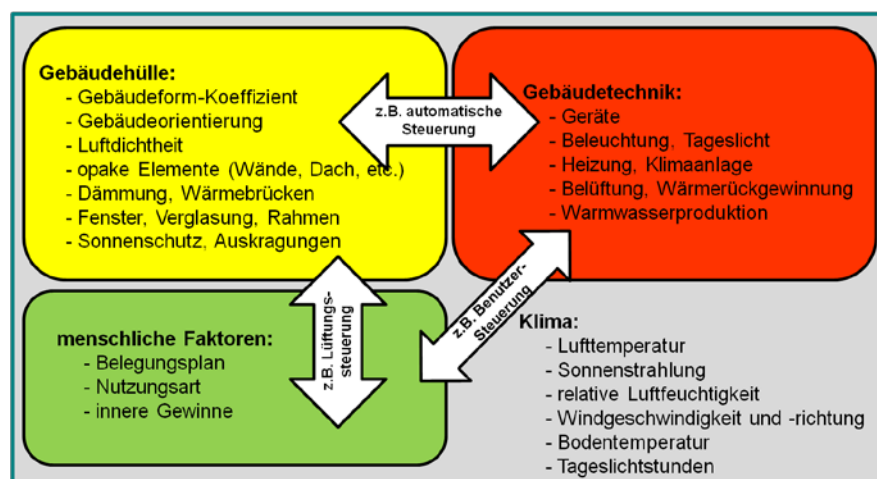


Abb. 3.5: Schlüsselfaktoren mit Einfluss auf den Gebäude-Energiebedarf (Santos et al., 2012)

Die Faktoren können, wie in Abb. 3.5 dargestellt, in vier Gruppen unterteilt werden: Klima, Gebäudehülle, Gebäudetechnik und menschliche Faktoren. Die meisten dieser Faktoren werden, wie nachstehend erläutert, im Algorithmus berücksichtigt.

Der Standort des Gebäudes ist hinsichtlich der klimatischen Bedingungen von zentraler Bedeutung und in den Berechnungen der thermischen Eigenschaften zu berücksichtigen (Santos et al., 2011, 2012). Diesbezüglich müssen zwei Hauptparameter des Klimas für die Energieberechnung definiert werden:

- i) Lufttemperatur;
- ii) die Sonneneinstrahlung auf eine Oberfläche in einer gegebenen Richtung.

Abb. 3.6 stellt diese durchschnittlichen monatlichen Daten für die Stadt Temeschwar (Rumänien) grafisch dar.

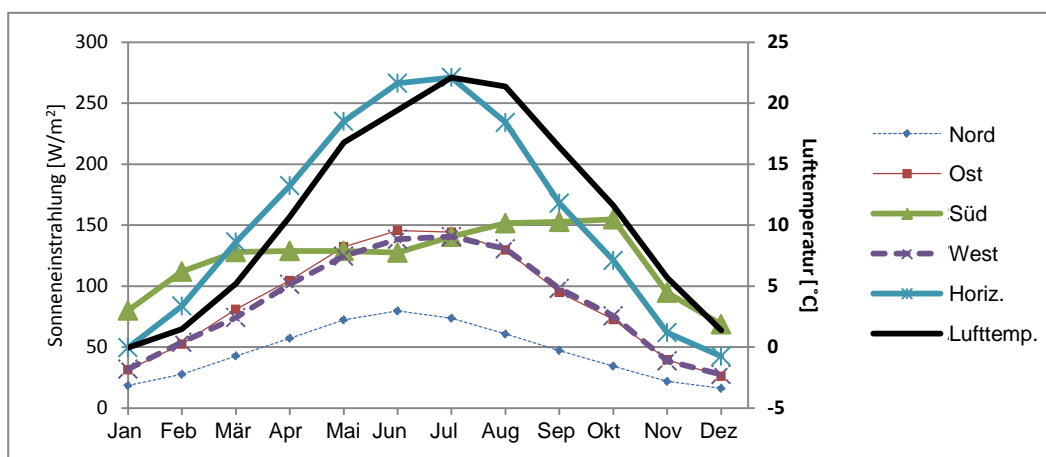


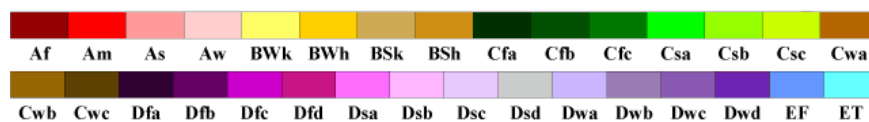
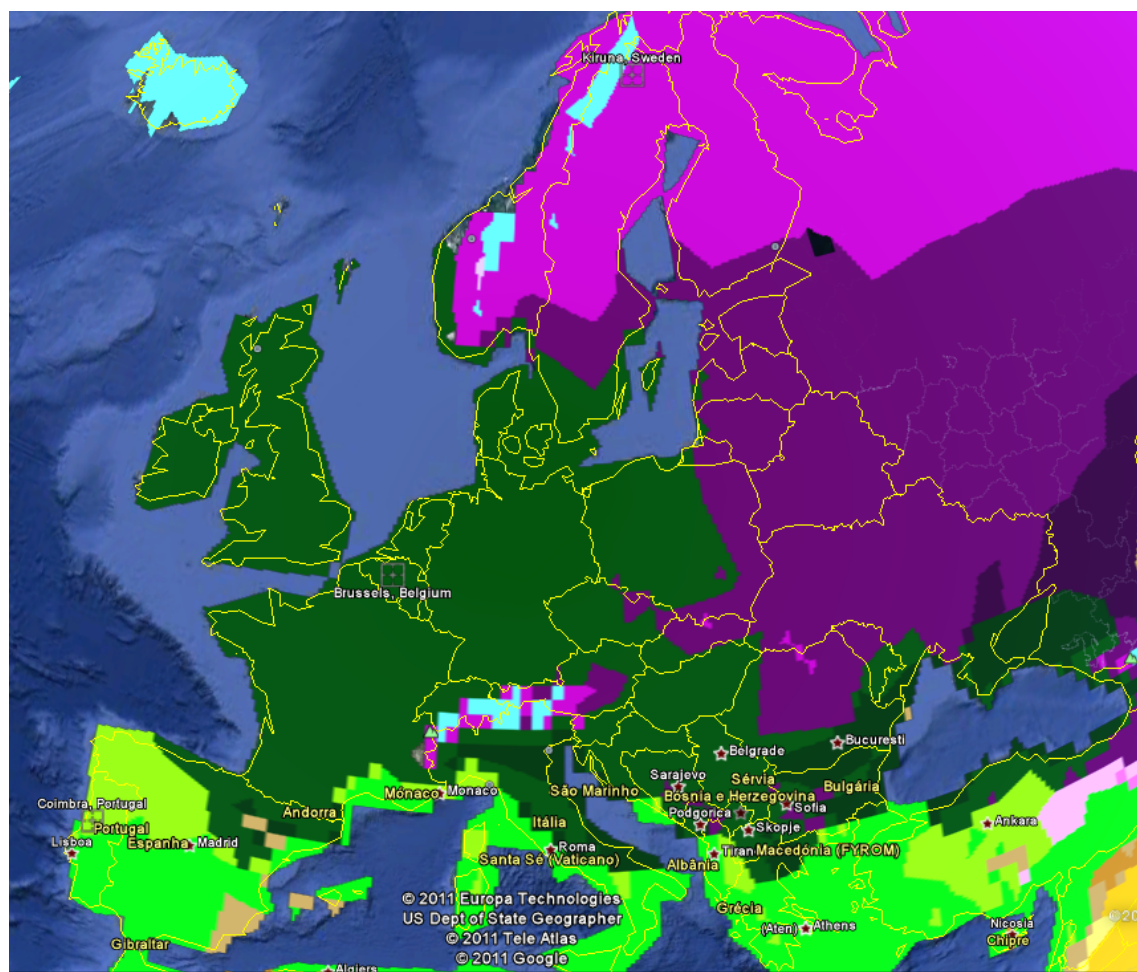
Abb. 3.6: Durchschnittliche monatliche Lufttemperatur und Sonneneinstrahlung für Temeschwar (Rumänien)

Die Methode ist derzeit kalibriert für fünf Klimazonen (nach der Köppen-Geiger-Klimaklassifikation): i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. Die Köppen-Geiger-Klimaklassifikation ist eine der am weitesten verbreiteten Klassifikationen (Kottek et al., 2006). Abb. 3.7 zeigt die Köppen-Geiger-Klimaklassifikation für Europa. Es wird deutlich, wie Breitengrad, Höhe und Küstennähe das Klima beeinflussen. In Regionen mit niedrigerem Breitengrad unter 45°N (Südeuropa, z. B. mediterrane Länder), ist das Klima Csa und Csb, das heißt „C - warm gemäßigt“ mit „s - sommertrocken“ und „a - heiße Sommer“ bzw. „b - warme Sommer“.

Über diesen Breitengraden (zwischen 45-55°N), in westlichen mitteleuropäischen Ländern, wird das Klima vorwiegend klassifiziert als Cfb, also „C - warm gemäßigt“ mit „f - feucht“ und „b - warme Sommer“. Im östlichen mitteleuropäischen Ländern

(weit weg von der Atlantikküste), ist das Klima Dfb, das heißt „D - Schneeklima“ mit „f - feucht“ und „b - warme Sommer“.

In Regionen mit höheren Breitengraden (über 55°N), in nordischen europäischen Staaten, wird das Klima meistens als Dfc deklariert, also „D - Schneeklima“ mit „f - feucht“ und „c - kalte Sommer“. Dies hat Ähnlichkeit mit dem Klima in östlichen mitteleuropäischen Ländern, wobei der Hauptunterschied die kalten Sommer sind.



Hauptklima:	Niederschlag:	Temperatur:	
A: äquatorial	W: Wüste	h: heiß trocken	F: ewiger Frost
B: trocken	S: Steppe	k: kalt trocken	T: Tundrenklima
C: gemäßigt	f: feucht	a: heiße Sommer	
D: boreal	s: sommertrocken	b: warme Sommer	
E: polar	w: wintertrocken	c: kalte Sommer	
	m: Monsun	d: strenge Winter	

Abb. 3.7: Europakarte der Köppen-Geiger Klima-Klassifikation Kottek et al., 2006; Google Earth, 2014).

Eine Datenbank mit den Wetter-Daten für verschiedene europäische Standorte ist in der Software integriert. Tabelle 3.8 zeigt die Liste der 52 Städte, für die bereits Informationen vorhanden sind. Die meisten davon stammen aus der Wetter-Datenbank von EnergyPlus, einer Software für energetische Simulationen (EERE-USDoE, 2014). Die anderen wurden von Forschungspartnern beigesteuert.

Tabelle 3.8: Liste der Standorte mit vorhandenen Wetter-Daten

Stadt	Land	Klimaregion	Breitengrad
Amsterdam	Niederlande	Cfb	52
Ankara	Türkei	Csb	39
Arhanglesk	Russland	Dfc	64
Athen	Griechenland	Csa	37
Barcelona	Spanien	Csa	41
Berlin	Deutschland	Cfb	52
Bilbao	Spanien	Cfb	43
Bratislava	Slowakei	Cfb	48
Breslau	Polen	Cfb	51
Brüssel	Belgien	Cfb	50
Klausenburg	Rumänien	Cfb	46
Coimbra	Portugal	Csb	40
Danzig	Polen	Cfb	54
Genua	Italien	Csb	44
Graz	Österreich	Dfb	47
Hamburg	Deutschland	Cfb	53
Helsinki	Finnland	Dfb	60
Istanbul	Türkei	Csa	40
Katowitz	Polen	Dfb	50
Kiew	Ukraine	Dfb	50
Kiruna	Schweden	Dfc	67
Krakau	Polen	Dfb	50
La Coruña	Spanien	Csb	43
Lissabon	Portugal	Csa	38
Laibach	Slowenien	Cfb	46
London	England	Cfb	50
Lublin	Polen	Dfb	51
Madrid	Spanien	Csa	40
Marseille	Frankreich	Csa	43
Mailand	Italien	Cfb	45
Minsk	Weißrussland	Dfb	53
Montpellier	Frankreich	Csa	43
Moskau	Russland	Dfb	55
München	Deutschland	Cfb	48
Nantes	Frankreich	Cfb	47

Nizza	Frankreich	Csb	43
Oppeln	Polen	Cfb	50
Oslo	Norwegen	Dfb	59
Ostersund	Schweden	Dfc	63
Paris	Frankreich	Cfb	48
Porto	Portugal	Csb	41
Posen	Polen	Cfb	52
Prag	Tschechische Republik	Cfb	50
Rom	Italien	Csa	41
Salamanca	Spanien	Csb	40
Sanremo	Italien	Csb	43
Sevilla	Spanien	Csa	37
Stockholm	Schweden	Dfb	59
Tampere	Finnland	Dfc	61
Temeschwar	Rumänien	Cfb	45
Wien	Österreich	Dfb	48
Warschau	Polen	Dfb	52

3.3.3 Methode zur Berechnung des Energiebedarfs

Der gewählte Ansatz ermöglicht es, den monatlichen Energiebedarf für die Raumheizung, Raumkühlung und Warmwasserproduktion zu berechnen. Um den Beitrag der in den thermischen Berechnungen involvierten Terme zu ermitteln, müssen, wie Abb. 3.8 zeigt, mehrere Normen für die Raumheizung und -kühlung berücksichtigt werden.

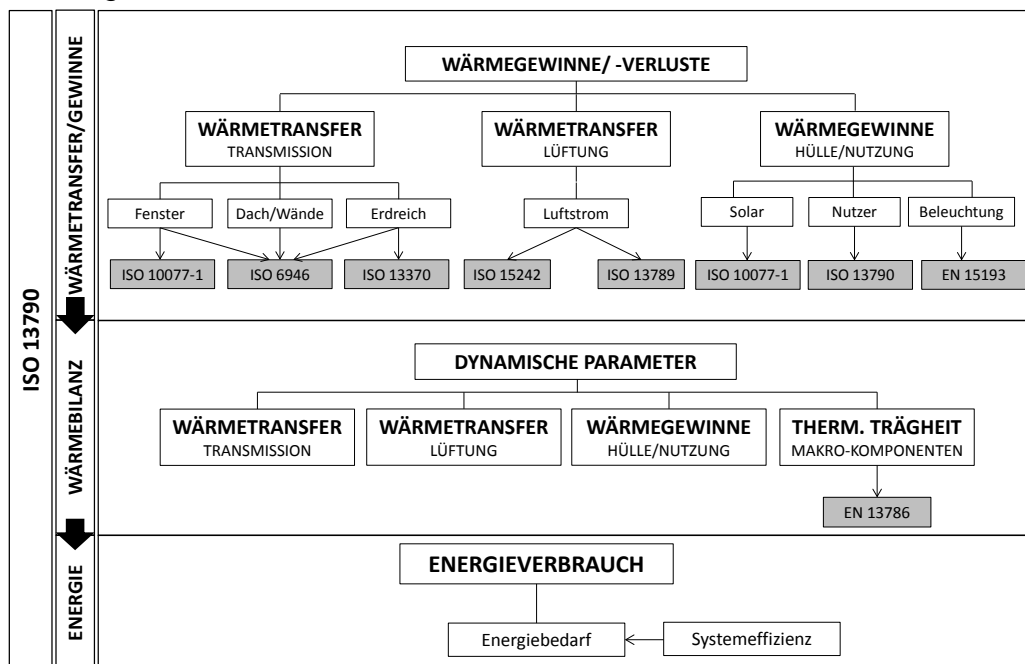


Abb. 3.8: Flussdiagramm des Algorithmus inklusive wesentlicher Normen

Wie aus Abb. 3.8 hervorgeht, ist ISO 13790 (2008) die Hauptnorm, die für spezifische Berechnungen auf andere Normen verweist. Unter Berücksichtigung der Bedeutung der Warmwassererzeugung am Energieverbrauch eines Gebäudes, vor allem bei Wohngebäuden, ist es auch wichtig, diesen Anteil abzuschätzen. Wie oben beschrieben, wird dies anhand der Vorgaben der EN 15316-3-1 (2007) durchgeführt.

Die Vorgehensweise, die der Algorithmus verwendet, um den Energiebedarf zu berechnen, wird in Abb. 3.9 dargestellt.

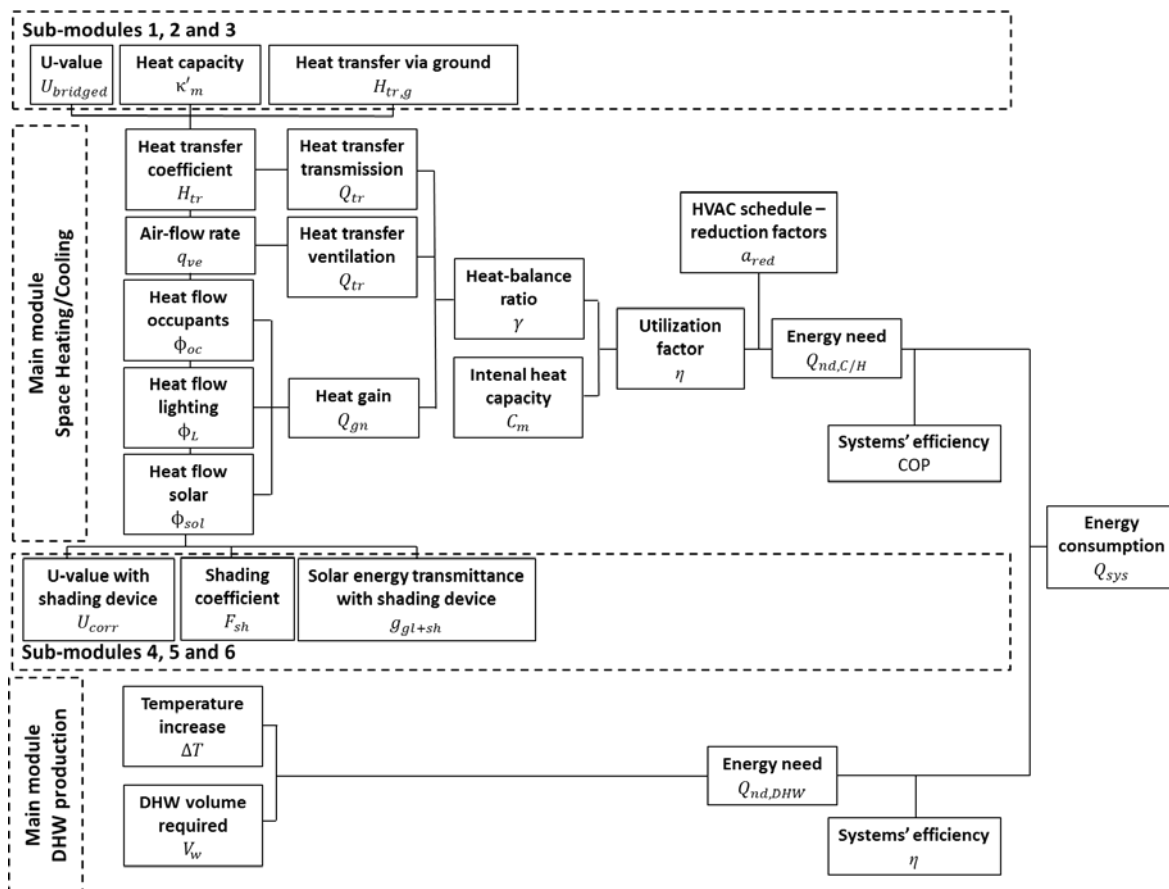


Abb. 3.9: Flussdiagramm der Berechnung des Energieverbrauchs eines Gebäudes

Die Untermodule 1 und 2, die sich auf den U-Wert bzw. die Wärmekapazität der Elemente der Gebäudehülle beziehen, wurden vorab für die vom Benutzer gewählten Makro-Komponenten berechnet. Untermodul 3 deckt den Wärmetransfer ins Erdreich ab. Die Untermodule 4, 5 und 6 adressieren die Unterroutrinen für die Berechnung der Auswirkungen von Sonnenschutzeinrichtungen und die Verschattung aufgrund der Form des Grundrisses. Nur rechteckige Gebäude-Querschnitte können in der aktuellen Version vom AMECO erfasst werden.

3.3.3.1 Energiebedarf für die Raumheizung und -kühlung

Formel (3.6) und Formel (3.7) sind die grundlegenden Hauptformeln aus der ISO 13790 (2008) um den monatlichen (m), Energiebedarf unter Annahme eines kontinuierlichen ($cont$) Systembetriebs (siehe Nomenklatur aus ISO 13790) zu definieren:

$$Q_{H,nd,cont,m} = (Q_{H,tr,m} + Q_{H,ve,m}) - \eta_{H,gn,m} \cdot Q_{H,gn,m}$$

Formel (3.6)

$$Q_{C,nd,cont,m} = Q_{C,gn,m} - \eta_{C,ls,m} \cdot (Q_{C,tr,m} + Q_{C,ve,m})$$

Formel (3.7)

Mit:

- $Q_{H,nd}$, Heizenergiebedarf (kWh);
- $Q_{C,nd}$, Kühlenergiebedarf (kWh);
- Q_{tr} , Gesamtwärmetransfer durch Transmission (kWh);
- Q_{ve} , Gesamtwärmetransfer durch Lüftung (kWh);
- $\eta_{H,gn}$, Ausnutzungsgrad der Einträge (-);
- $\eta_{C,ls}$, Ausnutzungsgrad der Verluste (-).

Die bei der Berechnung all dieser Teile des Energiebedarfs verfolgte Methode wird in den nachstehenden Absätzen erläutert.

3.3.3.1.1 Wärmetransfer durch Transmission

Die Wärmebilanz des Gebäudes umfasst alle Arten der Wärmeübertragung durch Transmission:

- (i) Wände;
- (ii) Dach;
- (iii) auskragende Decken (sofern vorhanden);
- (iv) Fenster (Glas und Rahmen);
- (v) Erdreich.

Der Wärmetransfer durch Transmission der Typen i) bis iv) wird unter Berücksichtigung der Leitfähigkeiten ohne (implizierte) Masseeffekte ermittelt. Also ist der Wärmegewinn oder -verlust proportional zur Differenz zwischen der Innen- und Außenumgebung und den gesamten Wärmedurchgangskoeffizienten der Elemente. Formel (3.8), Formel (3.9) und Formel (3.10) verdeutlichen dies.

Der Wärmetransfer durch Transmission ins Erdreich schließt implizit die Wirkung der Trägheit des Erdreichs mit ein. Dies bedeutet, dass der Wärmeübertragungskoeffizient anders als für die anderen Bauteile berechnet wird (vgl. Formel (3.11)).

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Formel (3.8)

$$H_{tr,adj} = H_{D,W} + H_{D,R} + H_{D,EF} + H_{D,Gl} + H_{GF}$$

Formel (3.9)

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i$$

Formel (3.10)

$$H_{GF} = b_{tr,g} \cdot A_i \cdot U_{GF}$$

Formel (3.11)

Mit:

Q_{tr} , Gesamtwärmetransfer durch Transmission (kWh);

$H_{tr,adj}$, Gesamt-Transmissionswärmeflusskoeffizient (W/K);

$\theta_{int,sec,H}$ und $\theta_{int,sec,C}$, Solltemperatur der Gebäudezone für das Heizen bzw. Kühlen (°C);

t , Dauer des Berechnungsschrittes nach ISO 13790 (Ms);

H_D , Transmissionswärmeflusskoeffizient für die direkte Wärmetransmission an die Außenumgebung (W/K), durch: Wände, $H_{D,W}$; Dach, $H_{D,R}$; auskragende Decken, $H_{D,EF}$; verglaste Elemente, $H_{D,Gl}$;

H_{GF} , Transmissionswärmeflusskoeffizient für die stationäre Wärmetransmission an das Erdreich (W/K);

$b_{tr,g}$, Anpassungsfaktor Erdreich (W/K);

A_i , Fläche von Element i (m²);

U_i , Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i (W/m²·K);

U_{GF} , Wärmedurchgangskoeffizient Bodenplatte und Erdreich (W/m²·K).

Die Länge der in der Berechnung genutzten Zeiträume stammen aus ISO 13790:

Tabelle 3.9: Länge der Zeiträume

	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MonthLength, t (Ms)	2,6784	2,4192	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784	2,6784	2,5920	2,6784	2,5920	2,6784
MonthDay (days)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
NbDayWorking (days)	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Alle Wärmetransferkoeffizienten, außer demjenigen, für den Wärmetransfer ins Erdreich, werden in Übereinstimmung mit EN ISO 6946:2007 ermittelt.

Wärmeübertragung ins Erdreich

Der Wärmetransfer ins Erdreich wird je nach Art der Bodenplatte (vgl. Abb. 3.10) unterschiedlich berechnet.

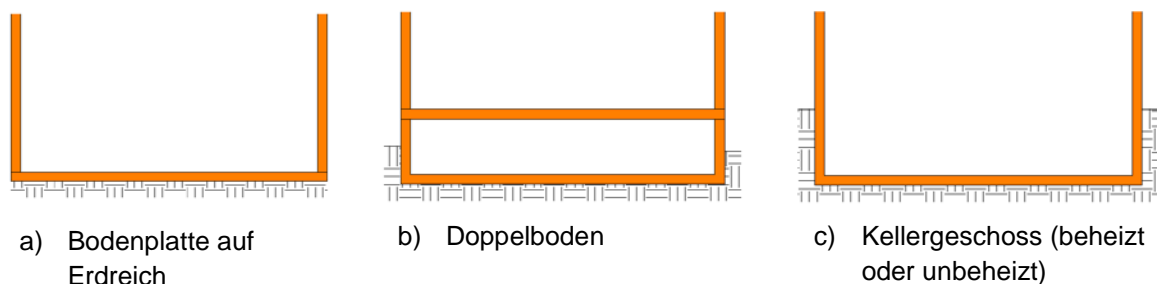


Abb. 3.10: Arten von Bodenplatten

Die Ausführung folgt der ISO 13370:2007. Die Menge der transferierten Wärme ins (oder vom) Erdreich wird durch Modifizierung des Wärmetransferkoeffizienten berechnet, um zusätzliche Isolierungen der Gründung zu berücksichtigen. Außerdem wird der Wärmetransferkoeffizient angepasst, um den monatlichen Wärmestrom einzubeziehen, der unter Berücksichtigung der Wärmeträgheit des Erdreichs ermittelt wird. Die angenommenen thermischen Eigenschaften des Erdreichs werden in Tabelle 3.10 dargestellt.

Tabelle 3.10: thermische Eigenschaften des Erdreichs (ISO 13370:2007)

	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Wärmekapazität pro Volumen ρc [MJ/(m ³ ·K)]
Ton oder Schluff	1,5	3,00
Sand oder Kies	2,0	2,00
homogenes Gestein	3,5	2,00
Standard	2,0	2,00

Wärmetransfer durch Fenster

Der Algorithmus enthält eine Datenbank mit Durchschnittswerten der optischen und thermischen Eigenschaften für verschiedene Arten von Fenstern (EN 15193), wie in Tabelle 3.11 aufgelistet. Dabei ist $g_{gl,n}$ der solare Energiedurchlassgrad für die Sonnenstrahlung senkrecht zur Verglasung und U_{Gl} der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters.

Tabelle 3.11: Standardwerte für die optischen und thermischen Eigenschaften von Fenstern

Fensterart	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
Einfachverglasung	0,87	5,8
Doppelverglasung	0,78	2,9
Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 1)	0,72	1,7
Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 2)	0,67	1,4
Doppelverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 3)	0,65	1,2
Dreifachverglasung	0,7	2,0
Dreifachverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 1)	0,5	0,8
Dreifachverglasung niedriger Emissionsgrad (Typ 2)	0,5	0,6

Der Wärmetransfer durch Fenster wird berechnet mit Formel (3.10). Um allerdings den positiven Effekt von Verschattungseinrichtungen während der Nacht zu erfassen, ist eine Anpassung des Wärmedurchgangskoeffizienten erforderlich. Der korrigierte Wert $U_{Gl,corr}$ in $W/m^2 \cdot K$ wird erreicht über:

$$U_{Gl,corr} = U_{Gl+shut} \cdot f_{shut} + U_{Gl} \cdot (1 - f_{shut})$$

Formel (3.12)

Mit:

$U_{Gl+shut}$, kombinierter Wärmedurchgangskoeffizient von Fenster und Abschluss (W/m^2K);

f_{shut} , dimensionsloser Anteil der akkumulierten Temperaturdifferenz für den Zeitraum mit geschlossenem Abschluss;

U_{Gl} , Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster, ohne Abschluss.

Die Wärmedurchlässigkeit der Fenster mit aktiviertem Sonnenschutz $U_{Gl+shut}$, ist:

$$U_{Gl+shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Gl}} + R_{sh} + \Delta R}$$

Formel (3.13)

Mit:

R_{sh} , thermischer Widerstand des Abschlusses ($m^2.K/W$);

ΔR , zusätzlicher Wärmewiderstand bei spezifischer Luftdurchlässigkeit des Abschlusses ($m^2.K/W$).

Im Algorithmus werden Standardwerte für R_{sh} und ΔR aus ISO 10077-1 (2007) verwendet. Diese sind von dem Material der Verschattungseinrichtung und seiner Luftdurchlässigkeit abhängig, wie Tabelle 3.12 zeigt.

Tabelle 3.12 – Wärmewiderstand von Verschattungseinrichtungen

Verschattungseinrichtung	R_{sh} [$m^2.K/W$]	Luftdurchlässigkeit		
		hoch/ sehr hoch	Durch- schnitt	dicht/ niedrig
		ΔR [$m^2.K/W$]		
Externe Aluminium-Rollläden (keine Dämmung)	0,01	0,00	0,12	0,00
Externer opaker Holzabschluss (keine Dämmung)	0,10	0,00	0,16	0,00
Externe Holz-Rollläden (keine Dämmung)	0,10	0,00	0,16	0,00
Externe Kunststoff-Rollläden (keine Dämmung)	0,10	0,00	0,16	0,00
Externe Holz-Jalousien	0,01	0,09	0,00	0,00
Externe Metall-Jalousien	0,01	0,09	0,00	0,00
Externe opake Rollläden	0,01	0,09	0,00	0,00
Externe lichtdurchlässige Rollläden	0,01	0,09	0,00	0,00
Interne Jalousien	0,01	0,00	0,00	0,24
Interne opake Vorhänge	0,00	0,00	0,00	0,00
Interne transparente Vorhänge	0,00	0,00	0,00	0,00
Interne opake Holzverschattung	0,10	0,00	0,00	0,31
Rollläden aus Kunststoff mit Schaumfüllung	0,15	0,00	0,19	0,00
Abschlüsse aus Holz, 25 mm bis 30 mm Dicke	0,20	0,00	0,22	0,00

Der dimensionslose Anteil der akkumulierten Temperaturdifferenz des Zeitraums mit geschlossenen Abschlüssen f_{shut} wurde von Stundenwerten abgeleitet. Er wurde als dem Nachtanteil entsprechend angenommen (nächtlicher Schutz).

3.3.3.1.2 Wärmetransfer durch Lüftung

Passive Kühlung/Heizung ist die vorteilhafteste Möglichkeit der Lüftung eines Gebäudes, um dessen Wärmeeffizienz zu optimieren. Im Winter sollte der Luftstrom zur Reduzierung von Wärmeverlusten reduziert werden, während im Sommer ein erhöhter Luftaustausch vorzuziehen ist, wenn die Außenluft-

temperatur es ermöglicht, von dieser passiven Technik zu profitieren. Daher erlaubt der Berechnungsansatz die Festlegung verschiedener Luftdurchsätze. Die zu beachtende Methode zur Ermittlung des Wärmetransfers durch Lüftung wird in ISO 13790:2008 im Abschnitt 9.3 festgelegt und in den nachstehenden Formeln dargestellt.

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Formel (3.14)

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right)$$

Formel (3.15)

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Formel (3.16)

Mit:

- $\rho_a \cdot c_a$, volumenbezogene Wärmespeicherefähigkeit der Luft (J/m³·K);
- $q_{ve,k,mn}$, zeitlich gemittelter Luftvolumenstrom vom Element k (m³/s);
- $b_{ve,k}$, Temperaturanpassungsfaktor für Luftvolumenstromelement k (-).

Wenn es kein System für eine Vorheizung gibt (z. B. Wärmerückgewinnungseinheit), ist der Temperaturanpassungsfaktor $b_{ve,k} = 1$. Im Falle einer Gebäudeausstattung mit Wärmerückgewinnungseinheit:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru})$$

Formel (3.17)

Mit:

- $f_{ve,frac,k}$, Anteil des betrachteten Luftvolumenstromelementes k das durch die Wärmerückgewinnungseinheit führt;
- η_{hru} , Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung.

3.3.3.1.3 Innere Wärmeeinträge

Die von den Benutzern und Geräten ausgehende Wärme wird über innere Wärmeeinträge berechnet. Dies ist ein wesentlicher Bestandteil der Wärmebilanz eines Gebäudes. Der Algorithmus kann benutzerdefinierte Werte oder Standardwerte (aus ISO 13790:2008) verarbeiten, die sich aus dem wöchentlichen

Nutzungsplan und der zugehörigen Wärmestromrate ergeben. Die Formel zur Berechnung innerer Wärmeeinträge durch innere Wärmequellen ist:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Formel (3.18)

Mit:

- $\Phi_{int,mn,k}$, zeitlich gemittelter Wärmestrom der inneren Wärmequelle k (W);
- $\Phi_{int,mn,u,l}$, zeitlich gemittelter Wärmestrom der inneren Wärmequelle l im angrenzenden, nicht konditionierten Raum (W);
- $b_{tr,l}$, Abminderungsfaktor für den angrenzenden nicht konditionierten Raum;
- t , Länge des Monats (Ms).

Innere Wärmeströme können resultieren von: i) Nutzern; ii) Geräten. In Tabelle 3.13 werden die Referenzwerte für die von Nutzern und Geräten ausgehenden Wärmeströme angegeben.

Tabelle 3.13 – Wärmestrom durch Personen und Geräte für Wohngebäude (aus ISO 13790:2008)

Tage	Stunden	Wohnzimmer und Küche ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]	weitere konditionierte Bereiche (z. B. Schlafzimmer) ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]
Montag bis Freitag	07:00 bis 17:00	8,0	1,0
	17:00 bis 23:00	20,0	1,0
	23:00 bis 07:00	2,0	6,0
Samstag und Sonntag	07:00 bis 17:00	8,0	2,0
	17:00 bis 23:00	20,0	4,0
	23:00 bis 07:00	2,0	6,0

3.3.3.1.4 Solare Wärmeeinträge

Diese Art der Wärmeeinträge ist eine andere wesentliche Variable in der Wärmebilanzgleichung eines Gebäudes. Die allgemeine Berechnungsformel ist:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Formel (3.19)

Mit:

- $\Phi_{sol,mn,k}$, zeitlich gemittelter Wärmestrom der solaren Wärmequelle k (W);
- $\Phi_{sol,mn,u,l}$, zeitlich gemittelter Wärmestrom der solaren Wärmequelle l im angrenzenden, nicht konditionierten Raum (W);
- $b_{tr,l}$, Abminderungsfaktor für den angrenzenden nicht konditionierten Raum;
- t , Monatslänge (Ms).

Es ist erforderlich, die wirksame Kollektorfläche jedes unter Sonneneinstrahlung stehenden Bauteils zu ermitteln. Die Methoden nach ISO 13790:2008 ermöglichen die Berücksichtigung der Einflüsse von Verschattungseinrichtungen, Verschattung durch das Gebäude selbst und andere klimaabhängige Phänomene. Dies wird in den nächsten Absätzen behandelt.

Der Wärmestrom durch solare Gewinne wird berechnet mit:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}$$

Formel (3.20)

Mit:

- $F_{sh,ob,k}$, Verschattungsfaktor durch außen liegende Hindernisse (-);
- $A_{sol,k}$, wirksame Kollektorfläche der Oberfläche k (-);
- $I_{sol,k}$, mittlere Energie der solaren Bestrahlung je m² Fläche k (W/m²);
- $F_{r,k}$, Formfaktor zwischen dem Bauteil k und dem Himmel (-);
- $\Phi_{r,k}$, zusätzlicher Wärmestrom aufgrund der von Bauteil k ausgehenden Wärmestrahlung an den Himmel (W/m²).

Der Verschattungsfaktor durch außenliegende Hindernisse, $F_{sh,ob,k}$, wird in dieser Version von AMECO vernachlässigt. Die wirksame Kollektorfläche der verglasten Bauteile wird berechnet mit:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

Formel (3.21)

Mit:

- $F_{sh,gl}$, Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen (-);
- g_{gl} , solarer Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Teiles des Bauteils (-);
- F_F , Rahmenanteil des Fensters (-);
- $A_{w,p}$, gesamte Projektionsfläche des Fensters (m²).

Es ist möglich, die positive Wirkung von Verschattungseinrichtungen (z. B. während der Kühlsaison) zu berücksichtigen. Hierfür ist es erforderlich, den Verschattungsfaktor zu bestimmen (vgl. Formel 3.22).

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}}$$

Formel (3.22)

Mit:

g_{gl+sh} , solarer Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters, wenn die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist;

$f_{sh,with}$, gewichteter Anteil der Zeit, während der die Verschattungseinrichtung in Gebrauch ist.

Die angepassten Werte für den solaren Energiedurchlassgrad des Fensters mit aktivierter Sonnenschutzeinrichtung, g_{gl+sh} , werden in Tabelle 3.14 angegeben und stammen aus RCCTE (2006).

Tabelle 3.14: Solarer Energiedurchlassgrad des Fensters mit aktivierter Verschattungseinrichtung

Verschattungseinrichtung	Farbe		
	hell	mittel	dunkel
Externe Aluminium-Rollläden (keine Dämmung)	0,03	0,05	0,06
Externer opaker Holzabschluss (keine Dämmung)	0,04	0,05	0,07
Externe Holz-Rollläden (keine Dämmung)	0,04	0,07	0,09
Externe Kunststoff-Rollläden (keine Dämmung)	0,04	0,07	0,09
Externe Holz-Jalousien	0,08	0,08	0,08
Externe Metall-Jalousien	0,09	0,09	0,09
Externe opake Rollläden	0,04	0,06	0,08
Externe lichtdurchlässige Rollläden	0,16	0,18	0,2
Interne Jalousien	0,47	0,59	0,69
Interne opake Vorhänge	0,37	0,46	0,55
Interne transparente Vorhänge	0,39	0,48	0,58
Interne opake Holzverschattung	0,35	0,46	0,58
Rollläden aus Kunststoff mit Schaumfüllung	0,04	0,07	0,09
Abschlüsse aus Holz, 25 mm bis 30 mm Dicke	0,04	0,05	0,07

Der gewichtete Anteil der Zeit, während der die Sonnenschutzeinrichtung in Gebrauch ist, $f_{sh,with}$, wird für jede Richtung berechnet und basiert auf stündlichen Werten der Sonneneinstrahlung (ermittelt mit *EnergyPlus*, das auf dem Perez-Modell für solare Berechnungen basiert). Er gibt den Anteil der Zeit an, an dem die Solareinstrahlung über einem Sollwert in einer bestimmten Richtung liegt.

Im Falle eines Fensters ohne streuende Verglasung und ohne Sonnenschutz-einrichtung wird der solare Gesamenergiedurchlassgrad, g_{gl} , ermittelt über:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \cdot F_w$$

Formel (3.23)

Mit:

F_w , Korrekturfaktor für nicht streuende Verglasung (-);

$g_{gl,n}$, solarer Energiedurchlassgrad für die Sonnenstrahlung senkrecht zur Verglasung (-).

Wenn eine Verschattungseinrichtung installiert ist, oder bei streuender Verglasung, muss der zeitlich gemittelte Gesamenergiedurchlassgrad entsprechend der gewichteten Summe für direkte und diffuse Strahlungsanteile berechnet werden. Dieser Parameter wird auf einer monatlichen Basis über Formel (3.24) ermittelt.

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif}$$

Formel (3.24)

$$alt_g = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{dir,i}}$$

Formel (3.25)

$$a_{gl} = \frac{\sum_1^n I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{sol,i}}$$

Formel (3.26)

Mit:

a_{gl} , Gewichtungsfaktor, der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fensters, das Klima und die Heiz-/Kühlperiode steht (-);

$g_{gl,alt}$, solarer Energiedurchlassgrad für die Sonnenstrahlung aus einem Höhenwinkel, alt_g , der für die Position (Ausrichtung, Neigung) des Fenster, das Klima und die Heiz-/Kühlperiode steht (-);

$g_{gl,dif}$, solarer Energiedurchlassgrad für isotrope, diffuse Solarstrahlung (-);

$I_{dir,i}$, direkte mittlere Sonnenstrahlung in Stunde i (W/m^2);

I_{sol} , solare Bestrahlungsstärke in Stunde i (W/m^2);

α_i , Einfallswinkel der Sonnenstrahlung ($^\circ$);

n , Anzahl der Stunden im Monat.

Die direkte und gesamte Bestrahlungsstärke und der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung, $I_{dir,i}$, I_{sol} bzw. α_i , wurden mit *EnergyPlus* ermittelt.

Der Rahmenflächenanteil des Fensters, F_F , wird nach ISO 10077-1 (2006) berechnet. Die Werte von 0,2 oder 0,3 können verwendet werden, je nachdem, welcher Wert den maximalen Transmissionswert für das Fenster ergibt. Der Standard-Wert für Klimazonen mit überwiegendem Heizbetrieb beträgt 0,3 (nach ISO 13790 Absatz 11.4.5).

Die gesamte Projektionsfläche des Fensters, $A_{w,p}$, beinhaltet die Verglasung und den Rahmen, da sich die thermischen Eigenschaften des Fensters im Werkzeug auf das ganze Bauteil (Verglasung und Rahmen) beziehen. Zusätzlich wird diese Methode in ISO 13789:2007 Anhang B empfohlen.

Die wirksame Kollektorfläche der opaken Bauteile wird berechnet mit:

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

Formel (3.27)

Mit:

$\alpha_{S,c}$, der dimensionslose Absorptionskoeffizient für die Sonnenstrahlung auf den opaken Teil;

R_{se} , der Oberflächenwärme-Durchlasswiderstand des opaken Teils, bestimmt nach ISO 6946:2007 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

U_c , der Wärmedurchgangskoeffizient des opaken Bauteils, bestimmt nach ISO 6946:2007 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$);

A_c , die Projektionsfläche des opaken Teils (m^2);

Der dimensionslose Absorptionskoeffizient für die Solarstrahlung ist abhängig von der Farbe der Außenfläche der opaken Elemente. Er wird in der nachstehenden Tabelle angegeben (RCCTE, 2006).

Tabelle 3.15: Absorptionskoeffizienten der Solarstrahlung opaker Bauteile (RCCTE, 2006)

Farbe	$\alpha_{S,c}$
hell	0,3
mittel	0,5
dunkel	0,8

Die solare Bestrahlungsstärke, $I_{sol,k}$, ist ein Mittelwert für den Berechnungsschritt der Berechnung des betrachteten Monats. Dieser ist offensichtlich abhängig von Klima, Breitengrad und Position (Ausrichtung und Neigung).

Der Formfaktor zwischen dem Bauteil und dem Himmel, $F_{r,k}$, wird mit 1,0 bzw. 0,5 für nicht verschattete horizontale bzw. vertikale Bauteile angenommen.

Die Wärmestrahlung an den Himmel, $\Phi_{r,k}$, wird bei den solaren Einträgen berechnet. Sie gibt den Wärmetransfer durch Strahlung aufgrund der Temperaturunterschiede zwischen der Bauteiloberfläche (unter der Annahme, dass diese der Außentemperatur entspricht) und dem Himmel an. Formel (3.28) beinhaltet den Berechnungsweg für dieses Wärmeübertragungsphänomen.

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

Formel (3.28)

Mit:

h_r , äußerer Strahlungswärmetransferkoeffizient ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

$\Delta\theta_{er}$, mittlere Differenz zwischen der Außenlufttemperatur und der scheinbaren Temperatur des Himmels ($^{\circ}\text{C}$).

Die Norm ISO 13790:2008 gibt an, dass der äußere Abstrahlungskoeffizient, h_r ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) mit $5 \cdot \varepsilon$ angenommen werden kann (mit ε als Emissionsgrad des Materials), was einem durchschnittlichen Temperaturunterschied von 10°C zwischen der Bauteiloberfläche und dem Himmel entspricht. Gemäß ISO 13790 (Absatz 11.4.6) kann die durchschnittliche Differenz zwischen der Außenlufttemperatur und der Temperatur des Himmels, $\Delta\theta_{er}$, in subpolaren Gebieten mit 9°C , in tropischen Gebieten mit 13°C und in den Zwischenzonen mit 11°C angenommen werden.

3.3.3.1.5 Dynamische Parameter

Für den Heizbetrieb wird der Ausnutzungsgrad der Einträge, $\eta_{H,gn,m}$, durch die folgenden Formeln berechnet:

$$\text{wenn } \gamma_H > 0 \text{ und } \gamma_H \neq 1, \text{ dann: } \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

Formel (3.29)

$$\text{wenn } \gamma_H = 1, \text{ dann: } \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1}$$

Formel (3.30)

$$\text{wenn } \gamma_H < 0, \text{ dann: } \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

Formel (3.31)

Mit:

$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$ dimensionsloses Wärmebilanzverhältnis;

$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$ dimensionsloser Parameter;

$\tau = C_m/H$ Zeitkonstante der Gebäudezone, die die thermische Trägheit des Gebäudes und den Wärmetransfer durch Transmission und Lüftung berücksichtigt;

$a_{H,0}$ und $\tau_{H,0}$ sind dimensionslose Parameter mit den Werten 1 bzw. 15 (nach ISO 13790).

Der monatsbezogene Ausnutzungsgrad für den Kühlbetrieb wird über die folgenden Formeln berechnet:

$$\text{wenn } \gamma_C > 0 \text{ und } \gamma_C \neq 1, \text{ dann: } \eta_{C,Is} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

Formel (3.32)

$$\text{wenn } \gamma_C = 1, \text{ dann: } \eta_{C,Is} = \frac{a_C}{a_C+1}$$

Formel (3.33)

$$\text{wenn } \gamma_C < 0, \text{ dann: } \eta_{C,Is} = 1$$

Formel (3.34)

Die Parameter zur Ermittlung des Ausnutzungsgrads entsprechen den obigen für den Heizbetrieb. Allerdings werden für den Kühlbetrieb andere Werte angesetzt. (Die dimensionslosen Parameter $a_{C,0}$ und $\tau_{C,0}$ wurden ebenfalls nach ISO 13790 mit 1 bzw. 15 angenommen.)

Die Masse des Gebäudes wird in den Berechnungen erfasst über die in Stunden ausgedrückte Zeitkonstante der Gebäudezone, τ . Sie wird berechnet mit:

$$\tau = \frac{C_m}{3600 \cdot (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})}$$

Formel (3.35)

Mit:

C_m , innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes bzw. der Zone (J/K);

$H_{tr,adj}$, repräsentativer Wert des Gesamt-Transmissionswärmetransferkoeffizienten aus Formel (3.9);

$H_{ve,adj}$, repräsentativer Wert des Gesamt-Lüftungswärmetransferkoeffizienten aus Formel (3.15).

Die innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, C_m (J/K), wurde als Summe der Wärmekapazitäten aller direkt mit der Innenraumluft in Kontakt stehenden Bauteile berechnet (ISO 13790):

$$C_m = \sum_j k_j \cdot A_j$$

Formel (3.36)

Mit:

- k_j die spezifische Wärmespeicherfähigkeit je Flächeneinheit des Bauteils j (J/K.m²);
- A_j die Fläche des Bauteils j (m²).

Die spezifische Wärmespeicherfähigkeit je Flächeneinheit, k_j , wurde für jede Makro-Komponente nach Anleitung aus Anhang A der EN ISO 13786:2007 ermittelt. Dieser beinhaltet eine vereinfachte Berechnungsmethode.

Um die innere Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes schnell zu berechnen, gibt ISO 13790 Standardwerte pro Quadratmeter einer vorgegebenen Gebäudeklasse an. Diese werden in Tabelle 3.16 für das Monats- und Periodenverfahren angegeben.

Tabelle 3.16 – Standardwerte für die spezifische Wärmekapazität (ISO 13790, 2008)

Klasse	C_m [J/K]
sehr leicht	80.000 A_f
leicht	110.000 A_f
mittel	165.000 A_f
schwer	260.000 A_f
sehr schwer	370.000 A_f

A_f - Bodenfläche

Länge der Heiz- und Kühlperiode

Um die Länge der Monate mit Heiz- oder Kühlbedarf abzuschätzen, liefert ISO 13790 zwei Methoden. Diese basieren auf dem Verhältnis zwischen dem Heizwärme- und dem Kühlbedarf oder auf den Monatswerten für das Wärmebilanzverhältnis für den Heizbetrieb, a_C und a_H . Obwohl die Norm beide Methoden vorschlägt, wird an dieser Stelle nur die ausführliche aufgenommen und dargestellt (Absatz 7.4.1.1 - Methode B), da sie gut in das Werkzeug integriert werden kann.

Heizbetrieb:

Die Abschätzung des Anteils des Monats, der Teil der Heizperiode ist, beginnt mit der Berechnung des idealen Ausnutzungspunktes der Erträge, der dem idealen Ausnutzungsgrad der Einträge für das Heizen, $\eta_{H,gn}$ entspricht. Letzterer nimmt einen Wert an, der den Energiebedarf für die Raumheizung außer Kraft setzt. Dies ergibt sich aus einem idealen Gebäude mit unendlicher thermischer Trägheit, bei dem $\gamma_{H,lim} = 1,0$ und dann auch $\eta_{H,gn} = 1,0$ gilt. Da reale Gebäude eine endliche thermische Trägheit aufweisen, tragen nicht alle Wärmeeinträge zur Raumheizung und der Erhöhung der Innenraumtemperatur bei. Also ist der Ausnutzungsgrad geringer und es sind höhere Einträge erforderlich, um die Wärmebilanz auszugleichen und den Energiebedarf auf null zu reduzieren. Diese Begründung gilt nicht für den Wärmetransfer. (Wenn das Wärmebilanzverhältnis kleiner 1 ist bedeutet dies, dass der Wärmetransfer höher ist als die Wärmeeinträge; da der Ausnutzungsgrad nicht höher als 1 sein kann, kann der Energiebedarf nicht null sein. Also ist es nicht möglich, einen idealen Ausnutzungsgrad unter 1,0 zu erhalten.) Abb. 3.11 stellt dies graphisch dar.

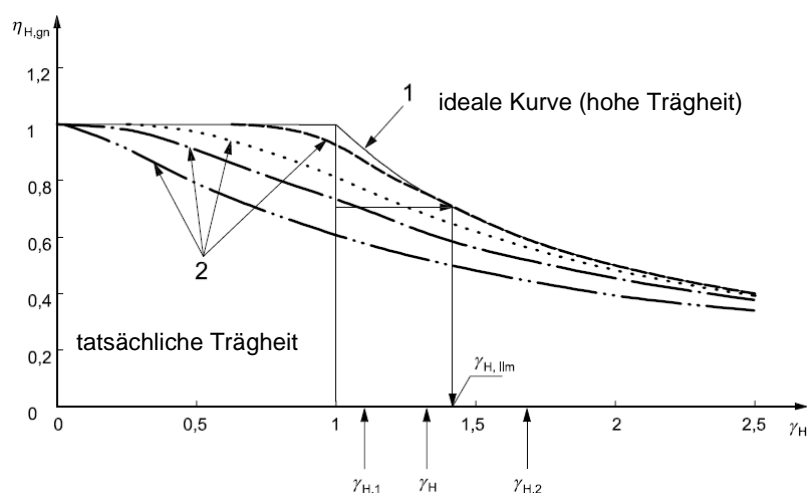


Abb. 3.11: Parameter zur Bestimmung der Länge der Heiz- und Kühlperiode (ISO 13790)

Das optimale Wärmebilanzverhältnis wird berechnet mit:

$$\gamma_{H,lim} = \frac{(a_H + 1)}{a_H}$$

Formel (3.37)

Für die Berechnung des Anteils des Monats mit Heizenergiebedarf ist es erforderlich, den Wert γ_H zu Beginn und Ende des Monats zu bestimmen. Dieser Wert wird als Mittelwert von γ_H aus dem betrachteten und dem vorangegangenen Monat berechnet. Der Wert von γ_H am Ende des Monats wird als Mittelwert von γ_H aus dem betrachteten und dem nachfolgenden Monat berechnet. Weiterhin werden zwei „neue“ Parameter gebraucht: $\gamma_{H,1}$ und $\gamma_{H,2}$. Der niedrigere der beiden Werte wird als $\gamma_{H,1}$ bezeichnet, der höhere als $\gamma_{H,2}$. Diese Parameter geben das Wärmebilanzverhältnis zu Beginn bzw. zum Ende eines Monats an und werden wie folgt berechnet:

$$\text{wenn } \gamma_{H,2} < \gamma_{H,lim}, \text{ dann } f_H = 1$$

Formel (3.38)

$$\text{wenn } \gamma_{H,1} > \gamma_{H,lim}, \text{ dann } f_H = 0$$

Formel (3.39)

Formel (3.39) bedeutet, dass, wenn das Wärmebilanzverhältnis an den Monatsrändern niedriger als das Optimum ist, in diesem Monat ein Heizbedarf besteht. Wenn keine dieser Bedingungen erfüllt wird, gilt:

$$\text{wenn } \gamma_H > \gamma_{H,lim}, \text{ dann } f_H = 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_{H,1}}{\gamma_H - \gamma_{H,1}}$$

Formel (3.40)

$$\text{wenn } \gamma_H \leq \gamma_{H,lim}, \text{ dann } f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_H}{\gamma_{H,2} - \gamma_H}$$

Formel (3.41)

Diese Formeln folgen der gleichen Logik wie die Formeln (3.38) und (3.39), mit dem Unterschied, dass sich γ_H im Falle der Formeln (3.40) und (3.41) auf einen Monatsmittelwert und nicht auf die Werte an den Monatsrändern bezieht.

Die Heizperiode kann auch als Summe von f_H für jeden Monat ermittelt werden:

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m}$$

Formel (3.42)

Kühlbetrieb:

Die Begründung für den Heizbetrieb kann auf den Kühlbetrieb übertragen werden. Entsprechend folgen hier keine weiteren Erläuterungen. Der Anteil des Monats mit Kühlenergiebedarf wird mit dem inversen idealen Wärmebilanzverhältnis, $(1/\gamma_C)_{lim}$, berechnet:

$$(1/\gamma_C)_{lim} = (a_c + 1)/a_c$$

Formel (3.43)

Die Grenzparameter $(1/\gamma_C)_1$ und $(1/\gamma_C)_2$ werden gewonnen mit:

$$\text{wenn } (1/\gamma_C)_2 < (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ dann } f_c = 1$$

Formel (3.44)

$$\text{wenn } (1/\gamma_C)_1 > (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ dann } f_c = 0$$

Formel (3.45)

Wenn keine dieser Bedingungen erfüllt wird, gilt:

$$\text{wenn } (1/\gamma_C) > (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ dann } f_c = 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)_1}{(1/\gamma_C) - (1/\gamma_C)_1}$$

Formel (3.46)

$$\text{wenn } (1/\gamma_C) \leq (1/\gamma_C)_{lim}, \text{ dann } f_c = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_C)_{lim} - (1/\gamma_C)}{(1/\gamma_C)_2 - (1/\gamma_C)}$$

Formel (3.47)

Die Länge der Kühlperiode kann, wie in Formel (3.48) gezeigt, auch als Summe von f_c für jeden Monat ermittelt werden:

$$L_C = \sum_{m=1}^{12} f_{c,m}$$

Formel (3.48)

Energiebedarf bei intermittierendem Heiz- und Kühlbetrieb

Wenn die Heiz- und Kühlsysteme nach einem Zeitplan arbeiten (d.h. in intermittierendem Modus), stellt ISO 13790 (2008) eine Anleitung zur Berechnung des reduzierten Energiebedarfs auf der Basis des kontinuierlichen Betriebs, der in den Formeln (3.6) und (3.7) dargestellt wurde, bereit. Dies wird erreicht durch die Reduzierung der Heiz- und Kühlenergie, $Q_{H,nd}$ bzw. $Q_{C,nd}$, über dimensionslose Anpassungsfaktoren für intermittierendes Heizen und Kühlen, $a_{C,red}$ und $a_{H,red}$. Die Anteile der Monate mit Heiz- und Kühlbedarf, $f_{H,m}$ und $f_{C,m}$, werden auch hier verwendet:

$$Q_{H,nd,interm,m} = f_{H,m} \cdot a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m}$$

Formel (3.49)

$$Q_{C,nd,interm,m} = f_{C,m} \cdot a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont,m}$$

Formel (3.50)

Die Zeitkonstante der Gebäudezone τ und die Wärmebilanzverhältnisse γ_H und γ_C beeinflussen ebenfalls den Anpassungsfaktor für den Energiebedarf aufgrund des intermittierenden Betriebs der Heiz- und Kühlsysteme, wie in den folgenden Formeln dargestellt wird.

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot \frac{\tau_{H,0}}{\tau} \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}), \text{ mit } f_{H,hr} \leq a_{H,red} \leq 1.0$$

Formel (3.51)

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot \frac{\tau_{C,0}}{\tau} \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}), \text{ mit } f_{C,day} \leq a_{C,red} \leq 1.0$$

Formel (3.52)

Mit:

b_{red} empirischer Korrelationsfaktor mit dem Wert 3 (für den Heiz- und Kühlbetrieb);

$f_{H,hr}$ Anteil der Stundenzahl je Woche mit einem normalen Heizsollwert;

$f_{C,day}$, Anteil der Anzahl der Tage je Woche mit einem zumindest tagsüber normalen Kühlsollwert.

3.3.3.2 Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung

Der Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung in MJ/Monat wird nach EN 15316-3-1 (2007) berechnet. Er wird durch die Gebäudeart, die Geschossfläche und die Temperaturdifferenz zwischen dem Zulauf und der gewünschten Temperatur an der Zapfstelle bestimmt:

$$Q_{DHW,nd,m} = 4,182 \cdot V_{W,m} \cdot (\theta_{W,t} - \theta_{W,o})$$

Formel (3.53)

Mit:

$V_{W,m}$ monatlich erforderliches Wasservolumen nach EN 15316-3-1 (2007);

$\theta_{W,t}$ Wassertemperatur an der Zapfstelle [°C];

$\theta_{W,o}$, Kaltwasserzulauftemperatur [°C].

Für ein Einfamilienhaus wird der tägliche Warmwasserbedarf (in m³/Tag) anhand der Geschossfläche berechnet mit:

$$V_w = \frac{a \cdot N_U}{1000}$$

Formel (3.54)

Mit:

a , pro Einheit und Tag erforderliches Volumen in Litern, bei 60°C;

N_U , Anzahl der zu berücksichtigenden Einheiten.

Das monatlich genutzte Warmwasservolumen, $V_{w,m}$, kann über die Multiplikation des Tageswertes, V_w , mit der Anzahl der Tage im Monat ermittelt werden. Die Parameter a und N_U sind abhängig von der Gebäudeart und seiner Nutzung/Aktivität und können in Abhängigkeit der Geschossfläche A_f berechnet werden mit:

$$\text{wenn } A_f > 30\text{m}^2, \text{ dann } a = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f}$$

Formel (3.55)

$$\text{wenn } 15 \leq A_f \leq 30\text{m}^2, \text{ dann } a = 2$$

Formel (3.56)

3.3.3.3 Energiebedarf

Der berechnete Energiebedarf beinhaltet nicht die Effizienz der Gebäudetechnik für die Konditionierung des Innenraums und die Warmwasserproduktion. Der Algorithmus jedoch berücksichtigt auch die Tatsache, dass die Gebäudetechnik unterschiedliche Effizienzen aufweisen kann, da die Heiz- und Kühleinheiten in der Regel nicht die gleiche Effizienz aufweisen. Also wird der Energiebedarf (Raumheizung, -kühlung und Warmwasserproduktion) von der Effizienz der jeweiligen Geräte beeinflusst. Die allgemeine Formel zur Berechnung des Energiebedarfs für jede Energieart ist:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{nd}}{\eta_{sys}}$$

Formel (3.57)

Mit:

Q_{nd} , Energiebedarf;

η_{sys} , Systemeffizienz.

Die übernommenen Standardwerte für die Effizienz der Gebäudetechnik und die verwendete Energieart werden in der nachstehenden Tabelle dargestellt. Die meisten Werte stammen aus RCCTE (2006).

Tabelle 3.17: Effizienz des Heizsystems und eingesetzte Energieart

Heizsystem	$\eta_{H,sys}$	Energieart
elektrische Widerstandsheizung	1	Strom
Gasheizofen	0,87	Gas Fuel
Flüssigbrennstoffheizung	0,8	Flüssigbrennstoff
Festbrennstoffheizung	0,6	Festbrennstoff
Split (Heizung)	4	Strom

Tabelle 3.18: Effizienz des Kühlsystems und eingesetzte Energieart

Kühlsystem	$\eta_{C,sys}$	Energieart
Split (Kühlung)	3	Strom
Kältemaschine (Kompressionszyklus)	3	Strom
Kältemaschine (Absorptionszyklus)	0,8	Strom

Tabelle 3.19: Effizienz des Warmwassersystems und eingesetzte Energieart

Warmwassersystem	$\eta_{DHW,sys}$	Energieart
Elektroboiler	0,9	Strom
Gasboiler	0,6	Gas
freistehender Warmwasserbereiter (Kondensation)	0,72	Gas
freistehender Warmwasserbereiter	0,4	Gas

Der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes wird über die Summe aller Energieverbräuche ermittelt:

$$Q_{Tot,cons} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} + \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}} + \frac{Q_{DHW,nd}}{\eta_{DHW,sys}}$$

Formel (3.58)

Der Primärenergiebedarf wird berechnet durch Multiplikation des Energiebedarfs mit dem Umrechnungsfaktor F_{pu} [kgoe/kWh].

$$Q_{Tot,prim} = F_{H,pu} \cdot Q_{H,cons} + F_{C,pu} \cdot Q_{C,cons} + F_{DHW,pu} \cdot Q_{DHW,cons}$$

Formel (3.59)

Der Umrechnungsfaktor von End- zu Primärenergie ist abhängig von der eingesetzten Energieart. Die in Tabelle 3.20 angegebenen Standardwerte stammen aus RCCTE (2006).

Tabelle 3.20: Umrechnungsfaktoren Endenergie in Primärenergie (RCCTE, 2006)

Energieart	F_{pu} [kgoe/kWh]
Strom	0,29
Gas, Flüssig- und Festbrennstoff	0,086

3.3.3.4 Thermische Trägheit

In Bezug auf die thermische Trägheit wurde die spezifische Wärmekapazität des Gebäudes (C_m), wie in Formel (3.36) gezeigt, nach ISO 13790 berechnet. Die spezifische Wärmekapazität pro Fläche jeder Makro-Komponente wurde nach Anhang A der EN ISO 13786 (2007) berechnet. Dies ist eine vereinfachte Methode anhand der Eindringtiefe der Wärmeströme. Sie wurde für jedes Bauteil angewendet, das direkten Kontakt zum Innenraum hat. Im vorgeschriebenen Verfahren wird die Wärmekapazität der Schichten, bis zu einer maximalen Tiefe von 100 mm (von der Innenfläche aus), betrachtet.

3.3.3.5 Wärmebrücken

Die Wirkungen von Wärmebrücken in den Bauteilen (z. B. Wände und Platten), etwa aufgrund von Stahlteilen, wie Abb. 3.12 zeigt, werden im Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) berücksichtigt und sind in der Datenbank der Software für jede Makro-Komponente enthalten. Lineare und punktuelle Wärmebrücken wurden dabei vernachlässigt.

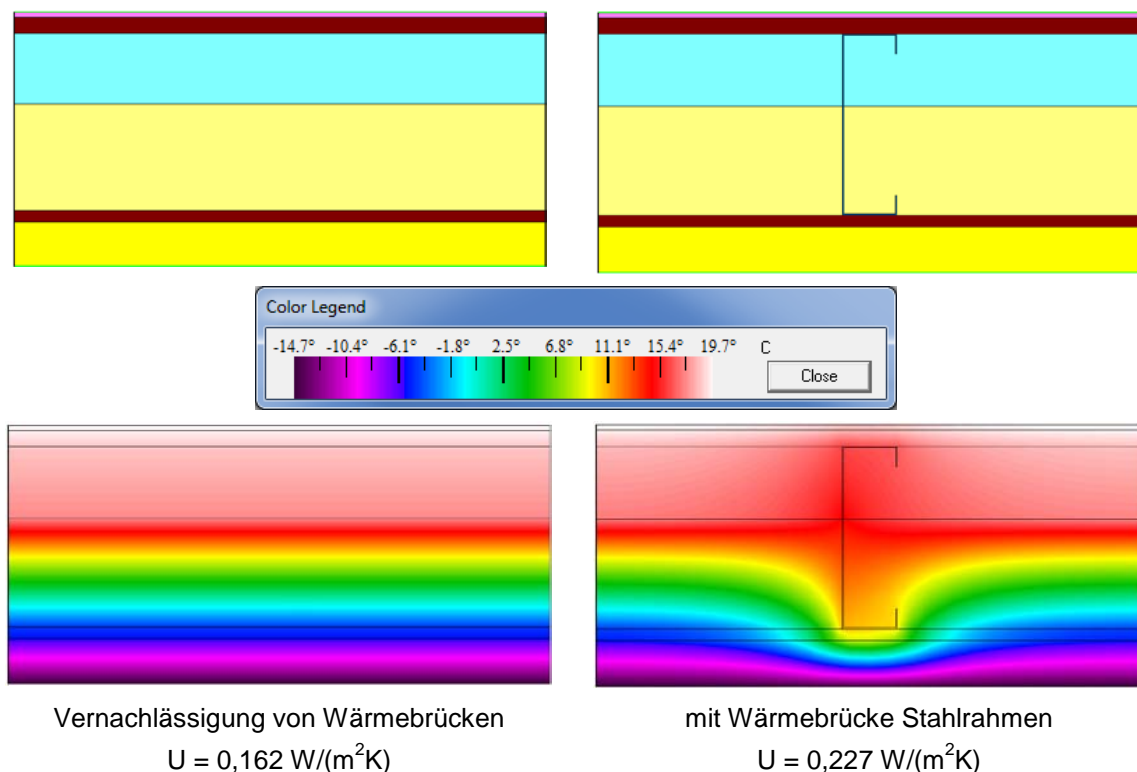


Abb. 3.12: Effekt der Wärmebrücken auf den U-Wert eines Stahlleichtbauteils (auskragende Decke)

Die U-Werte der Bauteile mit Wärmebrücken wurden nach der in Absatz 6 der ISO 6946:2007 beschriebenen Methode ermittelt und von Gorgolewski (2007) perfektioniert, da erstere nur anwendbar ist, wenn die Dämmschicht nicht durch Stahlrahmen überbrückt wird. Die zweite Methode beruht auf der Bestimmung der beiden Grenzwerte für den thermischen Widerstand des Bauteils und den von den Bolzenabmessungen und -abständen abhängigen Korrekturfaktoren.

Der untere Grenzwert wurde auf Grundlage der parallelen Widerstände der Ebenen berechnet, also unter der Annahme, dass jede Ebene die gleiche Temperatur aufweist. Der obere Grenzwert für den thermischen Widerstand wurde durch Summierung der Widerstände jedes Wärmeweges ermittelt.

3.3.4 Kalibrierung des Algorithmus

Um die Genauigkeit des Algorithmus zur Berechnung des betrieblichen Energiebedarfs für die Raumheizung und -kühlung des Gebäudes auf Basis des quasi-stationären Monats-Berechnungsverfahrens der ISO 13790 zu testen und zu verbessern, wurden mehrere Überprüfungen und Kalibrierungen durchgeführt.

Zunächst wurde die Genauigkeit des Monats-Berechnungsverfahrens anhand der zwölf in EN 15265 vorgeschriebenen Prüffälle für einen einzelnen Büroraum verifiziert. Da reale Gebäude komplexer sind und mehr als einen Raum haben, wurde das Verfahren auch für ein Bürogebäude mit mehreren Räumen kalibriert. Dabei wurden Korrekturfaktoren für die vier Hauptkomponenten der Gebäude-Wärmebilanz und die dimensionslosen dynamischen Parameter verwendet.

Abschließend wurde das Berechnungsverfahren in Kapitel 4.2 anhand einer Fallstudie (Wohngebäude mit Flachdach) getestet und mit den Ergebnissen einer ausführlichen dynamischen Simulation mit *DesignBuilder/EnergyPlus* verglichen.

3.3.4.1 Präzisionsprüfung im Rahmen der EN 15265

Dieses Kapitel zeigt einige der für die Verifizierung durchgeführten Prüfungen. Dabei wurden die 12 in EN 15265 (2007) vorgeschriebenen Prüffälle (Abb. 3.13) für einen Büroraum angewendet. Diese Norm verwendet einen Referenzraum mit einem Glaselement nach Westen, der unter verschiedenen Randbedingungen, Veränderungen der inneren und solaren Einträge und zwei Arten des Heiz- und Kühlbetriebs (kontinuierlich und unterbrochen) analysiert wird. Für jeden der zwölf Prüffälle liefert die Norm Referenzergebnisse für den Heiz- und Kühlenergiebedarf für einen bestimmten Standort (Trappes, Frankreich). Die Klimadaten für diesen Standort werden ebenfalls vorgeschrieben und beinhalten stündliche Werte für die Außenlufttemperatur und die Solareinstrahlung.

Tabelle 3.21: In EN 15265 (2007) vorgeschriebene Prüffälle zur Validierung des nach der dynamischen Methode berechneten Energiebedarfs für die Raumheizung und -kühlung

Erstprüfungen	Validierungsprüfungen	Validierungsprüfungen
Prüfung 1 Bezugsfall	Prüfung 5 = 1 + unterbrochener	Prüfung 9 = 5 +
Prüfung 2 höhere Trägheit	Prüfung 6 = 2 + Betrieb	Prüfung 10 = 6 +
Prüfung 3 keine inneren Gewinne	Prüfung 7 = 3 + (nur 8h00-18h00 von Montag bis Freitag)	Prüfung 11 = 7 +
Prüfung 4 keine Sonnenschutzeinrichtung	Prüfung 8 = 4 +	Prüfung 12 = 8 +

Da es wichtig war, die Genauigkeit der Terme, die zur Wärmebilanz beitragen und nicht in EN 15265 vorgegeben sind, zu bestimmen, wurden die Prüffälle ebenfalls

in der ausführlichen dynamischen Simulation mit der Software *DesignBuilder*, die den Simulationsalgorithmus von *EnergyPlus* verwendet, berechnet.

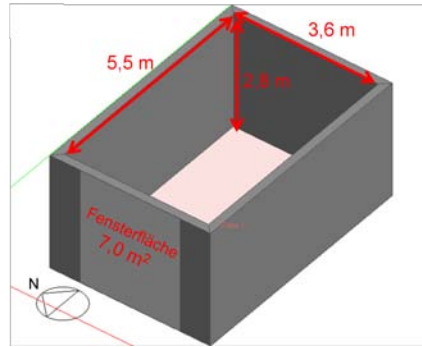
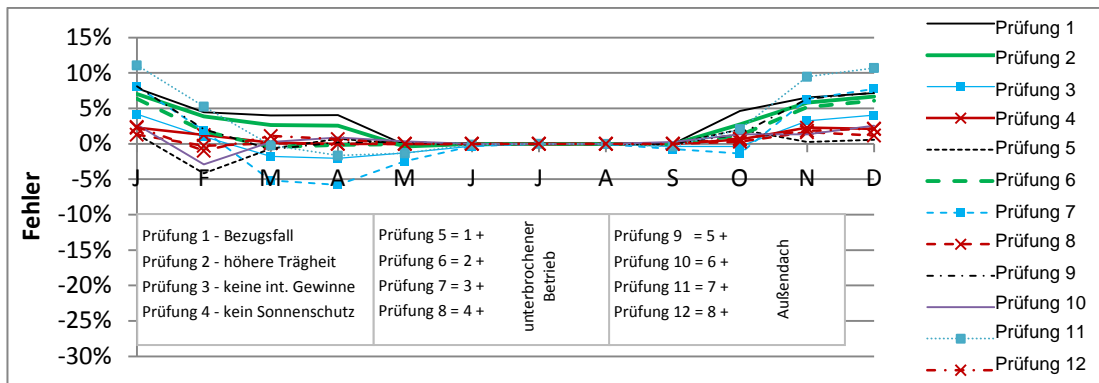
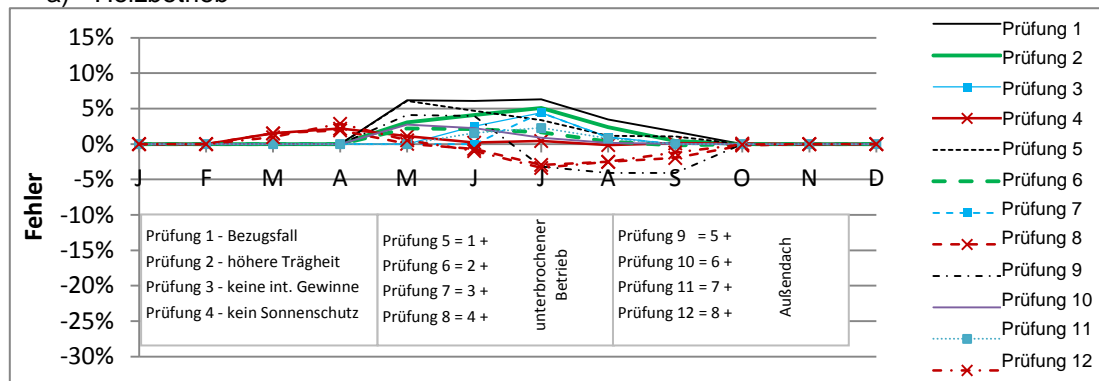


Abb. 3.13: Modell des in EN 15265 vorgeschriebenen einzelnen Bürraumes

Abb. 3.14 stellt die Fehler des quasi-stationären Monats-Berechnungsverfahrens auf einer Monatsbasis (mit Bezug zu den Ergebnissen der Simulation nach *EnergyPlus*) und als Prozentsatz des gesamten Jahresenergiebedarfs dar. Wie die Abbildung zeigt, ist der maximale monatliche Fehler niedriger als 12%. Für die Sommer- bzw. Wintermonate ergeben sich jeweils höhere Fehler.



a) Heizbetrieb



b) Kühlbetrieb

Abb. 3.14: Monatliche Fehler des Algorithmus (quasi-stationäres Monats-Berechnungsverfahren)
Referenzwerte: EnergyPlus (ausführliche dynamische Simulation auf Stundenbasis)

3.3.4.2 Kalibrierungsfaktoren

Das quasi-stationäre Monats-Berechnungsverfahren beinhaltet im Vergleich zur erweiterten dynamischen Simulation (auf Stundenbasis) einige Vereinfachungen. Mehrere Faktoren tragen zu diesen Unterschieden bei:

- (i) die dynamischen monatlichen Ausnutzungsfaktoren $\eta_{H,gn,m}$ und $\eta_{C,ls,m}$ werden innerhalb einer klimatischen Region als konstant und unabhängig von den Klimadaten und dem Nutzungsplan angenommen;
- (ii) die Energiegrößen Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{int} und Q_{sol} wurden für die konstanten Innenraumtemperaturen berechnet, die als Sollwerte für die Heiz- und Kühlperioden festgelegt sind.

Auch die Klimadaten, die Nutzungspläne und der Gebäudeaufbau beeinflussen die o.g. Parameter indirekt. Daher ist, trotz der guten Übereinstimmung der Ergebnisse des quasi-stationären Monats-Berechnungsverfahrens mit den Prüffällen der EN 15625, davon auszugehen, dass die umfassende Bewertung der Leistung von Gebäuden mit komplexerem Aufbau, anderen Betriebsbedingungen und Klimadaten deutlicher von den Ergebnissen mit dem vereinfachten Ansatz abweichen kann. Dies wurde auch in ISO 13790 erkannt, die mögliche Unterschiede von 50% bis zu 150% angibt und daher in Anhang I die Grundlage für ein Verfahren zur Ableitung der monatsbezogenen Ausnutzungsgrade enthält. Um diese mögliche Streuung zu minimieren, wurden neue Korrekturfaktoren definiert und kalibriert, um die Abschätzungen nachstehender Energieterme zu verbessern: (i) Wärmetransfer durch Transmission; (ii) Wärmetransfer durch Lüftung; (iii) innere Wärmeeinträge; (iv) solare Wärmeeinträge.

$$H_{tr,adj,c} = f_{tr} \cdot H_{tr,adj} \rightarrow Q_{tr,m} = H_{tr,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Formel (3.60)

$$H_{ve,adj,c} = f_{ve} \cdot H_{ve,adj} \rightarrow Q_{ve,m} = H_{ve,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Formel (3.61)

$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m}$$

Formel (3.62)

Dabei ist $H_{tr,adj,c}$ der korrigierte Wärmetransfer durch Transmission; f_{tr} der Korrekturfaktor für den Wärmetransfer durch Transmission; $H_{ve,adj,c}$, der korrigierte Wärmetransfer durch Lüftung; f_{ve} der Korrekturfaktor für den Wärmetransfer durch Lüftung; f_{int} der Korrekturfaktor für innere Wärmeeinträge und f_{sol} der Korrektur-

faktor für solare Wärmeeinträge ohne Wärmeabstrahlung in den Himmel. Zu beachten ist, dass unterschiedliche Korrekturfaktoren für jede Klimaregion kalibriert wurden.

Neben den zuvor genannten Korrekturfaktoren für die vier Hauptwärmeflusskomponenten wurden auch die dimensionslosen Parameter a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} und τ_{C0} für jede Klimaregion kalibriert.

Da sich das Monats-Verfahren auf die Vorhersage des Energiebedarfs eines ganzen Gebäudes und nicht nur, wie in EN 15625 (2007) vorgeschrieben, auf einen Raum bezieht, wurden alle Kalibrierungen anhand eines neuen Sets von Prüffällen auf Basis typischer Gebäudeeigenschaften (Wohnung, vgl. Abb. 3.15) durchgeführt.

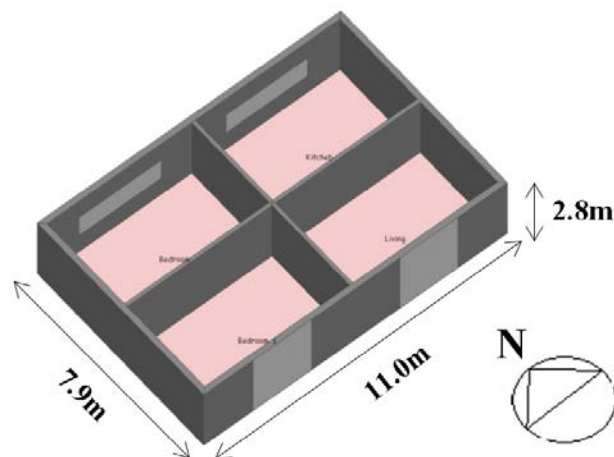


Abb. 3.15: Beispiel des Gebäudemodells, das für die Prüffälle für die Kalibrierung des Monats-Berechnungsverfahrens verwendet wird

Diese Prüffälle verwenden die gleichen thermischen Eigenschaften wie die Gebäudehülle der Prüffälle nach EN 15265 (2007) (vgl. Tabelle 3.22), aber mit anderen Grundbedingungen (Wände und Dach nicht-adiabatisch) und größerer Geschossfläche (79,2 m²). Die angenommene Luftwechselrate liegt bei 1,0 Luftwechseln pro Stunde (konstant).

Tabelle 3.22 – Thermische Eigenschaften der Gebäudehülle der Kalibrierungs-Prüffälle

Element	U-Wert [W/m ² .K]	κ_m [J/m ² .K]
Außenwand	0,493	81.297
Innenwand	-	9.146
Dach	0,243	6.697
Bodenplatte	-	63.380

Eine wichtige Änderung im Kalibrierungsmodell bezieht sich auf die Nutzung und den Arbeitsplan der TGA, da sich die Prüffälle der EN 15625 (2007) auf einzelne Büroräume beziehen. Deshalb wurden die in Tabelle 3.13 gezeigten Arbeitspläne bzw. die Wärmeflüsse für Bürogebäude aus ISO 13790 (2008) verwendet. Aufgrund des großen Einflusses der Glasflächen auf die solaren Wärmeeinträge und Wärmeverluste wurden, wie in Tabelle 3.23 dargestellt, verschiedene Verhältnisse der Wandflächen zu den Geschossflächen analysiert. Zudem wurden Szenarien mit und ohne Verschattungseinrichtungen beim Kalibrierungsprozess erfasst.

Tabelle 3.23 – Hauptvariablen der Prüffälle zur Kalibrierung des Werkzeugs

Prüffall	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Verschattung
T1	35	36	54	AN
T2				AUS
T3	25	20	40	AN
T4				AUS
T5	15	12	24	AN
T6				AUS

GFR: Verhältnis Verglasung zu Geschossfläche;

NGWR: Verhältnis von Verglasung zur Wand (nach Norden ausgerichtet);

SGWR: Verhältnis von Verglasung zur Wand (nach Süden ausgerichtet).

Alle Prüffälle wurden für fünf verschiedene Klimaregionen analysiert: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; und (v) Dfc. Die Korrekturfaktoren wurden ermittelt, indem der Fehler für jede Untergruppe der Prüffälle für jede Klimaregion minimiert wurde. In einigen Fällen wurden über 500 Einzelberechnungen durchgeführt.

Abb. 3.16 zeigt die Verbesserung der Genauigkeit für die Klimazone Dfb. Dabei wurden durchschnittliche Verbesserungen um 43% erzielt, sodass sich der absolute Fehler auf unter 2% verringerte.

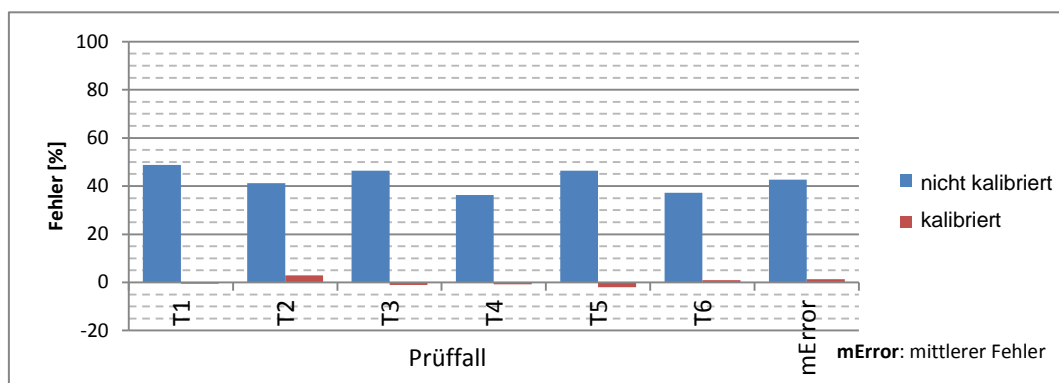


Abb. 3.16: Verbesserung der Genauigkeit des Monats-Verfahrens nach ISO 13790 für das Dfb-Klima: Jahresgesamtenergie für die Raumheizung und -kühlung

Abb. 3.17 fasst die Verbesserungen für die fünf hier betrachteten Klimaregionen zusammen. Dabei ist festzuhalten, dass die Genauigkeit der Methode ohne Korrekturen für kältere Klimazonen niedriger ist. Der höchste Fehler ergibt sich für die Klimaregion Dfc, der niedrigste für Csb. Die geringere Genauigkeit des Monats-Verfahrens bei der Abschätzung des Energiebedarfs für kalte Monate liegt darin, dass die Einträge bei der ausführlichen dynamischen Methode effizienter zur Raumheizung genutzt werden als bei der vereinfachten Methode angenommen. Dieser Effekt wird sogar noch wichtiger und deutlicher, wenn die solaren Einträge niedriger sind. Insgesamt liegen alle Fehler bei Berücksichtigung der Korrekturfaktoren bei unter 10%.

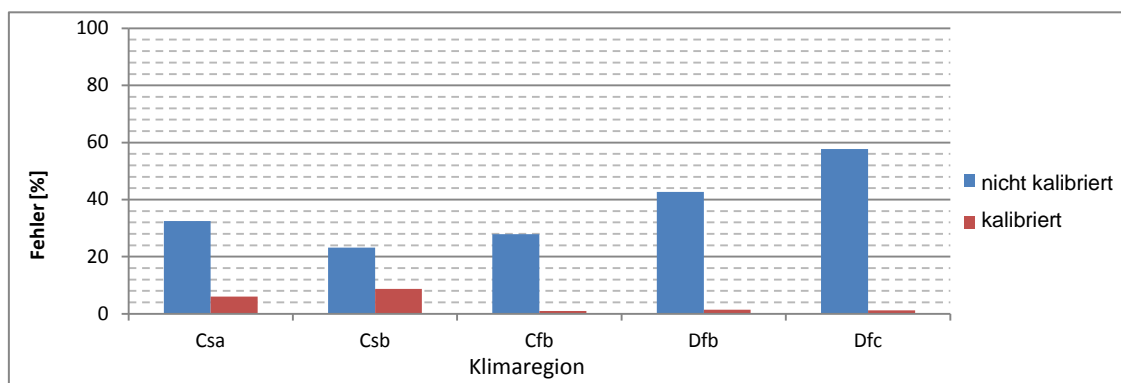


Abb. 3.17: Mittlerer Fehler des Monats-Verfahrens mit und ohne Kalibrierungsfaktoren

Es ist zu beachten, dass die Fehlertendenzen mit und ohne Verschattungseinrichtungen unterschiedlich sind. Daher wurden für beide Fälle Kalibrierungsfaktoren ermittelt. Tabelle 3.24 und Tabelle 3.25 zeigen die verschiedenen Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der Nutzung der beweglichen Verschattungseinrichtungen.

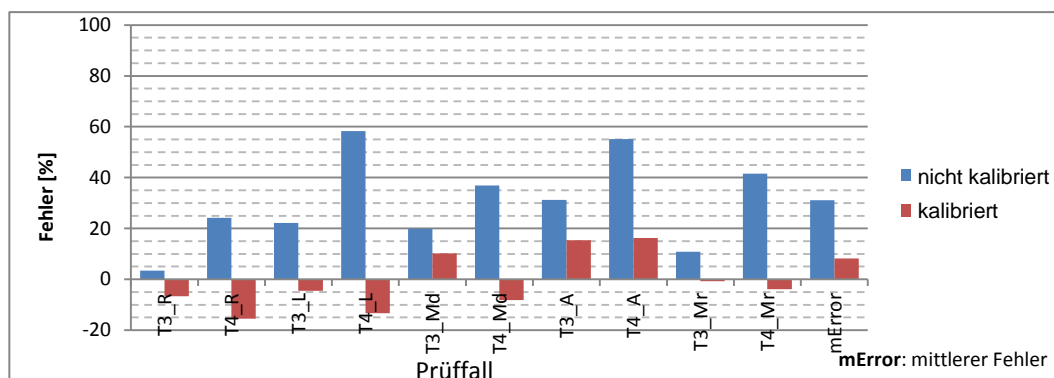
Tabelle 3.24 – Erhaltene Kalibrierungsfaktoren bei aktivierten Verschattungseinrichtungen

Verschattungseinrichtung AN												
Region	Heizbetrieb						Kühlbetrieb					
	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1,00	15,67	1,00	1,00	0,90	0,93	1,20	15,00	1,07	1,00	0,83	0,90
Csb	1,33	15,00	1,00	1,07	0,97	0,93	1,10	15,00	1,03	1,10	0,97	1,00
Cfb	1,33	15,00	0,93	0,83	1,10	1,07	1,30	15,00	1,00	1,00	1,00	1,03
Dfb	1,30	14,67	0,83	0,90	1,25	1,25	1,00	15,00	1,07	1,07	0,97	1,00
Dfc	1,25	14,33	0,83	0,83	1,17	1,50	1,00	15,00	1,00	1,00	1,00	1,00

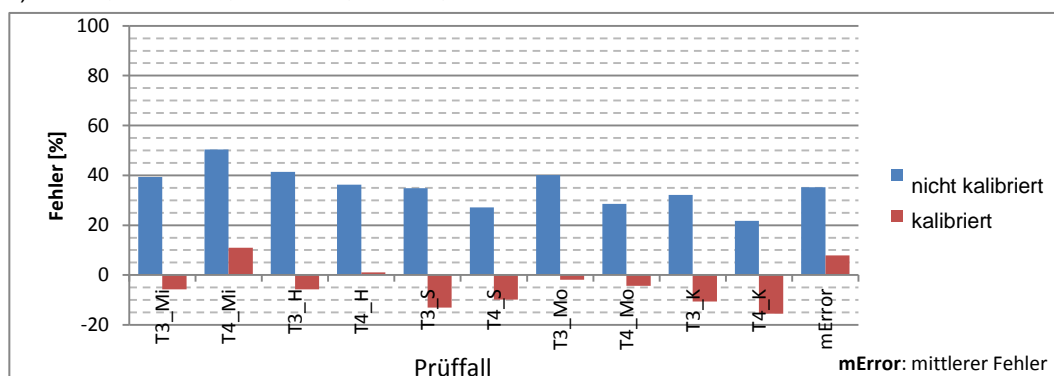
Tabelle 3.25 – Erhaltene Kalibrierungsfaktoren bei nicht aktivierten Verschattungseinrichtungen

Region	Verschattungseinrichtung AUS											
	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	0,93	15,00	1,00	1,00	1,03	1,03	1,25	15,00	1,17	1,33	0,83	0,90
Csb	1,13	15,00	1,00	0,97	1,03	1,00	0,93	15,00	1,08	1,17	0,87	0,87
Cfb	1,17	15,00	1,00	0,93	1,00	1,03	1,08	15,00	1,08	1,33	0,90	0,87
Dfb	1,33	15,00	0,93	0,87	1,17	1,10	1,20	15,00	1,00	1,00	0,83	0,90
Dfc	1,50	14,00	0,80	0,80	1,07	1,20	1,00	15,00	1,17	1,17	0,92	0,90

Da das Monats-Verfahren unterschiedliche Aktivitätsmodi der Verschattungseinrichtungen im Winter und Sommer erlaubt, wurden die Korrekturfaktoren für den Kühlbetrieb in Tabelle 3.24 und für den Heizbetrieb in Tabelle 3.25 implementiert. Um den auftretenden Fehler bei Verwendung der jeweiligen Klimadaten für jeden Standort zu ermitteln, wurden die Kalibrierungsfaktoren auf die Prüffälle 3 und 4 aus Tabelle 3.23 (Verhältnis Verglasung zu Geschossfläche 25%) für fünf Standorte der Klimaregionen Csa und Dfb angewendet. In Abb. 3.18 wird gezeigt, dass der sich ergebende Fehler, wie erwartet, je nach Standort variiert. Die höchsten Fehler ergeben sich für die Klimaregionen Csa (Athen, 16,2%) und Dfb (Kiew, 15,5%). Insgesamt liegt der mittlere Fehler für beide Klimaregionen bei unter 10% (Csa: 8,2% und Dfb: 7,9%).



a) R: Rom; L: Lissabon; Md: Madrid; A: Athen; Mr: Marseille



b) Mi: Minsk; H: Helsinki; S: Stockholm; Mo: Moskau; K: Kiew

Abb. 3.18: Verifizierung der Kalibrierungspräzision für verschiedene Klimaregionen: a) Csa; b) Dfb

4 VALIDIERUNG DER METHODEN

Nachfolgend wird die Validierung der in den vorherigen Teilen gezeigten Ansätze beschrieben. Es wurde eine Fallstudie durchgeführt und mit den Ergebnissen eines ausführlichen Ansatzes verglichen. Für letzteren wurden die kommerziellen Programme *GaBi 6* (2012) für die Ökobilanz und *DesignBuilder* (2012) für die Energieberechnung verwendet.

4.1 Validierung des Makro-Komponenten-Ansatzes

Die Validierung des Makro-Komponenten-Ansatzes basiert auf einem für die Fallstudie ausgewählten Wohngebäude mit Flachdach in Portugal. Die Ergebnisse des vereinfachten Ansatzes werden mit denen einer ausführlichen Analyse mit der GaBi-Software verglichen. Die Analyse wird auf Gebäudeebene durchgeführt.

4.1.1 Beschreibung der Fallstudie

Das zweigeschossige Einfamilienhaus steht in Coimbra (Portugal). Die Ansichten und Grundrisse werden in Abb. 4.1 bzw. Abb. 4.2 dargestellt.



Abb. 4.1: Gebäude-Ansichten

Die Gesamtfläche beträgt etwa 202,00 m² mit jeweils 100,8 m² im Erdgeschoss und im ersten Stock sowie 20,2 m² Terrasse. Die Gesamthöhe des Gebäudes beträgt 6 m.

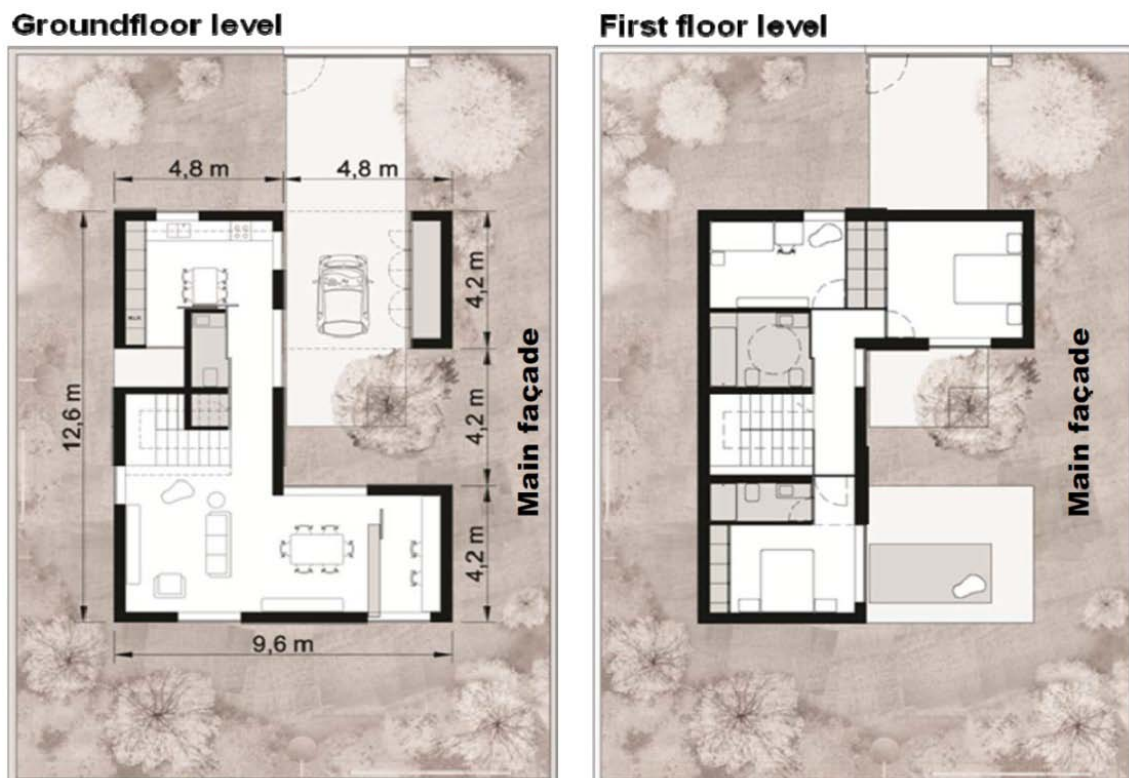


Abb. 4.2: Grundrisse Geschosse

Die Fensterflächen jeder Fassade werden ebenfalls in den Gebäudeplänen dargestellt. Tabelle 4.1 fasst die Flächen der Gebäudehülle zusammen.

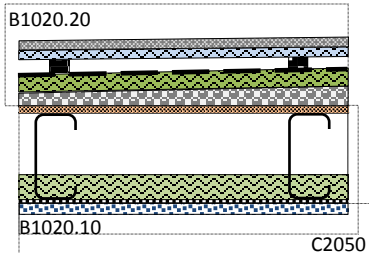
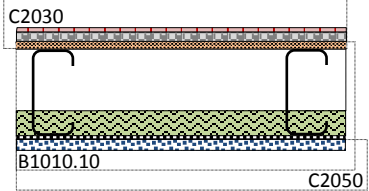
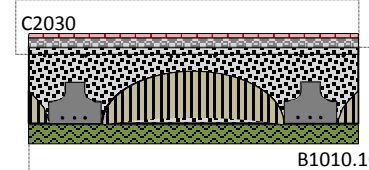
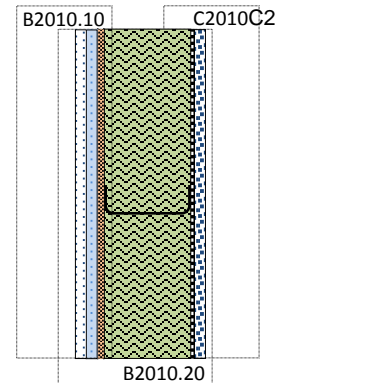
Tabelle 4.1: Wände und Fensterflächen in der Vorplanungsstufe

	Nord [m ²]	Ost [m ²]	Süd [m ²]	West [m ²]	Summe [m ²]
Wände	41,3	49,9	38,3	60,4	189,9
Fenster	13,0	17,3	15,6	4,3	50,2

4.1.2 Auswahl der Makro-Komponenten

Für die Durchführung der Ökobilanz wurden die in Tabelle 4.2 dargestellten Makro-Komponenten für die Hauptkomponenten des Gebäudes, also Tragwerk, Dach, Außenwände und Innenwände, ausgewählt.

Tabelle 4.2: Auswahl der Makro-Komponenten

	Makro-Komponenten-Referenz	Material-schichten	Dicke [mm] Dichte [kg/m ²]	U-Wert [W/m ² ·K]	K _m [J/m ² ·K]
Dach					
	B1020.20 Bodenaufbau-platten, -beläge	Zementplatte	30 mm	0,37 ^(*)	13.435
		XPS-Platte	30 mm		
		Luftschicht	30 mm		
		wasserdichte Folie	1,63 kg/m ²		
		XPS	0 mm		
		Beton-Estrich	40 mm		
	B1020.10 Dach-Tragwerk	OSB	18 mm		
		Luftschicht	80 mm		
		Steinwolle	120 mm		
		Leichtbaustahl	17 kg/m ²		
C2050 Deckenabschluss	Gipskartonplatte	15 mm			
	Anstrich	0,125 kg/m ²			
Zwischendecke					
	C2030 Bodenbelag	Keramikfliesen	31 kg/m ²	-	61.062
		Beton-Estrich	13 mm		
	B1010.10 Decken-konstruktion	OSB	18 mm		
		Luftschicht	160 mm		
		Steinwolle	40 mm		
		Leichtbaustahl	14 kg/m ²		
	C2050 Decken-oberfläche	Gipskartonplatte	15 mm		
Anstrich		0,125 kg/m ²			
Bodenplatte					
	C2030 Bodenbelag	Keramikfliesen	31 kg/m ²	0,599	65.957
		Beton-Estrich	13 mm		
	B1010.10 Aufbau Bodenplatte	Betonfertigteil-platte	180 mm		
		XPS	40 mm		
Außenwand					
	B2010.10 Außenwand-Verblendung	WDVS	13,8 kg/m ²	0,29 ^(*)	13.391
	B2010.20 Außenwand-konstruktion	OSB	13 mm		
		Steinwolle	120 mm		
		Leichtbaustahl	15 kg/m ²		
	C2010 Innenwand-Oberflächen	Gipskartonplatte	15 mm		
Anstrich		0,125 kg/m ²			

Innenwand				
	C2010 Wandabschluss	Anstrich	0,125 kg/m ²	- 26.782
	C1010 Trennwände	Gipskartonplatte	15 mm	
		Steinwolle	60 mm	
		Leichtbaustahl	10 kg/m ²	
	C2010 Wandabschluss	Gipskartonplatte	15 mm	
		Anstrich	0,125 kg/m ²	

^(*) korrigierte Werte für Wärmebrücken

4.1.3 Anwendung des Makro-Komponenten-Ansatzes

Entsprechend der Gebäudegeometrie und bei Nutzung der gewählten Makro-Komponenten (vgl. Tabelle 4.2) wurden die ökologischen Berechnungen für das komplette Gebäude für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren durchgeführt. Die Ergebnisse werden für die in EN 15978 definierten Module in Abb. 4.3 dargestellt. Das Diagramm zeigt den Beitrag jedes Moduls pro Wirkungskategorie. Wie aus der Abbildung hervorgeht, dominiert die Herstellungsphase (Module A1-A3) bei allen Wirkungskategorien mit Anteilen von mehr als 60%.

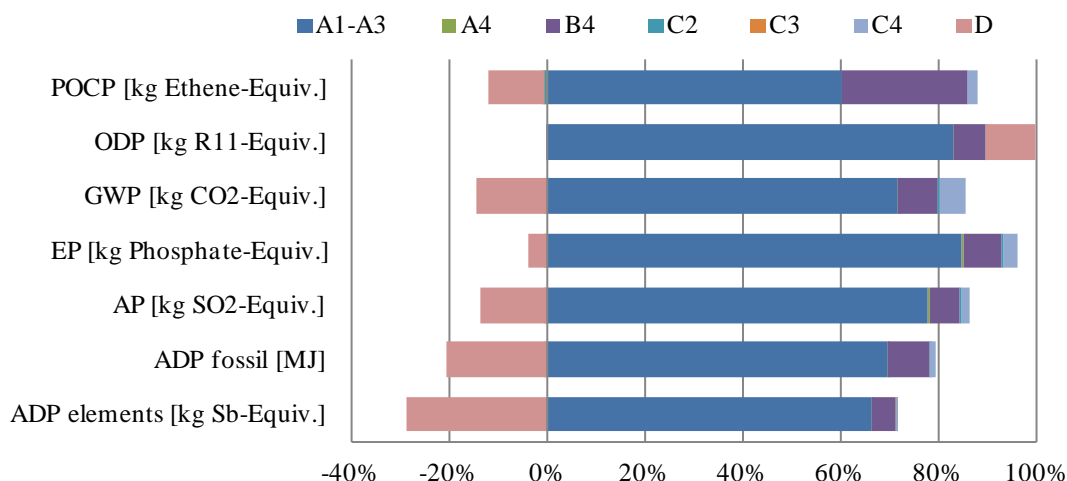


Abb. 4.3: Beitrag für jedes Modul je Umweltkategorie

Die Betriebsphase, hier der Ersatz (Modul B4), das Recycling und die Rückgewinnung der Materialien (Modul D) haben auf die meisten Wirkungskategorien ebenfalls großen Einfluss, gefolgt von der Rückbauphase (Module C2-C4). Die negativen Werte in Abb. 4.3 ergeben sich aus Modul D und bedeuten,

dass für diese Lösung Gutschriften aus dem Recycling bzw. der Verwertung von Materialien nach dem Rückbau vergeben werden. Die Summen für jede Umweltwirkung werden nachfolgend dargestellt.

Tabelle 4.3: Ökobilanz eines Gebäudes

Umweltwirkung	Summe
ADP Stoffe [kg Sb- Äqv.]	1,11E-01
ADP fossile Energieträger [MJ]	4,38E+05
AP [kg SO ₂ - Äqv.]	1,35E+02
EP [kg Phosphat- Äqv.]	1,53E+01
GWP [kg CO ₂ -Äqv.]	3,54E+04
ODP [kg R11- Äqv.]	1,00E-03
POCP [kg Ethen- Äqv.]	3,71E+01

4.1.4 Vergleich mit einer umfassenden Ökobilanz

In diesem Teil wird ein Einfamilienhaus unter Berücksichtigung aller Gebäude-details und Lebenszyklusphasen analysiert. Die nachstehende Ökobilanz füllt auch die Lücken, die sich aus dem vereinfachten Ansatz ergeben, also die Fundamente und die Bauphase (Modul A5). Die vollständige Ökobilanz wurde mit der Software GaBi 6 (2012) durchgeführt.

Die Fundamente bestehen aus bewehrtem Beton und das erste Geschoss liegt ca. 50 cm über dem Erdboden. Am Lebensende wird der Beton verwertet.

Die Bauphase beinhaltet die Prozesse (i) Vorbereitung des Geländes (Aushub des Bodens und Transport des Bodenaushubs) und (ii) Bauprozess (Einsatz von Baumaschinen für die Montage des Tragwerks und Gabelstapler für die Anhebung der Bauplatten). Die Bauzeit wurde mit 1,5 Monaten angenommen.

Die Ergebnisse der Ökobilanz für alle Lebenszyklusphasen werden in Abb. 4.4 dargestellt.

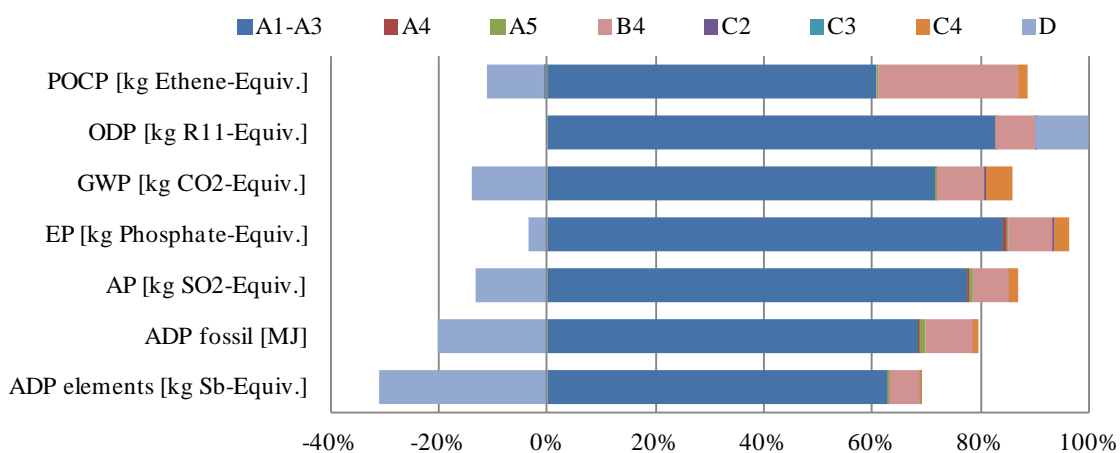


Abb. 4.4: Ökobilanz des gesamten Gebäudes

Die Herstellungsphase (Module A1-A3) dominiert bei allen Wirkungskategorien mit Anteilen von mehr als 60%. Die Bauphase (Module A4-A5) hat einen vernachlässigbaren Einfluss zwischen 0% (ODP, POCP und ADP_{Stoffe}) und 2,1% für das ADP_{fossile Energieträger}. Die Betriebsphase (hier der Ersatz in Modul B4), das Recycling und die Rückgewinnung der Materialien (Modul D) haben auf die meisten Wirkungskategorien ebenfalls großen Einfluss, gefolgt von der Rückbauphase (Module C2-C4). Diese Schlussfolgerungen ergaben sich bereits beim vereinfachten Ansatz, trotz dessen Einschränkungen.

Zuletzt wurde der relative Fehler des vereinfachten Ansatzes für jede Wirkungskategorie ermittelt und in Tabelle 4.4 dargestellt.

Tabelle 4.4: Fehler (%) in jeder Umweltwirkung bei Anwendung des Makro-Komponenten-Ansatzes

ADP Stoffe	ADP fossile Energieträger	AP	EP	GWP	ODP	POCP
0,0%	-2,4%	-1,3%	-1,3%	-1,3%	-0,1%	-0,5%

Für die meisten Umweltwirkungen ist der Fehler vernachlässigbar. Allerdings können andere Konstruktionssysteme natürlich zu höheren Einflüssen aus der Bauphase führen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Ergebnisse des vereinfachenden Makro-Komponenten-Ansatzes, trotz seiner Einschränkungen, mit den Werten einer ausführlichen Ökobilanz weitestgehend übereinstimmen.

4.2 Validierung des Ansatzes zur Berechnung des Energiebedarfs

Die Validierung des Ansatzes zur Berechnung des Energiebedarfs basiert auf der gleichen Fallstudie. Im Folgenden werden alle zusätzlichen Informationen und Berechnungsschritte dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse des verwendeten Ansatzes mit denen aus einer dynamischen Simulation unter Verwendung der Software *DesignBuilder/EnergyPlus* (2012) verglichen.

4.2.1 Klimadaten und thermische Eigenschaften des Erdreichs

Das Gebäude steht in Coimbra und gehört damit zur Klimaregion Csb. Die zugehörigen monatlichen Werte für die Temperatur und Solareinstrahlung werden in Abb. 4.5 dargestellt.

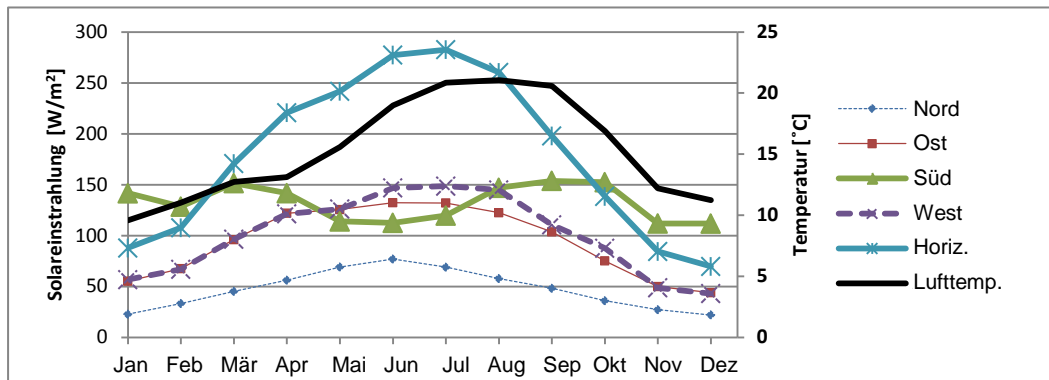


Abb. 4.5: Klimadaten von Coimbra: Solareinstrahlung und Außenlufttemperatur

Für die thermischen Eigenschaften des Erdreichs wurden die Standardwerte aus Tabelle 3.10 übernommen.

4.2.2 Nutzungsbezogene Daten

Für den Nutzungsplan und Wärmeströme aufgrund innerer Quellen (Benutzeraktivität, Geräte und Beleuchtung) wurden die bereits in Tabelle 3.13 aufgelisteten Standardwerte aus ISO 13790 verwendet. Als Behaglichkeitstemperaturen wurden 20°C (Winter) und 25°C (Sommer) angenommen.

4.2.3 Gebäudetechnik

Auch für die technischen Informationen und Zeitpläne der Haustechnik (Heizung, Kühlung, Lüftung und Warmwasserbereitstellung) wurden Standardwerte übernommen. Diese werden in Tabelle 4.5 angegeben.

Tabelle 4.5: Eingangsdaten Gebäudetechnik (Standardwerte)

Gebäudetechnik	Wert
Klimaanlage (Sollwert 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	Leistungszahl Heizung = 4,0 Leistungszahl Kühlung = 3,0
Warmwasserbereitstellung ²	Effizienz: 0,9
Lüftung + Infiltrationsrate ⁽³⁾ (konstante Werte)	0,6 ac/h (Heizbetrieb) 1,2 ac/h (Kühlbetrieb)

(1) aus ISO13790 (2008) – Tabelle G.12;

(2) entsprechend EN 15316-3-1 (2007);

(3) In Abhängigkeit von der Luftdichtheit der Gebäudehülle und den passiven Kühlstrategien.

4.2.4 Verglaste Gebäudehülle und Verschattungseinrichtungen

Die Eigenschaften der Fenster werden in Tabelle 4.6 angegeben. In diesem Fall wurden Fenster mit Doppelverglasung und PVC-Rahmen angenommen.

Tabelle 4.6: Optische und thermische Eigenschaften der Fenster (Glas + Rahmen)

Materialien	U-Wert [W/m ² .K]	Gesamtenergie- durchlassgrad
PVC-Rahmen und Doppelverglasung (8+6 mm, mit Luftschicht von 14 mm)	2,597	0,780

Die Eigenschaften der Sonnenschutzeinrichtung sind:

Tabelle 4.7: Optische und thermische Eigenschaften der Sonnenschutzeinrichtungen

Element	Transmissionsgrad	Reflexionsgrad	R [m ² .K/W]	g _{gl+sh}
Abschluss	0,02	0,80	0,260*	0,04**

*Sonnenschutz und Luftschicht inbegriffen (ISO 10077, 2006); **EN 13363-1, 2007.

4.2.5 Opake Gebäudehülle

Die Merkmale und Eigenschaften der opaken Elemente der Fassaden werden aus den Makro-Komponenten entnommen (vgl. Tabelle 4.2). Die Farbe der opaken Gebäudehülle beeinflusst die solaren Einträge. Es wurde angenommen, dass das Gebäude eine helle Farbe mit einem Absorptionskoeffizienten von 0,4 hat.

4.2.6 Ergebnisse Energiebedarf des Gebäudes

In diesem Fall beträgt der mit dem Monats-Berechnungsverfahren ermittelte Energiebedarf für die Raumheizung 651,3 kWh und für die Raumkühlung 2195,0 kWh pro Jahr (vgl. Abb. 4.6). Der gesamte Energiebedarf für die Raumheizung und -kühlung beträgt damit 2.846,3 kWh pro Jahr (23,0 kWh/m²) und für die Warmwasserbereitstellung 2.642 kWh pro Jahr (21,3 kWh/m²).

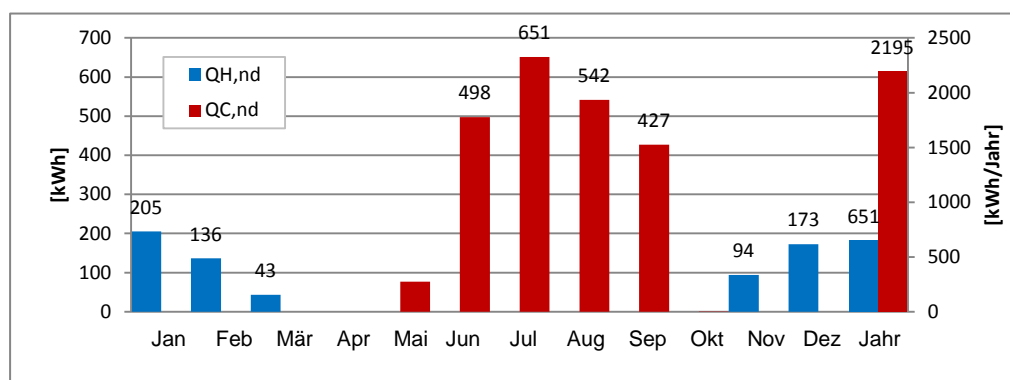


Abb. 4.6: Energiebedarf Raumheizung und -kühlung (nach dem Monats-Berechnungsverfahren)

4.2.7 Vergleich mit der erweiterten Simulation

Es wurde ein Vergleich der Ergebnisse aus dem Monats-Berechnungsverfahren mit einer umfassenden dynamischen Simulation durchgeführt, um die Genauigkeit der Ergebnisse zu überprüfen.

4.2.7.1 Modell für die dynamische Simulation

Die umfassende dynamische Simulation des thermischen Verhaltens des Gebäudes wurde mit dem Programm DesignBuilder (2012) durchgeführt. Die verwendeten Wetterdaten für diese Simulation entsprechen denen des vereinfachten Verfahrens. Allerdings wurden anstelle der monatlichen Werte für die Trockentemperatur und Sonneneinstrahlung stundenbezogene Werte für alle Wetterparameter verwendet.

Das dreidimensionale umfassende Modell erlaubt die Simulation der vollständigen Gebäudearchitektur, wie in Abb. 4.1 und Abb. 4.2 dargestellt. Abb. 4.7 zeigt zwei Ansichten des für die dynamische Simulation verwendeten Modells aus dem DesignBuilder. Das Gebäudemodell wurde aus zehn verschiedenen thermischen Zonen zusammengestellt (Abb. 4.8):

- (i) dem unbeheizten Hohlraum über der Bodenplatte;
- (ii) dem Erdgeschoss mit drei thermischen Zonen;
- (iii) dem ersten Geschoss mit fünf Zonen;
- (iv) den bei beiden Geschossen gleichen Flächen für Flure und Treppen.



a) Süd-West-Ansicht



b) Nord-Ost-Ansicht

Abb. 4.7: Ansichten des Gebäudemodells

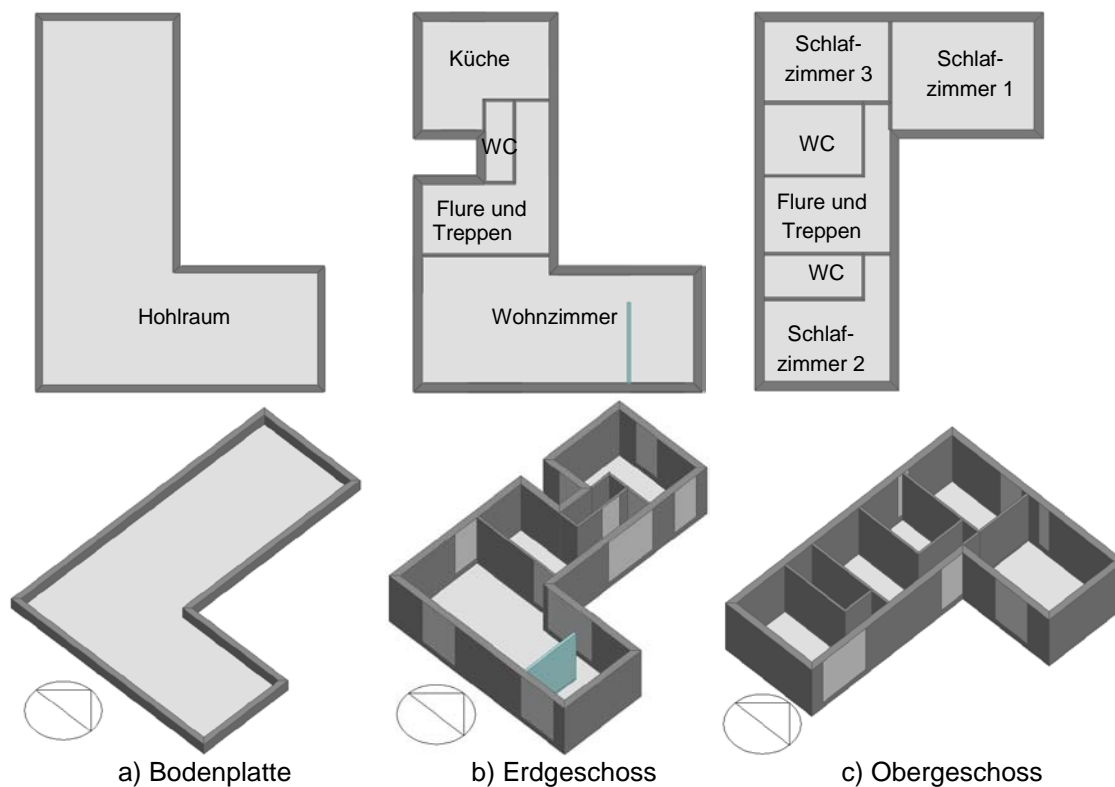


Abb. 4.8: Grundrisse der Geschosse

Die berücksichtigten Bauteile sind die gleichen wie beim Makro-Komponenten-Ansatz (vgl. Tabelle 4.2, Tabelle 4.6 und Tabelle 4.7, jeweils für opake Elemente, Fenster und Verschattungseinrichtungen). Ebenso wurde die gleiche Strategie für die Verschattungssteuerung angenommen. Auch Nutzungsplan, Lüftungsrate und die Effizienz der Klimaanlage wurden aus der vorherigen Analyse übernommen.

Abb. 4.9 zeigt den grafischen Vergleich der nach beiden Ansätzen berechneten monatlichen und jährlichen Energieeinsätze für die Heizung und Kühlung. Der Energiebedarf nach der dynamischen Simulation beträgt 932,4 kWh (Heizung) bzw. 2.133,3 kWh (Kühlung); In Summe also 3.065,7 kWh pro Jahr (24,8 kWh/m²).

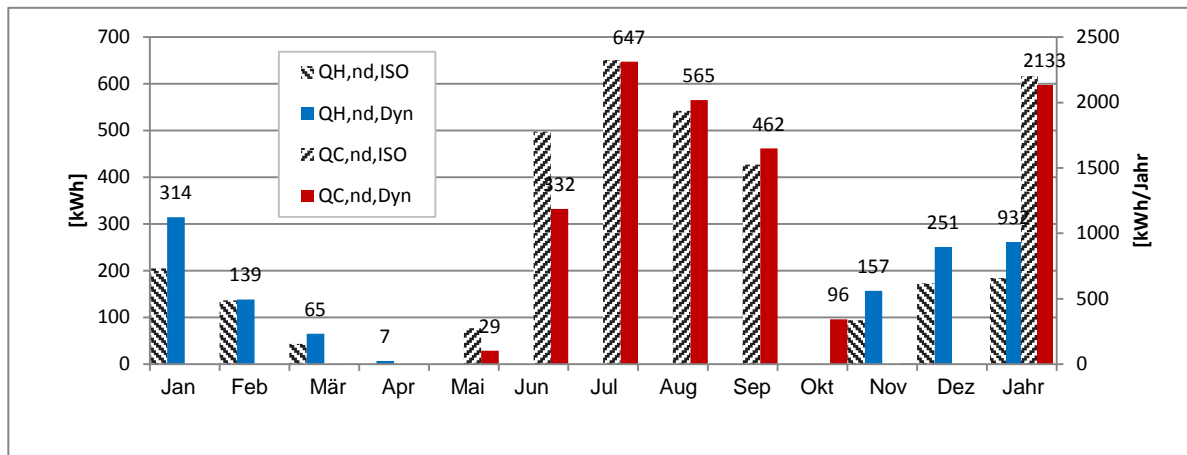


Abb. 4.9: Gebäudeenergiebedarf für die Raumheizung und -kühlung: Dynamische Simulationen (Dyn) versus Monats-Berechnungsverfahren (ISO)

Wie aus Abb. 4.9 hervorgeht, weist der mit dem vereinfachten Ansatz (Monats-Berechnungsverfahren) ermittelte Energiebedarf eine hohe Übereinstimmung mit den Ergebnissen der dynamischen Simulation auf. Der Fehler in Bezug auf den gesamten Energiebedarf für Heizung und Kühlung beträgt -7,2% (2.846,3 kWh/Jahr versus 3.065,7 kWh/Jahr).

4.3 Schlussbemerkungen

Die beiden in diesem Dokument vorgestellten vereinfachten Ansätze vermeiden den Einsatz komplexer Werkzeuge, z. B. für Ökobilanzen, die in der Regel umfassende Kenntnisse voraussetzen. Darüber hinaus erlauben sie eine deutliche Reduzierung des Zeitaufwandes, der normalerweise für die Durchführung einer derartigen Studie erforderlich ist.

Die Validierung beider Ansätze (Ökobilanz bzw. Energiebedarfsberechnung) wurde anhand der professionellen kommerziellen Programme *GaBi 6* (2012) bzw. *DesignBuilder* (2012) durchgeführt.

Der Vergleich der Ergebnisse aus beiden Analysearten lässt darauf schließen, dass die Genauigkeit beider Ansätze sehr hoch ist.

LITERATUR

Blendspace <https://www.blendspace.com/lessons/hMYwDSTKeg6ssQ/essential-question-how-can-i-protect-this-environment> (letzter Zugriff in 2013).

CPA, 2012. Construction Product Association “A guide to understanding the embodied impacts of construction products” [ISBN 978-0-9567726-6-4]

DesignBuilder software v3.0.0.105, www.designbuilder.co.uk/, 2012

EERE-USDoE, Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 (letzter Zugriff im März 2014)

EN 13363-1. (2007). Solar protection devices combined with glazing - Part 1: Simplified method. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15193, (2007) Thermal performance of buildings - Energy requirements for lighting, CEN – European Committee for Standardization.

EN 15265, (2007) Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15316-3-1, (2007) Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European Committee for Standardization.

EN 15643-1. 2010. Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings — Part 1: General framework. European Committee for Standardization, Brüssel, Belgien.

EN 15804. 2012. Sustainability of Construction Works — Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, Brüssel, Belgien.

EN 15978. 2011. Sustainability of Construction Works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. European Committee for Standardization, Brüssel, Belgien.

EN ISO 13786, (2007) Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods, CEN – European Committee for Standardization.

EN ISO 6946, (2007) Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, CEN – European Committee for Standardization.

EPA. U.S. Environmental protection Agency. Climate change. (<http://www.epa.gov/climatechange/>) (letzter Zugriff am 19.09.2009).

EPD.http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/images/smog_cause_eng.jpg

Forsberg, A., von Malmberg F. 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. In: Building and Environment, 39, pp. 223-228.

GaBi 6 (2012). Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Version 5.56. PE International AG, Leinfelden-Echterdingen, Deutschland

GaBi databases 2006. PE INTERNATIONAL GmbH; LBP-GaBi, University of Stuttgart: GaBi Software System, Leinfelden-Echterdingen / Deutschland, 2009.

Gervásio, H., Martins, R., Santos, P., Simões da Silva, L., "A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design", *Building and Environment* 73 (2014), pp. 256-270, DOI information: 10.1016/j.buildenv.2013.12.015.

Google Earth Software Website: www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/ (letzter Zugriff Januar 2014).

Gorgolewski, M. (2007) Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. *Building and Environment*, 42(1), 230–236.

Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Sleeswijk, A., Ansems, A., Egges, P., van Duin, R. and de Goede, H. 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. CML. Leiden University. Leiden

Howard N, Edwards S and Anderson J. 1999. Methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings. BRE Report BR 370. Watford. (<http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=52>)

Huijbregts, M. 2001. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis. University of Amsterdam. Niederlande.

IEA. 2001. LCA methods for buildings. Annex 31 – Energy-related environmental impact of buildings. International Energy Agency.

IPCC. 2007. Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. IPCC, Genf, Schweiz

ISO 10077, (2006) Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13370, (2007) Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13789, (2007) Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13790, (2008) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European Committee for Standardization.

ISO 14025. 2006. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures, ISO - International Organization for Standardization.

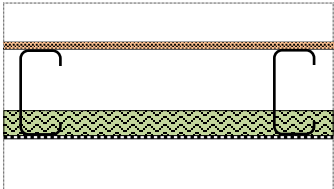
ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Genf, Schweiz.

ISO 14044. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Genf, Schweiz.

Jönsson Å. 2000. Tools and methods for environmental assessment of building products - methodological analysis of six selected approaches. In: *Building and Environment*, 35, pp. 223-238.

- Kellenberger D. 2005. Comparison and benchmarking of LCA-based building related environmental assessment and design tools. EMPA Dubendorf, Technology and Society Laboratory, LCA group.
- Kortman J, van Ewijk H, Mark J, Anink D, Knapen M. 1998. Presentation of tests by architects of the LCA-based computer tool EcoQuantum domestic. Proceedings of Green Building Challenge 1998. Vancouver, Canada (<http://www.ivambv.uva.nl/uk/producten/product7.htm>)
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B and Rubel F (2006) World map of Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.
- LCI, 2001. World Steel Life Cycle Inventory. Methodology report 1999/2000. International Iron and Steel Institute. Committee on Environmental Affairs, Brüssel.
- Lippiatt, B. 2002. Building for environmental and economical sustainability. Technical manual and user guide (BEES 3.0). National Institute of Standards and Technology (NIST). Report NISTIR 6916. (<http://www.bfrl.nist.gov/oea/software/bees.html>).
- RCCTE (2006) Portuguese code of practice for thermal behaviour and energy efficiency of residential buildings. Decreto-Lei n.80/2006. Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (in Portuguese:). Lissabon, Portugal: Diário da República.
- Reijnders L., van Roekel A. 1999. Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. In: *Journal of Cleaner Production*, 7, pp. 221-225.
- Santos P., Gervásio H., Simões da Silva L., & Gameiro A. (2011). Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28, 325–352.
- Santos P., Simões da Silva L., & Ungureanu V. 2012. *Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings*. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14 - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129, 1st edition.
- SB_Steel, 2014. Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel
- Steel Recycling Institute. <http://www.recycle-steel.org/construction.html> (letzter Zugriff am 31.08.2009)
- The energy library. <http://theenergylibrary.com/node/324>
- Trusty WB, Associates. 1997. Research guidelines. ATHENATM Sustainable Materials Institute. Merrickville. Canada. (<http://www.athenasmi.ca/about/lcaModel.html>)
- UNEP, 2004. Why take a life cycle approach? United Nations Publication. ISBN: 92-807-24500-9
- UniFormat™: A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies (2010). The Construction Specification Institute (CSI), Alexandria, VA, and Construction Specifications Canada (CSC), Toronto, Ontario. ISBN 978-0-9845357-1-2.
- Werner, F. 2005. Ambiguities in decision-oriented life cycle inventories – The role of mental models and values. Doi 10.1007/1-4020-3254-4. Springer Niederlande.
- Wikipedia, 2013a. http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_pollution
- Wikipedia, 2013b. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_resource
- Worldsteel organization. <http://www.worldsteel.org/index.php> (letzter Zugriff am 31.08.2009)

ANHANG 1 – DATENBANK DER MAKRO-KOMPONENTEN

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.1a	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Verbrennung	80	
	Luftschicht (mm)	160			
	Steinwolle (mm)	40	Recycling	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	14	Recycling	90	
B1010.10.1a - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,83E-05	1,76E-09	1,54E-09	3,37E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,48E+02	6,54E-01	5,72E-01	1,31E+00	-3,35E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,70E-01	2,11E-04	1,83E-04	5,74E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,41E-02	4,86E-05	4,20E-05	8,79E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	5,12E+01	4,71E-02	4,12E-02	3,86E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	8,25E-13	7,21E-13	7,21E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,53E-02	-6,89E-05	-5,95E-05	1,49E-04	-1,07E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

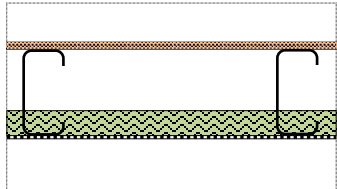
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
Steinwolle	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.1b	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Verbrennung	80	
	Luftschicht (mm)	160	-	-	
	EPS (mm)	40	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	14	Recycling	90	
B1010.10.1b - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,75E-05	1,53E-09	1,34E-09	3,80E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,36E+02	5,70E-01	5,00E-01	1,37E+00	-3,57E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,30E-01	1,84E-04	1,60E-04	6,24E-04	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,54E-03	4,24E-05	3,68E-05	1,00E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,68E+01	4,11E-02	3,60E-02	2,48E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,21E-07	7,19E-13	6,31E-13	6,98E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,55E-02	-6,01E-05	-5,20E-05	1,42E-04	-1,12E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

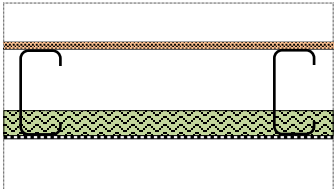
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung EPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.1c	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Verbrennung	80	
	Luftschicht (mm)	160			
	XPS (mm)	40	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	14	Recycling	90	
B1010.10.1c - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,42E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,75E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,54E+00	-3,70E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,33E-01	1,87E-04	1,62E-04	7,16E-04	-5,74E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,73E-03	4,30E-05	3,73E-05	1,17E-04	-1,77E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,79E+01	4,16E-02	3,65E-02	3,78E+00	-1,72E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,29E-13	6,40E-13	7,61E-11	1,75E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,49E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,54E-04	-1,15E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

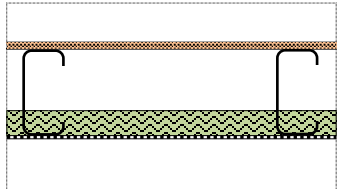
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
XPS	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung XPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.1d	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Verbrennung	80	
	Luftschicht (mm)	160			
	PUR (mm)	40	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	14	Recycling	90	
B1010.10.1d - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,65E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,48E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	6,19E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,76E+00	-3,57E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,37E-01	1,87E-04	1,62E-04	1,43E-03	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	4,30E-05	3,73E-05	3,06E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	5,18E+01	4,16E-02	3,65E-02	2,59E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	7,29E-13	6,40E-13	8,46E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,37E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,90E-04	-1,12E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

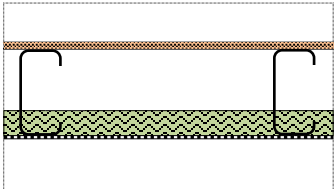
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
PUR	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung PUR	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.1e	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Verbrennung	80	
	Luftschicht (mm)	160			
	Kork (mm)	40	Recycling	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	14	Recycling	90	
B1010.10.1e - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	1,64E-09	1,43E-09	3,09E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,04E+02	6,09E-01	5,32E-01	1,21E+00	-3,35E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,35E-01	1,97E-04	1,70E-04	5,26E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,13E-02	4,53E-05	3,91E-05	8,06E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	4,75E+01	4,38E-02	3,83E-02	3,54E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,68E-13	6,71E-13	6,61E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,27E-02	-6,42E-05	-5,54E-05	1,37E-04	-1,07E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

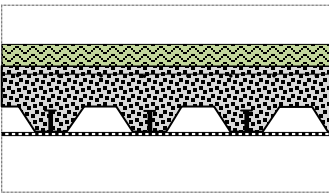
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
Kork	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau						
	B1010.10.2a	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	PE (mm)	20	Verbrennung	80		
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70		
	Bewehrung (kg/m ²)	8,24	Recycling	70		
	Stahlblech (kg/m ²)	11,10	Recycling	70		
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80		
	Stahltragwerk (kg/m ²)	40	Recycling	90		
B1010.10.2a - LCA						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,61E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04	
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,44E+02	
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,93E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,22E-02	
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,77E-03	
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,58E+01	-3,67E+01	
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06	
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,27E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,90E-02	

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

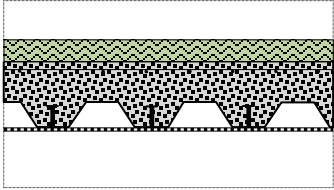
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
Stahlblech	Worldsteel	Welt	2007
Baustahl	Worldsteel	Welt	2007
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
PE	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung PE	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.2b	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Verbrennung	80	
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70	
	Bewehrung (kg/m ²)	8,24	Recycling	70	
	Stahlblech (kg/m ²)	11,10	Recycling	70	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Stahltragwerk (kg/m ²)	40	Recycling	90	
B1010.10.2b - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,54E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,89E+01	-3,37E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,92E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,94E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,27E-03	-2,61E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,50E+02	5,55E-01	4,86E-01	1,54E+01	-3,62E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,91E-06	9,73E-12	8,50E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,92E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,53E-03	-1,88E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

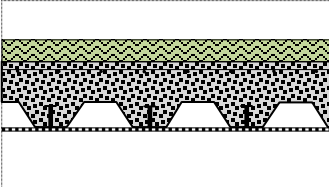
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
Stahlblech	Worldsteel	Welt	2007
Baustahl	Worldsteel	Welt	2007
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
EPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung EPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
	B1010.10.2c	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)
	XPS (mm)	20	Verbrennung	80	
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70	
	Bewehrung (kg/m ²)	8,24	Recycling	70	
	Stahlblech (kg/m ²)	11,10	Recycling	70	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Stahltragwerk (kg/m ²)	40	Recycling	90	
B1010.10.2c - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,43E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,94E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,19E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,74E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,75E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,60E+01	-3,66E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,39E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,89E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

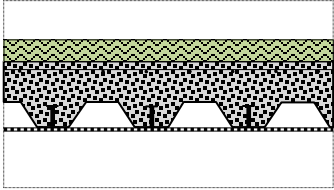
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
Stahlblech	Worldsteel	Welt	2007
Baustahl	Worldsteel	Welt	2007
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
XPS	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung XPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.2d	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	Kork (mm)	20	Recycling	80	
	Beton (kg/m ²)	410	Recycling	70	
	Bewehrung (kg/m ²)	8,24	Recycling	70	
	Stahlblech (kg/m ²)	11,10	Recycling	70	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Recycling	80	
	Stahltragwerk (kg/m ²)	40	Recycling	90	
B1010.10.2d - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,25E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,52E+03	7,73E+00	6,76E+00	4,88E+01	-3,26E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	3,95E-01	2,50E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,54E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,73E-02	5,75E-04	4,97E-04	3,26E-03	-2,37E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	1,51E+02	5,57E-01	4,87E-01	1,43E+01	-3,53E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,75E-12	8,53E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,28E-02	-8,15E-04	-7,03E-04	5,53E-03	-1,86E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

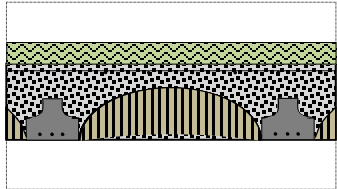
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
Stahlblech	Worldsteel	Welt	2007
Baustahl	Worldsteel	Welt	2007
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Kork	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau						
	B1010.10.3a	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	PE (mm)		20	Verbrennung	80	
	Beton (kg/m ²)		455,4	Recycling	70	
	Bewehrung (kg/m ²)		21,17	Recycling	70	
B1010.10.3a						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]		-5,27E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]		6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,99E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]		1,62E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,80E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]		2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,55E-03	-7,25E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]		7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,70E+01	-5,44E+00
ODP [kg R11-Equiv.]		2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]		2,23E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,31E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

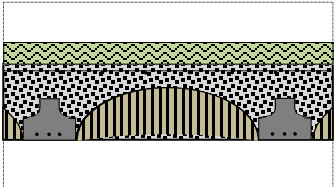
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
PE	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007
Verbrennung PE	PE International	Europa	2011

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau					
B1010.10.3b	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Verbrennung	80	
	Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70	
	Bewehrung (kg/m ²)	21,17	Recycling	70	
B1010.10.3b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,38E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,18E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,30E+01	-4,24E+01
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,61E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,31E-02	-1,52E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,11E-02	5,71E-04	4,93E-04	3,55E-03	-5,61E-04
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,36E+01	5,53E-01	4,83E-01	1,66E+01	-4,87E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,93E-07	9,68E-12	8,46E-12	2,90E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,87E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,14E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

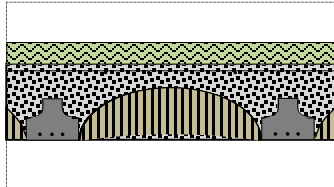
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007
Verbrennung EPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau						
	B1010.10.3c	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
		XPS (mm)	20	Verbrennung	80	
		Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70	
		Bewehrung (kg/m ²)	21,17	Recycling	70	
B1010.10.3c						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,35E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
	ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,89E+01
	AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,63E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,77E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,56E-03	-7,04E-04
	GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,72E+01	-5,37E+00
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,35E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,01E-03	-2,28E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

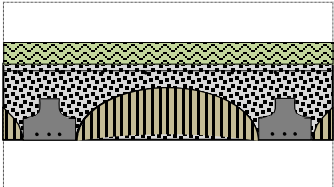
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
XPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007
Verbrennung XPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Boden-/Deckenaufbau						
	B1010.10.3d	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
		Kork (mm)	20	Recycling	80	
		Beton (kg/m ²)	455,4	Recycling	70	
		Bewehrung (kg/m ²)	21,17	Recycling	70	
B1010.10.3d						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,40E-05	2,07E-08	1,83E-08	1,36E-06	-1,09E-05
	ADP fossil [MJ]	6,02E+02	7,69E+00	6,80E+00	5,29E+01	-3,17E+01
	AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,64E-01	2,49E-03	2,18E-03	2,31E-02	-1,12E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,19E-02	5,72E-04	5,00E-04	3,54E-03	-3,22E-04
	GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	7,40E+01	5,54E-01	4,90E-01	1,55E+01	-4,05E+00
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,71E-12	8,58E-12	2,90E-09	3,62E-08
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,24E-02	-8,11E-04	-7,07E-04	6,00E-03	-1,91E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Deckenplatte eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

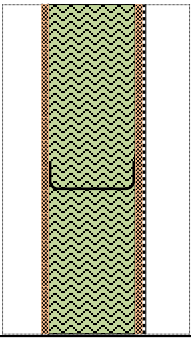
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Beton	PE International	Deutschland	2011
Bewehrungsstahl	Worldsteel	Welt	2007
Kork	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion						
	B2010.20.1a	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
		OSB (mm)	13	Verbrennung	80	
		Steinwolle (mm)	120	Recycling	80	
		Gipskartonplatte (mm)	15	Deponie		
		Leichtbaustahl (kg/m ²)	15	Recycling	90	
B1010.20.1a						
		A1-A3	A4	C2	C4	D
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,06E-05	2,19E-09	1,92E-09	4,32E-08	-2,10E-04
	ADP fossil [MJ]	7,09E+02	8,14E-01	7,12E-01	1,68E+00	-3,05E+02
	AP [kg SO ₂ -Equiv.]	2,65E-01	2,63E-04	2,28E-04	7,35E-04	-4,81E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,41E-02	6,05E-05	5,23E-05	1,13E-04	-1,17E-03
	GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	6,50E+01	5,86E-02	5,13E-02	4,94E-01	-1,73E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	6,43E-07	1,03E-12	8,98E-13	9,24E-11	3,41E-07
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,27E-02	-8,58E-05	-7,40E-05	1,91E-04	-1,13E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

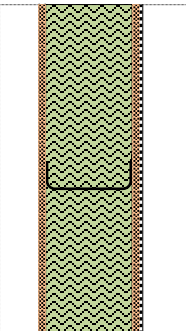
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
Steinwolle	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.1b	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Verbrennung	80	
	EPS (mm)	120	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Deponie		
	Leichtbaustahl (kg/m2)	15	Recycling	90	
B1010.20.1b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,82E-05	1,93E-09	1,62E-09	5,61E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	6,75E+02	7,18E-01	6,00E-01	1,84E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,44E-01	2,32E-04	1,92E-04	8,87E-04	-7,24E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,03E-02	5,34E-05	4,41E-05	1,50E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	5,17E-02	4,33E-02	6,79E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,13E-07	9,05E-13	7,57E-13	8,54E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,33E-02	-7,57E-05	-6,24E-05	1,70E-04	-1,27E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

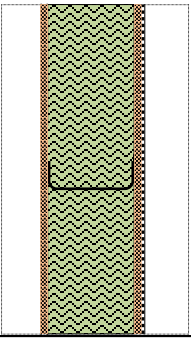
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung EPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.1c	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Verbrennung	80	
	XPS (mm)	120	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Deponie		
	Leichtbaustahl (kg/m2)	15	Recycling	90	
B1010.20.1c					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,99E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,46E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,89E+02	8,33E-01	6,85E-01	2,36E+00	-4,08E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,53E-01	2,69E-04	2,19E-04	1,16E-03	-8,70E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	6,20E-05	5,04E-05	2,01E-04	-3,46E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,52E+01	6,00E-02	4,94E-02	1,07E+01	-2,52E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,41E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,04E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,16E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	2,06E-04	-1,36E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

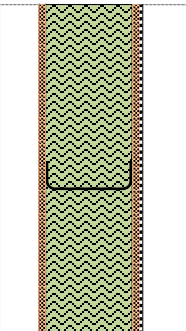
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
XPS	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung XPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.1d	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Verbrennung	80	
	PUR (mm)	120	Verbrennung	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Deponie		
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	15	Recycling	90	
B1010.20.1d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	8,52E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,64E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	9,22E+02	8,33E-01	6,85E-01	3,02E+00	-3,70E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,66E-01	2,69E-04	2,19E-04	3,30E-03	-7,23E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,43E-02	6,20E-05	5,04E-05	7,68E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	6,70E+01	6,00E-02	4,94E-02	7,11E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,44E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,30E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,81E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	3,15E-04	-1,27E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

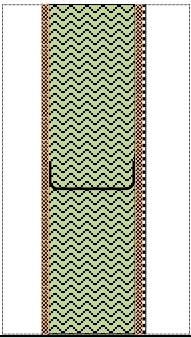
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
PUR	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Verbrennung PUR	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.1e	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Verbrennung	80	
	Kork (mm)	120	Recycling	80	
	Gipskartonplatte (mm)	15	Deponie		
	Leichtbaustahl (kg/m ²)	15	Recycling	90	
B1010.20.1e					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	3,49E-09	1,60E-09	3,48E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	5,78E+02	1,30E+00	5,94E-01	1,36E+00	-3,05E+02
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1,60E-01	4,19E-04	1,90E-04	5,92E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,55E-02	9,64E-05	4,37E-05	9,07E-05	-1,17E-03
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	5,39E+01	9,34E-02	4,28E-02	3,98E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,40E-07	1,64E-12	7,49E-13	7,44E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,50E-02	-1,37E-04	-6,17E-05	1,54E-04	-1,13E-02

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

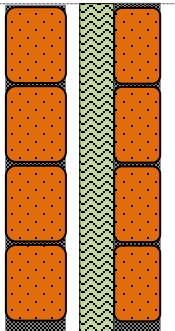
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
OSB	PE International	Deutschland	2008
Gipskartonplatte	PE International	Europa	2008
Leichtbaustahl	Worldsteel	Welt	2007
Kork	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung OSB	PE International	Deutschland	2008
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Recycling Stahl	Worldsteel	Welt	2007

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.2a	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
	Luftschicht (mm)	0			
	Steinwolle (mm)	60	Recycling	80	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
B1010.20.2a					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,00E-06	1,37E-08	1,20E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	6,11E+02	5,10E+00	4,46E+00	6,05E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,65E-03	1,43E-03	2,64E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,58E-02	3,79E-04	3,28E-04	4,04E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	8,12E+01	3,67E-01	3,21E-01	1,78E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	3,62E-09	6,43E-12	5,62E-12	3,32E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,21E-02	-5,37E-04	-4,64E-04	6,86E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

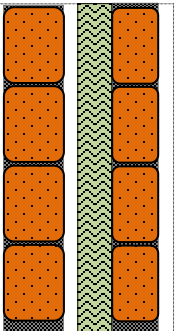
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
Steinwolle	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.2b	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
	Luftschicht (mm)	0			
	EPS (mm)	60	Verbrennung	80	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
B1010.20.2b					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,56E-06	-4,49E-08
ADP fossil [MJ]	5,94E+02	4,97E+00	4,35E+00	6,06E+01	-3,21E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,23E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,65E-02	-1,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	8,96E-03	3,70E-04	3,20E-04	4,06E-03	-7,17E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,46E+01	3,58E-01	3,13E-01	2,09E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	8,86E-08	6,27E-12	5,48E-12	3,31E-09	-4,97E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,74E-02	-5,24E-04	-4,52E-04	6,85E-03	-7,02E-04

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

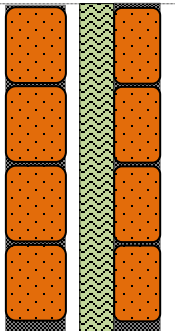
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
EPS	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung EPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.2c		Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)
		Ziegelwand (mm)	11	Deponie	
		Luftschicht (mm)	0		
		XPS (mm)	60	Verbrennung	80
		Ziegelwand (mm)	11	Deponie	
B1010.20.2c					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,64E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-7,18E-08
ADP fossil [MJ]	6,51E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,08E+01	-5,14E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,67E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,66E-02	-1,95E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,23E-03	3,71E-04	3,20E-04	4,09E-03	-1,15E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,63E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,29E+01	-3,94E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	3,00E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,32E-09	-7,96E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-02	-5,25E-04	-4,53E-04	6,87E-03	-1,12E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

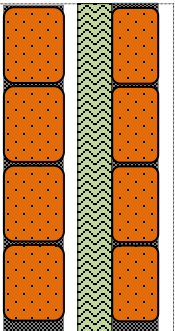
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
XPS	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung XPS	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.2d	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
	Luftschicht (mm)	0			
	PUR (mm)	60	Verbrennung	80	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
B1010.20.2d					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,13E-05	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-4,52E-08
ADP fossil [MJ]	7,17E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,12E+01	-3,22E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	8,33E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,77E-02	-1,21E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	3,71E-04	3,20E-04	4,37E-03	-7,15E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,22E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,11E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	4,11E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,34E-09	-4,99E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	9,80E-03	-5,25E-04	-4,53E-04	6,92E-03	-7,02E-04

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

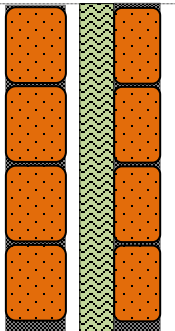
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
PUR	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Verbrennung PUR	PE International	Europa	2011
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
	B2010.20.2e	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
	Luftschicht (mm)	0			
	Kork (mm)	60	Recycling	80	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
B1010.20.2e					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,27E-06	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	5,46E+02	5,03E+00	4,40E+00	6,03E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	8,06E-02	1,63E-03	1,41E-03	2,63E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,16E-02	3,74E-04	3,23E-04	4,03E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,57E+01	3,62E-01	3,17E-01	1,77E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,30E-09	6,35E-12	5,55E-12	3,31E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,25E-03	-5,30E-04	-4,57E-04	6,84E-03

Funktionale Einheit:

1 m² einer Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3

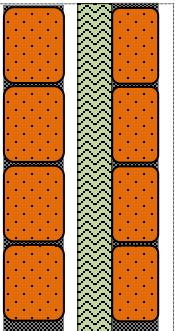
Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
Kork	PE International	Deutschland	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011

B2010.20 Außenwandkonstruktion					
B2010.20.2f	Materialien	Dicke/ Dichte	Szenario Lebensende	RR (%)	
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
	Luftschicht (mm)	0			
	Glaswolle (mm)	60	Deponie		
	Ziegelwand (mm)	11	Deponie		
B1010.20.2f					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	6,07E-04	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	6,13E+02	5,01E+00	4,38E+00	6,05E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	9,80E-02	1,62E-03	1,40E-03	2,67E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-02	3,73E-04	3,22E-04	5,07E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,81E+01	3,61E-01	3,16E-01	1,83E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	3,81E-09	6,32E-12	5,53E-12	-3,92E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,60E-03	-5,28E-04	-4,56E-04	7,01E-03

Funktionale Einheit:

1 m² Außenwand eines Gebäudes, für eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, mit einem U-Wert von 0,92 W/m².K und einer thermischen Trägheit (κ_m) von 61060 J/m².K.

Zusatzinformation:**Liste der verwendeten Datensätze für die Module A1-A3**

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Ziegel	PE International	Deutschland	2011
Glaswolle	PE International	Europa	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module A4 und C2 (Transportannahme 20 km)

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Transport per LKW	PE International	Welt	2011

Liste der verwendeten Datensätze für die Module C4 und D

Prozess	Datenquelle	geografische Abdeckung	Datum
Deponierung inertes Material	PE International	Deutschland	2011
Deponierung von Glaswolle	PE International	Deutschland	2010